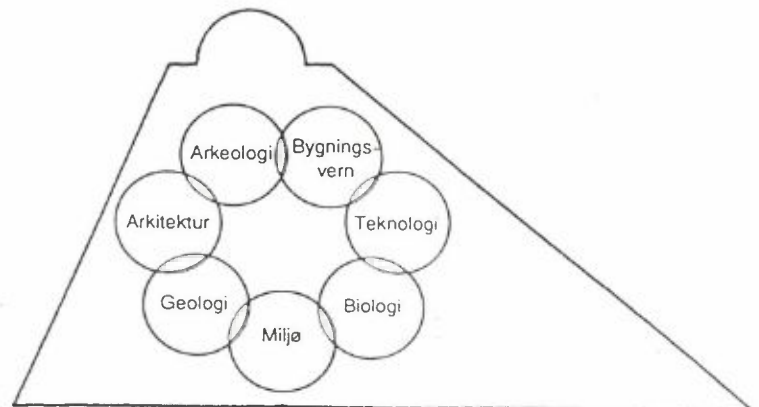


NILU : OR 4/94  
REFERANSE : O-92053  
DATO : JANUAR 1994  
ISBN : 82-425-0540-3

# EU 446 EURO CARE CAREBUILD - Miljømålinger rundt Hamar domkirkeruin

Jan F. Henriksen



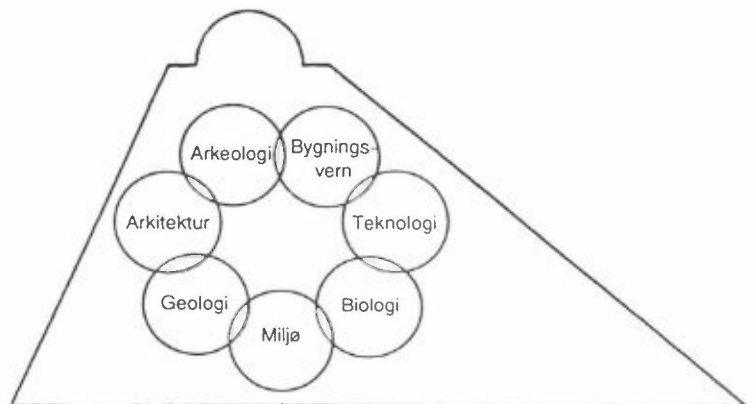
# NILU

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING  
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH  
Postboks 64 - N-2001 Lillestrøm - Norway

NILU : OR 4/94  
REFERANSE : O-92053  
DATO : JANUAR 1994  
ISBN : 82-425-0540-3

# **EU 446 EURO CARE CAREBUILD - Miljømålinger rundt Hamar domkirkeruin**

**Jan F. Henriksen**



# Innhold

	Side
<b>Sammendrag .....</b>	<b>2</b>
<b>1. Innledning.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Miljøpåvirkning på bygninger og monumenter .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Målinger av ytre belastning .....</b>	<b>6</b>
3.1. Måling av antropogene forurensninger.....	6
3.1.1. Gasser .....	6
3.1.2. Forurensninger i nedbør .....	7
3.1.3. Klimatiske parametere.....	7
<b>4. Valg av måleprogram.....</b>	<b>8</b>
<b>5. Målinger ved Hamar domkirkeruin .....</b>	<b>9</b>
<b>6. Måleoppsett.....</b>	<b>9</b>
<b>7. Resultater fra miljømålingene .....</b>	<b>10</b>
7.1. Gass og tørravsetning.....	10
7.1.1. SO <sub>2</sub> .....	12
7.1.2. NO <sub>2</sub> .....	13
7.1.3. Sulfat- (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) og klorid- (Cl <sup>-</sup> ) avsetning .....	14
7.2. Meteorologiske målinger .....	14
7.2.1. Fuktparameterne.....	16
7.2.2. Termohygrografmålingene .....	16
7.2.3. Nedbørkjemi .....	17
7.3. Korrosivitetsmålinger .....	17
<b>8. Konklusjoner .....</b>	<b>19</b>
<b>9. Referanser .....</b>	<b>20</b>

## Sammendrag

EUROCARE CAREBUILD er et prosjekt som skal utvikle teknologiske løsninger for beskyttelse av kulturhistoriske bygninger og monumenter. Et viktig basismateriale for å kunne beskrive en riktig løsning er å ha tilstrekkelig kunnskap om det miljøet som bygningen eller monumentet står i, og den innflytelse som miljøet kan ha.

Denne rapporten gir en oversikt over luftparameteres virkning på ulike materialer, en oversikt over aktuelle målemetoder samt de resultater som framkom ved målingene rundt Hamar domkirkeruin. Resultatene viser at målemetodene som ble anvendt, gir den nødvendige målenøyaktighet og kan benyttes ved senere prosjekter av samme type.

Målingene viser at området rundt domkirkeruinen er lite forurenset, og at miljøet er lite aggressivt. De klimatiske påvirkningene fra nedbør, temperatursvingninger og frost synes å være de dominerende miljømessige nedbrytningsparameterne.

# EU 446 EUROCARE CAREBUILD - Miljømålinger rundt Hamar domkirkeruin

## 1. Innledning

I forbindelse med arbeidet med å beskytte Hamar domkirkeruin er det etablert et EUREKA teknologiprojekt, EUROCARE CAREBUILD, hvor en ønsker å markedsføre et konsept for en komplett beskyttelse av kulturhistoriske bygninger og monumenter. Totalprosjektet er ledet av professor dr. techn. Kristoffer Apeland og inkluderer underprosjekter hvor andre har et hovedansvar. Et vesentlig moment i den teknologiske løsningen som ble diskutert, var en total innbygging for å hindre videre nedbrytning forårsaket av ytre miljøparametere.

I forbindelse med beskyttelsestiltak av kulturhistoriske bygninger er en kartlegging av miljøets sammensetning og mulig påvirkning av avgjørende betydning. Norsk institutt for luftforskning (NILU) har hatt et hovedansvar for denne delen av prosjektet. I Hamar var det alt ved prosjektets start klart at forurensningsmengdene i området var små, og at eksisterende målesteder i rimelig nærhet muligens ville gi svar på en del av problemstillingene.

Det ble likevel valgt å starte et mer omfattende måleprogram. Den primære årsak var at CAREBUILD-prosjektet må kunne dokumentere at prosjektgruppen har nødvendig kompetanse på miljøsidan. Videre at det er mulig for gruppen å foreta miljøteknisk vurdering av ruiner for derved også å kunne utføre tilsvarende vurderinger i andre fremtidige oppgaver.

Denne rapporten vil presentere noen av de miljømessige påvirkninger som bør vurderes i fremtidige prosjekter, samt de målinger som er utført ved Hamar domkirkeruin i perioden fra oktober 1991 til oktober 1992.

## 2. Miljøpåvirkning på bygninger og monumenter

Miljøets innvirkning på bygninger og monumenter er alltid en kombinert effekt hvor en må ta hensyn til materialene som benyttes, konstruksjonens utforming og beskaffenhet og meteorologiske og forurensningsmessige faktorer på stedet. En vurdering av nedbrytningsforholdene er derfor komplisert og en må ta hensyn til flere samvirkende faktorer.

I de følgende tabeller har en forsøkt å lage en forenklet veiledende beskrivelse av virkningen av ulike faktorer ved bruk av symboler.

---

For alle faktorene er det normalt slik at effekten øker med økende konsentrasjoner eller mengder. For flere faktorer er det også slik at en i praksis må over en nedre grense ("acceptable levels") for at effekt skal være av betydning. For enkelte faktorer og enkelte materialer er det foreslått verdier for disse grensene (se tabell 3).

Tabell 1: Miljøets innvirkning på et utvalg av rene materialer benyttet i kulturhistoriske monumenter.

Materialer	Våttdid (T > 0°C og RH > 80%)	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> + O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub> + NO <sub>2</sub>	Regnmengde	Nedbørkvalitet			
									pH	Cl <sup>-</sup> /SO <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> /NO <sub>3</sub>	
<b>Kalkholdige steinarter</b>												
Marmor	(÷)	÷	0	0	?	÷	÷	(÷)	÷ (pH <4)	?	?	?
Kalkstein tett	(÷)	÷	0	0	?	÷	÷	(÷)	÷ (pH <4)	?	?	?
Kalkstein porøs	÷	÷ (÷)	0	0	?	÷	÷	(÷)	÷ (pH <4)	?	?	?
Sandstein	(÷)	÷ (÷)	0	0	?	÷	÷ (÷)	(÷)	÷ (pH <4)	?	?	?
<b>Silikat-bergarter</b>												
Granitter	(÷)	(÷)	0	0	?	÷	(÷)	(÷)	?	?	?	?
Sandstein	(÷)	(÷)	0	0	?	÷	(÷)	(÷)	?	?	?	?
<b>Kleberstein</b>	÷	?	?	?	?	?	?	÷	?	?	?	?
<b>Kalkpuss</b>	÷	÷	0	0	?	÷	÷	÷	÷ (pH <4)	÷	?	?
<b>Sementpuss</b>	(÷)	?	0	0	?	?	?	(÷)	?	÷	?	?
<b>Råte (tre)</b>	÷	+	?	(÷)	?	+	+	÷	?	(÷)	÷	÷
<b>Metaller</b>												
Stål	÷	÷	(÷)	0	?	÷	÷	÷	÷ (pH <4)	÷	÷	÷
Zink	÷	÷	?	0	?	÷	÷	÷	÷ (pH <4)	÷	÷	0
Kopper/bronse	÷	÷	÷	÷	?	÷	÷	(÷)	?	(÷)	÷	÷
Aluminium	(÷)	(÷)	?	?	?	÷	?	?	?	÷	÷	0

+ positiv effekt, øker materialets levetid      ÷ ÷ meget negativ effekt, kan redusere levetiden betydelig  
 0 ingen effekt      ? ukjent effekt  
 ÷ negativ effekt, reduserer materialets levetid

I tabell 1 er materialenes nedbrytning ved ulike belastninger kodet. På nedbrutt materiale, for kulturhistoriske monumenter og eldre bygninger kan enkelte miljøbelastninger og kombinasjoner av disse gi en økt nedbrytning. I tabell 2 er det gitt en beskrivelse av fuktighetens betydning.

*Tabell 2: Oversikt over fuktighetens virkning på materialer og konstruksjoner.*

Stein:	Fuktighet trenger inn i den nedbrutte overflaten. Dette øker faren for avvasking av nedbrutt materiale samt frostsprengning og saltsprengning ved opptørking.
Bygninger med stein som bygningsmateriale:	Stein er ofte benyttet som materiale i monumentale bygg hvor inntrengning av vann i konstruksjonen lett kan oppstå. Utvasking av mørtel, frost- og saltsprengning kan derfor lett skje.
Puss:	Puss vil ha de samme problemene som stein, men vil ofte være lettere å fukte og vil derfor ha større risiko både for avvasking og for frost- og saltsprengning.
Bygninger med pussete overflater:	Fukt inne i konstruksjonen kan gi dårlig heft og avskalling.
Tre:	Høy fuktighet gir grobunn for sopp og alger. Salter kan være næring for biologisk materiale og derved øke nedbrytningen. Frost- og saltsprengning er normalt et lite problem.
Bygninger av tre:	Inntrengning av vann i konstruksjoner øker nedbrytningen betraktelig.
Metall:	Fuktighet er nødvendig for korrosjon. Korrosjonen øker kraftig ved aggressive salter som sjøsalt. Frost reduserer korrosjonen.
Bygning med metall:	Inntrengning av vann øker tiden hvor korrosjon opptrer.

Nedbrytning av materialer er i liten grad beskrevet i ligninger hvor mekanismen i prosessen inngår. Det er imidlertid gjennomført mange feltundersøkelser hvor de dominerende faktorene er dokumentert. Ligningene som er utviklet, er som regel lineære ligninger av typen

$$\text{Effekt} = a + b \cdot (\text{faktoren}).$$

Disse ligningene har vinkelkoeffisient (b) og konstant (a) som gjelder for den undersøkelsen som er gjennomført, og m å som regel bli justert ved anvendelse i andre geografiske områder.

I forskingspolitiske fora er det stor interesse for å fremskaffe ligninger hvor grensene for akseptable forurensningsnivåer kan defineres. Dette arbeidet er kommet lengst for metaller og kalkholdig stein, hvor resultatene baserer seg på et stort antall undersøkelser i et bredt geografisk område. De definerte nivåene har likevel begrenset gyldighet. De passer best for Nord- og Sentral-Europa og USA, og dårligst for tropiske områder hvor det finnes lite måledata. Det er dessuten bare et begrenset antall parametere hvor grenser er foreslått, nemlig for SO<sub>2</sub>-gass,

våttid (TOW = time of wetness) og kloridbelastning. Våttid er definert som den tid hvor relativ fuktighet er over 80% RH samtidig som temperaturen er over 0°C. Grensene for metaller er beskrevet i en nylig utgitt ISO-standard (ISO, 1992). Inntil bedre informasjon er tilgjengelig, bør verdiene kunne være retningsgivende også for andre materialer hvor effekten i tabell 1 er kodet (÷), ÷ og ÷ ÷. Verdiene er vist i tabell 3.

Tabell 3: Akseptable forurensningsgrenser etter ISO-9223 Corrosivity of atmospheres.

Miljøparameter	Akseptabelt belastningsnivå
SO <sub>2</sub> -gass	12 µg/m <sup>3</sup>
Våttid (TOW)	1 500 timer pr. år (T > 0°C og RH > 80%)
Cl <sup>-</sup> -belastning	3 mg/(m <sup>2</sup> · d)

### 3. Målinger av ytre belastning

En vanlig gruppering er å skille miljøfaktorene i antropogene faktorer som SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og sur nedbør, og faktorer som skyldes naturens egne mekanismer som temperatur, vind, sjøsaltbelastning. Enkelte faktorer kan både ha antropogene og naturlige kilder, eksempelvis H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, ozon.

#### 3.1. Måling av antropogene forurensninger

##### 3.1.1. Gasser

Måleutstyr for bestemmelse av gasskonsentrasjoner finnes i ulike utgaver fra kontinuerlige registrerende instrumenter til enkle passive målere. Utvalget er forskjellig for ulike gasser. I tabell 4 er målemulighetene for de ulike gassene presentert.

Tabell 4: Metoder for målinger av gassforurensninger.

Gass	Kontinuerlige målinger	Middelkons. - måling med pumpe (aktiv)	Middelkons. - Passive målere
SO <sub>2</sub>	UV-fluorescens, flammefotometer Deteksjonsgrense ~ 1 ppb (2,5 µg/m <sup>3</sup> )	Absorpsjon + analyse Deteksjonsgrense ~ 0,1 µg/m <sup>3</sup>	Diffusjonsprøvetaker + analyse (uten strøm) Deteksjonsgrense ~ 0,5 µg/m <sup>3</sup> *
NO <sub>x</sub> (NO + NO <sub>2</sub> )	Kjemiluminescens Deteksjonsgrense ~ 2 ppb (4 µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> -absorpsjon + analyse Deteksjonsgrense ~ 0,1 µg/m <sup>3</sup>	Diffusjonsprøvetaker + analyse (uten strøm) Deteksjonsgrense ~ 0,5 µg/m <sup>3</sup> *
O <sub>3</sub> (ozon)	UV-spektrofotometer, kjemiluminescens Deteksjonsgrense ~ 2 ppb (4 µg/m <sup>3</sup> )	Normalt ikke tilgjengelig	Diffusjonsprøvetaker + analyse Brukes bare i bakgrunnsområder Deteksjonsgrense ~ 10 µg/m <sup>3</sup> *

\*: Deteksjonsgrensen er avhengig av innsamlingstid og prøvetakertype.



For materialer er nedbrytningsprosessene så langsomme at middelkonsentrasjonen over en uke eller en måned er tilstrekkelig. Dette medfører at målinger med rimelig utstyr slik som pumpe og adsorpsjonsmedia eller passive prøvetakere vil gi middelveidig med tilstrekkelig informasjon til at effekten kan vurderes. For SO<sub>2</sub> og NO<sub>2</sub> er de passive prøvetakerne velprøvde, mens for O<sub>3</sub> får en ofte forstyrrelser på målingene på grunn av interferensproblemer i forurenset miljø.

Absorpsjonsmidlene og metoder som brukes varierer også fra laboratorium til laboratorium. Det kan for eksempel brukes absorpsjonsløsning i vaskeflaske eller impregnert filter.

### 3.1.2. Forurensninger i nedbør

For måling av nedbørkvalitet må en ha en oppsamlingsenhet som ikke reagerer med nedbøren. Plast, som polyetylen, er derfor det mest brukte materialet.

Den vanligste nedbørsamleren er en åpen beholder som også vil fange opp tørravsetninger utenom regnvær. Det finnes derfor også utstyr med lokk som åpnes automatisk ved regn.

Følgende faktorer er viktige å ta hensyn til ved bestemmelse av nedbørkvalitet:

- pH kan lett forandre seg ved tørravsetning mellom regnvær. Nedbørsamler med lokk eller innsamling av nedbør med korte intervaller anbefales.
- Åpne nedbørsamlere kan fange opp utilsiktede forurensninger i beholderen som fugleskitt, pollen, blader osv. Problemet kan reduseres på samme måte som for pH.
- Avdampning fra nedbørsamleren kan være et problem i solskinn og høy temperatur. Nedbørsamler med innsnevring mellom trakt og beholder reduserer problemet. Det samme gjør hyppig innsamling av prøvene.
- Frost kan gjøre inntak av prøven umulig uten å tine beholderen. Skifte til nedbørsamler uten innsnevring anbefales om vinteren.
- Vind gjør ofte kvantitativ innsamling umulig. Dette vil skape problemer for nedbørmengde, men har liten innflytelse på nedbørkvalitetsmålinger.

Målenøyaktighet for forurensningene vil normalt være

$$\text{pH} = 0,02 \text{ pH-enheter}$$

$$\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+ : 0,01 \text{ } \mu\text{g/ml}.$$

### 3.1.3. Klimatiske parametere

Blant de klimatiske parameterne har fuktbelastningen i ulike former størst betydning. I deler av verden kan frost ha vesentlig betydning i kombinasjon med fuktighet, og i kystnære strøk betyr sjøsaltbelastningen mye for nedbrytningen.

Nedbørmengde måles gjerne som millimeter (mm) nedbør fra en nedbørsamler eller som nedbørintensitet mm pr. time med en pluviograf. Pluviograf kan være av spesiell interesse i områder med mye regn og vind og derav stor fuktbelastning på enkelte deler av bygningen, eksempelvis på Vestlandet, mens en nedbørsamler kan gi tilstrekkelig sikkert mål på Østlandet med lavere fuktbelastning. Pluviograf er et registrerende instrument som krever ettersyn og kalibrering.

De fleste kjemiske prosesser krever en fuktfilm på overflaten for at reaksjonene kan skje. Ved siden av rene nedbørssituasjoner skjer reaksjonene også ved kondens eller sen uttørking etter regnvær. Med hygroskopiske salter på overflaten vil også fuktfilm kunne dannes. Empirisk har en dokumentert at fuktbelastningen eller våttiden er påvirket både av den relative fuktigheten og temperaturen. Våttid blir derfor ofte bestemt ved å måle tiden hvor den relative fuktigheten (RH) er høyere enn 80% ( $RH > 80\%$ ), samtidig som temperaturen er over null ( $T > 0^\circ\text{C}$ ). Disse parameterne bestemmes ved ulike former for RH og temperaturmålere:

- Termohygrograf er et robust instrument med relativt grov skala.
- Sensorer basert på elektriske målesignaler. Nøyaktigheten for temperaturfølerne er gode og reproducerbare ved skikkelig kalibrering. RH-sensorene er som oftest avhengig av et rent miljø for å ha god nøyaktighet over tid. Rengjøring og kalibrering er viktig.
- Det er i de senere år utviklet sensorer som kan måle våttiden på en flate direkte. ABB Energi har i samarbeid med NILU utviklet et slikt instrument (WETCORR-instrumentet).

Vind har også stor betydning for nedbrytningsforholdene på et monument og rundt bygninger. Sammen med regn kan slagregn nå deler av konstruksjonen som ikke er godt beskyttet mot fuktinntrengning. Vind kan også gi raskere opptørking på flater og derved redusere nedbrytningsprosessene for enkelte materialer, mens enkelte porøse materialer kan få uttørking på overflaten og saltsprengninger i andre deler av konstruksjonen. På lesiden av bygningen vil vinden gi et trykkfall som gjør at partikler avsettes på vegger uten at avvasking skjer. Disse partiklene kan være hygroskopiske og derved øke nedbrytningen på sikt.

Vind kan måles med mange ulike målesystemer, fra enkelt utstyr for vindhastighet og -retning til mer avansert utstyr med måling av vind i flere plan og kastevinder. Dagens utstyr er for det meste registrerende instrumenter som gir kontinuerlige målinger.

---

#### 4. Valg av måleprogram

I forbindelse med et måleprosjekt er det viktig å gjøre seg opp en mening om hva som er de viktigste parameterne, og hvilken målenøyaktighet som kreves. Det er også viktig å skaffe opplysninger om de lokale og regionale miljøforholdene. Følgende sjekkliste kan være til nytte:

- Er det foretatt målinger av forurensningsparametere tidligere? Hvilke, hvor og i hvilke perioder?
- Hvor er de nærmeste forurensningskildene?
- Hvilke meteorologiske parametere måles i nærheten? Hvor stor avstand er det til målestedet?
- Hva er den dominerende vindretningen i området? Varierer den med årstiden?
- Er stedet sjøsaltbelastet?
- Hvilke forurensningsparametere bør bestemmes og hvilke tidsperioder bør brukes?
- Hvilke meteorologiske parametere bør bestemmes?
- Hvilke målemetoder bør benyttes?
- Hvor mange målepunkter bør en ha?

Med basis i den informasjon som kan samles inn på forhånd og tilstanden til det monument eller bygning som skal beskyttes, må en legge opp sitt måleprogram. Sesongvariasjonene er vanligvis store og ulike belastninger kan dominere i ulike deler av året. Et ett-års måleprogram med flere enn et målepunkt for gasser og et representativt målested for klimatiske parametere er derfor å anbefale.

## 5. Målinger ved Hamar domkirkeruin

Hamar er lite påvirket av luftforurensninger. For  $\text{SO}_2$  har konsentrasjonen selv i sentrum av Hamar vært under  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  i vintersesongen.  $\text{NO}_2$  fra trafikk er målt ved Olympiahallen "Vikingskipet" i 1993. Middelkonsentrasjonen var lav, for februar-mars  $25 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  og utover sommeren enda lavere.

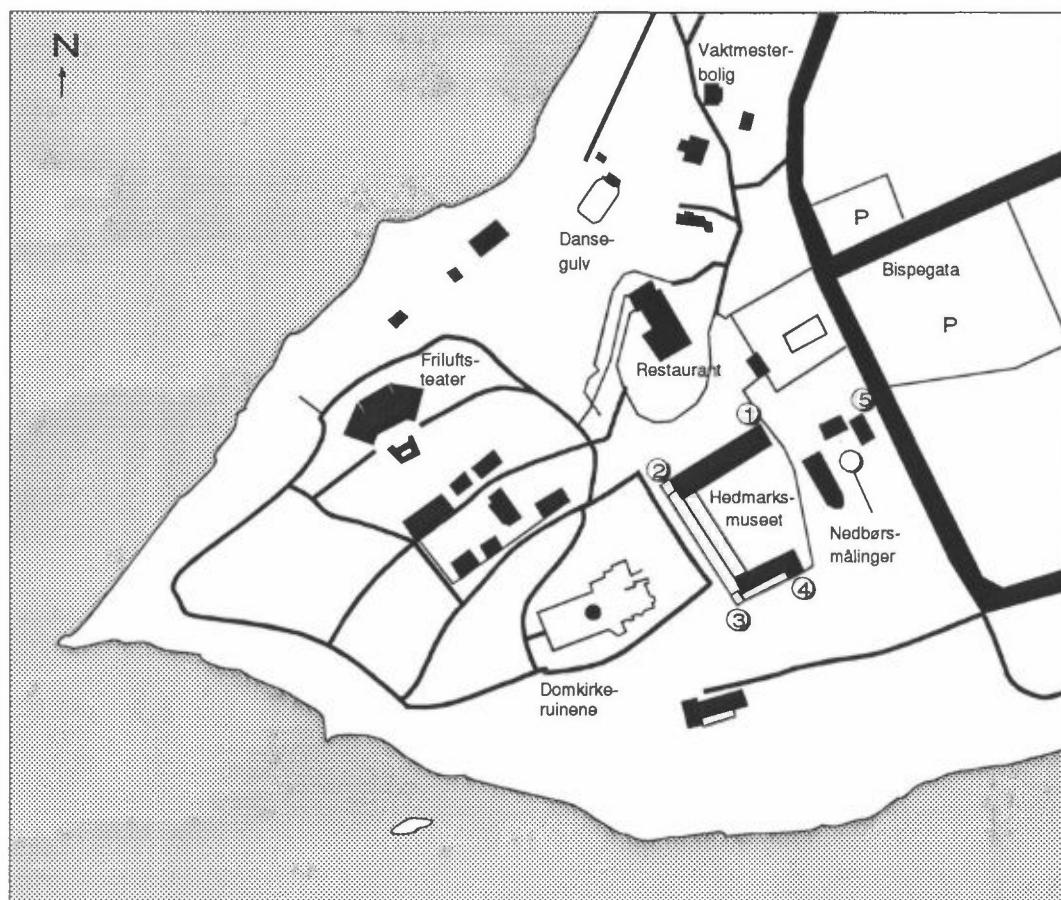
Selv om en ikke kan forvente noen innvirkning av gassforurensninger rundt domkirkeruinen, valgte en å ta med  $\text{SO}_2$ - og  $\text{NO}_2$ -målinger i måleprogrammet, dels fordi en ønsket å se om det lokale parkeringsområdet hadde noen innflytelse, og dels for å utprøve metodene.

Det er kjent at ruinen får inntrengning av vann i konstruksjonen, og at nedbør sannsynligvis er avgjørende for ruinens nedbrytning. Nedbør ble derfor målt med pluviograf og vanlig nedbørsamler. I tillegg ble nedbørkjemien bestemt. Våttiden ble bestemt ved bruk av termohygrograf. I 1991 hadde NILU også en nedbørstasjon på Kise, som ligger ca. 10 km vest for Domkirkeodden. Selv om vi antok at resultatene ville bli tilnærmet like for disse stasjonene, valgte vi å måle på Domkirkeodden for å få en lengre måleserie i den perioden hvor de andre målingene pågikk.

---

## 6. Måleoppsett

Målepunktene og oppsettet er vist i figur 1. I hele perioden fra oktober 1991 til oktober 1992 ble det målt  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_2$  på fire hjørner på Hedmarksmuseet med passive prøvetakere og depositionsprøvetakere. På grunn av problemer med  $\text{NO}_2$ -målingene ble det i mai 1992 satt opp et nytt målepunkt 5 nær parkeringsplassen, hvor en fra september 1992 hadde både aktive og passive systemer.



Figur 1: Domkirkeodden med domkirkeruinen og målepunkter markert.

Pluviografen, termohygrograf og nedbørsamleren ble plassert nær urtehagen øst for museet.

Luftens aggressivitet ble dessuten målt med eksponering av stålprøver plassert ved siden av nedbørmålingene.

Registreringsfrekvensen har vært:

Termohygrograf:	Kontinuerlig
Pluviograf:	Kontinuerlig
Nedbør, pH, $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$ :	Ukesmiddel
$\text{SO}_2$ og $\text{NO}_2$ passive prøvetakere:	14 dagers middel
Stålprøver:	Månedsprøver og årssprøver

## 7. Resultater fra miljømålingene

### 7.1. Gass og tørravsetning

Gass og tørravsetning ble registrert med passive prøvetakere på fire hjørner av Hedmarksmuseet. Resultatene er vist i tabellene 5, 6 og 7. Målingene er gjennomført som 14 dagers målinger med unntak av julen 1991, hvor en av praktiske grunner hadde andre midlingstider.

Tabell 5: SO<sub>2</sub>-målinger med passive prøvetakere ved Hedmarksmuseet i perioden fra 22. oktober 1991 til 4. september 1992.

Periode	Posisjon 1 µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 2 µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 3 µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 4 µg SO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
22.10.-05.11.	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
05.11.-22.11.	5,9	8,4	12,7	7,8
22.11.-06.12.	1,0	0,9	0,6	0,6
06.12.-13.12.	1,5	1,9	1,5	1,1
13.12.-02.01.	x	4,3	x	7,3
02.01.-16.01.	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
16.01.-30.01.	0,9	< 0,5	0,6	0,6
30.01.-13.02.	0,9	< 0,5	1,0	0,8
13.02.-12.03.	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
12.03.-10.04.	0,6	0,6	0,7	0,6
10.04. → ut 04.09.	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

x: tapt prøve

Tabell 6: NO<sub>2</sub>-målinger med passive og aktive prøvetakere ved Hedmarksmuseet i perioden fra 22. oktober 1991 til 20. oktober 1992.

Periode	Posisjon 1 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 2 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 3 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 4 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Posisjon 5 µg NO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	Passiv måling				
22.10.-05.11.	x	13,8	13,1	13,5	
06.11.-22.11.	2,2	18,6	20,3	17,1	
22.11.-06.12.	14,8	16,5	17,6	16,6	
06.12.-13.12.	28,0	35,6	31,4	34,0	
13.12.-02.01.	14,8	15,8	14,4	12,3	
02.01.-16.01.	22,2	20,5	23,0	21,9	
16.01.-30.01.	29,4	28,2	27,0	25,5	
30.01.-13.02.	26,1	24,1	22,5	26,3	
13.02.-27.02.	27,6	18,8	20,7	20,3	
27.02.-12.03.	12,9	10,3	11,9	11,2	
12.03.-30.03.	x	x	x	x	
30.03.-10.04.	x	x	x	x	
10.04.-23.04.	x	x	x	x	
23.04.-07.05.	x	x	x	x	
07.05.-21.05.	x	x	x	x	x
21.05.-04.06.	x	x	x	x	x
11.06.-24.06.	x	x	x	x	x
24.06.-21.07.	x	x	x	x	x
23.07.-06.08.	4,5	3,9	4,2	3,9	5,6
06.08.-20.08.	7,5	7,2	6,4	7,2	7,8
20.08.-04.09.	6,1	6,2	7,0	7,7	8,2
	Aktiv måling				
08.09.-15.09.					8,3
15.09.-22.09.					8,8
22.09.-29.09.					8,5
29.09.-06.10.					11,1
06.10.-13.10.					9,0
13.10.-20.11.					9,1

x = ødelagt prøve (metodefeil)

Tabell 7: Avsetning sulfat ( $SO_4^{2-}$  mg/m<sup>2</sup>d) for måleperioden fra 22. oktober 1991 til 7. oktober 1993.

Periode	Posisjon 1	Posisjon 2	Posisjon 3	Posisjon 4
22.10.-05.11.	1,67	2,34	3,51	2,20
05.11.-22.11.	2,34	3,36	3,36	2,80
22.11.-06.12.	1,69	2,21	2,54	2,13
06.12.-13.12.	4,80	6,72	6,11	4,70
13.12.-02.01.	2,64	0,29	4,53	0,34
02.01.-16.01.	x	x	x	x
16.01.-30.01.	x	2,89	3,06	x
30.01.-13.02.	x	x	0,44	0,30
13.02.-27.02.	1,24	2,58	3,04	2,41
27.02.-12.03.	1,88	2,01	2,89	2,56
12.03.-30.03.	1,60	1,48	1,83	1,36
30.03.-10.04.	1,48	1,52	1,43	1,21
10.04.-23.04.	1,10	1,15	1,28	0,89
23.04.-07.05.	0,98	0,99	1,85	1,14
07.05.-21.05.	1,00	0,95	1,36	1,34
21.05.-04.06.	0,10	0,13	0,11	0,11
11.06.-24.06.	0,39	0,34	0,36	0,36
24.06.-21.07.	0,62	0,45	0,52	0,48
23.07.-06.08.	0,94	0,65	x	0,76
06.08.-20.08.	1,60	1,12	1,20	0,92
20.08.-04.09.	2,23	0,73	0,59	0,67
07.09.-21.09.	2,18	1,69	2,04	1,72
23.09.-07.10.	1,14	1,22	1,60	1,26

x = tapte prøver

Målingene på fire hjørner ble gjennomført for å se om en kunne registrere forskjeller på grunn av lokale forurensningskilder. Målepunkt 1 lå nærmest parkeringsplassen og punkt 2 nær luftutslippet fra den tekniske avdelingen av museet. Det ble ikke registrert noen verdier som kunne tilskrives spesielle lokale belastninger.

### 7.1.1. $SO_2$

$SO_2$ -målingene viste meget lave verdier. Kun i vintermånedene var bakgrunnsverdien over 0,5  $\mu\text{g } SO_2/\text{m}^3$ . De høyeste verdiene, 5,9-12,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , ble registrert i perioden 5.-22. november. Perioden sammenfaller med den første kuldeperioden den vinteren og har derfor sannsynligvis sammenheng med økt lokal fyring.

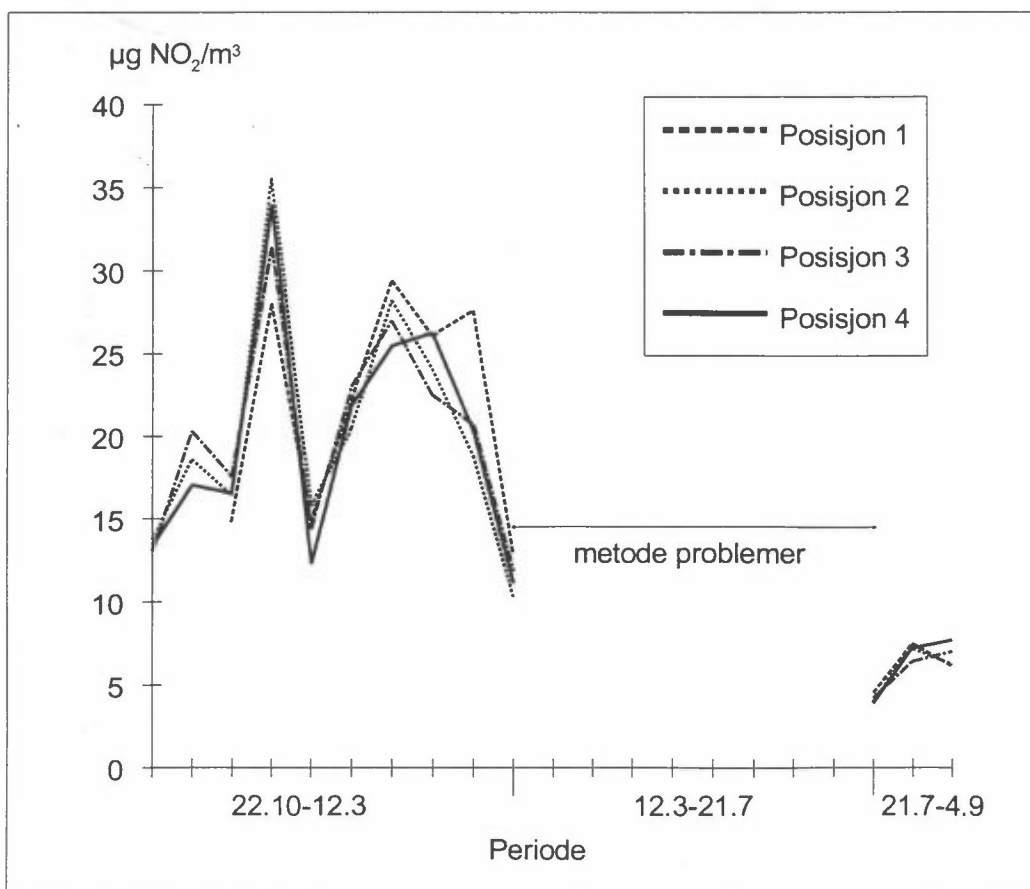
Den siste perioden hvor en registrerte forhøyete verdier var i en mindre kuldeperioden fra 13. mars til 10. april.

De lave verdiene skyldes primært at det er lite forurenset luft i området, og at området er åpent med god luftbevegelse. I stille kuldeperioder vil en få en oppbygging av konsentrasjonene slik det ble registrert. En usikkerhet ved målingene er at prøvetakerne står på eller nær en kalksteinsmur. Dette ble gjort for å få prøvetakerne over den høyden som folk kunne nå dem. Kalkstein vil imidlertid også adsorbere  $SO_2$ , og det er derfor mulig at målingene er noe lavere enn det

generelle nivået på Domkirkeodden. En kan likevel konkludere med at nivået er for lavt til å påvirke nedbrytning merkbar.

### 7.1.2. $\text{NO}_2$

I en periode våren 1992 fikk vi problemer med de passive  $\text{NO}_2$ -prøvetakerne. Dette skyldtes at filterne hadde sur reaksjon ved oppsettingen, og at  $\text{NO}_2$  da ikke ble absorbert. For periodene fra 12. mars til 21. juli mangler vi derfor data. Resultatene fra målingene er vist i figur 2. Målingene har samme tendens som  $\text{SO}_2$ -målingene med høyere verdier om vinteren, 15-35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enn om sommeren, 6-8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



Figur 2:  $\text{NO}_2$ -konsentrasjonene som ukemiddel målt rundt Hedmarksmuseet i periodene 22. oktober 1991 til 12. mars 1992 og 23. juli 1992 til 4. september 1992.

I perioden fra 8. september til 20. oktober 1992 ble det gjort tilleggsmålinger med aktiv prøveinnsamling ved målepunkt 5 (se figur 1). Resultatene viser at de aktive målingene gav samme konsentrasjonsnivå som de passive prøvetakerne.

Målingene viste så lave  $\text{NO}_2$ -verdier at en kan se bort fra nedbrytningseffekt fra  $\text{NO}_2$  i området.

### 7.1.3. Sulfat- ( $SO_4^{2-}$ ) og klorid- ( $Cl^-$ ) avsetning

Partikkelavsetningen av  $SO_4^{2-}$  var lav og med samme tendens som gassmålingene med noe høyere nivå om vinteren enn om sommeren, 3 mg/m<sup>2</sup>d om vinteren og 1 mg/m<sup>2</sup>d om sommeren.

For klorid var nivået lavt hele året, ca. 0,3 mg/m<sup>2</sup>d. Dette er et vanlig nivå på Østlandet og langt under de grenser en har satt for skadelig virkning.

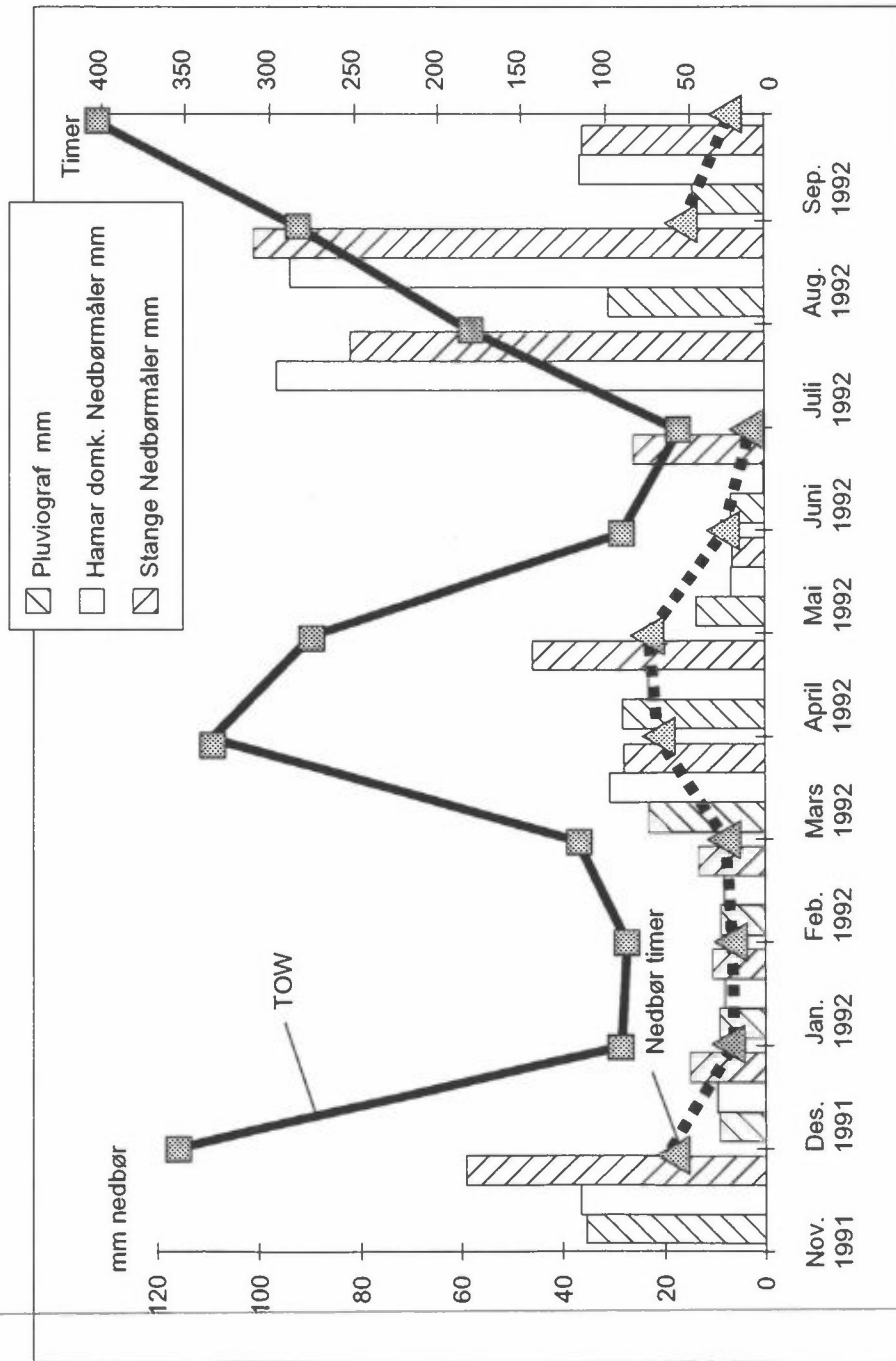
## 7.2. Meteorologiske målinger

Fuktparameterne er vist samlet i tabell 8 og figur 3. I tillegg til våre egne målinger med pluviograf, nedbørmåler og termohygrograf (våttid) ble også resultatene fra DNMI's stasjon på Stange folkehøgskole benyttet. Stasjonen ligger ca. 10 km SØ for Domkirkeodden. I tabell 9 er termohygrografdataene listet. I tillegg til temperatur og relativ fuktighetsmålingene (RH) ble antall passeringene av frysepunktet 0°C registrert.

Tabell 8: Resultater fra fuktmålingene på Domkirkeodden og fra Det norske meteorologiske institutts målestasjon på Stange i perioden fra november 1991 til september 1992.

Tid	Hamar domkirkeruin			Stange (DNMI-stasjon)	
	Våttid (TOW) timer	Pluviograf timer	mm	Nedbørmåler mm	Nedbørmåler mm
<b>1991</b>					
November	350	57	35,4	36,4	59,0
Desember	86	19	9,2	9,7	15,0
<b>1992</b>					
Januar	83	20	9,1	8,1	10,5
Februar	112	24	8,9	8,2	13,2
Mars	329	64	23,1	30,7	27,9
April	270	70	28,1	23,2	45,7
Mai	86	25	13,6	6,7	6,5
Juni	52	9	6,7	0,2	26,0
Juli	178	-	-	96,6	82,0
August	280	49	30,8	93,9	101,0
September	397	23	14,2	36,5	36,0
Totalt 11 mnd.	2223			350,2	422,8





Figur 3: Månedsværdierne for fuktparameterne nedbør, timer med nedbør og beregnet våttid for måleperioden november 1991 til september 1992.

Tabell 9: Termohygrografdata fra målingene på Domkirkeodden fra november 1991 til september 1992.

Tid	T <sub>midl</sub> °C	T <sub>max</sub> °C	T <sub>min</sub> °C	$\bar{T}_{max}$ °C	$\bar{T}_{min}$ °C	0°C-passeringer antall	RH %
<b>1991</b>							
November	-0,4	8,5	-14,1	2,0	-3,2	22	86
Desember	-1,7	10,4	-11,1	1,7	-4,5	20*	82
<b>1992</b>							
Januar	-1,7	8,7	-12,1	1,1	-4,3	19	80
Februar	-2,8	6,3	-16,8	0,5	-6,1	29	78
Mars	2,2	8,1	-8,4	4,1	-0,4	29	76
April	3,1	12,7	-4,7	6,4	-0,3	23	74
Mai	13,6	28,0	-0,4	19,4	7,7	1	62
Juni	17,3	30,1	4,0	22,8	11,4	0	61
Juli	16,2	24,7	6,5	20,5	11,4	0	68
August	13,4	19,7	5,3	16,5	10,0	0	79
September	10,3	19,2	0,4	13,6	6,8	0	82

\*: termohygrografen registrerte bare i 27 dager i desember.

### 7.2.1. Fuktparameterne

Figur 3 viser at det er sammenlignbare forhold på Domkirkeodden og på Stange, selv om Stange har noe mer nedbør (ca. 20%). Pluviograf og nedbørsamler viser temmelig like verdier fram til sommeren 1992. Fra juli til september var det stor forskjell. Forskjellen skyldes at registreringssystemet for pluviografen sviktet. Registreringspapiret ble fuktig og pennen skrev så dårlig at en vanskelig kunne lese av instrumentet. Vi har derfor sett bort fra disse målingene ved evalueringen av resultatene.

Variasjonene over året for beregnet våttid og timer med nedbør er også vist i figur 3. En ser at det er rimelig god sammenheng mellom alle resultatene. Den markerte økningen i våttid en får på høsten, november 1991 og september 1992, skyldes primært kondensperioder i dager uten regn. Spesielt juli og august 1992 var regnfulle måneder, og fuktinntrengningene på ubeskyttede deler av ruinen vil bli betydelig. Dette er spesielt uheldig sensommer og høst da en oppfuktet mur lett utsettes for frostskafer når vinteren kommer.

Fuktmålingene på Domkirkeodden viser at nedbøren på stedet er typisk for et innlandsområde på Østlandet. Den totale nedbørmengden på Stange i perioden var omtrent lik 30-års-normalen, men mens vintermånedene og juni har vært lavere enn normalen, så har juli og august vært betydelig over. Høy fuktighet (våttid) registreres oftere ved en stor innsjø som Mjøsa enn ellers i innlandet. Dette medfører at vi får høye beregnede våttidsverdier i høstmånedene, slik det ble målt i september 1992.

### 7.2.2. Termohygrografmålingene

Temperaturmålingene og midlere relativ fuktighet for månedene er gitt i tabell 9. Det er spesielt temperaturmålingene som er interessante for nedbrytningen, da en fuktig mur lett kan få skader som skyldes trykkrefter i mikrosprekker på grunn av vannets utvidelse ved lavere temperatur og ved frostsprengning. I tabellen ser en at i perioden fra og med november 1991 til og med april 1992 ble det observert

temperatursvingninger gjennom 0°C svært mange dager, i februar og mars tilnærmet hver dag. Hvilke grenser en bør velge for å fastsette den maksimale belastningsperioden avhenger av mange materialtekniske parametere og av konstruksjonens tilstand. Likevel kan en se at sommeren er den minst belastete årstiden, at vinteren i lengre perioder er så kald at en ikke får pulserende effekt og at høsten og kanskje spesielt våren vil være den perioden hvor temperatur og fuktbelastningen blir størst.

### 7.2.3. Nedbørkjemi

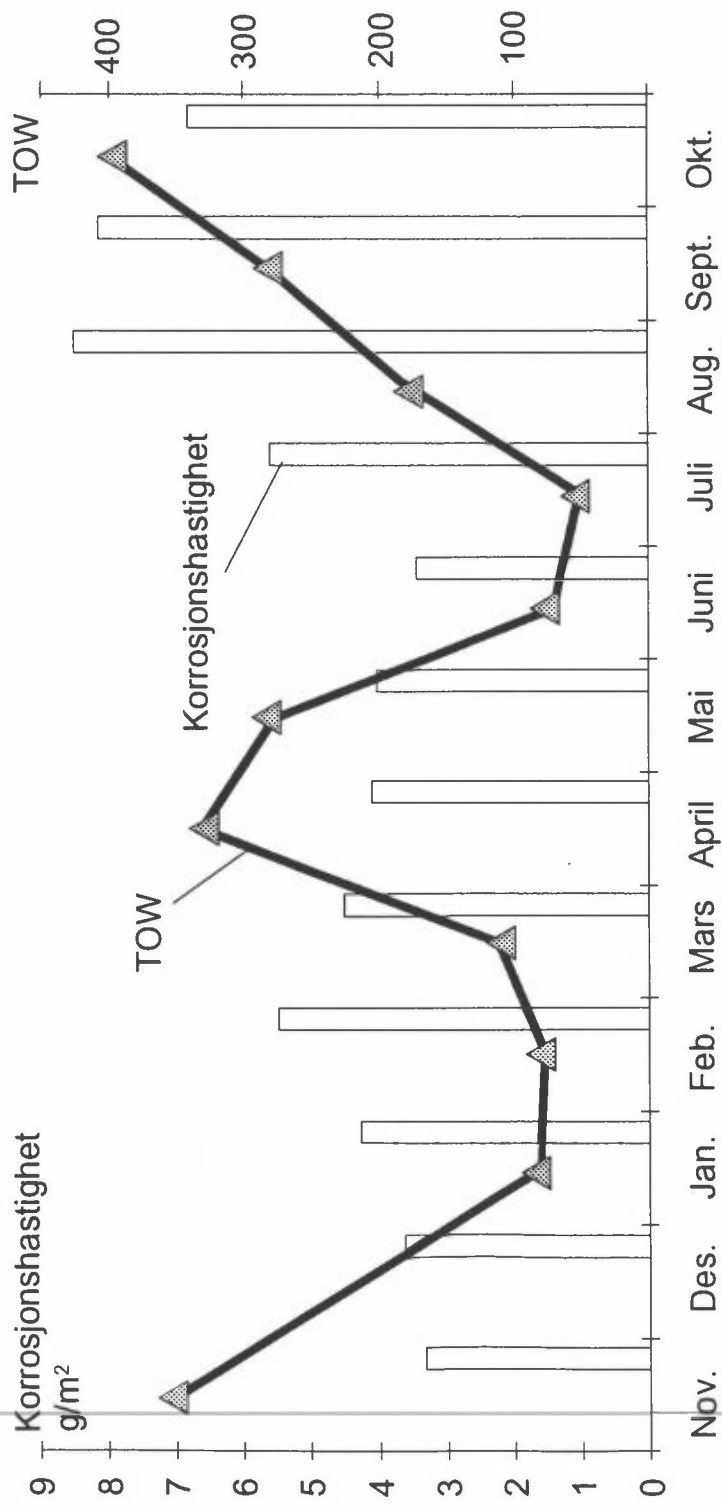
De meste interessante nedbørsparemetere er gitt i tabell 10. I mai hadde vi bare en prøve med tilstrekkelig nedbør for analyse og i juni ingen. I gjennomsnitt lå pH godt over de grenser som er satt for skadelig virkning. Imidlertid ble det observert regnvær med så lav pH som 4,10 i enkelte regnvær, og dette gjør at en ikke kan utelukke episoder hvor regnvannet er surt nok til å øke nedbrytningen. Forurensningsnivået av sulfat og klorid var lavt i hele perioden, men en ser at vintermånedene desember og februar hadde høyere belastning. Dette stemmer også overens med tørravsetningsmålingene.

Tabell 10: Analyseresultater for pH, sulfat og klorid i nedbør i måleperioden november 1991 til september 1992.

Tid	midlere pH	pH <sub>min</sub>	pH <sub>max</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l
<b>1992</b>					
November	5,01	4,61	6,42	1,20	0,52
Desember	6,47	6,38	6,67	5,22	2,34
<b>1992</b>					
Januar	6,51	6,42	6,86	1,62	0,98
Februar	4,60	4,39	6,25	3,46	1,89
Mars	4,57	4,41	4,74	2,30	0,70
April	6,01	5,76	6,33	2,11	0,64
Mai	6,77	-	-	2,28	0,37
Juni	-	-	-	-	-
Juli	4,42	4,10	6,72	2,47	0,33
August	4,62	4,23	6,36	1,67	0,51
September	4,60	4,35	4,75	2,21	0,46

### 7.3. Korrosivitetmålinger

Årskorrosjonen ble målt til 37,3 g/m<sup>2</sup> eller 5 µm. I henhold til ISO-9223 som gir retningslinjer for klassifisering av miljøets aggressivitet er dette klasse C<sub>2</sub>-lav. I figur 4 er korrosiviteten pr. måned plottet sammen med våttidsmålingene. Det er en faktor på 2,6 mellom korrosjonshastigheten målt i den tørre juni-måned til den sure og regnrrike august-måned. Siden månedsprøvene eksponeres fra 22. til 22., så er det august-prøvene som ble eksponert for det sureste regnværet som i tabell 10 står listet i juli måned.



Figur 4: Plott av månedskorrosjonen (start 22. hver måned og inntak 22. neste måned) og beregnet våttid på Domkirkeodden fra november 1991 til oktober 1992.

## 8. Konklusjoner

### Miljø

- Målingene rundt domkirkeruinen og Hedmarksmuseet har vist at Domkirkeodden er et sted med lite lokal forurensning og god utskifting av luft.
- Nedbøren var i enkelte regnvær så sur at en negativ effekt på steinene ikke kan utelukkes. I de fleste tilfellene var pH i regnet så høy at en kan se bort fra surheten i regnet.
- Fukt- og temperaturlastningen er de faktorene som synes å ha størst betydning for nedbrytningen, selv om disse faktorene på ingen måte er ekstreme. Det er registrert mange og store temperatursvingninger i et temperaturområde som kan være kritiske for ruinen. Hvis en kan unngå fuktinntrenging i konstruksjonene, vil en øke restlevetiden betraktelig.

### Korrosivitet

- Korrosiviteten i området er lav og viser at miljømålingene gir et riktig bilde av de lokale belastningene. Et estimat av restlevetiden for ruinen slik en kjenner den i dag, kan derfor ikke beregnes ut fra miljøkjemiske betraktninger. En må primært ta hensyn til at ruinen er mekanisk svekket og at de fysikalske belastningene fra nedbør og vind synes å være viktige nedbrytningsfaktorer.

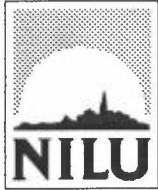
### Metodikk

- Passive prøvetakere gav tilstrekkelig nøyaktighet for NO<sub>2</sub> rundt Hedmarksmuseet, mens SO<sub>2</sub>-målingene ofte gav verdier under deteksjonsgrensen. For begge gassene gir ukeprøver tilstrekkelig nøyaktighet for å kunne bestemme de episodene hvor konsentrasjonene er så høye at økt nedbrytning kan forventes.
- En bør unngå å montere passive prøvetakere på materialer som reagerer sterkt med gassene, eksempelvis kalkholdige materialer. Målepunktet bør også være godt ventilert og hushjørner kan være gode stedsvalg.
- Nedbørmengden og den sesongmessige variasjonen kan tas fra nærliggende målestasjoner. 20% mer nedbør på Stange er innenfor den naturlige variasjonen mellom stasjonene i et område. Sammenligner en 30-års-normalen fra ulike stasjoner i Hamar-området, er nedbørmengden svært lik på samtlige målestasjoner.
- De totale nedbørkjemiske belastningene vil utenfor strøk med lokal forurensning være sammenliknbare over et større geografisk område i henhold til NILUs erfaringer. I områder hvor en venter lokale belastninger er det nødvendig med egne målinger av nedbørkjemi. Egne målinger er også nødvendig for å registrere korte episodebelastninger, slik som vi har observert på Hamar.
- Termohygrografregistreringer eller andre temperatur- og fuktighetsmålinger er det viktig å registrere lokalt.

- Vind og slagregnsmålinger ble ikke benyttet på Hamar. Spesielt i værharde strøk vil disse målingene være ønskelige.

## 9. Referanser

International Organization for Standardization (1992) Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. Geneve (ISO International Standard 9223).



Norsk institutt for luftforskning (NILU)  
Norwegian Institute for Air Research  
Postboks 64, N-2001 Lillestrøm

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NR. OR 4/94	ISBN-82-425-0540-3	
DATO 23.2.1994	ANSV. SIGN. <i>Skovland</i>	ANT. SIDER 20	PRIS NOK 30,-
TITTEL EU 446 EUROCARE CAREBUILD - Miljømålinger rundt Hamar domkirkeruin		PROSJEKTLEDER Jan F. Henriksen	
		NILU PROSJEKT NR. O-92053	
FORFATTER(E) Jan F. Henriksen		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Dr.techn. Kristoffer Apeland A/S Fagerborggt. 12 0360 OSLO			
STIKKORD Miljømålinger	Materialnedbrytning	Forurensning	
REFERAT Rapporten gir en oversikt over de parametere og de metoder som bør anvendes for å bestemme det ytre miljøets påvirkning på historiske bygninger. Metodene er dokumentert ved målinger rundt Hamar domkirkeruin. Resultatene viser at miljøet er lite aggressivt og at den største miljøbelastningen er nedbør, temperatursvingninger og frost.			
TITLE Environmental conditions at the ruin of Hamar Cathedral - EU 446 EUROCARE CAREBUILD			
ABSTRACT A review of the parameters and methods to be used for evaluation of the environmental impacts on historic buildings is given. The parameters and methods are used for evaluation of the environmental impact on the ruin of Hamar Cathedral. <del>The results indicate that the surroundings have little pollution and that the main effect is caused by precipitation, fluctuation of the temperature and frost.</del>			

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