



Eksponeeringskartlegging av bioaerosoler og gasser ved Hera Vekst sitt biogass- og komposteringsanlegg på Elverum



STAMI RAPPORT NUMMER 3, 2007
ISSN: 1502-0932

Kristian Kruse, Kari K Heldal og Wijnand Eduard

SAMMENDRAG

Kartlegging av arbeidsmiljøforhold og eksponeringer ved biogass- og komposteringsanlegg i Norge er lite studert, men tidligere studier ved ti ulike komposteringsanlegg har vist at eksponering for bioaerosoler kan være betydelige. I regi av Avfall Norge (tidligere Norsk renholdsverks forening) ble det i 2004 satt i gang et prosjekt hvor målsettingen var å avklare helserisiko ved ulike arbeidsoperasjoner på komposteringsanleggene. Prosjektet var et samarbeid mellom deltakende anlegg, Avfall Norge og Stami, og resulterte i rapporten "Kartlegging av helserisiko ved arbeid på komposteringsavfall", rapport nr 3/2006 (Heldal, 2006). I regi av den svenske renholdsforeningen (RVF) er biogass- og komposteringsanlegg delvis studert som et ledd i et større prosjekt: BUS prosjektet – oppfølging och utvärdering av storskaliga system för kompostering og rötning av källsorterat bioavfall (RVF Utveckling, 2005). Prosjektet har hatt 10 delprosjekter hvor 2 av disse har omhandlet emisjoner av organiske forbindelser og målemetoder av disse ved biogass- og komposteringsanlegg.

På bakgrunn av tidligere studier, erfaringer og befarung har STAMI lagt vekt på eksponering for biologiske faktorer i arbeidsmiljøet som kan være relevant for arbeid ved Hera Veksts biogass- og komposteringsanlegg. Dette innbefattet bestemmelse av sporer av sopp og bakterier (actinomyceter), bakterier og endotoksin. Ammoniakk og formaldehyd (valgt som markør for flyktige organiske komponenter, VOC) samt dihydrogensulfid, karbonmonoksid og karbondioksid ble registrert. Eksponering ble målt ved utvalgte arbeidsoperasjoner med risiko for eksponering: ved mottaket av avfallet, ved kompost og jordbearbeiding, ved innlegg i celler og ved spesielle arbeidsoperasjoner med antatt høy eksponering, som rengjøring og tømning av moduler.

Spørreskjema om eksponeringsforhold og helseplager på måledagen ble besvart på slutten av dagen. Spørreskjemaet om helseplager kan eventuelt knyttes opp mot senere helseundersøkelser ved anlegget. Spørreskjemaet med resultater om helseplager omtales ikke spesielt i denne rapporten.

Det ble totalt analysert 56 målinger for inhalerbart støv hvorav 19 av disse målingene var parallelle målinger for videre analyse av endotoksin. Videre ble det utført 35 analyser for bakterier, og på bakgrunn av disse analysene ble 10 prøver plukket ut for analyse av actinomyceter og sopp sporer.

Når vi sammenligner resultatene med administrative normer for organisk støv, anbefalinger fra STAMI for bioaerosoler og en nederlandsk grenseverdi for endotoksin var eksponering for enkelte bioaerosoler relativt høyt. Dette gjaldt bakterier ($0,9 \times 10^6/m^3$), actinomyceter ($1,7 \times 10^6/m^3$), mens estimert eksponering for sopp sporer ($0,06 \times 10^6/m^3$) var moderat. Eksponering for endotoksiner var relativt lavt ($33 \text{ EU}/m^3$). Inhalerbart støv ($0,3 \text{ mg}/m^3$) hadde en lav eksponering.

Sammenlignet med en større undersøkelse av komposteringsanlegg i Norge synes eksponeringen generelt å være noe høyere, men det må understrekes at enkelte komposteringsanlegg (reaktoranlegg) hadde høyere eksponering. Det er sannsynlig også mindre risiko for helseplager på biogass- og komposteringsanlegget sammenlignet med kornbehandling og dyrehold i landbruket. Det var imidlertid en del variasjoner i målingene, og det må understrekes at enkeltmålinger ved flere

arbeidsoperasjoner på anlegget når et nivå hvor helseplager kan forekomme.

Det som karakteriserer eksponeringen ved de undersøkte anleggene er at bioaerosolen for det meste består av actinomycceter. Dette er sporedannende Gram-positive bakterier som vokser ved 30-60°C og trives i våt kompost. De er kjent som luftveisallergener, men helseplager etter eksponering for luftbårne actinomycceter i arbeidsmiljø er lite studert.

Flere arbeidsoperasjoner bidro til risiko for spesielt høy eksponering, blant annet tømning av moduler, kompost-/jordbearbeiding og mottak av avfall. Høye eksponeringer forekom også typisk ved ulike typer rengjøring.

Eksponering for ammoniakk ved anleggene var lavt (0,4 ppm) med arbeidsoperasjonen "innlegg i modul" med høyeste verdi (0,7 ppm). Karbonmonoksid ble registrert for kun 2 arbeidsoperasjoner og sikting i mottakshall ga et relativt høyt gjennomsnitt over to dager på 23 ppm. Karbondioksid ble spesielt undersøkt ved rengjøring/vedlikehold rundt perkolatbrønner i modulene. Her kunne det forekomme enkelte relativt høye korttidseksponeringer. Det ble ikke registrert målbart nivå av verken formaldehyd eller dihydrogensulfid.

Omfang av utførte målinger er gjort ut fra tilgjengelige ressurser og gir et begrenset grunnlag for vurdering av eksponeringsforhold ved ulike typer arbeidsoperasjoner.

På Hera Vekst sitt anlegg bør det på grunn av enkelte høye eksponeringsmålinger gjennomføres jevnlig overvåkning av arbeidsmiljø med hensyn til eksponering av biologiske faktorer. Alle rengjøringsprosesser bør gjennomgås med tanke på reduksjon av støvdannelse. Generelt kan støv reduseres ved oftere rengjøring og rydding på alle deler av anlegget. Friskluftutstyr kan vurderes brukt når risiko for høy eksponering forventes å foreligge, som ved arbeid i prosesshall/modul. Lokale tiltak på utsatte arbeidsplasser kan også redusere eksponeringen. Bedret ventilasjon med eventuelt punktavsug, friskluftutstyr i hjullaster, og bevisstgjøring av eget arbeidsmiljø er generelle tiltak som kan implementeres på anlegget. Arbeidsmiljøet bør følges opp med periodevise målinger (hvert annet år) med hensyn på eksponering for bioaerosoler.

INNHALDSFORTEGNELSE

Forkortelser og forklaringer	5
Innledning	6
Kort presentasjon av AIKAN teknologi	7
Komposteringsprosessen	7
Kapasitet	8
Metoder	8
Undersøkellesgruppe	8
Beskrivelse av arbeidet og arbeidsoperasjoner	8
Design på undersøkelsen	9
Omfang av prøvetakingen	9
Prøvetaking	10
Analyse	10
Mikroorganismer	10
Endotoksiner, inhalerbart støv	10
Gasser	10
Vurdering av resultatene	11
Bioaerosoler	11
Støv og gasser	12
Resultater	13
Eksposering ved biogass- og komposteringsanlegget	13
Eksposering ved ulike arbeidsoperasjoner	14
Eksposering for gasser	18
Andre forhold og spørreskjema	18
Diskusjon	18
Vurdering av representativitet ved undersøkelsen	18
Eksposeringsforhold	19
Vurdering av eksposering i forhold til ulike kriterier	19
Bioaerosoler	19
Gasser	20
Tiltak	21
Oppfølging	22
Konklusjoner	22
Aerosoler	22
Gasser	23
Liste over ulike kriterier for vurdering	23
Referanser	24
Vedlegg 1. Ammoniakk ved utvalgte arbeidsoperasjoner	27
Vedlegg 2. Karbonmonoksid ved sikting i hall	28
Vedlegg 3. Karbonmonoksid i mottakshall	29
Vedlegg 4. Karbondioksid ved utvalgte arbeidsoperasjoner	30
Vedlegg 5a. Måleskjema	31
Vedlegg 5b. Måleskjema	32
Vedlegg 5c. Måleskjema	33
Vedlegg 6. Spørreskjema (symptomer og plager)	34

FORKORTELSER OG FORKLARINGER

Actinomyces: Aerobe, Gram-positiv bakterier som danner lange tråder (ligner sopphyfer) og kan produsere store mengder med sporer. Actinomyces vokser ved temperatur opp til 55-60 °C og er vanlig i kompost.

Administrative normer (ADN): Normer for forurensninger i arbeidsatmosfæren som er fastsatt av Arbeidstilsynet for vurdering av arbeidsmiljøstandarden på arbeidsplasser. Normene er anbefalinger og ikke i seg selv juridisk bindende, men kan bli det ved konkrete pålegg fra Arbeidstilsynet.

Bakterier: Mikroorganismer som formerer seg vegetativt ved celledeling og som mangler cellekjerne.

Bedriftsintern norm (BIN): 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.

Bioaerosoler: Små luftbårne partikler av biologisk opprinnelse som bl.a. kan inneholde døde og levende bakterier samt sopp sporer.

Endotoksiner: Giftstoffer som finnes i celleveggen på døde og levende Gram-negative bakterier. Endotoksiner er biologisk aktive og kan gi helseskade som luftveisirritasjon, tette luftveier og feberanfall.

Eksponering: Utsettelse for helseskadelige faktorer

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

Gram-positive og Gram-negative bakterier: Bakterier som farges/ikke farges med fargeteknikken etter Gram. Alle Gram-negative bakterier har endotoksiner i celleveggen. Mange Gram-negative bakterier er patogene (sykdomsfremkallende).

Mikroorganisme: En cellulær eller ikke-cellulær mikrobiologisk enhet, herunder slike som er genmodifiserte, som er i stand til å formere seg eller til å overføre genetisk materiale.

Personbårne målinger: Målinger hvor prøvetakingsutstyret er festet på en person. Personbårne målinger foretas for å få bestemt eksponeringen under arbeid, og forutsettes ved sammenligninger med administrative normer.

Scanning elektron mikroskopi (SEM): Elektronmikroskopisk metode som viser overflatestruktur til partikler med høy oppløsning. Spesielt egnet for sporer av sopp og actinomyces.

Stasjonære målinger: Målinger hvor prøvetakingsutstyret er plassert på et fast målested. Stasjonære målinger viser eksponeringen når arbeid utføres nær prøvetakeren, og brukes ofte for å få et inntrykk av bakgrunnseksponering.

INNLEDNING

Kartlegging av arbeidsmiljøforhold og eksponeringer ved biogass- og komposteringsanlegg i Norge er lite studert, men tidligere studier ved ulike komposteringsanlegg har vist at eksponering for bioaerosoler kan være betydelige. Biogass- og komposteringsanlegg og komposteringsanlegg har begge det til felles at de utnytter biologisk avfall (matavfall), og det er mange felles trekk i prosessering og behandling av avfallet. Selv om biogass- og komposteringsanlegg har en utvidet teknologi med en utråtningsfase som utnyttes til metanproduksjon, antas det at tidligere funn ved komposteringsanlegg vil være meget relevante for vurdering av eksponering ved biogass- og komposteringsanlegg. Erfaringer etter vel ti år med kompostering av kildesortert husholdningsavfall i Norge, har vist at helseplager som ikke-allergiske luftveissymptomer, mage og tarm plager, influensalignende plager med feberreaksjoner, tretthet og slimhinneirritasjoner i øvre og nedre luftveier kan forekomme. Internasjonale studier har vist at dette kan ha sammenheng med innpusting av store mengder bakterier, sporer av sopp og bakterier (actinomyceter¹), samt endotoksiner ved arbeid med komposten. Gasser produsert i den mikrobielle prosessen kan også være et problem. Det er tidligere gjort spredte undersøkelser som bekrefter at dette også er forhold som kan forekomme på norske komposteringsanlegg. En sammenstilling av resultater fra nasjonale og internasjonale studier om arbeidsmiljøforhold på komposteringsanlegg er tidligere beskrevet i NRF-rapport nr 3/2005 (Heldal, 2005).

I regi av Avfall Norge (tidligere Norsk renholdsverks forening) ble det i 2004 satt i gang et prosjekt hvor målsettingen var å avklare helserisiko ved ulike arbeidsoperasjoner på komposteringsanleggene. Prosjektet var et samarbeid mellom deltakende anlegg, Avfall Norge og Stami, og resulterte i rapporten "Kartlegging av helserisiko ved arbeid på komposteringsavfall", rapport nr 3/2006 (Heldal, 2006). I regi av den svenske renholdsforeningen (RVF) er biogass- og komposteringsanlegg studert som en del i et større prosjekt: BUS prosjektet – oppfølging och utvärdering av storskaliga system för kompostering och rötning av källsorterat bioavfall (RVF Utveckling, 2005). Prosjektet har hatt 10 delprosjekter hvor 2 av disse har omhandlet emisjoner av organiske forbindelser og målemetoder av disse ved biogass- og komposteringsanlegg.

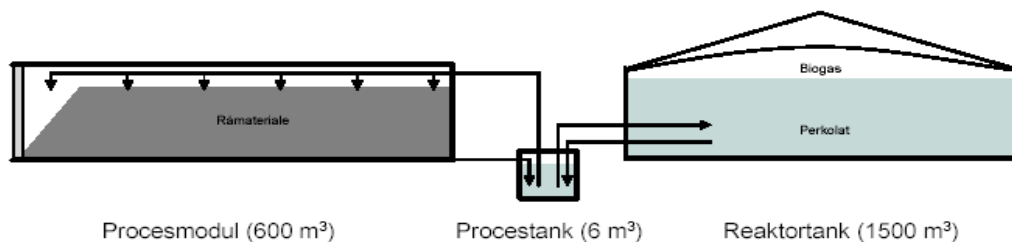
På bakgrunn av tidligere studier, erfaringer og befaring har STAMI lagt vekt på eksponering for biologiske faktorer i arbeidsmiljøet som kan være relevant for arbeid ved biogass- og komposteringsanlegget. Dette omfattet bestemmelse av sporer av sopp og bakterier (actinomyceter), bakterier og endotoksin. Eksponering for ammoniakk og formaldehyd (markør for flyktige organiske komponenter, VOC) samt dihydrogensulfid, karbonmonoksid og karbondioksid ble registrert. Eksponering ble målt ved utvalgte arbeidsoperasjoner med risiko for eksponering: ved mottaket av avfallet, ved kompost og jordbearbeiding, ved innlegg i moduler og ved spesielle arbeidsoperasjoner med antatt høy eksponering, som rengjøring og tømning av moduler.

¹ En gruppe bakterier som er viktige organismer i den aerobe komposteringsprosessen. Disse vokser som sopp og kan danne store mengder sporer.

KORT PRESENTASJON AV AIKAN TEKNOLOGI

AIKAN anlegget på Hornmoen utenfor Elverum skal ta i mot, behandle og sluttdisponere avfall / kompost fra SØIR (Sør Østerdal Interkommunale Renovasjonsselskap), GIR (Glåmdalen Interkommunale Renovasjonsselskap), VESAR (Vestfold Avfall og Ressurs AS) og RfD (Renovasjonssamarbeidet for Drammensregionen).

De biologiske prosesser som utnyttes i AIKAN er en tofasert utråtning etterfulgt av kompostering (figur 1; Hera Vekst, 2006). Utråtningprosessen skjer i 2 tidsatskilte faser: 1. Den syredannende prosess (hydrolysen) og 2. Den metandannende prosess (metanogenesen).



Figur 1: Oversikt over prinsippet i utråtningprosessen som anvendes i Aikan-konseptet. Pilene viser transport av perkolat under prosessen.

Hydrolysen skjer i 20 isolerte betongsiloer a 600 m³ (prosess-moduler) hvor avfallet overrisles med perkolat (avrenningsvæske). Metan produksjonen skjer i 2 separate og gasstette reaktortanker (betongsilo på 1 500 m³). Disse fungerer samtidig som gasslager. Oppvarmingen og prosesskontroll skjer i isolert prosesstank.

Utveksling av perkolat mellom prosessmodul og reaktortank skjer over en tidsperiode på typisk 4 – 8 uker, avhengig av avfallets sammensetning og energiinnhold. Etter 4 – 8 uker er gassproduksjonen normalt redusert til < 5 % av produksjonen som måles i startfasen. På dette tidspunkt avsluttes biogassproduksjonen og komposteringsprosessen startes. Basert på målinger gjennomført av tilsvarende prosess i pilot skala og erfaringer fra litteraturen, vil gassproduksjonen ved maksimal utnyttelse av konsesjonen (30 000 tonn matavfall) være 2.250 000 m³.

Komposteringsprosessen

Etter utråtning komposteres avfallet aerobt i samme prosessmodul hvor utråtningprosessen fant sted. Komposteringsprosessen strekker seg over 2 - 6 uker under kontrollerte forhold, og kan senere fortsette i utendørs ranker. Prinsippet som komposteringsprosessen bygger på er tvangslufting av råmaterialet med sug gjennom kanaler i gulvet. Frisk luft ledes inn i prosessmodulen gjennom en takhette utstyrt med spjeld som styres elektronisk. Ventilasjonsluften som suges ut gjennom kanalene føres til et biofilter. Tilførsel av luft skjer periodisk og styres med basis i ønsket temperatur i massene; for eksempel 55-60°. Under komposteringsprosessen justeres vanninnholdet i massen gjennom å tilføre perkolat gjennom sprinklersystemet i taket. Riktig fuktighet er viktig for å opprettholde maksimal biologisk omsetning. Overskudd med perkolat samles i kanalene i gulvet og transporteres til reaktortanken for utråtning. Homogen lufting gjennom råmaterialet oppnås gjennom å etablere undertrykk i kanalene i prosessmodulens gulv. Komposteringsprosessen er et viktig trinn for å bryte ned organiske miljøgifter samt

for å oppnå hygienisering (desinfisering av sykdomsfremkallende mikroorganismer). Etter komposteringen gjennomluftes råmaterialet grundig for å kjøle ned komposten, slik at den kan flyttes til ettermodningsplass.

Kapasitet

Hver behandlingsmodul har en kapasitet på 240 tonn matavfall eksklusiv strukturmateriale. Oppholdstiden for dette råmaterialet i prosessmodulen er 8 - 10 uker avhengig av råmaterialets sammensetning. Den samlede årlige behandlingsskapasitet per prosessmodul er 1 250 – 1 560 tonn tilsvarende en total årlig behandlingsskapasitet for hele anlegget på 25 000 – 31 200 tonn matavfall.

METODER

Undersøkellesgruppe

Deltakere i denne studien var 5 faste ansatte arbeidere (hvorav den ene er driftsleder) og 2 vikarer/innleid hjelp ved biogass- og komposteringsanlegget. Deltakerne ble på forhånd informert om prosjektet og de ansatte ved anlegget sa seg villig til å delta i undersøkelsen. Prøvetakingen av eksponeringsforhold ble gjennomført i tidsrommet 22 – 28 juni 2006. Grunnet feil på elektrokjemisk logger for CO ble nye CO logger tatt første uke i desember 2006.

Beskrivelse av arbeidet og arbeidsoperasjoner

Arbeidsoperasjonene på biogass- og komposteringsanlegget består hovedsakelig av mottak og forbehandling av avfallet med innblanding av strukturmateriale, opplegging av ranker og innmating i moduler, tømning av moduler, bearbeiding av kompost og jord, sikting av kompost/jord, annen etterbehandling og lagring samt diverse kontrollmålinger. Vanlig vedlikehold, rengjøring og tekniske reparasjoner er også viktige arbeidsoperasjoner. En stor andel av arbeidet ved biogass- og komposteringsanlegget foregår med innelukkede hjullastere. Mer spesifikt er driften av anlegget oppdelt i 4 hovedoppgaver med en rekke relevante underliggende arbeidsoperasjoner:

1. Mottak

- Kontroll av vifte og biofilter (ved arbeidets start og slutt).
- Kontroll og eventuell rensning av aquarener.
- Flispålegg til avfall i mottakshall.
- Vedlikehold/rengjøring (hjullaster og eventuelt annet).

2. Forbehandling

- Oppriving av avfall (bruk av kvern, Jenz hammermølle og Allu skuffe).
- Sortering (innmating i kvern, Fairwick såld og hjullaster m/vekt).
- Innblanding av struktur (hjullaster m/vekt og forblending m/traktor).
- Rengjøring av såld (etter behov og ved ukeslutt).

3. Prosess

- Lasting av prosessmodul (traktor og forblending med transportbånd).
- Inspeksjon. Inspeksjon av dyser og rengjøring av drenering. Eventuell rengjøring av filterenhet. Før hver celle fylles sjekkes bunn, sider og drenskanaler. Eventuelle skader utbedres. Daglig sjekk av prosesstank og biofilter. Ukentlig åpning av filterhus for inspeksjon/rengjøring.

4. Etterbehandling

- Tømming av prosessmodul (inklusive transport til karantene stasjon, rengjøring av hjullaster). Transport med hjullaster til såld. Rengjøring av prosessmodul.
- Fraksjonering/sikting av råkompost med prøvetaking (Fairwick såld)
- Håndtering av kompost (hjullaster m/vekt). Kompost transporteres til avsatt plass for etablering av karantene enhet.
- Håndtering av sikterest. Transport til 1) angitt plass i mottak eller 2) til eget mellomlager.
- Håndtering av plastfraksjon. Hjullaster m/vekt. Transport til eget mellomlager for sikterest (under tak)

Design på undersøkelsen og spørreskjema

Personbåret prøvetakingsutstyr ble heftet på arbeiderne for å måle eksponering ved arbeidet. Ulike arbeidsoperasjoner som ble utført i måleperioden ble registrert av den enkelte arbeider. For å få relevante eksponeringsmålinger ved de ulike arbeidsoperasjonene ble det utført separate målinger før og etter lunsj da det ofte var andre typer arbeidsoppgaver etter lunsj. Prøvetakingstiden var i de aller fleste tilfellene ca. tre timer der ikke annet er oppgitt. Bruk av verneutstyr og arbeidsforhold under prøvetakingen ble registrert på et måleskjema (vedlegg 5).

Etter arbeidet besvarte deltakerne et spørreskjema om arbeidsforhold og opplevde helseplager i løpet av arbeidsdagen (vedlegg 6). Et større helseskjema om ansettelsesforhold, generelle helseplager, allergi og røyking ble også besvart. Helseskjemaene omtales ikke i denne rapporten. Forhold om klima ble notert i løpet av prøvetakingsperioden.

Omfang av prøvetakingen

Målet med denne undersøkelsen har vært å studere eksponeringsforhold ved ulike arbeidsoperasjoner på biogass- og komposteringsanlegget. Med eksponering mener vi ytre påvirkninger av kjemisk eller biologisk art som personer blir utsatt for. I dette prosjektet ble det valgt å kartlegge eksponeringsforholdene ved biogass- og komposteringsanlegget med følgende parametere:

- Mikroorganismer: bakterier og sporer fra sopp og bakterier (actinomyceeter)
- Endotoksiner (en cellevegg komponent i Gram-negative bakterier)
- Inhalerbart støv
- Gasser: ammoniakk, formaldehyd, dihydrogensulfid, karbonmonoksid og karbondioksid

Det ble totalt tatt 56 prøver for inhalerbart støv hvorav 19 av disse var parallelle prøver for videre analyse av endotoksin. Videre ble 35 prøver analysert for bakterier og på bakgrunn av disse analysene (prøver hvor soppsporer var registrert med fluorescens mikroskopi) ble 10 prøver plukket ut for analyse av actinomyceeter og soppsporer med SEM. Videre ble følgende personbårne målinger utført: 9 ammoniakk-, 3 formaldehyd-, 3 dihydrogensulfid- og 4 karbonmonoksid målinger. I tillegg ble 8 stasjonære (ikke personbårne) korttidsmålinger av karbondioksid utført.

Omfang av utførte målinger er gjort ut fra tilgjengelige ressurser og gir et begrenset grunnlag for vurdering av eksponeringsforhold ved ulike typer arbeidsoperasjoner.

Prøvetaking

Prøvene ble tatt med prøvetakingsutstyr som arbeiderne bar på seg i ca. 3 timer før lunsj og i ca. 3 timer etter lunsj. Nye kassetter ble montert i løpet av lunsjperioden. Dette betyr at arbeidsoperasjonene er målt i løpet av ca. 3 timer med unntak av enkelte gassmålinger. 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, inntil 40 µm (CEN, 1993; Kenny, 1996 og 1997), ble plassert på hver side av brystet. To batteridrevne pumper (PS 101) sugde luft gjennom filtrene med en luftstrøm på ca. 2 liter pr. minutt. Luftstrømmen ble målt før og etter prøvetaking med et kalibrert rotameter. Prøver for analyse av mikroorganismer ble samlet opp på polykarbonat filter (pore størrelse 0,8 µm, Poretics, Osmonics, Livermore, USA). Prøver for analyse av støv og endotoksin ble samlet opp på glassfiber filter (Whatman GF/A, Maidstone, USA).

Til prøvetaking av gass ble det brukt passive dosimetre for ammoniakk, formaldehyd og dihydrogensulfid. Dosimetrene ble plassert i arbeiderens innåndingszone. For prøvetaking av karbonmonoksid og karbondioksid ble det benyttet elektrokjemiske sensorer for henholdsvis personbåren og stasjonær måling.

Det er tidligere utarbeidet egne prøvetakingsskjemaer som ble benyttet for hver eksponeringsmåling. Skjemaene omfatter i tillegg til utførte arbeidsoperasjoner også registrering av forhold som kan tenkes å influere på eksponeringsnivået.

Analyse

Mikroorganismer

Mikroorganismer ble analysert med mikroskopiske metoder som gir det totale antall 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 i fluorescens mikroskopi klassifisert som bakterier eller sporer av sopp og bakterier (actinomyceter) etter form og størrelse. Scanning elektronmikroskopi (SEM) (Eduard et al., 1988) vil gi en sikrere bestemmelse av sporer av sopp og actinomyceter idet detaljer på overflaten kan studeres. Deteksjonsgrensen i denne undersøkelsen er satt til 10^4 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 ved Pegasus lab, Uppsala, Sverige. Endotoksin ble analysert med kinetisk kromogen Limulus amoebocyt lysat metode (Kinetic-QCL kit, Bio Wittaker) (Tamura et al., 1994).

Gasser

Passive gass dosimetre ble brukt for å bestemme formaldehyd (markør for flyktige organiske komponenter), ammoniakk og dihydrogensulfid (Gastec Corporation, Ayase-City, Japan). Resultatet avleses ved fargeutslag. Dosimeter for ammoniakk

registrerte over området 0,5-5 ppm, formaldehyd registrerte over området 0,5-10 ppm mens dihydrogensulfid registrert over området 1-200 ppm ved de aktuelle prøvetakingstider. Passive dosimetre er basert på diffusjon og gir en gjennomsnittsverdi av eksponeringen over prøvetakingstiden (ca. 3 timer).

For bestemmelse av karbonmonoksid (Dräger PAC 3, Tyskland) med måleområde 0-2000 ppm og karbondioksid (Alnor Compuflow 8650, USA) med måleområde ca. 0-5000 ppm ble det benyttet elektrokjemiske sensorer. Dataene ble lastet ned fra dataloggerne i de respektive sensorene og viderebehandlet i Excell regneark.

Vurdering av resultatene (generelt)

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. Nivået danner det medisinske grunnlaget for de administrative normene (ADN) som Arbeidstilsynet har fastsatt. Normene er satt ut fra tekniske, økonomiske og medisinske vurderinger. Selv om normene overholdes, er man derfor ikke sikret at helsemessige skader og ubehag ikke kan oppstå.

Bioaerosoler

Resultater av eksponeringsmålinger blir vurdert opp mot de administrative normene. Det foreligger imidlertid ikke administrative normer for vurdering av potensiell helserisiko for soppsporer, bakterier eller endotoksiner på grunn av manglende kunnskap om dose-respons forhold. Wijnand Eduard (STAMI) har imidlertid utarbeidet et kriteriedokument for vurdering av sporer av sopp og bakterier og helserisiko av dette. Dokumentet er blant annet nylig publisert i det svenske tidsskriftet *Arbete och hälsa* (Eduard, 2007). Ved manglende norske kriterier tillater Arbeidstilsynet bruk av tilgjengelig informasjon for å vurdere et akseptabelt arbeidsmiljø (Arbeidstilsynet AT450). Slik informasjon kan være litteratur eller andre lands yrkeshygieniske grenseverdier. I denne rapporten har vi brukt grenseverdier for endotoksiner på $200 EU/m^3$ som et gjennomsnitt for en 8 timers arbeidsdag i Nederland.

Måleresultatene for bakterier og soppsporer fra denne undersøkelsen kan 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 soppsporer 10^5 soppsporer/ m^3 (Eduard et al., 1994, 2001, Heldal et al., 1997, 2003, 2004). For sporer fra bakterier, actinomyceter, brukes 10^6 actinomyceter/ m^3 som blant annet også understøttes av dyreforsøk som viser liknende effekter som soppsporer ved noe høyere nivåer (Fogelmark et al., 1991). Disse verdiene kan brukes som kriterier for å vurdere helseskadelige nivåer, og er brukt som *bedriftsinterne normer* (BIN) i tidligere undersøkelser av avfallsanlegg (Eduard et al., 2002) og komposteringsanlegg (Heldal, 2006).

Bedriftsinterne normer blir å betrakte som et effektnivå og ikke en administrativ norm. Administrative normer for et agens er som oftest satt høyere enn et effektnivå. En annen usikkerhet i forhold til å sammenligne resultater i denne studien med BIN er prøvetakingstiden som har vært kortere enn en eksponering over 8 timers arbeidsdag som er grunnlaget for BIN. Målsettingen med denne studien var imidlertid å vurdere eksponering ved ulike arbeidsoperasjoner ved komposteringsanleggene og ikke måle

eksponering over en hel arbeidsdag. Dessuten kan en estimere eksponeringen for en typisk arbeidsdag ved å kombinere resultatene fra ulike arbeidsoppgaver. Eksponering for bioaerosoler er forventet å variere betraktelig og kilder til variasjoner er mange. Mengde og arter av mikroorganismer kan variere avhengig av type avfall som blir behandlet og når i prosessen eksponeringen måles (Nielsen et al., 1997a). Innblanding av variabelt strukturmateriale kan også være kilde til variasjoner i mikrobielle faktorer. Mikroorganismenes vekstforhold er sterkt avhengig av temperatur og fuktighet og forventes å variere sterkt i ulike årstider (Nielsen et al., 1997b) og ulike geografiske områder.

Andre feilkilder som må tas med i en vurdering er at eksponeringsnivået ikke er konstant, men vil variere fra dag til dag selv om samme arbeidsoperasjon utføres. Variabilitet i eksponeringsnivå innen samme oppgave er bare delvis tatt høyde for da eksponering ved hver arbeidsoperasjon kun er målt få ganger.

Selv om det har vært hensiktsmessig i denne rapporten å bruke BIN som et vurderingsgrunnlag for resultatene, må BIN i denne rapporten brukes med forbehold. På grunn av usikkerheten som er knyttet til målingene og de tilnærminger til vurderinger som er anvendt, er det allikevel viktig å tilstrebe eksponeringsnivå betydelig lavere enn de bedriftsinterne normene (BIN) (Eduard et al., 2002). Det henvises til en oversikt over vurderingsgrunnlaget for bioaerosoler (side 23).

Når det gjelder forslag til tiltak og oppfølging på biogass- og komposteringsanlegget, er det hensiktsmessig å følge Arbeidstilsynets orientering om kartlegging og vurdering av eksponering for biologiske forurensninger i arbeidsatmosfæren (Arbeidstilsynet, best. Nr. 450, 2002) selv om grunnlaget for denne orienteringen er administrative normer og ikke bedriftsinterne normer. Denne orienteringen følger en Europeisk standard (NS-EN 689) som skisserer strategier for tiltak og oppfølging etter registrerte eksponeringsnivåer.

Støv og gasser

Ved rutineundersøkelser av arbeidsmiljøet ved mistanke om eksponering for bioaerosoler, brukes ofte den administrative normen for organisk støv som er på 5 mg/ m³. Den organiske støvnormen må imidlertid brukes med forsiktighet. Selv om støvkonsentrasjonen kan være godt under normen, kan støvet inneholde mikroorganismer på nivåer hvor det er risiko for helseplager. Når ikke annet er oppgitt, vil de administrative normene relatere seg til konsentrasjoner som kan aksepteres over en hel arbeidsdag (8 timer). For ammoniakk er grenseverdien 25 ppm, men kan overskrides med 50% i 15 minutter. Aldehyder som acetaldehyd og formaldehyd kan brukes som markør for VOC ved kompostering. Disse har normer på henholdsvis 25 ppm og 0,5 ppm (takverdi 1 ppm). Måling med indikatorrør har flere feilkilder som interferens med andre gasser, blant annet ammoniakk. Arbeidstilsynet anbefaler at reduserende tiltak iverksettes når middelveiden overskrider administrativ norm. Arbeidstilsynet anbefaler at tiltak utredes når middelveiden av en måleserie er > ¼ av administrativ norm. Når middelveiden er over administrativ norm må tiltak settes i verk umiddelbart.

RESULTATER

Eksposering ved biogass- og komposteringsanlegget

Eksposeringsnivåer ved biogass- og komposteringsanlegget er vist i tabell 1.

Tabell 1: Eksposering for bioaerosoler ved biogass- og komposteringsanlegget

Komponent	n ^A	Eksposering		
		AM ^B	Median	Intervall
Inhalerbart støv (mg/m ³)	35	0,3	0,2	0,03-0,9
Endotoksin (EU/m ³)	19	33	32	11-75
Bakterier (10 ⁶ /m ³) ^C	35	0,9	0,5	0,03-5,4
Actinomycester (10 ⁶ /m ³) ^D	10	1,7	0,8	0-4,4
Soppsporer (10 ⁶ /m ³) ^D	10	0,2	0,04	0-0,9

A: Antall analyser, B: Aritmetisk middelverdi, C: Analysert med fluorescens mikroskopi (FM), D: Analysert med scanning elektron mikroskopi (SEM)

Middelverdien for inhalerbart støv ved biogass- og komposteringsanlegget var lav sett i forhold til administrativ norm for organisk støv (5 mg/m³). Eksposering for endotoksiner var lavt sammenlignet med den Nederlandske grenseverdien på 200 EU/m³. Eksposeringen for de andre biologiske agens har et nivå omkring de bedriftsinterne normer (BIN). Det som er spesielt for eksposeringen er de relativt høye nivåene av actinomycester. Prøver undersøkt med scanning elektron mikroskopi viser at sporene registrert med fluorescens mikroskopi hovedsakelig er sporer fra bakterier (actinomycester). Stavbakterier ble kun registrert i små mengder i noen få prøver. Soppsporer var kun fremtredende i 3 av prøvene og gjennomsnittet er derfor ikke representativt for hele anlegget, men viser at enkelte arbeidsoperasjoner har relativt høy eksposering. Da soppanalysene er basert på en seleksjon av prøver med antatt eksposering for sopp, er det klart at gjennomsnitt eksposeringen er høyere enn om alle prøvene hadde vært analysert for soppsporer.

Bakgrunnen for dette valget var at det ville være relativt ressurs- og kostnadskrevende å analysere 25 ekstra prøver som sannsynlig ville vist lav eller ingen eksposering. Dersom vi antar at de resterende prøver ikke hadde eksposering (slik fluorescens mikroskopi analysene indikerte) ville den gjennomsnittlige eksposeringen (AM) for soppsporer vært 0,06x10⁶/m³.

Eksponering ved ulike arbeidsoperasjoner

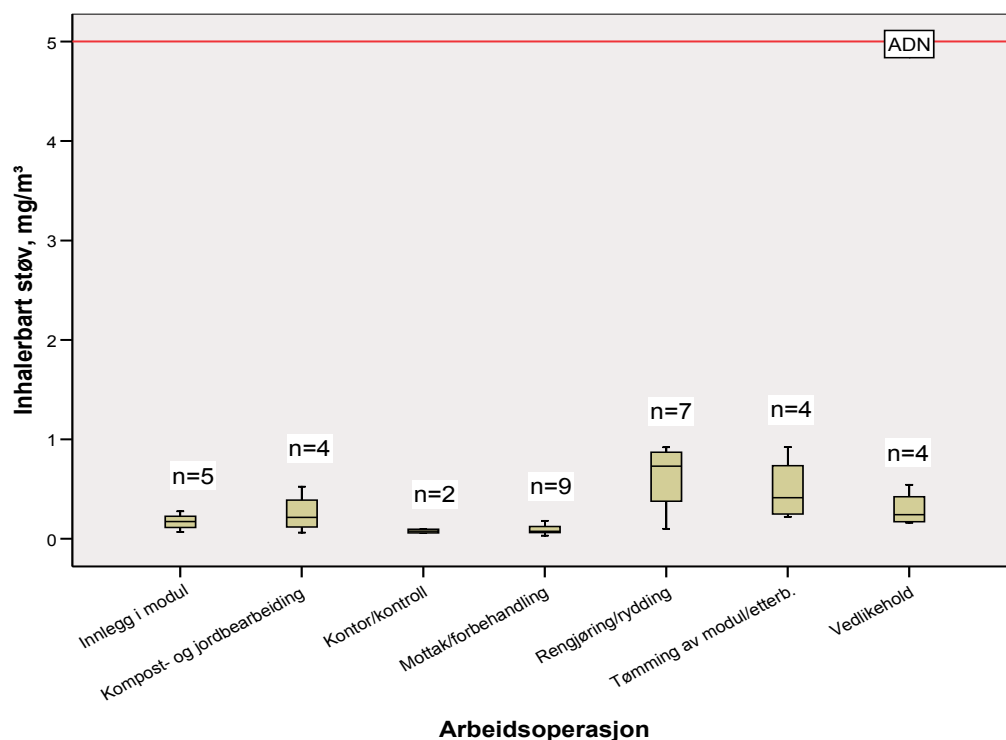
For å undersøke eksponeringsforhold ved ulike typer arbeid ved biogass- og komposteringsanlegget, ble arbeidsoppgavene fordelt i 7 ulike kategorier:

- Innlegg i moduler
- Kompost- og jordbearbeiding
- Kontor/kontroll
- Mottak/forbehandling
- Rengjøring/rydding
- Tømming av modul/etterbehandling
- Vedlikehold

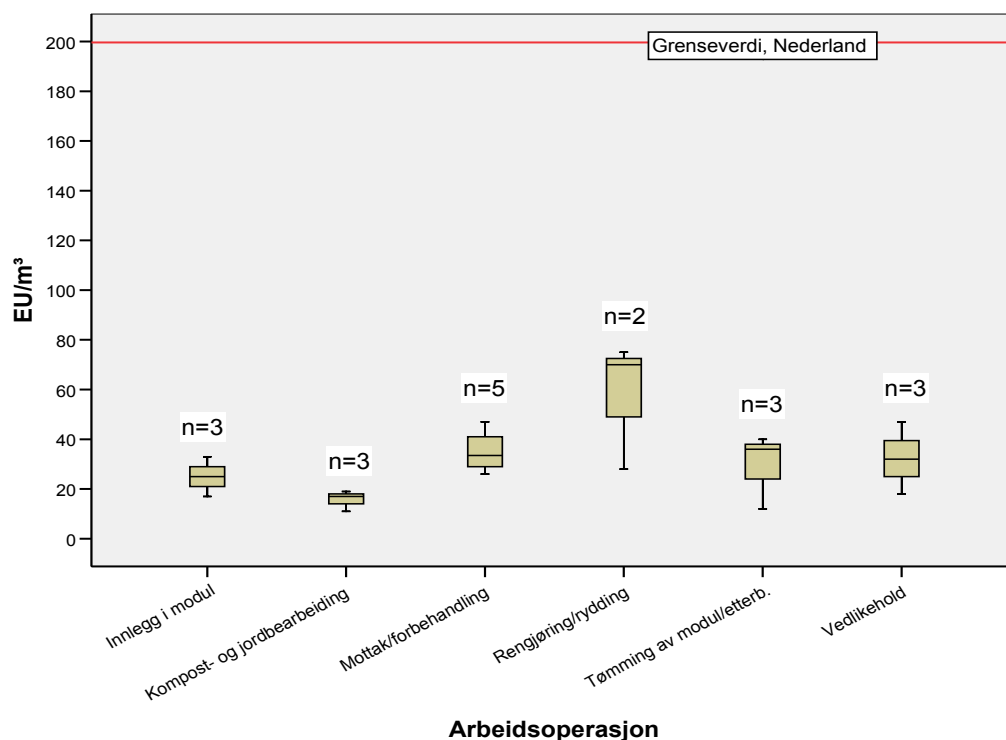
Kategoriene er inndelt på basis av oppgitte opplysninger fra spørreskjema og observasjoner gjort ute på arbeidsplassen. Overlapping av arbeidsoperasjoner kan forekomme. Resultatene er sammenfattet i figur 2 – 6. Flere arbeidsoperasjoner bidro til risiko for høy eksponering, blant annet ulike typer rengjøring, kompost-/jordbearbeiding og tømming av moduler. Høye eksponeringer forekom også typisk ved mottak av avfall.

Eksponeringsnivåene for inhalerbart støv er lave og arbeidsoperasjonene rengjøring/rydding og tømming av modul/etterarbeid viser de høyeste verdiene (median 0,4 & 0,8 mg/m³). Eksponeringen er i gjennomsnitt (median) noe lavere enn det som tidligere er observert ved komposteringsanlegg i Norge (0,03 mg/m³). For øvrig ble det ikke funnet noen korrelasjon mellom støv og de ulike biologiske agens ($r^2 \leq 0,12$).

Eksponeringsnivåene for endotoksin (figur 3) var lave og under normen for endotoksin på 200 EU/m³. Arbeidsoperasjonen med høyest eksponering var rengjøring/rydding (median 70 EU/m³). Tømming av modul/etterarbeid, mottak/forbehandling og vedlikehold hadde noe lavere eksponering. Eksponeringen for endotoksin synes generelt å være høyere ved biogass- og komposteringsanlegget enn det som er funnet for komposteringsanlegg i Norge tidligere.

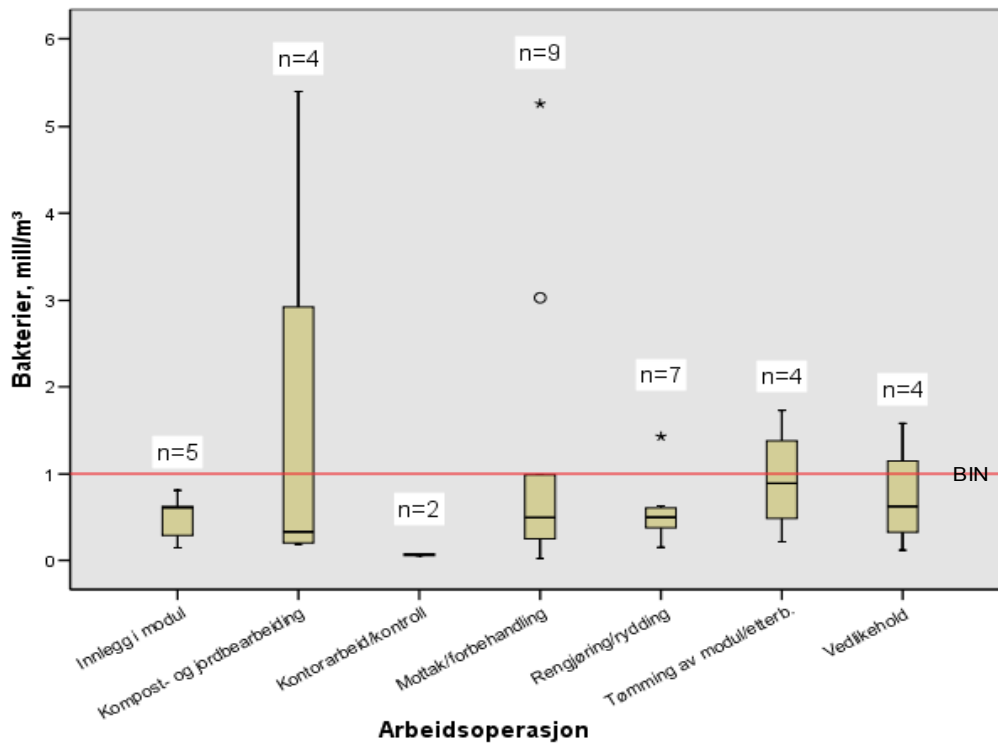


Figur 2. Eksponering for inhalerbart støv ved ulike arbeidsoperasjoner. Figuren viser median (midterste verdi), interquartil området (målinger mellom 25% og 75% av måleverdiene sortert fra høyest til lavest) og antall målinger (n). ADN er angitt som heltrukken linje.



Figur 3. Eksponering for endotoksin ved ulike arbeidsoperasjoner. Figuren viser median (midterste verdi), interquartil området (målinger mellom 25% og 75% av måleverdiene sortert fra høyest til lavest) og antall målinger (n). Den nederlandske grenseverdi er angitt som heltrukken linje.

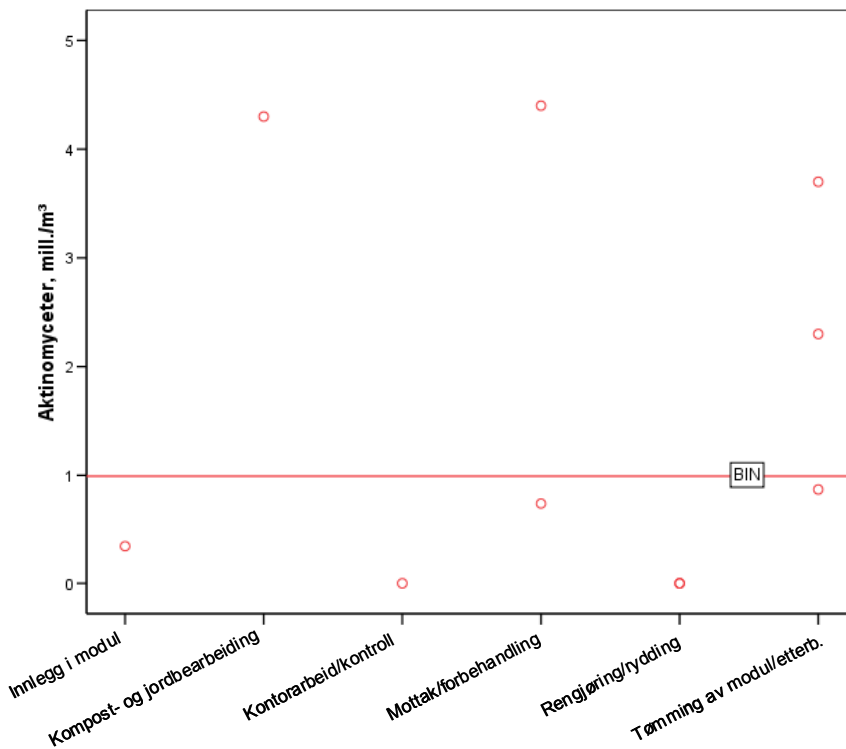
Bakterienivåene (figur 4) viser at median eksponering ligger under BIN for alle oppgaver, men enkelte høye verdier forekommer. Middelerdien ligger nær BIN. De høyeste verdiene finner man for arbeidsoperasjonene kompost- og jordbearbeiding, mottak/forbehandling og tømning av moduler/etterbehandling.



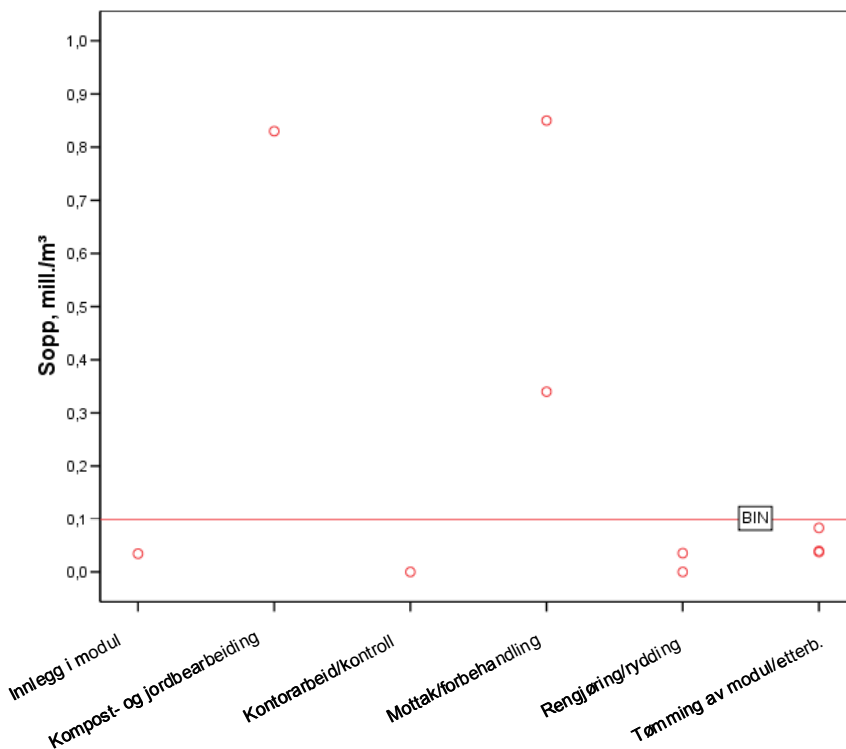
Figur 4. Eksponering for bakterier ved ulike arbeidsoperasjoner. Figuren viser median (midterste verdi), interkvartil området (målinger mellom 25% og 75% av måleverdiene sortert fra høyest til lavest), verdier som ligger utenfor dette området og antall målinger (n). BIN er angitt med heltrukken linje.

Eksponeringsnivået for actinomyceter (figur 5) er gjennomsnittlig høyere enn BIN, og for arbeidsoperasjonene kompost- og jordbearbeiding, mottak/forbehandling og tømning av moduler/etterbehandling finner man de høyeste verdiene. Disse resultatene er fra et utvalg av prøver med påvist sopp sporer, og det er derfor mulig at prøvene også er relativt høye i actinomycet nivå. Overraskende ble det ikke funnet (eller lite) verken actinomyceter eller sopp for arbeidsoperasjonen rengjøring/rydding. De to actinomycet verdiene for rengjøring/rydding ligger oppå hverandre i figuren.

Eksponering for sopp sporer ser ikke ut til å være spesielt fremtredene ved biogass- og komposteringsanlegget da det kun ble påvist sopp sporer i noen få prøver (figur 6). Eksponeringen i disse prøvene var riktig nok ganske høy og over BIN. Ikke overraskende er det arbeidsoperasjonene kompost- og jordbearbeiding og mottak/forbehandling som viser de høyeste verdiene.



Figur 5. Eksposering for actinomyceter ved ulike arbeidsoperasjoner. Enkeltobservasjoner er angitt med sirkler. BIN er angitt med heltrukken strek.



Figur 6. Eksposering for soppsporer ved ulike arbeidsoperasjoner. Enkeltobservasjoner er angitt med sirkler. BIN er angitt med heltrukken strek.

Eksponering for gasser

Eksponering for ammoniakk (vedlegg 1) ved anlegget var lavt (0,4 ppm) med arbeidsoperasjonen "innlegg i modul" med høyeste verdi (0,7 ppm). Det ble ikke registrert målbart nivå av verken formaldehyd eller dihydrogensulfid.

Karbonmonoksid (vedlegg 2 og 3) ble registrert over 2 dager for arbeidsoperasjonene mottak i hall (middel = 2,5 og 2,7 ppm) og sikting i hall (middel = 15 og 32 ppm). Karbondioksid ble undersøkt ved flere arbeidsoperasjoner (vedlegg 4). Ved rengjøring og prøvetaking ved perkolatbrønner i hall bak modulene, ble det funnet enkelte høye korttidseksponeringer, hvor prøvetaking i perkolatbrønn viste høyeste verdi (middel = 4100 ppm). Denne verdien er et nedre estimat fordi konsentrasjonen nede i brønnen gikk utenfor måleområdet for gassensoren og målingen måtte avbrytes.

Andre forhold og spørreskjema

Det var overskyet i 2 dager, fint vær 1 dag, og 2 dager med opphold til lunsj med noe regn etter lunsj i løpet av prøvetaksperioden. Dette er karakterisert som normalt for årstiden (juni). Arbeidsforholdene ble rapportert fra spørreskjema (vedlegg 5) som "bedre enn normalt" i 4 av totalt 22 rapporterte registreringer (18 %). 18 registreringer ble beskrevet som "normalt" (82 %). Det ble ikke gjort noen registreringer om arbeidsforhold med "verre enn normalt". 4 registreringer manglet av totalt 26 mulige. Fra spørreskjema ble det bare ved ett tilfelle (det vil si en prøve i løpet av en 3 timers eksponering) registrert delvis bruk av støvmaske.

DISKUSJON

Hensikten med denne undersøkelsen har vært å kartlegge eksponeringsforholdene ved Hera Vekst sitt biogass- og komposteringsanlegget for å forebygge eventuelle plager og sykdom blant arbeidere. Spesielt vil resultatene fra undersøkelsen gi informasjon om hvilke arbeidsoperasjoner som er kilde til eksponering og om de kan representere helseisiko. Resultatene fra undersøkelsen vil også være informativ for andre fremtidige/eksisterende biogass- og komposteringsanlegg i Norge og utland.

Vurdering av representativitet ved undersøkelsen

Det forekommer til en viss grad jobbrotasjon blant arbeiderne og dette innebærer at arbeiderne har mange ulike arbeidsoppgaver og at arbeidsoppgavene kan variere. Det viste seg at man gjerne utførte flere (ofte 2) arbeidsoperasjoner i løpet av en arbeidsdag og typisk var det vanlig å skifte arbeidsoppgave etter lunsj (etter halv arbeidsdag). Dette varierte med prosess og person. For å studere resultater fra arbeidsoperasjoner på en best mulig måte ble det valgt å gjennomføre 3 timers målinger før og etter lunsj. Arbeidsoperasjonen kompost- jordbearbeiding skulle ideelt vært skilt fra hverandre da eksponeringen kan variere og de er vesentlig forskjellige, men faktisk utført arbeid (i løpet av 3 timer) og få målinger gjorde det nødvendig å slå de sammen. Eksponeringer for ulike arbeidsoperasjoner ble vurdert opp mot bedriftsinterne normer (BIN) som er et effektnivå midlet over en hel arbeidsdag (8 timer). Dette betyr at eksponeringsnivåer for de enkelte arbeidsoperasjoner teoretisk kan være helt ned til 3/8 (0,38) av oppgitte verdier ved sammenligning med BIN forutsatt at de ikke har andre arbeidsoppgaver i løpet av denne dagen med samme type eksponering. Nå er det imidlertid slik at arbeiderne kan ha samme type eksponering ved andre typer arbeidsoperasjoner i løpet av arbeidsdagen og regnestykket blir da etter formelen:

$Eksponering = (C_1T_1 + C_2T_2 + \dots + C_iT_i) / 8h$ der arbeidsoperasjon (1,2...i) resulterer i konsentrasjon (C_1, C_2, \dots, C_i) med varighet (T_1, T_2, \dots, T_i) over et 8 timers skift (Arbeidstilsynets best. Nr. 450). De gjennomsnittlige verdiene for ulike agens oppgitt i tabell 1 kan sammenlignes med BIN med unntak av de forbehold som er gitt for soppspor (se resultater).

Det ble i ett tilfelle registrert delvis bruk av støvmaske og man kan derfor anta at eksponeringen er reel i denne undersøkelsen. Vanlig støvmaske kan beskytte arbeiderne opp mot $\frac{3}{4}$ av eksponeringen. Dette må det tas hensyn til ved vurdering av eksponering opp mot helseplager.

Andre forhold som er av betydning for utfall av eksponeringen er blant annet klimatologiske variable (temperatur, nedbør, fuktighet, vind, soltimer, osv.), årstid, prosessendringer, uforutsette hendelser og endring i råmaterialet. Det generelle klimaet og arbeidsforholdene i undersøkelsesperioden ble karakterisert som normalt. Det ble heller ikke rapportert om spesielle endringer i prosess.

Eksponeringsforhold

Flere arbeidsoperasjoner viste risiko for spesielt høy eksponering, blant annet, kompost-/jordbearbeiding, tømning av moduler/etterbehandling og mottak/bearbeiding av avfall. Med unntak av tømning av moduler som er en spesifikk arbeidsoperasjon ved biogass- og komposteringsanlegget så er forholdene ganske likt det man tidligere har funnet ved komposteringsanlegg i Norge (Heldal, 2006). Høye eksponeringer forekom også ved ulike typer rengjøring, men kun for støv og endotoksin. En vesentlig forskjell fra komposteringsanlegg er at vi fant få bakterier og soppspor for arbeidsoperasjonen rengjøring/rydding ved dette anlegget.

Vurdering av eksponering i forhold til ulike kriterier

Bioaerosoler

Resultatene viste at den gjennomsnittlige eksponering for sopp og bakterier ved arbeid på biogass anlegget er på nivå med eller høyere enn BIN. Flere internasjonale studier av helseforhold ved håndtering av matavfall og kompost kunne indikere at i forhold til sortering og innsamling av avfall var arbeiderne på komposteringsanleggene høyere eksponert for mikroorganismer og flere mikrobielle komponenter (Sigsgaard et al., 1994, Poulsen et al., 1995, Breum et al., 1997). Det henvises også til en litteraturstudie (Heldal, 2005). Sammenlignet med en nylig publisert gjennomgang av komposteringsanlegg i Norge (Heldal, 2006) synes de gjennomsnittlige sopp- og bakterienivåene være noe høyere ved Hera Veksts sitt anlegg. Imidlertid viste komposteringsanlegg med reaktor en høyere eksponering enn ved biogass- og komposteringsanlegget.

Eksponeringsnivået for endotoksin var generelt lavt hvor arbeidsoperasjonen rengjøring var høyest. Men også her ble det funnet høyere eksponering ved Hera Veksts sitt anlegg enn ved komposteringsanlegg (Heldal, 2006). Høyere nivå kan skyldes tilvekst av Gram-negative bakterier under hydrolyseprosessen. Høy eksponering av endotoksin er imidlertid registrert ved flere Nederlandske komposteringsanlegg (van Tongeren et al., 1997); Douwes et al. 2000).

Eksponeringsforholdene på Hera Veksts sitt anlegg viste høye nivåer av actinomyceter ($1,7 \times 10^6/m^3$) sammenlignet med BIN og med undersøkelsen av

komposteringsanlegg i Norge (Heldal, 2006). Det er imidlertid tidligere registrert høye nivåer av actinomyceiter i eksperimentelt genererte aerosoler fra kompost (Lacey, 1997; Nielsen et al., 1997; Heldal, 2000), og ved komposteringsanlegg med reaktor.

Eksponering for actinomyceiter er lite studert. Dette kan skyldes at actinomyceiter forekommer sjeldnere i arbeidsmiljøet enn soppsporer. Actinomyceiter er sporedannende Gram-positive bakterier og termofile actinomyceiter trives godt i fuktig kompost ved 30 – 60 °C. Eksponering for høye nivåer av actinomyceiter er i noen studier knyttet opp mot helseplager, blant annet hypersensitiv pneumonitt, en sjelden men alvorlig lungesykdom (Chan-Yeung et al., 1992) og ODS reaksjoner (organic dust toxic syndrome). Det er også funnet sammenheng mellom betennelsesceller (nøytrofile granulocytter) i en skyllevæske fra lungene (bronchoalveolar lavage, BAL) og eksponering for actinomyceiter, analysert som mureaminsyre (Larsson et al., 1997).

Internasjonale studier har vist at aerosolen fra kompost kan inneholde høye konsentrasjoner av soppsporer ($2-10 \times 10^6/m^3$) og spesiell høy forekomst av den termofile soppen *Aspergillus fumigatus* (Clark et al., 1983; Lacey, 1997). Eksponering (AM) for soppsporer i denne studien viste $2 \times 10^5 /m^3$ og er i overkant av et effektnivå for helseplager på 10^5 sporer/ m^3 estimert ut fra en landbruksundersøkelse (Eduard m.fl., 2002). Men eksponeringen for soppsporer kan være ca. 3 ganger lavere fordi prøver som var negative med fluorescens mikroskopi ikke ble analysert (se resultater).

Gasser

Eksponering for nedbrytningsgasser ble primært registrert med indikatorrør, og gir en indikasjon på om eksponering for gasser bør følges opp i videre undersøkelser. Det ble kun registrert ammoniakk i et fåtall av prøvene og ingen rør ga utslag på formaldehyd eller dihydrogensulfid. Ammoniakk kan også skyldes interferens med andre nitrogenholdige gasser som for eksempel alifatiske aminer. Formaldehyd ble valgt som markør for VOCer (flyktige organiske komponenter). Karbonmonoksid kan være en relevant eksponeringsfaktor ved enkelte arbeidsoperasjoner da den ene heldagsmålingen for sortering i hall viste en konsentrasjon større enn ADN. Opprinnelig var det utført flere registreringer enn angitt men disse gikk dessverre tapt på grunn av feil ved gass-sensoren. Det ble registrert enkelte høye korttidseksponeringer av karbondioksid ved prøvetaking nær perkolatbrønn (4100 ppm) og rengjøring i og rundt perkolatbrønner. Det kan være nyttig med ytterligere registreringer for å vurdere tiltak. Tiltak i forbindelse med reparasjon nede i perkolatbrønner er nødvendig da det kan være fare for liv dersom man skulle besvime. Det var ikke mulig å måle konsentrasjoner nede i brønnen da konsentrasjonen ble for høy for sensoren.

TILTAK

På grunn av at høye eksponeringsverdier kan forekomme på anlegget er overvåking av arbeidsmiljøet nødvendig. Tiltak på utsatte arbeidsplasser som kan redusere eksponeringen bør vurderes. Resultatene viste at selv om støvmengden kan være godt under administrativ norm på anlegget, kan innholdet av mikroorganismer nå helseskadelige nivåer. Det er derfor ikke tilstrekkelig å overvåke arbeidsmiljøet med kun å registrere støvmengden i arbeidsatmosfæren.

Flere generelle tiltak tilpasset arbeid ved biogass- og komposteringsanlegget kan implementeres for å redusere eksponeringen. Noen av de nevnte tiltakene kan allerede være implementert i varierende grad. Metoder med avtagende effektivitet er:

- *Å identifisere kilden til eksponering for bioaerosoler for så å eliminere eller redusere den.* Der måleverdiene overgår bedriftsinterne normer for bakterier, actinomyceter og soppsporer bør det identifiseres hvilke del av arbeidsoperasjonen eller hvilke forhold som er årsak til de høye eksponeringene. Høyest eksponering forekommer ved kompost, mottak og tømning av moduler, og her bør fokus være på hvordan arbeidet utføres og hvordan aerosoldannelsen oppstår. Bruk av feiekost og trykkluft/spyler ved rengjøring bør unngås. Sentralstøvsugere kan eventuelt benyttes. Ansamling av støv bør reduseres ved oftere rengjøring og rydding på alle deler av anlegget. Dette gjelder støv fra kompost på maskiner og i maskinhytter, i prosesshaller, rydding av kompost mellom ranker og rengjøring av arbeidsklær og sko. Det ble i flere målinger vist høye nivåer av bioaerosoler i tømning av modul. Her bør rutiner, generell rengjøring og utlufting kontrolleres.
- *Å hindre eller redusere spredning av bioaerosolen.* Dette inkluderer blant annet å bygge kilden inn, og å kontrollere den med ventilasjon. Alternativt kan renovatøren isoleres ved bruk av punktavsug. Lukkede førerhus bør brukes ved alt arbeid med kompost. Manuelt arbeid bør unngås. Førerhusene bør ha tilstrekkelig filterkapasitet eller utstyres med friskluft.
- *Verneutstyr må brukes i høyt eksponerte arbeidsoperasjoner.* Kontrollstrategier som går direkte på arbeidstakeren selv inkluderer personlig verneutstyr. Når risiko for høy eksponering for bioaerosoler foreligger, må det innføres rutiner for bruk av verneutstyr, særlig hvis arbeidstakeren blir eksponert i kortere perioder. Hvilken grad av beskyttelsesvern er avhengig av nivå på eksponeringen. Ved rengjøringsprosesser med bruk av høytrykksutstyr kan friskluftmaske brukes, vanlig papirmaske er ofte ikke tilstrekkelig. Arbeidstilsynet har følgende grunnleggende regler for hvordan man skal unngå å innånde farlige luftforurensninger under arbeidet: 1. Erstatt bruken av farlige stoffer med mindre farlige, hvis dette er mulig. 2. Hvis farlige stoffer er nødvendige å bruke, så fjern forurensningene ved ventilasjon eller andre tekniske tiltak. 3. Kan problemene ikke løses ved de ovennevnte måter, skal åndedrettsvern brukes. Dette er Arbeidstilsynets regler i forkortet form, men i prioritert rekkefølge. Se kjemikalieforskriften (best.nr. 566) §§ 7 og 8, arbeidsmiljøloven § 3-2 andre ledd, Arbeidstilsynets forskrift om bruk av verneutstyr på arbeidsplassen (best.nr. 524) og Arbeidstilsynets orientering/brosjyre åndedrettsvern (best.nr. 539).

- *Hygienetiltak.* Generelle hygienetiltak på biogass- og komposteringsanlegget bør gjennomføres. Søl eller direkte kontakt med kompost vil antagelig være vanskelig å unngå. Personlig hygiene med håndvask før røyking og spising er derfor viktig. Likeledes bør arbeidstøy og personlig tøy holdes atskilt. Ren- og skittensone bør etableres på anleggene. Bedriften bør stå for vask av arbeidstøy. Det må være mulighet for dusj på arbeidsplassen.
- Tiltak kan også inkludere en gjennomgang av organisatoriske endringer som jobbrotasjon for å redusere eksponeringstiden.
- *Opplæring av eget arbeidsmiljø.* Det er viktig at operatører har god kjennskap til prosesser på anlegget og hvordan de skal forholde seg ved spesielle arbeidsoperasjoner med tanke på eksponering, hvordan aerosoler dannes og giftige gasser produseres ved anaerobe forhold.
- *Spesielle tiltak.* Det ble registrert enkelte høye korttidseksponeringer av karbondioksid ved rengjøring/vedlikehold rundt perkolatbrønner i hall bak modul og det kan være nyttig med ytterligere registreringer for å vurdere tiltak. Tiltak i forbindelse med reparasjon nede i perkolatbrønner anses som absolutt nødvendig da det er fare for liv dersom man skulle besvime.

Oppfølging

Arbeidsmiljøet bør følges opp med periodiske målinger (hvert annet år) av mikroorganismer. Arbeidstilsynet forlanger at periodiske målinger utføres når eksponeringen er så høy at faren for overskridelse av ADN eller BIN er tilstede. Hensikten blir dermed å overvåke eksponeringen over tid. Målepunkter som er representative for eksponeringen vil være ved nevnte arbeidsoperasjoner når kilde til aerosoldannelse er kjent. For å avdekke eventuelle endringer i eksponeringen er det viktig at prøvetakingsmønsteret beholdes og at målingene utføres under like betingelser.

Eksponeringen kan holdes på lavest mulig nivå ved å gjennomføre tiltak som nevnt over. Når tiltak settes i verk, kan det være nyttig å vise til om tiltaket har effekt. Dette kan dokumenteres ved å sammenligne eksponeringsnivå før og etter tiltaket.

KONKLUSJONER

Aerosoler

Resultatene viste at eksponering for bakterier/actinomycceter var relativt høyt med gjennomsnittlige verdier i området for BIN. Eksponering for endotoksin viste lave verdier, og godt under den Nederlandske grenseverdi. Sammenlignet med en tidligere studie fra komposteringsanlegg i Norge synes den gjennomsnittlige bioaerosol eksponeringen ved Hera Veksts sitt anlegg generelt å være noe høyere, men med unntak av enkelte komposteringsanlegg (reaktoranlegg) hvor eksponeringen var høyere. Inhalerbart støv viste forøvrig lave verdier, og i underkant av det som ble funnet ved komposteringsanlegg i Norge.

Det som karakteriserte eksponeringen ved anlegget var at bioaerosolen for det meste besto av actinomycceter. Selv om det bare ble funnet noen få høye verdier for

soppsporer må en imidlertid ta i betraktning at soppsporers kan være mer potente agens enn actinomycetene sett i forhold til helseeffekter.

Ved følgende arbeidsoperasjoner var det størst risiko for høy eksponering:

- Kompost- og jordbearbeiding
- Tømming av modul/etterbehandling
- Mottak/forbehandling

Andre arbeidsoperasjoner hvor moderat eksponering ble registrert:

- Rengjøring/rydding
- Innlegg i modul

Gasser

Det ble registrert høy eksponering av karbonmonoksid ved sikting i hall. Enkelte høye kortidseksponeringer ble registrert for karbondioksid spesielt ved prøvetaking i perkolatbrønner i hall på baksida av moduler. Eksponering for ammoniakk ved anlegget var lavt. Det ble ikke registrert målbart nivå av formaldehyd og dihydrogensulfid.

LISTE OVER ULIKE KRITERIER FOR VURDERING

Eksponering for organisk støv og gasser kan vurderes mot følgende administrative normer.

Organisk støv: 5 mg/m³
Ammoniakk: 25 ppm
Karbonmonoksid: 25 ppm
Karbondioksid: 5000 ppm

Eksponering for endotoksin kan vurderes ut fra grenseverdi i Nederland.

Endotoksin: 200 EU/m³

Resultater av eksponeringsmålinger for bioaerosoler vurderes opp mot bedriftsinterne normer (BIN).

Soppsporers: 1x10⁵ /m³ for
Bakterier (kokker, staver, actinomyceter, totalmikroorganismer): 1x10⁶/m³

For vurdering av måleresultater kan likeledes Arbeidstilsynets anbefalinger brukes (AT 361 og AT 450). Overskrider gjennomsnittet av flere målinger bedriftsintern norm, må tiltak iverksettes. Overskrider gjennomsnittet ¼ av normen anbefales overvåkning av arbeidsmiljøet med periodevise målinger, og tiltak bør vurderes.

REFERANSER

Arbeidstilsynets best. Nr. 361. Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfære. 2003.

Arbeidstilsynets best. Nr. 450. Kartlegging og vurdering av eksponering for kjemiske stoffer og biologiske forurensninger i arbeidsatmosfære. 2002.

Arbeidstilsynets best. Nr. 524. Bruk av verneutstyr på arbeidsplassen. 1995.

Arbeidstilsynets best. Nr. 539. Åndedrettsvern. 2002.

Arbeidstilsynets best. Nr. 566. Vern mot eksponering for kjemikalier på arbeidsplassen (kjemikalieforskriften). 2005.

Breum NO, Würtz H, Ebbehøj N, Midtgård. Eksponering for støv og mikroorganismer på papir- og postsorteringsanlegg. Sikkerhet og sundhet ved affald og genanvendelse. Rapport nr. 15. Arbejdsmiljøinstituttet, København, 1997.

CEN (Comité Européen de Normalisation): Workplace atmospheres. Size fractions definition procedures for measurement of airborne particles (EN481). Brussels, Belgium: CEN, 1993.

Chan-Yeung M, Enarson DA, Kennedy SM. The impact of grain dust on respiratory health. *Am Rev Respir Dis* 1992;145:476-487.

Clark CS, Rylander R, Larsson L. Levels of Gram-negative bacteria, *Aspergillus fumigatus*, dust and endotoxin at compost plants. *Appl Environ Microbiol* 1983;45:1501-1505.

Douwes J, Doekes G, Montijn R et al. Measurement of $\beta(1-3)$ -glucans in the occupational and home environment with an inhibition enzyme immunoassay. *Appl Environ Microbiol* 1996;62:3176-3182.

Eduard W, Sandven P, Johansen B, Bruun R. Identification and quantification of mould spores by scanning electron microscopy (SEM): Analysis of filter samples collected in Norwegian sawmills. *Ann Occup Hyg* 1988;32:447-455.

Eduard W, Sandven P, Levy F. Exposure and serum IgG antibodies to mold spores in wood trimmers: Exposure-respons relationships with respiratory symptoms. *Appl Occup Environ* 1994;9:44-48.

Eduard W, Douwes J, Mehl R, Heederik D, Melbostad E. Short term exposure to airborne microbial agents during farm work: exposure-response relations with eye and respiratory symptoms. *Occup Environ Med* 2001;58:113-118.

Eduard W, Moe M, Drangsholt, K. Arbeidsmiljøundersøkelser ved Støleheia avfallsanlegg I forbindelse med iverksetting av Forskrift om vern av arbeidstakere mot farer ved arbeid med biologiske faktorer. Stami rapport nr. 1, 2002.

Eduard W. Fungal spores (139). The Nordic Expert Group for Criteria Documentation

of Health Risks from Chemicals. Arbete och hälsa. Arbetslivsinstitutet, Stockholm, Sverige, NR 2006:21, 2007.

Fogelmark B, Lacey J, Rylander R. Experimental allergic alveolitis after exposure to different microorganisms. *Int J Exp Path* 1991;72:387-395.

Heldal KK, 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, Nilsen H, Eduard W, Vejersted B. Kildesortering I byområder og spredt bebyggelse. SFT 1997, rapport 97-12.

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

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

Heldal KK, Eduard W: Associations between acute symptoms and bioaerosol exposure during collection of household waste. *Am J Ind Med* 2004; 46:253-260.

Heldal KK, Delrapport: Kartlegging av helseforhold ved arbeid på komposteringsanlegg. Norsk Renholdsverksforening Rapport nr. 3/2005.

Heldal KK, Resultatrapport: Kartlegging av helserisiko ved arbeids på komposteringsanlegg. Avfall Norge Rapport nr. 3/2006.

Hera Vekst, Vedlegg 1. Gjennomgang av AIKAN teknologi. 2006.

Kenny, L.C. Developments in Workplace Aerosol Sampling. *Analyst* 1996; 121: 1233-1239.

Kenny, L.C. et al., A Collaborative European Study of Personal Inhalable Aerosol Sampler Performance. *Ann. Occup. Hyg.* 1997; 41: 135-153.

Lacey J. Actinomycetes in Composts. *Ann Agric Environ Med* 1997;4:113-121.

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.

Nielsen BH, Würtz H, Breum NO, Polusen OM. Microorganisms and endotoxin in experimentally generated bioaerosols from composting household waste. *Ann Agric Environ Med* 1997a;4:159-168.

Nielsen EM, Breum NO, Nielsen BH, Würtz H, Poulsen OM, Midtgaard U. Bioaerosol exposure in waste collection: A comparative study on the significance of collection

equipment, type of waste and seasonal variation. *Ann. Occup. Hyg.* 1997b;41:325-344.

Poulsen OM, Breum NO, Ebbenhøj N, Hansen ÅM, Ivens U, van Lelieveld D, Malmros P, Matthiasen L, Nielsen BH, Nielsen EM, Schibye B, Skov T, Stenbaek E, Wilkins K. Collection of household waste: review of occupational health problems and their possible causes. *Sci Total Environment* 1995a;170: 1-19.

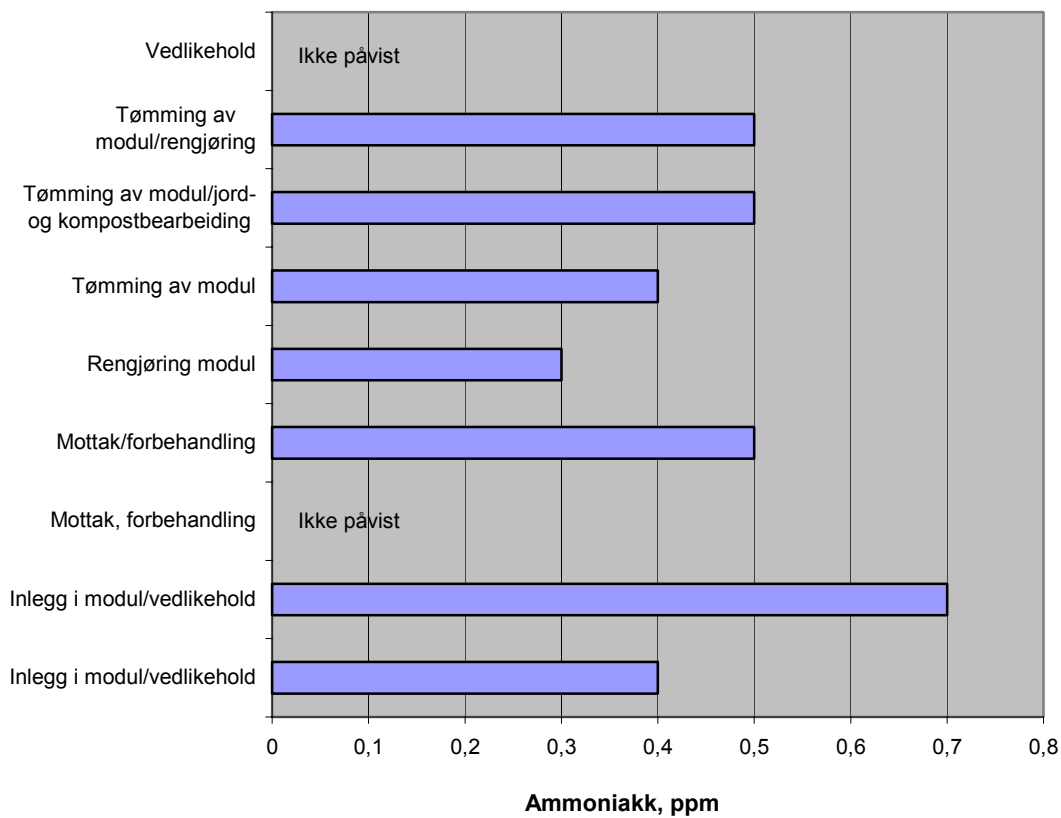
RVF Utveckling, Rapport nr 7. Metoder att mäta och reducera emissioner från system med rötning och uppgradering av biogas. 2005.

RVF Utveckling, Rapport nr 12. Organiske forurensninger i kompost og bioest. 2005.

Sigsgaard T, Malmros P, Nersting L, Petersen C. Respiratory disorders and atopy in Danish resource recovery workers. *Am J Respir Crit Care Med* 1994a;149:1407-1412.

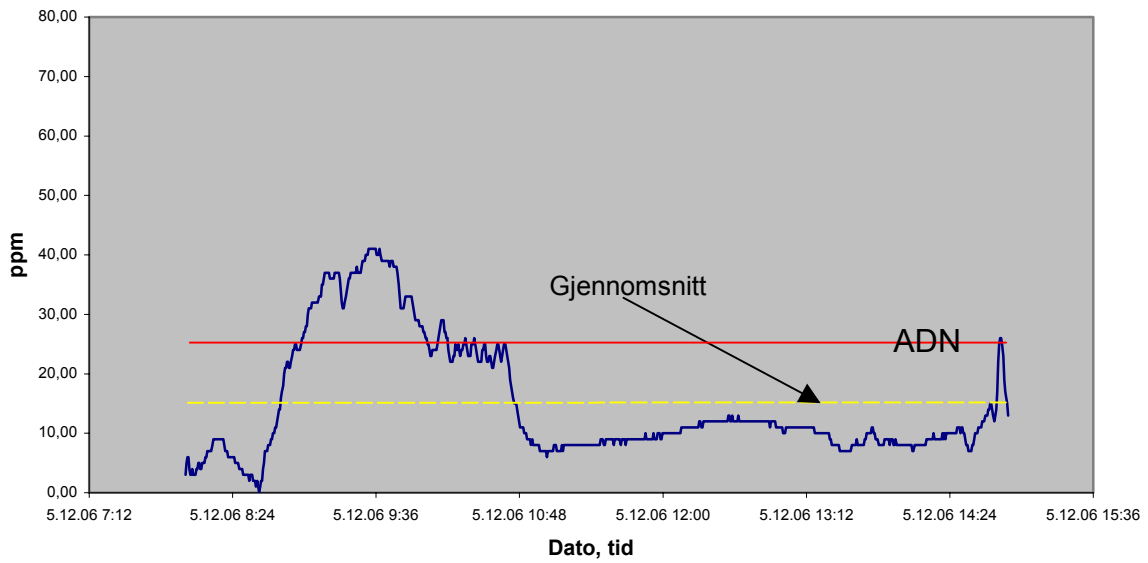
Tamura H, Arimoto Y, Tanaka S, Yoshida M, Obayashi T, Kawai T. Automated kinetic assay for endotoxin and (1→3)-β-D-glucan in human blood. *Clin Chim Acta* 1994;226:109-112.

van Tongeren M, van Amelsvoort L, Heederik D. Exposure to organic dusts, endotoxins, and microorganisms in the municipal waste industry. *Int J Occup Environ Health* 1997;3:30-36.

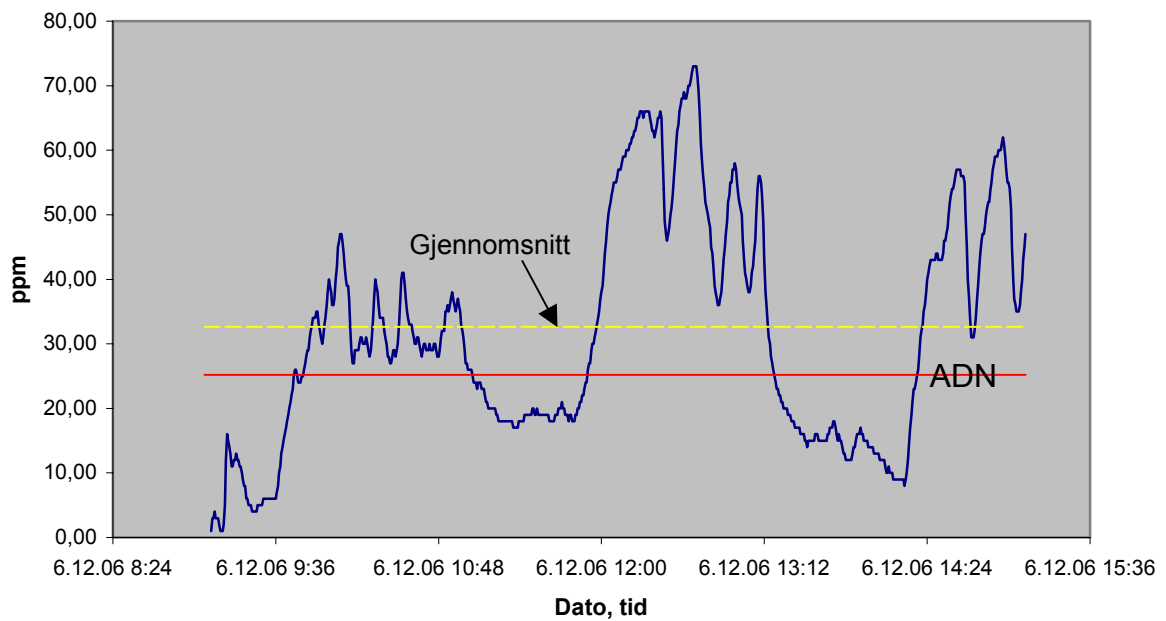


Vedlegg 1: Ammoniakk konsentrasjoner ved spesifikke arbeidsoperasjoner.

Karbonmonoksid, sikting i hall

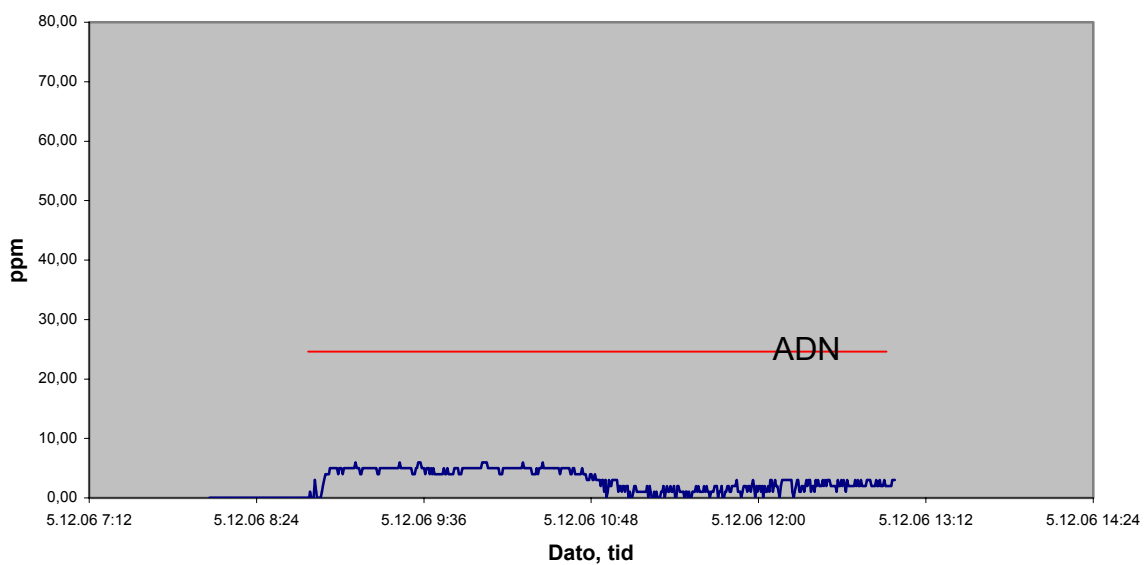


Karbonmonoksid, sikting i hall

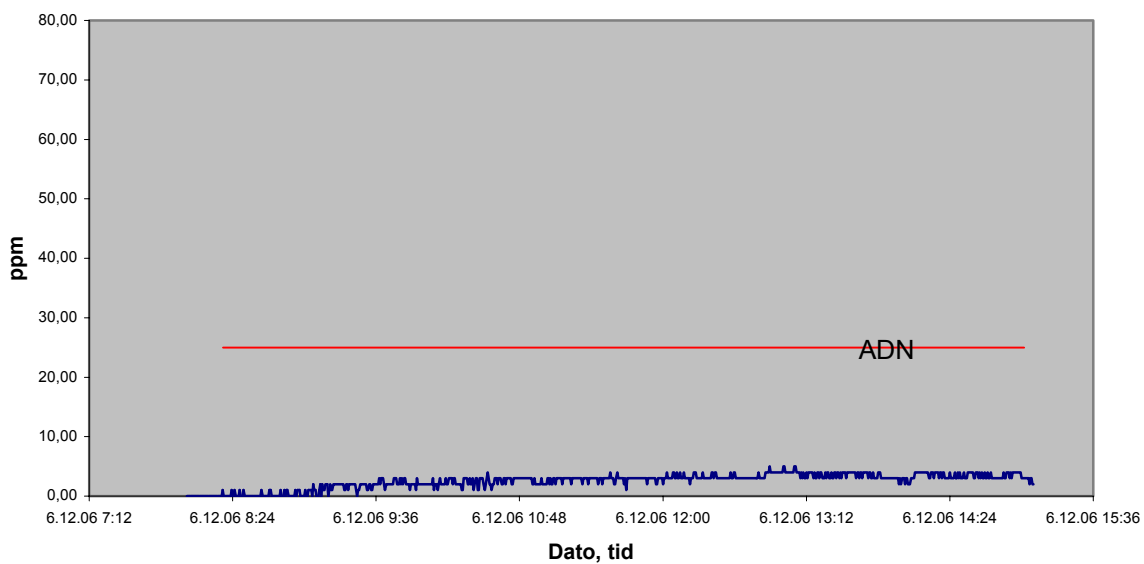


Vedlegg 2: Karbonmonoksid ved sikting i hall. Heltrukken strek indikerer administrativ norm og stiptet strek indikerer gjennomsnitt.

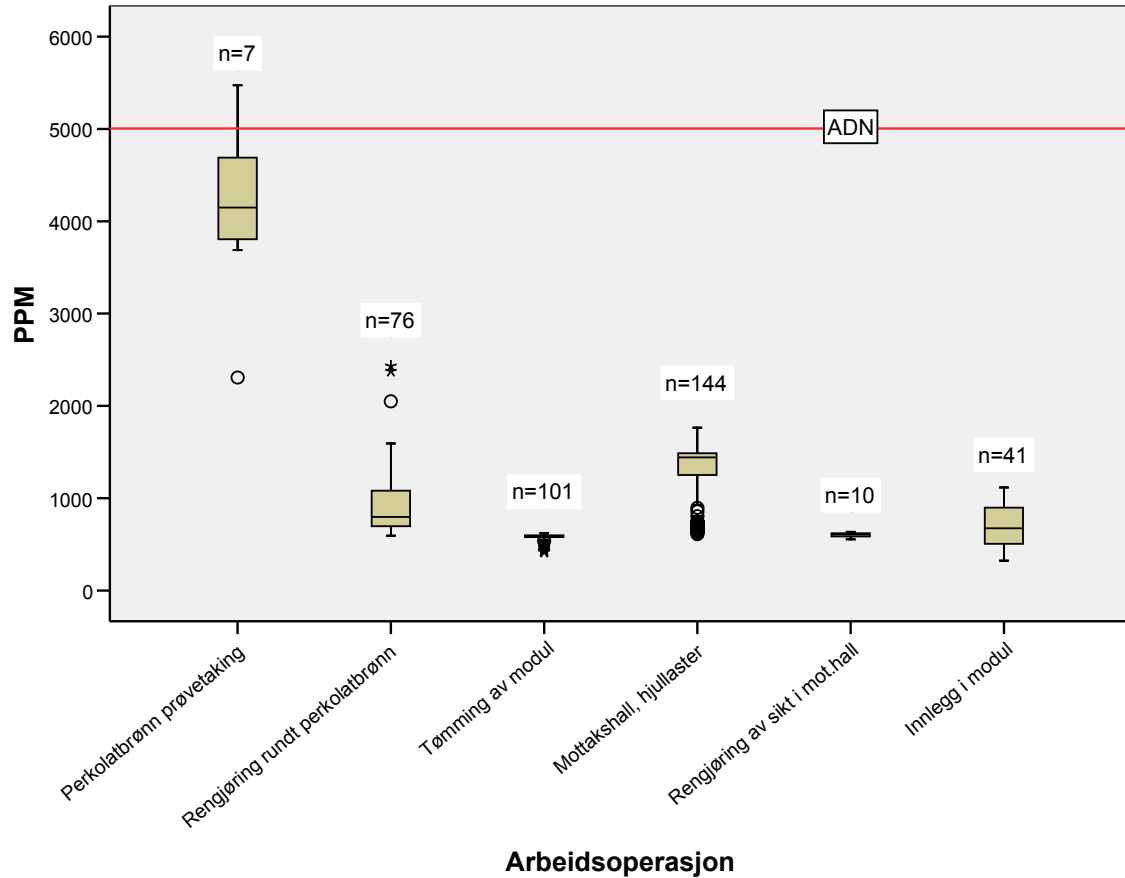
Karbonmonoksid, mottakshall



Karbonmonoksid, mottakshall



Vedlegg 3: Karbonmonoksid i mottakshall. Heltrukken strek indikerer administrativ norm.



Vedlegg 4: Karbondioksid konsentrasjoner ved utvalgte arbeidsoppgaver. Figuren viser median (midterste verdi), interkvartil området (målinger mellom 25% og 75% av måleverdiene sortert fra høyest til lavest), verdier som ligger utenfor dette området og antall 15 sekunders målinger (n). ADN er administrativ norm for 8 timers eksponering.

Prøvetakningsskjema komposteringsprosjektet

Navn: _____ Født: _____ Id.nr: _____
 Bedrift: _____ Yrkestittel: _____ Kjønn: _____
 Flowmeternr.: _____ Expo kode: _____ Dato: _____

GF filter (endoksin prøver)

Pumpe nr.	Prøve nr.	Flow start	Flow stopp	Løstid (min)	Start kl.	Stopp kl.	Tid (min)	Kommentarer
	GF							
	GF							

PC filter (sporeprøver)

Pumpe nr.	Prøve nr.	Flow start	Flow stopp	Løstid (min)	Start kl.	Stopp kl.	Tid (min)	Kommentarer
	PC							
	PC							

Gass måling

Prøve nr.	Start kl.	Stopp kl.	Avlest verdi
(NH3)			
(HCHO)			
H ₂ S			
CO			
CO ₂ temp. fukt.			

Vedlegg 5 b: Måleskjema

Sett ring rundt tallene som er relevante for dagens arbeid:

Vurdering av arbeidsforhold	
1	bedre enn normalt
2	som normalt
3	verre enn normalt

Hvor brukbar er arbeidsverktøyet?	
0	nei
1	periodevis
2	hele tiden

Spesifiser type, utstyr og ved hvilke arbeidsoppgaver	
1	periodevis
2	hele tiden

Arbeidsoperasjon	Vurdering (ring)	Arvsk forhold til normalt
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Kommentarer – spesielle ting som har skjedd i løpet av arbeidsøge	
---	--

Vedlegg 5 c: Måleskjema.

Spørsmål om symptomer og plager under arbeidet idag

FOR Å SVARE PÅ SPØRSMÅLENE VÆR VENNLIG Å VELG PASSENDE BOKS.
HVIS DU ER USIKKER PÅ SVARET, VELG "NEI".

	Ja	Nei
1a. Rennende, kløende, såre øyne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1b. Røde øyne Få ansvarlig for målingene til å se på deg!	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Nysing, tett nese, rennende nese	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Sår hals	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Hoste	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Piping i brystet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Trykk for brystet, tetthet i brystet	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Eksem /tørr hud på hendene	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Elveblest (neller, urtikaria)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Feber i tilslutning til arbeidet (evnt. med frysninger, muskelsmerter)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Oppkast og kvalme	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Slapphet og unormal tretthet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11b. <i>Hodepine</i>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Fyll ut dagen etter:		
12. Har du hatt feber anfall eller frysninger under eller etter arbeidet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Hvis ja: a) Når og hvor lenge varte anfallet?.....		
b) Hva var kroppstemperaturen din og hvordan målte du den?		
13a. Har du hatt rennende, kløende, såre øyne etter arbeidet?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13b. Har du hatt røde øyne etter arbeidet? Få noen til å se på deg!	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>