

NILU: OR 25/2002
REFERANSE: O-2175
DATO: MAI 2002
ISBN: 82-425-1361-9

**Betydningen av
luftforurensning og
inneklima for bevaring av
samlingene til statens
museer**

Jan Henriksen og Elin Dahlin

Innhold

	Side
Sammendrag	2
1 Innledning.....	3
2 Hva er luftforurensning?	3
3 Nedbrytning av materialer i museer og samlinger	4
4 Nedbrytningsfaktorer.....	4
4.1 Fukt.....	4
4.2 Temperatur	5
4.3 Lys	5
4.4 Menneskelig aktivitet	5
4.5 Biologisk nedbrytning	5
4.6 Forurensningsproblemer for museene i Norge i dag	6
5 Refleksjoner om forholdene i de inspiserte museene	12
5.1 Historisk museum, Frederiks gate, Oslo.....	12
5.2 Universitetets naturhistoriske museer, Tøyen, Oslo.....	14
5.3 Nasjonalgalleriet, Universitetsgaten, Oslo	14
5.4 Bergen museum, Harald Hårfagres gate, Bergen	14
5.5 Arkeologisk museum, Peder Klows gate, Stavanger.....	14
5.6 Ventilasjonssystemer i museer	15
6 Museumsrelaterte prosjekter ved NILU	15
6.1 IMPACT-prosjektet.....	15
6.2 MASTER-prosjektet.....	15
7 Referanser	16

Sammendrag

Som et ledd i Riksrevisjonens forvaltningsrevisjon om bevaring av samlingene til statlige museer har Norsk institutt for luftforskning (NILU) fått i oppdrag fra Riksrevisjonen å belyse virkningene av luftforurensninger.

Oppdraget har bestått i:

- En generell beskrivelse av forurensningsproblematikken i forhold til å bevare museumssamlinger, både med hensyn til ytre og indre forurensningskilder
- En uttalelse om i hvilken grad luftforurensning er et problem i forhold til langtidsoppbevaring av samlingene ved museene som omfattes av undersøkelsen.

Rapporten gis på grunnlag av NILU generelle kunnskaper om luftforurensnings-situasjonen i museer samt eventuelle resultater fra undersøkelser som har vært gjennomført i aktuelle museumsbygninger. Dette gjelder primært de museer som NIKU er i ferd med å vurdere på vegne av Riksrevisjonen. Museene som omfattes av NIKUs undersøkelse er: Nasjonalgalleriet, kulturhistorisk og naturhistoriske samlinger ved Universitetet i Oslo, Bergen Museum og Arkeologisk museum i Stavanger.

Generelt kan en si at ved dagens situasjon i Norge, så gir forurensningene utenfra et mindre bidrag til nedbrytning av materialer i museet enn kildene en har inne. Nedbrytningen kan være betydelig i montre hvis ikke konstruksjonen er god og hvis en bruker materialer som avgir korrosive gasser. Besøkende til samlingene kan ha betydning for oppbevaringen av gjenstandene. Det er dokumentert en klar økning av NH₃-konsentrasjonen i et museum med økende antall besøk.

Betydningen av luftforurensning og inneluft for bevaring av samlingene til statens museer

1 Innledning

Som et ledd i Riksrevisjonens forvaltningsrevisjon om bevaring av samlingene til statlige museer har Norsk institutt for luftforskning (NILU) fått i oppdrag fra Riksrevisjonen å belyse virkningene av luftforurensninger.

Oppdraget skal bestå i følgende:

- En generell beskrivelse av forurensningsproblematikken i forhold til å bevare museumssamlinger, både med hensyn til ytre og indre forurensningskilder. Beskrivelsen må omfatte virkninger av forurensninger på ulike materialtyper.
- En uttalelse om i hvilken grad luftforurensning er et problem i forhold til langtidsoppbevaring av samlingene ved museene som omfattes av undersøkelsen. Denne gis på grunnlag av undersøkelser NILU har gjennomført i aktuelle museumsbygninger samt generelle kunnskaper om luftforurensningssituasjonen rundt museene som omfattes av feltundersøkelsen som NIKU er i ferd med å gjennomføre på vegne av Riksrevisjonen. Museene som omfattes av NIKUs undersøkelse er: Nasjonalgalleriet, kulturhistorisk og naturhistoriske samlinger ved Universitetet i Oslo, Bergen Museum og Arkeologisk museum i Stavanger.

NILUs redegjørelse forutsettes å inngå som tillegg til NIKUs rapport.

2 Hva er luftforurensning?

Med luftforurensning forstås en som oftest de gasser og partikler som har negativ effekt på helse og miljø og som er skapt ved menneskelig aktivitet også kalt antropogen forurensning. Fordelen ved denne avgrensningen er at kildene kan lokaliseres og det er mulig å gjøre tiltak for å redusere eller fjerne kilden.

For materialer er det mer fruktbart å definere luftforurensninger som de gasser og partikler som kan forringe materialenes tilstand og redusere levetiden. Det betyr at en øker innholdet til også å innbefatte naturlige kilder som ellers ikke regnes som negative for miljøet. En slik naturlig kilde som har stor betydning i Norge er sjøsalt.

Det er vanlig å beskrive forurensningene som utendørs eller innendørs ut fra hvor en finner kildene. Utslipp fra industri og fyring var i mange generasjoner de dominerende utendørs kildene. I Norge i dag har en gjort mye for å redusere disse utslippene. Biltrafikken og annen transport har derimot fått større betydning for forurensning av utemiljøet. Innendørs kilder har ofte en annen sammensetning av gasser som påvirker museumsgjenstandene lokalt. Trevirke kan avgi organiske syrer som eddiksyre og maursyre. PVC i det elektriske anlegget kan avgi saltsyre,

mennesker puster ut både karbondioksid (CO₂) og ammoniakk (NH₃) og kopieringsmaskiner og printere kan gi ozon (O₃).

3 Nedbrytning av materialer i museer og samlinger

De fleste materialer brytes langsomt ned på grunn av naturlige faktorer som lys, fukt og temperatur, men nedbrytningen akselereres for mange materialers vedkommende av ulike former for luftforurensning. Forurensningskildene utendørs kan ofte være en kombinasjon av utslipp fra andre land og lokale kilder som industri, trafikk og fyringsanlegg. Innendørs kan forurensningskildene blant annet være avgassing fra ulike typer materialer og produkter. I tillegg kommer ulike former for biologiske nedbrytningsmekanismer samt menneskelig aktivitet. Disse faktorene danner til sammen det vi kan betegne som miljøbelastning som påvirker kulturminnene i museer og samlinger i større eller mindre grad.

4 Nedbrytningsfaktorer

En oversikt over mulige nedbrytningsfaktorer for gjenstander i et museum kan aldri bli komplett. Det er flere gode bøker og publikasjoner på markedet som omhandler nedbrytning av museumsgjenstander og tiltak mot dette (Thomson, 1986, Cassar, 1995 og Fjæstad, 1999). I den følgende oversikten har en forsøkt å ta med informasjon om de viktigste faktorene som en mener har betydning for dagens museer i Norge samt om hvilke belastninger som kan ha vært av betydning i tidligere tider:

- Fukt
- Temperatur
- Lys
- Menneskelige aktiviteter
- Biologisk nedbrytning
- Forurensninger av gasser og partikler

4.1 Fukt

Både biologisk nedbrytning av organisk materiale og korrosjon av metall trenger fuktighet. anbefalte grenser for å hindre korrosjon på metaller er å holde fuktigheten under 50% relativ fuktighet. anbefalt grense for organisk materiale er 40-65%. I oppvarmede museer i Norge er det større risiko for at luften blir for tørr vinterstid enn at den blir for fuktig sommerstid. Ved lav relativ fuktighet tørker tre, dimensjonene forandres og treet sprekker opp. Tekstiler og fibre blir sprø og faller fra hverandre. Enkelte typer befuktere kan skape problemer og øke risikoen for muggsopp. Generelt er det større mulighet for problemer hvis befukteren danner små vanndråper (aerosoler) enn de som baserer seg på damp.

Arkeologisk materialer av jern som er på museer kan være svært følsomme for fuktighetsforandringer da de gjerne inneholder salter som tar opp og avgir vanndamp ved ulike relative fuktigheter. Dette gir indre spenninger i materialet som kan gjøre at materialet sprekker opp i mindre deler.

4.2 Temperatur

De fleste nedbrytningsprosessene øker med temperaturen, men innenfor det temperaturområdet som en normalt har i et museum vil ikke temperatur være et stort nedbrytningsproblem. Temperaturen betyr derimot mye for den relative fuktigheten en får i lokalet. Ved uheldig plassering av varmeovner kan en få høy temperatur og lav fuktighet lokalt på enkelte gjenstander. Om vinteren kan en få lokalt nedkjøling av luften med forhøyet fuktighet og kondens på kalde flater, eksempelvis nær store vinduer. I magasiner uten oppvarming kan det være store sesongvariasjoner. Hvis fuktigheten holdes innenfor anbefalte grenser er virkningen av sesongsvingningene liten. Det er betydelig større risiko for skader ved store temperatursvingninger over døgnet. Dette er gjerne et problem i svært enkle uisolerte lager som følger utetemperaturen.

4.3 Lys

Det er spesielt den ultrafiolette (UV) delen av lyset som bryter ned organiske materialer. De fleste museer har gode rutiner for å redusere denne virkningen. Vinduer som får sollys har skjerming mot direkte lys selv om deler av UV strålene slipper dårlig gjennom glass. Infrarødt lys går gjennom glass og vil gi lokal oppvarming. Det er satt krav til bruk av lys i utstillingsrom og montre i museer og hvis disse følger er lysproblemet minimalt (Thomson, 1986).

4.4 Menneskelig aktivitet

Ved siden av de problemer som slitasje og vandalisme kan skape i et museum, er det andre forurensningsproblemer som følger menneskelige aktiviteter. Mennesker genererer mye støv. Klær avgir fibre og menneskene hudfragmenter (flass). Når folk kommer inn fra gaten drar de med seg støv. Om vinteren salter en ofte gater og fortau og saltpartikler kommer med de besøkende. Videre avgir eller puster mennesker ut gasser som forandrer luftens sammensetning. I lokaler med mange mennesker er det økte mengder av karbondioksid (CO_2), ammoniakk (NH_3), sulfider som hydrogensulfid (H_2S) og flyktige organiske forbindelser (VOC). Er det kontorer til de ansatte i forbindelse med museet får en mye papirfibre i luften. Kopieringsmaskinene avgir ozon (O_3) og røykerom VOC.

Selv om konservatorer som oftest bruker hansker når de behandler gjenstandene, så kan fingeravtrykk bli et problem for museumsgjenstander ut i utstillingen. Mennesker som berører gjenstandene kan gi avsetninger på mer enn 10 µg klorid/m² på overflaten, spesielt hvis de svetter på hånden.

4.5 Biologisk nedbrytning

Biologisk angrep er mest vanlig på organiske materialer. På museumsgjenstander er det muggsopper som kan skape problemer. Muggsoppangrep oppstår ved høy fuktighet som ved for eksempel oversvømmelse og kan gjøre stor skade på enkelte materialtyper (Fjæstad, 1999). I magasiner hvor en har lagret mye materiale tett, kan det være vanskelig å tilstrekkelig ettersyn. En skal være spesielt oppmerksom på om en får mugglukst i magasinet. I Norge er råte på kulturhistoriske bygninger av tre et problem som en må ta alvorlig. For å starte et angrep må vannmengden i treet være nær fibermetningspunktet på 28%. (Det vil si 28 g vann per 100g tørt tre og ikke 28% relativ fuktighet i luften). Når soppen

har startet å vokse, kan den gro videre ved lavere fuktinnhold. Noen sopptyper vokser med så lite vanninnhold i treet som 15-18%, mens andre trenger 23%.

4.6 Forurensningsproblemer for museene i Norge i dag

De fleste forurensninger som påvirker materialer er enkle kjemiske forbindelser som først blir betraktet som et problem når de overskrider enkelte grenser. Det er ofte stor forskjell på de forurensningene som skaper problemer utendørs og de en må ta hensyn til inne. De grenseverdiene som det vil bli referert til er hentet fra en publikasjon "Guidelines on Pollution Control in Museum Buildings" (Blades et al., 2000). Der en ikke har hatt grenseverdier for museumsgjenstander har en referert til anbefalte grenser for elektronikkindustrien (Henriksen et al., 1991).

CO₂, (karbondioksid). Av luftens vanlige gasser er det i historisk og forurensningsmessig sammenheng størst interesse for CO₂. CO₂-nivået i luften har vært lavere i tidligere tider; ca 0.028 %. Etter at en begynte å bruke fossilt brensel på 1800 tallet har mengden økt og er i dag på ca 0.036 %. Denne økningen er en viktig faktor i dagens diskusjon om klimaendringer.

Innendørs vil CO₂ konsentrasjonen øke når mange mennesker er samlet på samme sted. Økt CO₂ konsentrasjon gir dårlig inn klima for mennesker og dårlig arbeidsforhold for ansatte, men har vanligvis liten innvirkning på gjenstandene som utstilles. CO₂ kan reagere med fuktige kalkholdige materialer som i freskomalerier. Det mest kjente CO₂ problemet i Europa er imidlertid risikoen for nedbrytning av hulemalerier, på grunn av det høye antall turister øker CO₂-mengden i luften i hulene. De hulemaleriene som vi har i Norge vil kunne få samme problem, hvis en får en kraftig økning av turister til hulene.

SO₂, (svoveldioksid) er den forurensningen som er mest studert gjennom tiden. Det er flere kilder for SO₂ i et moderne samfunn. Etter annen verdenskrig ble billig svovelholdig olje brukt til fyring i boligblokker og i industrien. På slutten av 1950 tallet og begynnelsen av 1960 tallet var Oslo en av de mest forurensede byene i Europa. Krav fra myndighetene og bedre teknologi har medført at disse forurensningene blitt meget små.

I dagens situasjon er det utslipp fra enkelte prosessindustrier som er de største. Mange malmer består av sulfider, eksempelvis kobber- og nikkelsulfid. Ved produksjon av metallet brennes svovelet vekk (røsting), og drives av som SO₂. Papirindustrien er en annen slik forurensningskilde. Ved produksjon av papir med sulfittprosessen brukes SO₂-gass for å lage papir. Andre industrier som kan ha utslipp av SO₂ er petrokjemisk industri, fiskeriindustrien og søppel-forbrenningsanlegg.

I de større byer i Norge er SO₂ nivået i dag lavt, som regel godt under 10µg/m³. SO₂ reagerer lett med bygningsmaterialer og en regner med at innkonsentrasjonen av SO₂ er mindre enn 50% av utekonsentrasjonen. SO₂ er derfor ikke et stort forurensningsproblem for de fleste norske museer i dag. For enkelte gjenstander som gamle bøker med skinninnbinding er anbefalt grense så lav at en kan komme over grensen i perioder om vinteren. Lokale museer i nærheten av større industrianlegg kan ha større problemer. Eksempelvis måles det

periodevis utekonsentrasjoner på mer enn $100\mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ved Borgarsyssel museum i Sarpsborg.

I en god monter skal nivået av SO_2 være lavt, siden det skal være minimal utskifting av luft mellom rom og monter.

SO_2 er sur og vil reagere med alle alkaliske materialer som kalkstein, kalkholdig sandstein, marmor, kalkpuss og freskoer. De fleste bruksmetaller reagerer med SO_2 . Både stål, sink, kobber og bronse er følsomme. Derimot er aluminium ganske stabilt i surt SO_2 -miljø, selv om den ofte får en lite dekorativ farge. Trematerialer står godt i SO_2 -rik atmosfære, da SO_2 hindrer soppvekst på overflatene. Selv om trematerialer står godt i SO_2 -rik atmosfære, så skades skogen av SO_2 .

Materialer som består av cellulose blir også skadet av SO_2 . Dette gjelder både papir, bomull, lin og fargestoffer for tekstiler. Fotografiske materialer er følsomt for SO_2 , dette gjelder spesielt for eldre materiale.

NO_x , (nitrogenoksider) dannes ved alle forbrenninger ved at nitrogen reagerer med oksygen ved høy temperatur. Utslippene av NO_x i de større byene i Norge skyldes primært biltrafikken. Nitrogenoksidene er ikke en bestemt kjemisk forbindelse, men en gruppe av nært beslektede forbindelser. I bileksosen er det tilnærmet 100% NO (nitrogenoksid) som slippes ut. Nitrogenoksid reagerer med ozon (O_3) i luften og danner NO_2 (nitrogendioksid). Hvis en har tilstrekkelig ozon, vil all nitrogenoksid omdannes. I motsetning til svovel hvor en har hatt store konsentrerte utslipp, har en her veldig mange små utslipp hvor rensingen av gass blir mer komplisert. To- og treveis katalysator er innført for bensindrevne biler og dette har ført til en bedring av NO_x nivået, men ikke av NO_2 som er den nitrogenkomponenten som betyr mest for nedbrytning av materialer. Byer som har omgivelser som gjør at en i perioder kan få inversjon (kald stille luft ved bakken og varm luft over byen) vil kunne få perioder med høy forurensning. Både Oslo, Trondheim og Bergen har en topografi som gjør at en kan få inversjoner.

Det er mindre forskjell på NO_2 -nivået ute og inne enn for SO_2 . Dette skyldes at NO_2 reagerer mindre med materialer i et bygg. Den anbefalte grensen for NO_2 i museer er at nivået skal være lavere enn $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Denne grensen vil bli overskredet i de fleste museer i byer i dag hvis en ikke har kjemisk rensing av luften inn til bygningen. I lukkede monterer uten luftskifting vil NO_2 -konsentrasjonene bli meget lave.

NO_2 er en gass som alene ikke har så stor nedbrytende effekt. Et unntak er kobber og bronse som brytes ned raskere av NO_2 enn av SO_2 . NO_2 kan også angripe fargestoffet i tekstiler, redusere styrken til tekstiler og angripe fotografisk materialer. I blanding med O_3 blir NO_2 betydelig mer aggressiv. Dette skyldes at O_3 er et så sterkt oksidasjonsmiddel at NO_2 omdannes til salpetersyre som er svært reaktiv. Denne reaksjonen ble først registrert i Middelhavslandene, hvor O_3 -dannelsen er meget stor og forurensingen er generelt høy. Hvor stort dette problemet er i Nord-Europa er vanskelig å si i dag.

O₃, (ozon) dannes i atmosfæren ved reaksjoner mellom oksygen, nitrogenoksider og flyktige organiske forbindelser (VOC) under påvirkning av sollys. NO_x og VOC er forbindelser som kommer fra biltrafikk. Utslipp fra biler har derfor tosidig virkning. I byer og langs veier med stor biltetthet vil O₃-nivået synke på grunn av at O₃ reagerer med NO i eksosen, mens nivået vil stige i områdene rundt på grunn av VOC og NO₂. O₃ nivået er derfor større i byenes utkant og i landlige områder enn i sentrum av byene.

Ozon reagerer raskt med de fleste materialer. Uten innedørs kilder vil derfor ozonnivået i naturlig ventilerte museer være tilnærmet lik 0. Øker en luftutskiftingen med bruk av et ventilasjonsanlegg så øker muligheten til at en får ozon inn i museet. Det finnes mulige ozonkilder innedørs som kan gi lokalt betydelige konsentrasjoner. Områdene som en skal være oppmerksom på er der en har sterkt lys. Kopieringsmaskiner og laserskriver er derfor viktige kilder til ozondannelse.

Ozon er spesielt aggressivt for bøker, tekstiler og annet organisk materiale og grenseverdien som er foreslått er derfor satt til 0.

H₂S, (hydrogensulfid) har både innedørs og utendørs kilder. De store utendørskildene finner en i forbindelse med papirproduksjon (sulfatpapir). Dette er den mest vanlige prosessen for produksjon av papir. I Norge kjenner en dette ofte som "Mosselukt". Andre kilder er landbruk og oljeraffinerier. I trafikken kjenner en den samme lukten bak en bil med katalysator. Selv med den store bilparken en har, er den totale mengden fra biler liten. Hydrogensulfid er en gass som en kan lukte i meget små konsentrasjoner og det er bare i nærheten av store papirindustrieanlegg og ved store dyrebesetninger at en måler høye konsentrasjoner: 20-50 µg/m³.

Mange forråtnelsesprosesser i naturen samt kloakk gir utslipp av H₂S. Dette betyr mulighet for lokale kilder ved avfallsdeponier og kloakkanlegg. Vulkansk aktivitet er en annen kilde. Det finnes lokale områder med store naturlige utslipp, slik som store myrområder, varme kilder og vulkaner. Karbonylsulfid er en naturlig gass i atmosfæren som en antar kan ha betydning for levetiden til sølv. Den finnes i naturen i konsentrasjonsmengder på 1µg/m³. Det er økt interesse for hva denne gassen betyr for reaksjonene i atmosfæren og på materialer.

I innemiljø kan en få ekstra utslipp fra kloakk i de tilfeller hvor en har sluk i gulvet som er lite brukt. Hvis vannet i vannlåsen tørker inn så vil en ha en åpning til kloakksystemet. Menneskelige aktiviteter kan også gi hydrogensulfid eller andre organiske sulfider.

Innedørs er det sjelden at konsentrasjonen er større enn 1-3 µg/m³. Det er ikke satt noen nedre grense for museumsgjenstander, men for elektronikkutstyr som er følsomt overfor H₂S er det satt en grense ved 3 µg/m³. Hvis denne grensen blir fulgt så er det bare nær en større utendørs kilde en kan få problemer. Normalt vil en ligge betydelig under denne grensen.

H₂S angriper til en viss grad flere materialer, men det er spesielt for sølv og kobber at nedbrytningen er viktig. Spesielt sølv blir sort og stygt og selv om

belegget er tynt, ønsker en ikke at sølvet skal se slik ut. Et spesielt fenomen ved reaksjonen mellom sølv og H_2S er at den ikke er avhengig av fuktighet. Reaksjonen går nesten like godt ved veldig lav fuktighet som ved høy. Dette er ikke tilfelle for kobber hvor nedbrytningen øker med fuktigheten.

Cl_2 , (klorgass) og andre klorholdige gasser som hypokloritt er svært reaktive. Disse finner en som blekemidler i papirindustrien og som prosessutslipp ved magnesium og titanproduksjon og ved PVC produksjon. Flere vaskemidler inneholder også klor.

Utslipp fra industri reagerer raskt med andre stoffer i luften og vil normalt bli redusert til små konsentrasjoner i kort avstand fra fabrikk. Utendørs kilder har derfor liten betydning for innemiljøet.

Inne kan en ha lokale problemer, hvis en bruker store mengder klorholdige kjemikalier i små rom. Det er ikke satt noen grense for Cl_2 i museer, men innen elektronikkindustrien er grensen satt til mindre enn $1 \mu g/m^3$. Klorholdige vaske-midler bør derfor unngås i museer.

Klorgass angriper organiske materialer på samme måte som ozon. Den er mer reaktiv overfor metaller enn ozon er. Klorgass vil omdannes til klorid og saltsyre i surt miljø. Cl_2 angriper de fleste metaller og kalkholdige steintyper.

NH_3 og NH_4^+ , (ammoniakk og ammoniumsalter) finnes lokalt i store mengder innen landbruket. Industrielt finner en det ved produksjon av gjødsel. Ellers er det ved spredning av gjødsel en kan ha store konsentrasjoner. Med dagens situasjon hvor spredning av tynn gjødsel i vekstsesongen og sent på høsten er en vanlig gjødslingsform kan en hel dal få høye konsentrasjoner (Hanssen et al., 1993). Nær kildene kan en få konsentrasjoner opptil $3000 \mu g/m^3$, mens en i de fleste tilfellene ligger konsentrasjonen under $20 \mu g/m^3$.

NH_3 og NH_4^+ kommer ofte fra samme kilder som sulfider, og i dyrestaller kan nivåene bli svært høye. Som salter får en et godt tilskudd av ammoniumsalter ved langtransporterte forurensninger. Den vesentlige mengden av sur nedbør når Norge som ammoniumsulfat. Ammoniakk er en naturlig del av kroppslukten og kan nå høye konsentrasjoner der mange mennesker er samlet innendørs. Svært mange vaskemidler inneholder også NH_3 .

I museer er det spesielt enkelte metaller som kobber, messing og bronse som angripes. Enkelte messinglegeringer kan sprekke på grunn av spenningskorrosjon. Dessuten vil ammoniumforbindelser øke muligheten til biologisk aktivitet. Saltene er ofte svært hygroskopiske og øker risikoen for korrosjon. I museene har en ikke satt noen grense for NH_3 . I elektronikksammenheng er det en nedre grense på $10 \mu g/m^3$. Normalt vil det ikke være noen problemer å holde seg under denne grensen.

Sterke syrer finnes i mange tekniske industrier som galvaniseringsindustrien og ved aluminiumproduksjon. I aluminiumindustrien er det flussyre HF som er forurensende. I andre industrier er det saltsyre HCl , salpetersyre HNO_3 og svovelsyre H_2SO_4 som er de meste vanlige. De største utslippene i Norge står

aluminiumsindustrien for. I løpet av de siste tyve årene er det gjort betydelige tiltak i industrien for å redusere utslipp av sterke syrer.

Sterke syrer reagerer raskt med andre stoffer og konsentrasjonen synker derfor raskt når en fjerner seg fra kilden. I kystnære strøk med sjøsalt i luften og ved forekomst av sure gasser som SO_2 , vil en få en omdannelse av de små sjøsaltdråpene til dråper med saltsyre. I strekt oksiderende miljø kan en få oksydert nitrogenoksid til salpetersyre. Det er rapportert om slike målinger spesielt i indre deler av Middelhavet.

Der det finnes PVC-belagte kabler kan det ved brann dannes saltsyre ved forbrenning og slokking. I bygninger med ventilasjon og kabelgater, kan saltsyre spres over et stort område under brannen.

Sterke syrer reagerer raskt med de fleste materialer i utemiljøet og utendørs kilder har derfor liten betydning for nivået i museene. I museene kan syrer brukes ved konserveringsarbeid og dette kan gi lokale problemer hvis en ikke har gode arbeidsrutiner for arbeid med disse syrene. Ved normal bruk bør ikke syrene gi problemer i museer.

Sterke syrer angriper svært mange materialer. Flusssyre angriper også glass, porselen og keramikk.

Organiske syrer er normalt et innendørs problem. De fleste treslag inneholder maursyre og/eller eddiksyre i mer eller mindre grad. Eksotiske treslag har gjerne mer utslipp av syrer enn norske tresorter. I museumssammenheng er dette ofte et problem der en enten stiller ut mange tregjenstander eller der montrene er bygd av tre og glass.

Maursyre er mye brukt som konserveringsmiddel ved bruk av silofor for husdyr. Moderne vannbaserte malinger inneholder gjerne organiske syrer som avgis under tørkingen.

I uteluft finner en bare ubetydelige mengder med maursyre og eddiksyre. Innendørs kan en finne opp til $60\mu\text{g}/\text{m}^3$, mens en i monterer uten lufting kan observere opp mot $2000\mu\text{g}/\text{m}^3$. I monterer med høye konsentrasjoner, ligger en langt over en forsvarlig grense for materialer som er følsom overfor sure gasser. Selv $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ er over hva en bør akseptere i et museum. Det er imidlertid få undersøkelser om virkningen av organiske syrer i museer og en grense er ikke fastsatt.

Selv om pH for organiske syrer gjerne er en til to pH-enheter høyere enn de sterke syrene så er de likevel sure nok til å angripe de samme materialene. Bly reagerer spesielt kraftig med organiske syrer og vil bli omdannet til blykarbonat. Organiske syrer vil på grunn av sin sure karakter angripe mange av de samme materialene som SO_2 .

Cl⁻ (klorid) er det vanligste element i naturlige salter. I Norge er den naturlige kilden sjøvann. Bortsett fra den aller nærmeste kystlinjen med sjøsprøyt og store dråper så finner en klorider som meget små væskedråper (aerosoler) i luften.

Under gunstige forhold kan disse transporteres langt innover land. Aerosolene avsetter seg lett på flater og selv en glissen skog vil kunne redusere mengden betraktelig. Vegetasjon og topografi er derfor viktige forhold som en må vurdere for å få en oversikt over hvor stort problem en har på et sted.

I byene er salting av veier en betydelig forurensningskilde for klorid vinterstid. På grusveier brukes ofte kalsiumklorid for å binde støv om sommeren. Salter med klorid er gjerne hygroskopiske og vil angripe materialer selv ved lav fuktighet.

Siden klorider avsettes på alle overflater er det lite av utekonsentrasjonen som kommer inn via luften. Risikoen er større for at mennesker tar det med seg inn via klær og skotøy. Store mengder klorid innendørs får en gjerne ved brannslukking, spesielt hvis det tar fyr i PVC-belagte kabler. Berøring av gjenstandene med fingrene er en annen kilde til klorider. Klorider angriper spesielt metaller og kan være et problem i åpne utstillinger, mens det har ingen betydning for gjenstander i montere. Grenseverdier for museer finnes ikke, men elektronikkindustrien har en grense på $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. For klorider avsatt på overflater har en akseptert opptil $3\mu\text{g}/\text{m}^2$ før rengjøring må gjennomføres.

Flyktige organiske forbindelser, (VOC) er en betegnelse for organiske forbindelser som en ofte finner i luften. Forbindelsene avgis vanligvis fra ulike organiske materialer i ulike mengder. Ved å samle inn dem som en gruppe kan en ofte få et ”fingeravtrykk” av kildene til avgassen. Enkelte VOC-gasser kan ha sur eller basisk karakter og vil da angripe gjenstander.

Partikler er en svært sammensatt gruppe av stoffer som kan ha virkninger både på materialer og for folks helse.

Partikler blir beskrevet i tre klasser:

- PM_{10} : Partikler som har en aerodynamisk diameter på $10\mu\text{m}$ og mindre. Disse partiklene er respirable .
- $\text{PM}_{2.5}$: Partikler med aerodynamisk diameter på $2.5\mu\text{m}$ og mindre. De største partiklene vil feste seg i nese og svelg mens de minste $\text{PM}_{2.5}$ vil nå lungene.
- TSP: ”Total Suspended Particles” er et mål for partikler hvor en ikke setter en øvre grense for diameteren. I innemiljø er det ofte liten forskjell på PM_{10} og TSP.

De fleste bestemmelser er basert på målinger av PM_{10} . Utendørs har en de største konsentrasjonene langs veiene når veien er tørr om våren. I museer har en størst konsentrasjon der trafikken av mennesker er størst, mens den synker raskt når en kommer til stillere deler av samlingene. Kravet til PM_{10} i museer på $75\mu\text{g}/\text{m}^3$ bør kunne holdes i de fleste museer med normal rengjøring.

Partikler er gjerne en blanding av faste uløselige bestandeler og salter. Blant saltene er det kloridene som har størst interesse. For det første er det de saltene som har de største naturlige kildene, men de er også de saltene som lettest reagerer med materialene, spesielt metaller. Saltene er dessuten hygroskopiske og vil øke fuktighet på overflatene.

Partikler blir i praksis beskrevet som støv. Foruten at støv gir et dårlig visuelt inntrykk i en utstilling, kan det også ha skadelig virkning. I støvet kan det samles både fuktighet, salter og gasser. Enkelte bestandeler i støvet kan ha slipende virkning. Eksempelvis hvis en har betongtak, kan nedfallsstøvet inneholde betongpartikler som vil kunne ripe opp overflater hvis en tørker støv med fuktig eller tørr klut. I innemiljø er det ofte mye fibre i støvet, men disse har normalt ikke slipende virkning. Det er derfor viktig å vite hvilke typer støv man har før en velger metode for rengjøring. En god måte å bestemme støvsammensetningen på er ved mikroskopering.

5 Refleksjoner om forholdene i de inspiserede museene

I dette kapittelet vil det bli gitt en vurdering av mengden av luftforurensningene i de museene som inngår i NIKUs feltstudier. Vurderingen baserer seg på NILUs målinger og den kunnskap om spredning av luftforurensninger som NILU har oppnådd gjennom sine undersøkelser. Når det gjelder studier av innemiljø i museer har NILU bare foretatt en spesialundersøkelse i utstillingene ved ett av de fire museene som NIKU har undersøkt og det var et pilotprosjekt som NILU gjennomførte ved Universitetets Oldsaksamling og Etnografisk Museum i perioden 1994-95. (Dahlin et al., 1995). Det er ikke gjort noen egen vurdering av forurensningsforholdene i magasinene til noen av museene.

NILU vil her understreke at forholdene ved de enkelte museene ofte er svært forskjellige og at innemiljøet er påvirket av en rekke ulike faktorer i museene. For å kunne vurdere den reelle miljøbelastningen på gjenstandene bør det derfor foretas målinger i hvert enkelt tilfelle. De betraktninger som er presentert nedenfor er derfor av meget generell karakter. De museer som er inspisert og vurdert av NIKU er:

- Historisk museum, Frederiks gate, Oslo
- Universitetets naturhistoriske museer, Tøyen, Oslo
- Nasjonalgalleriet, Universitetsgaten, Oslo
- Bergen museum, Harald Hårfagres gate, Bergen
- Arkeologisk museum, Peder Klows gate Stavanger

5.1 Historisk museum, Frederiks gate, Oslo

Historisk museum i Frederiks gate i Oslo var med i et pilotprosjekt ved NILU fra høsten 1994 til sommeren 1995 (Dahlin et al., 1995). Undersøkelsene ble gjennomført både ved Universitets Oldsaksamling (UO) og ved Etnografisk Museum (EM) Det ble målt i noen av utstillingslokalene og inne i enkelte montre. Sammenlignende målinger ble også utført utenfor huset i annen etasje over inngangen. Undersøkelsen ble gjennomført i to faser og annen fase hadde et større måleprogram og flere målepunkter enn i første fase. I tillegg til miljømålinger ble det eksponert sølv og kobberstrips i begge periodene for å bestemme hvor reaktivt miljøet var for metaller.

Resultater fra målingene i 1994 og 1995 er gitt i Tabell 1.

Tabell 1: Luftforurensningsnivået i utvalgte rom og monterer i Historisk museum høsten (h) 1994 og vinteren (v) 1995.

Sted	Tid	SO ₂ µg/m ³	NO ₂ µg/m ³	NH ₃ µg/m ³	H ₂ S µg/m ³	formalde- hyd µg/m ³	VOC µg/m ³	Sølv korr µg/m ²	Kobber korr µg/m ²
Skattkammer monter (UO)	h.1994	0.3	5.4	20.1	<1			17.3	24.2
Vikingtid rom (UO)	h.1994	0.4	24.1	12.3	<1			8.1	12.8
Vikingtid rom (UO)	v. 1995	0.4	15.8	14.4	<1	13.8	249	7.2	20.5
Vikingtid monter(UO)	v. 1995	0.2	0.3	2.3	<1	15.9	1431	2.1	26.1
Eskimo uts. Rom (EM)	v. 1995	0.4	28.1	4.2	<1	5.7	136	4.2	24.0
Eskimo uts. Monter (EM)	v. 1995	0.3	1.9	10.1	<1	11.1	1094	21.3	42.3
Øst Asia rom (EM)	v. 1995	0.6	24.1	2.4	<1	14.4	101	7.1	21.8
Uteluft	v. 1995	2.2	22.5	1.8	<1	1.9	85	6.7	126.8

Resultatene stemmer godt med det generelle bilde en har om forholdene i museer i Norge i dag. SO₂ konsentrasjonen er lav ute og inne. NO₂ er lite reaktiv med bygningsmaterialer, og inne- og utekonsentrasjonene blir derfor på samme nivå. Historisk museum har to ventilasjonsanlegg, men ingen av dem hadde kjemisk rensing av luften i måleperioden. Første etasje var ikke koblet til ventilasjonssystemet og luften kom inn via dører og vinduer. Som det fremgår av målingen var hovedkildene til SO₂ og NO₂ utendørs, mens de andre gassene som ble målt hadde sine største kilder innendørs. H₂S-verdiene er lave på alle målestedene. NH₃ synes å være best relatert til besøkstallet i utstillingslokalene og til størrelsen på rommet. I et lite rom som Skattkammeret med mange besøkende var konsentrasjonen høy. I større rom med mindre besøk synker konsentrasjonen. Monteren i eskimoutstillingen var gammelt og synes å ha innvendige kilder for gassforurensninger. Monteren i Skattkammeret hadde en form for lokal ventilasjon med tilførsel av luft til monteret. Formaldehyd og VOC kom fra ulike utstillingsmaterialer som tre og maling som var brukt i montrene. I tette monterer ble derfor konsentrasjonene av disse gassene betydelig større enn i rommene. De konsentrasjonene en målte i rommene var lik det en normalt finner i innemiljøet.

Ved studier av de eksponerte metallstripsene kan en se at sølvkorrosjon ikke er avhengig av fuktighet og en ser at ute- og inne-korrosjonen var tilnærmet lik. Noen monterer ga dårligere korrosjonsklima slik som Skattkammeret og eskimoutstillingen, mens andre ga et bedre miljø. Kobber-korrosjon er mer avhengig av fuktighet og utekorrosjonen var derfor høyest. Av resultatene fra de andre målepunktene så en at monteret i eskimoutstillingen var mest utsatt.

Generelt kan en si at forurensningen utenfra gir et mindre bidrag til nedbrytning av materialer i museet enn kildene en har inne. Nedbrytningen kan være betydelig i monterer hvis ikke konstruksjonen er god og hvis en bruker materialer som avgir korrosive gasser. Det er en klar sammenheng mellom NH₃-konsentrasjonene og menneskelig besøk. Dette ble også godt dokumentert ved målinger i Vikingskipshuset over noen måneder ved å sammenligne målingene med besøksfrekvensen (Dahlin et al., 1995).

5.2 Universitetets naturhistoriske museer, Tøyen, Oslo

For disse museene kan vi bare presentere generelle betraktninger, for en mer nøyaktig vurdering av miljøforholdene ved de enkelte museene må det foretas individuelle undersøkelser i utstillingslokaler, montre og magasiner.

De naturhistoriske museene på Tøyen ligger i et område med betydelig trafikkbelastning og litt øst for den del av byen hvor en fremdeles har en del vedfyring vinterstid. NILUs modelleringsverktøy AirQUIS beregner ofte høyere belastning ved Tøyen enn i sentrum av byen. Modellen tar imidlertid ikke hensyn til at museumsbygningene ligger i en park hvor vegetasjonen kan fange opp både partikler og nitrogenoksider. Belastningen utenfra bør derfor ikke ha større effekt innendørs på museene på Tøyen enn det en har målt på Historisk museum. Utstillingene i de enkelte museene er imidlertid svært forskjellige. Bøker, dokumenter, pelsverk og planter kan få kraftigere reaksjoner med NO₂ og O₃ enn steinsamlingen på Geologisk museum. Innendørskilder er sannsynligvis den største risikoen for gjenstandene i disse museene.

5.3 Nasjonalgalleriet, Universitetsgaten, Oslo

For dette museet kan vi bare presentere generelle betraktninger, for en mer nøyaktig vurdering av miljøforholdene må det foretas individuelle undersøkelser i utstillingslokaler, montre og magasiner.

Nasjonalgalleriet ligger forurensningsmessig i samme område som Historisk museum, men noe lengre bort fra "Ibsenringen". Dette medfører at en må regne med de samme forurensninger fra utendørskilder til Nasjonalgalleriet som de som ble målt ved Historisk museum. I Nasjonalgalleriet vil det spesielt være viktig å måle mengden av nitrogenoksider som kan påvirke malerier og bilder.

5.4 Bergen museum, Harald Hårfagres gate, Bergen

For dette museet kan vi bare presentere generelle betraktninger, for en mer nøyaktig vurdering av miljøforholdene må det foretas individuelle undersøkelser i utstillingslokaler, montre og magasiner.

Bergen museum ligger i Møhlenprisområdet i Bergen, nær den ene tunnelmunningen til Møhlenpris-Nygårdstangen-tunnelen. I nærområdet av tunnelåpningen har en registrert økt belastning av NO₂ og partikler (PM₁₀) etter at tunnelen ble åpnet (Haugsbakk, 2001). Det er ikke gjort noen målinger utenfor museet, men det er nærliggende å anta at nivået er blitt noe større også rundt museet. Nivået kan derfor ventes å ligge noe høyere enn ved Historisk museum i Oslo. For museets samlinger er det først og fremst økt NO₂ som kan gi problemer på organisk materiale. Om en har et problem og hvor stort det eventuelt er avhenger av ventilasjonssystemet i huset. Uten kjemisk rensing av uteluften vil økt ventilasjon gi økt risiko.

5.5 Arkeologisk museum, Peder Klows gate, Stavanger

For dette museet kan vi bare presentere generelle betraktninger, for en mer nøyaktig vurdering av miljøforholdene må det foretas individuelle undersøkelser i utstillingslokaler, montre og magasiner.

Arkeologisk museum i Stavanger ligger nær sentrum av byen mellom to hovedinnfartsårer til Stavanger, men ligger ikke direkte til hovedgaten. Forurensningsmessig er forholdene like de en har i de andre byene, med lavt SO₂ nivå og høyere NO₂-og partikkelnivå. Den generelle konklusjonen blir som for Historisk museum i Oslo hvor de største problemene sannsynligvis er knyttet til innemiljø og montre.

5.6 Ventilasjonssystemer i museer

Ventilasjonssystemer i norske museer har normalt bare partikkelrensing. Rensing av gass har vært lite benyttet. Ved bruk av ventilasjonssystemer, så reduserer en gasskonsentrasjonen fra indre kilder og øker muligheten for å få mer av uteforurensningene inn. Ved å øke antall luftskiftinger per time vil en også øke risikoen for å få inn uteforurensninger. I landlig miljø så vil det primært være O₃ som kommer inn i museet. I de fleste byer i Norge vil det bli NO₂ som kan gi problemer inne i museumsbygninger. I museer hvor innemiljøproblemet er størst vil ventilasjon likevel være ønskelig (Cassar, 1995)

6 Museumsrelaterte prosjekter ved NILU

I EUs 5te rammeprogram, City of Tomorrow, Cultural Heritage, har det vært betydelig satsning på innemiljøproblemene. NILU er med i to EU-prosjekter som er relatert til museenes problemer. Disse prosjektene har følgende titler: ”Innovative Modelling of Museum pollution and Conservation Thresholds, (IMPACT) og ”Preventive Conservation Strategies for Protection of Organic Objects in Museums, Historic Buildings and Archives (MASTER).

6.1 IMPACT-prosjektet

Dette prosjektet har som målsetting å utvikle en modell som skal beregne innekonsentrasjonene av de vanligste uteforurensningene når en kan definere ventilasjonshastigheten i bygget og kjenner utekonsentrasjonene. Ved siden av ventilasjonsteori tar modellen hensyn til de materialer som finnes i ventilasjonskanaler og i rommene. Disse materialene vil i større eller mindre grad absorbere og eventuelt reagere med gassene og fjerne dem fra luften. Modellen skal presenteres i form av et web-basert system som museene selv kan bruke og som vil gi indikasjoner på om forurensningsnivået er farlig eller ikke.

6.2 MASTER-prosjektet

Dette prosjektet skal utvikle et vurderingssystem ”Management tool” basert på en effekt sensor som skal måle hvor stor risiko det er for nedbrytning av organisk materiale i utstillingslokaler og magasiner. Effektsensoren skal være en rimelig sensor som skal være lett å bruke og analysere etter eksponering. Hvis effekten er over visse grenser må en følge opp målingene med miljømålinger slik at kilden til belastningen blir lokalisert. Med basis i dette arbeidet skal en komme fram til anbefalte tiltak. I etterkant kan en så igjen bestemme om tiltakene har hatt den ønskede virkning ved å kontrollere forholdene med effektsensoren.

7 Referanser

- Blades, N., Oreszczyn, T., Bordass, B. and Cassar, M. (2000) Guidelines on pollution control in museum buildings. London, Museum Practice.
- Cassar, M. (1995) Environmental management. Guidelines for museums and galleries. London, Routledge.
- Dahlin, E., Henriksen, J.F., Røyset, O. og Anda, O (1995) Måling av luftkvalitet i milde miljøer. Bruk av ulike målemetoder for å kartlegge luftens aggressivitet i museer og samlinger. Kjeller (NILU TR 2/95).
- Dahlin, E., Henriksen, J.F., Røyset, O. og Anda, O (1995) Måling av luftkvalitet i museer og samlinger. I: *Bruk av gjenstanden i formidlingen. Seminar på Maihaugen 19-20 oktober 1994*. Oslo, NKKM, s.81-92.
- Fjæstad, M. (1999) Tidens tand. Förebyggande konservering. Trelleborg, Riksantikvarieämbetet.
- Hanssen, J. E., Henriksen, J. F. og Pedersen, U. (1993) Lokale kilder og fordeling av NH₃ i en norsk dal – Bøverdalen. I: *Tilførsel og virkninger av lufttransporterte forurensninger (TVLF): Forskning og overvåkning. Sammendrag av foredrag og postere fra møte på Olavsgaard Hotell 2-3 desember 1991*. F. Stordal og I. Fløisand (red.). Lillestrøm (NILU OR 26/93) s. 107-112.
- Haugsbakk, I. (2001) Målinger av nitrogenoksider og svevestøv i Møhlenprisområdet. Januar-juni 2001. Kjeller (NILU OR 55/2001).
- Henriksen, J.F., Hienonen, R., Imrell, T., Leygraf, C., and Sjögren, L. (1991) Corrosion of electronics. A Handbook based on experiences from a Nordic research project. Stockholm (Korrosionsinstitutet. Bulletin 102).
- Thomson, G. (1986) The Museum environment. Second Edition. Oxford, Butterworth-Heinemann.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGSRAPPORT	RAPPORT NR. OR 25/2002	ISBN 82-425-1361-9 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 16	PRIS NOK 150,-
TITTEL Betydningen av luftforurensning og inn klima for bevaring av samlingene til statens museer		PROSJEKTLEDER Jan F Henriksen	
		NILU PROSJEKT NR. O-2175	
FORFATTER(E) Jan Henriksen og Elin Dahlin		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF. F2 2000/2177 SDA	
OPPDRAGSGIVER Riksrevisjonen Postboks 8130 Dep 0032 Oslo			
STIKKORD luftforurensning	museer	nedbrytning	
REFERAT Rapporten gir en beskrivelse av hvilke forurensninger som kan ha betydning for redusert levetid ved bevaring av gjenstander i norske museer. En vurdering av luftforurensningen ved 5 statlige museer basert på eksisterende data er utført. For fire av museene er vurderingen utført med basis i utendørsmålinger og modellering av forurensningsbildet rundt museene. Ved Historisk museum i Oslo er det referert til et mindre innendørsstudium utført ved NILU i 1994-95.			
TITLE Possible indoor air pollution impact on collections in national museums in Norway			
ABSTRACT			

* Kategorier: A Åpen - kan bestilles fra NILU
 B Begrenset distribusjon
 C Kan ikke utleveres