

NILU: OR 14/2001
REFERANSE: O-100072
DATO: MARS 2001
ISBN: 82-425-1251-5

**En vurdering av risiko-
områder for kulturminner i
Norge basert på
forurensnings- og
klimaparametre**

Jan F. Henriksen, Wenche Aas og Frederick Gram

Innhold

	Side
Sammendrag	3
1 Innledning	7
2 Mål	7
3 Kulturminner og miljøbelastning	7
3.1 Dose-respons- og levetidsligninger	8
4 Tilgjengelige data og modeller	11
4.1 Innledning.....	11
4.2 Kilder for data	11
4.3 Modellberegninger	12
4.3.1 Modellering på nasjonalt nivå	12
4.3.2 Modellering av Oslo-området	13
5 Risikokart og risikoklasser	13
5.1 Risikokart for Norge.....	14
5.1.1 Risikokart basert på korrosjonsligninger.....	14
5.1.2 Risikokart basert på levetidsligninger	19
5.2 Risikokart for Oslo	24
5.2.1 Risikokart for Oslo basert på korrosjonsligninger	24
5.2.2 Risikokart for Oslo basert på levetidsligninger.....	26
6 Trender.....	29
7 Konklusjoner	32
8 Referanser	34
Vedlegg A Kulturminner i Norge.....	37
Vedlegg B Ligninger benyttet til beregning av risikokart.....	43

Sammendrag

På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) og Riksantikvaren har Norsk institutt for luftforskning (NILU) utarbeidet en geografisk oversikt over risikoområder for nedbrytning av kulturminner i Norge med utgangspunkt i forurensnings- og klimaparametre. Den geografiske oversikten har omfattet:

Risikokart for Oslo basert på modellprogrammene AirQUIS/CorrCost og KILDER med emisjonsdata fra NILU og Statistisk sentralbyrå (SSB) for året 1995.

På nasjonalt nivå er det utarbeidet risikokart basert på SFTs database for forurensninger i perioden 1992-96 slik den er tilgjengelig på NILU, meteorologiske data fra EMEP/MSC-W på DNMI og de modeller som er etablert innenfor EMEP-programmet.

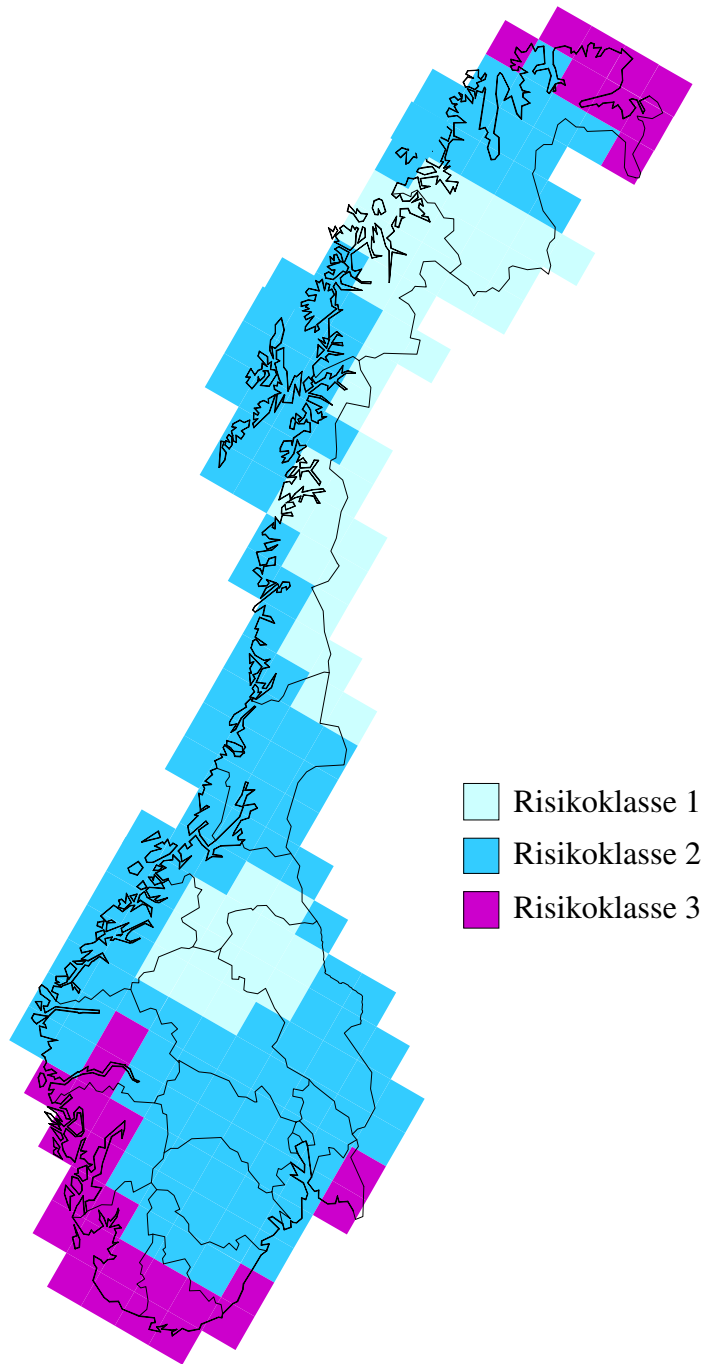
I Oslo er det utarbeidet en oversikt over korrosjonsforholdene for årene 1979 og 1995 for å illustrere effekten av de forurensningsmessige tiltak som er igangsatt i perioden. Rapporten viser også til tidligere luftforurensningsdata tilbake til 1950-årene hvor forurensningen og belastningen var betydelig høyere.

Rapporten viser at SFTs miljødatabase for Norge har tilstrekkelig data til at en kan anslå nedbrytningsrisikoen for materialer i Norge i et rutenett på 50x50 km. Risikokartene vil vise virkningen fra de parametre som er i ligningene og for de aller fleste materialer betyr det meteorologiske data og luftforurensningsdata. Ligningene vil underestimere risikoen langs kysten for alle materialer som nedbrytes av klorider. Dette har en forsøkt å ta hensyn til ved at risikokartene for kystlinjen er økt med en klasse der hvor den beregnede risikoklassen er 1. Tabellen som viser korrosjonshastigheten for de ulike risikoklassene er vist i Tabell A og et kart for kobber, rusttregt stål og sink med risikoområder i området er vist i Figur A.

Tabell A: Risikoklasser for Norge basert på korrosjonshastigheter (g/m²-år) og µm/år og laveste og høyeste korrosjonshastighet i rutenettet.

Materialer	Korr.min.	Korr.max.	Risikoklasse 1		Risikoklasse 2		Risikoklasse 3	
	g/m ² -år	g/m ² -år	g/m ² -år	µm	g/m ² -år	µm	g/m ² -år	µm
Sink	2.5	8.9	<4.2	<0.6	4.2-6.3	0.6-0.9	>6.3	>0.9
kobber	1.7	10.3	<3.2	<0.35	3.2-7.4	0.35-0.8	>7.4	>0.8
Kalkpuss og kalkstein	0.5µm	5.3µm		<1.8		1.5-2.9		>2.9
Kalkholdig sandstein	0.6µm	5.0µm		<1.5		1.5-2.9		>2.9
Bronse	0.6	4.3	<1.5	<0.17	1.5-3.0	0.17-0.34	>3.0	>0.34
Aluminium	0.07	0.22	<0.13		0.13-0.18		>0.18	
Rusttregt stål	38.6	264.2	<130	<15	130-170	15-20	>170	>20

Som det fremgår av tabellen er det Risikoklasse 1 som representerer de laveste korrosjonshastighetene og Risikoklasse 3 den som har de høyeste hastighetene. I Norge i dag er det få eller ingen områder med høye nedbrytningshastigheter sammenlignet med andre forurensede områder i verden eller med slik forholdene i Norge var for 40 år siden.

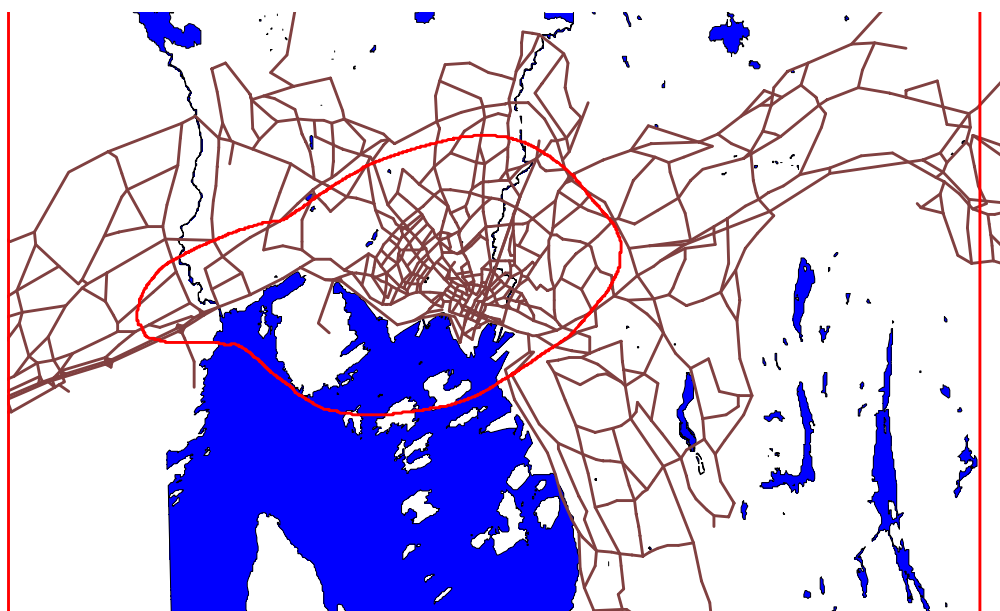


Figur A: Kart over Norge med risikoklassene beregnet som korrosjonshastighet for sink, kobber og rusttregt stål.

Områdene sør og nord i landet har økt risiko på grunn av sur nedbør i sør og store utslipp av SO₂ fra russisk side i nord. For Norge med en lang kystlinje og med mye av bebyggelsen og vår kulturarv knyttet til disse områdene er det en svakhet at dagens dose-respons ligninger ikke inkluderer klorid som nedbrytningsfaktor. De beregnede kartene vil likevel kunne gi informasjon som kan være av interesse for de ansvarlige myndighetene, hvis informasjonen benyttes på en riktig måte. Områder med Risikoklasse 1 og lavest korrosjonshastighet skyldes variasjoner i meteorologiske parametre som synkende temperatur nordover og tørrere klima innover i landet.

I Norge i dag har de aller fleste byene så lave korrosjonshastigheter at nivået er sammenlignbart med regionens korrosjonshastighet. Selv i Oslo er nivået så lavt at regionens risikoklasser kan benyttes. De områdene som har høyere korrosjon er Grenlandsområdet og Sarpsborg/Fredrikstadområdet. I tillegg vil det være enkelte små steder knyttet til forurensende industri som har lokalt høyere korrosjonshastighet.

Ved bruk av utslippstall fra industri, fyring og trafikk, kan en beregne belastningene i et tettsted eller en by med betydelig større nøyaktighet enn ved bruk av SFTs database. Dette er vist for Oslo hvor en ser at det er forskjeller i risikoen for nedbrytning innenfor byen. Generelt er det større risiko i sentrum av byen enn i utkanten. Unntaket er kobber som korroderer mer i utkanten av Oslo. Beregningene er gjort i KILDER for langtidsmidler av gassene, mens risikokartene er beregnet i AirQUIS/CorrCost modellen. Når langtidsmodellen i ENSIS blir ferdig, vil hele beregningen kunne gjøres i AirQUIS/CorrCost. Som eksempel på risikokart over Oslo i dag er kartet for sink vist, se Figur B.



Figur B Isolinjer for risiko-områder for sink i dagens Oslo med høyeste risikoklasse 3 i sentrum og 2 i utkanten.

En full oversikt med kart og tabeller for risikoklasser er vist i rapporten.

En vurdering av risiko-områder for kulturminner i Norge basert på forurensnings- og klimaparametre

1 Innledning

Kulturminner finnes over hele Norge, både i byer og på landsbygda. En betydelig del av kulturminnene er bygninger og monumenter som er fritt eksponert mot ulike forurensnings- og klimaparametre.

I rapporten ”Identifisering og vurdering av SFTs overvåkingsdata sett i relasjon til nedbrytning av kulturminner i luft, jord og vann” (Dahlin et al.,1999), ble det konkludert med at SFTs database gir informasjon om miljøets betydning i et stort geografisk område av landet. For mange formål vil opplysninger i databasen kunne brukes til en vurdering av miljøets og forurensningens betydning for nedbrytning av kulturminnene. Det er i denne sammenheng også viktig å vurdere de lokale meteorologiske forhold.

Norsk institutt for luftforskning (NILU) og Det norske meteorologiske institutt (DNMI) har databaser med parametre som er nødvendig for å beregne nedbrytningen av materialer på nasjonalt nivå. Disse data vil derimot ikke være tilstrekkelig til å vurdere nedbrytningen innenfor en by eller ett større tettsted med høyere luftforurensning og som varierer innenfor området. For å vurdere forholdene innenfor et slikt område kan en benytte NILUs modeller for emisjons- og konsentrasjonsberegninger.

2 Mål

NILU skal ifølge prosjektplanen utarbeide en geografisk oversikt over risikoområder for nedbrytning av kulturminner i Norge med utgangspunkt i forurensnings- og klimaparametre. Den geografiske oversikten skal omfatte:

- Risikokart for Oslo basert på modellprogrammene AirQUIS/CorrCost og KILDER med emisjonsdata fra NILU og SSB for to tidsperioder, 1995 og 1979.
- På nasjonalt nivå skal det lages risikokart basert på SFTs database for forurensninger i perioden 1992-96 slik den er tilgjengelig på NILU (Tørseth 1997), meteorologiske data fra EMEP/MSC-W på DNMI og de modeller som er etablert innenfor EMEP-programmet.

3 Kulturminner og miljøbelastning

Det er utenfor prosjektets ramme å beskrive lokaliseringen og belastningen for hvert enkelt kulturminne. I vedlegg A er det gitt en grov oversikt over ulike typer kulturminner slik de ble beskrevet i NILU OR 10/99.

Hensikten ved denne rapporten er å dele landet inn i risiko-områder hvor belastningen fra klima og forurensninger har tilnærmet lik nedbrytningseffekt på kulturminner. Dette forutsetter at en kjenner sammenhengen mellom materialets nedbrytning og miljøet, gjerne beskrevet som dose-respons ligninger eller levetidsligninger. Videre må en vite hvorledes den enkelte miljøfaktoren varierer over et geografisk område. Dette betyr at gyldigheten for risikokartene er avhengig av hvor nøyaktig en kan beregne inngangsparametrene.

Risikokartene på nasjonalt nivå er basert på miljødata i et rutenett på 50x50km. Alle parametrene er betraktet som konstant innenfor hver rute. For risikokartet over Oslo er gassforurensningene modellert i et 500x500m rutenett mens de meteorologiske parametrene er antatt like over hele området. En ytterligere begrensning for bruken av risikokart er at det bare er materialer hvor en enten har dose-respons- eller levetidsligninger som vil komme med i beregningene. En oversikt over tilgjengelige dose-respons- og levetidsligninger er gitt i Tabell 1 og i Vedlegg B.

Mange av de problemer som konservatorer møter til daglig er utenfor rammen av prosjektet. Dårlig håndverk og dårlig vedlikehold kan gi skader som ikke er direkte relatert til miljøets påvirkning. Ulike belastninger på ulike sider av et bygg og andre lokale variasjoner er andre problemer som ikke kan inkluderes med basis i SFTs database.

3.1 Dose–respons- og levetidsligninger

Dose-respons-funksjoner eller ligninger er betegnelsen for ligninger som beskriver sammenhengen mellom den nedbrytning (korrosjon) en registrerer på materialer og de forurensningsmessige og meteorologiske faktorer som forklarer nedbrytningen. Resultatet oppgis ofte i g per m² for ett år (g/m² år) eller som korrosjonsdybden i µm (0.001mm) per år.

De mest anerkjente ligningene i dag og som kan anvendes over større områder er utviklet i et UN/ECE (United Nation/Economic Commission for Europe)-program som startet i 1987. Programmet “UN/ECE International Co-operative Programme on Effects on Materials, Including Historic and Cultural Monuments” (UN/ECE ICP Materials) omfattet et stort antall materialer eksponert på 36 stasjoner i Europa, 2 i USA og 1 i Canada (Tidblad et al., 1998). Resultatene etter 8 års eksponering er vist i Vedlegg B, Tabell B1.

De fleste ligningene inneholder de samme parameterene og har den samme generelle form for fritt eksponerte flater.

$$ML = a * (SO_2)^b * (O_3)^c * RH * \exp[d(T-10)] * t^e + f * \text{regn} * (H^+) * t$$

ML = vekttap (Mass Loss) i g/m² dag
 SO₂ = svoveldioksid i µg/m³
 O₃ = ozon i µg/ m³
 RH = relativ fuktighet i prosent
 T = temperatur i °C
 Regn = nedbør i meter
 H+ = hydrogen ionekonsentrasjonen mg/l

Avvikene fra denne generelle ligningen er rusttregt stål som har en log-transformert ligning, kobber hvor ozon er en forklaringsvariabel og aluminium og bronse hvor klorid i nedbør er med. For materialer skjermet mot regn vil det siste leddet i ligningen forsvinne.

I tillegg til ligningene i Tabell B1 er det utviklet ligninger for rustbeskyttende malinger og for to spesielt følsomme glasstyper. Resultatene er beskrevet i dose-respons-ligninger med en annen form enn dem en finner i Tabell B1. Disse ligningene er ikke brukt til å definere risiko-områder i denne sammenhengen.

Dose-respons-ligninger vil i liten grad kunne anvendes i områder hvor belastningen domineres av andre kjemiske stoffer enn de som er representert i ligningen. I Norge er det spesielt kystlinjen som er vanskelig å inkludere. Spesielt metaller, men også andre materialer nedbrytes sterkt av klorid fra sjøsalt. Denne virkningen ønsket en å ekskludere fra effektene i "UN/ECE ICP Materials-programmet" da en med vilje holdt stasjoner med kloridbelastninger utenfor prosjektet. Likevel ser en at klorid er med på å forklare korrosjonen av bronse og aluminium. Rundt aluminiumsverk er forurensningen dominert av fluorider. Fluorid og flussyre er stoffer som spesielt angriper keramiske fliser og glass. Det er derfor sannsynlig at stein også blir mer angrepet i disse områdene.

Som det fremgår av Tabell B1, er det størst kunnskaper om nedbrytningsforholdene for metaller. Det er bare to bergarter, kalkstein og kalkbundet sandstein som er med i tabellen. Det er kjent at ulike bergarter har svært ulik motstand mot nedbrytning. Det kan derfor være begrenset overføringsverdi i resultatene fra de kalkholdige bergartene til andre norske bergarter. Overføringsverdien kan være betydelig større mellom kalkstein og kalkholdig puss på bygninger.

I Tabell B2 er det gitt en liste over de materialene en har levetidsligninger for. For materialer hvor en kan definere hvor mye korrosjon et materiale kan tåle før tiltak må igangsettes ble korrosjonsligningene fra "UN/ECE ICP Materials-prosjektet" benyttet. I andre tilfeller benyttet en ligninger som er fremkommet i MOBAK-prosjektet fra 1986-89. I dette prosjektet, som SFT støttet, ble det utviklet ligninger for levetider for vedlikehold av materialer basert på inspeksjoner av bygninger i Sarpsborg og Stockholm (Kucera et al., 1993). Nøyaktigheten er sannsynligvis dårligere enn i prosjektet "UN/ECE ICP Materials", men den inkluderer flere materialer som det kan være ønskelig å vurdere i kulturhistorisk sammenheng. Alle ligninger fra MOBAK-prosjektet har samme form:

$$L = 1000 / (a * SO_2 + b + c * \text{regn} * H^+)$$

L = levetid i år
 SO₂ = svoveldioksid i µg/m³
 Regn = nedbør i meter
 H⁺ = hydrogen ionekonsentrasjonen i mg/l

I Tabell 1 er det gitt en oversikt over materialer hvor en kjenner dose-respons-og/eller levetidsfunksjoner sammen med de parametre som inngår i ligningene. Videre er det tatt med andre parametre som en mener har betydning, uten at sammenhengen er dokumentert i ligninger.

Tabell 1: Oversikt over materialer hvor forurensningenes virkning er dokumentert.

Materialer	Dose-respons-ligninger	Levetids-ligninger	Parametre i ligninger	Andre reaktive parametre
Stål	ja		SO ₂ , RH, H ⁺	Cl, F, regn, SO ₄ ²⁻
Rustregt stål	ja		SO ₂ , RH, temp., H ⁺	Cl, F, regn
Sink	ja		SO ₂ , RH, temp. regn(H ⁺)	Cl
Forsinket stål	ja	ja	SO ₂ , RH, temp, regn(H ⁺)	Cl
Aluminium	ja		SO ₂ , Cl, regn , RH, temp.	syrer
Kopper	ja	ja	SO ₂ , O ₃ , regn, RH, temp.	NO ₂ NH ₃
Støpt bronse	ja		SO ₂ , Cl, regn, RH, temp.	NO ₂ NH ₃
Kalkholdig stein	ja	ja	SO ₂ , temp, regn(H ⁺)	Cl
Glass	ja		NO ₂ , temp, RH,	HF
Malt stål	ja	ja	SO ₂ , RH, temp, regn(H ⁺)	Cl, sot
Malt forsink. st.	ja	ja	SO ₂ , RH, temp, regn(H ⁺)	Cl, sot
Kalkpuss		ja	SO ₂ , temp, regn(H ⁺)	Cl, sot
Kalk/semest puss malt		ja	SO ₂ , regn(H ⁺)	Cl, sot
Sementpuss				SO ₂ , Cl, sot
Betong				SO ₂ ,syrer
Tegl stein				SO ₂ ,syrer
Båndlakkert metall		ja	SO ₂ , regn, (H ⁺)	
Takpapp		ja	SO ₂ , regn, (H ⁺)	
Malt/beiset tre		ja	SO ₂ , regn, (H ⁺)	NO ₂ , NH ₃ , temp, regn, RH

For råte i trekonstruksjoner finnes det en ligning basert på en undersøkelse i USA (Scheffer, 1971). Ligningen gir en råteindeks, Scheffer's Climatic Risk Index (SCRI), basert på målinger av månedsmiddeltemperatur og antall dager med regn i måneden som parametre.

$$\text{Scheffer's Climatic Risk Index (SCRI), } SCRI = \frac{\sum_{Jan.}^{Dec.} [(T - 2)(D - 3)]}{17}$$

T= Månedsmiddeltemperatur

D= Dager med regn > 0.1mm per måned

Forslag til skalaen er:

SCRI <35 liten fare for råte

SCRI 35-65 middels fare for råte

SCRI > 65 stor fare for råte

Per i dag mangler en modellen som kan gjøre om tilgjengelige meteorologiske data fra DNMI's stasjoner til Scheffer's Climatic Risk Index. Det er spesielt den topografiske innflytelsen som en får når inngangsdataene skal ekstrapoleres til nye områder som er problematisk.

4 Tilgjengelige data og modeller

4.1 Innledning

I henhold til oversikten i Tabell 1 trenger en data for følgende parametre:

- Gass: SO₂ og O₃. Eventuelt kan en regne ut O₃ hvis en kjenner NO₂ på stedet eller i rutenettet.
- Nedbør: årlig nedbør og årlige middelkonsentrasjoner av H+ og klorid.
- Meteorologi: årsmiddel av temperatur og relativ fuktighet.

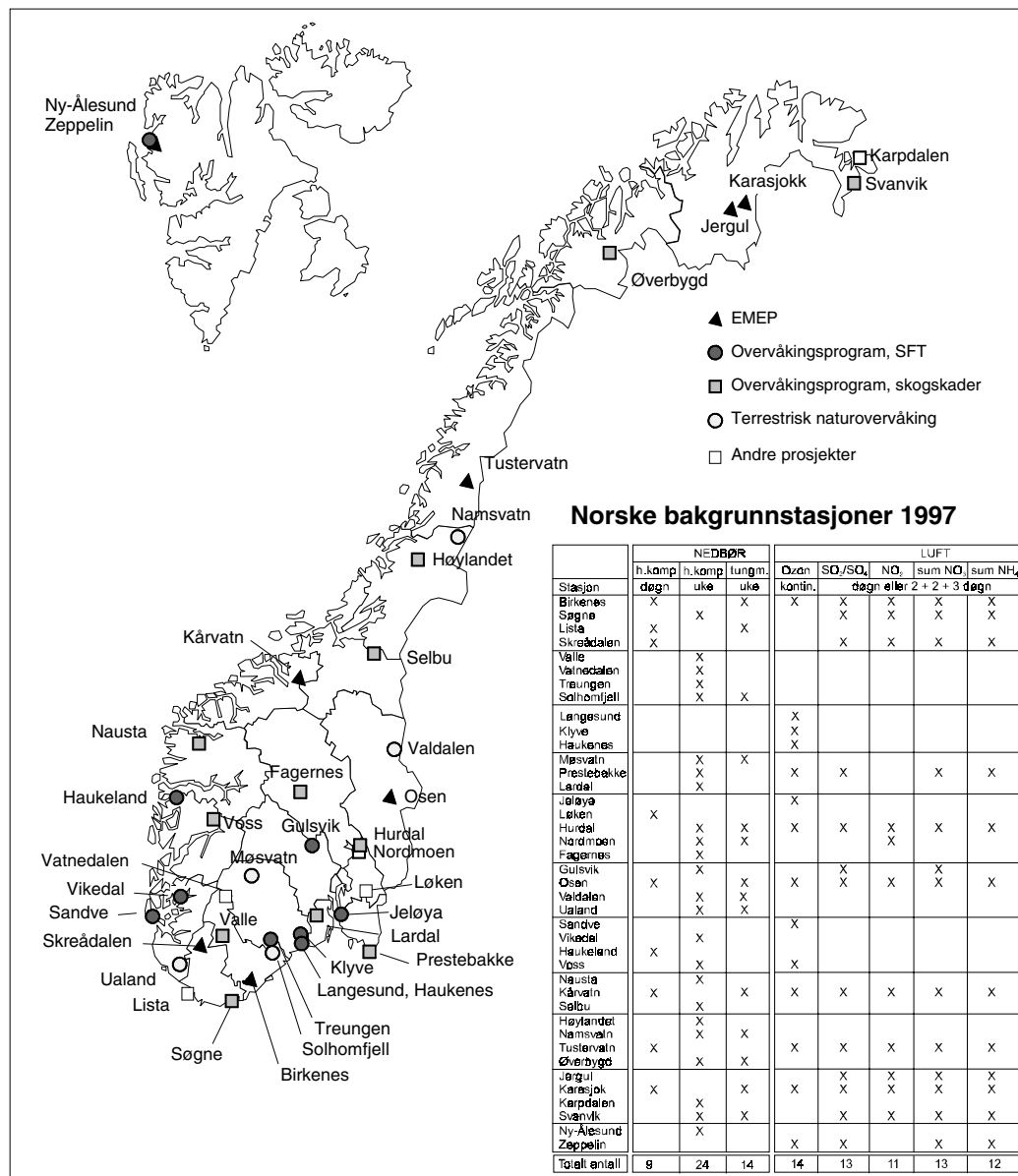
4.2 Kilder for data

Måleprogrammet "Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør" representerer et omfattende bakgrunnsstasjonsnett hvor i alt 40 norske stasjoner inngår. Programmet ble startet i 1980 i regi av SFT. Nettet inkluderer 7 stasjoner som inngår i EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme), som er et internasjonalt måleprogram. Figur 1 viser norske bakgrunnsstasjoner i 1997.

For modellering av risikokart for Norge har vi benyttet midlere miljøparametere for perioden 1992-96. Disse kartene er tidligere beregnet og rapportert som verdier i et 50x50 km rutenett (Tørseth og Semb, 1997). Dataene er fremkommet ved å anvende en statistisk interpolasjonsteknikk mellom målte verdier, "KRIGING".

DNMI har fremskaffet de nødvendige meteorologiske data i det samme rutenettet for temperatur og relativ fuktighet. DNMI har et omfattende nett av meteorologiske stasjoner spredt over hele landet. De har noe ulik utrustning, og en kan således ikke hente like mange meteorologiske parametre fra alle stasjonene. Nettet er minst tett i store deler av Hedmark, Nord-Trøndelag (unntatt rundt Trondheimsfjorden) og Finnmark. Årsverdiene for 1998 er benyttet i beregningene siden tidligere års beregninger er gjort i et rutenett på 150x150 km og vi ønsket dataene i et rutenett på 50x50 km.

For Oslo er det benyttet årsmiddelverdiene for DNMI's målinger på Blindern for temperatur og relativ fuktighet. For nedbør og nedbørkvalitet benyttes NILUs målinger fra Nordahl Brungst. Gasskonsentrasjonene er beregnet fra utslippsoversikter. For 1979 er dataene innsamlet av NILU, og for 1995 er det benyttet utslippstall for industri og fyring fra Statistisk Sentralbyrå (SSB) og trafikkutslipp beregnet fra NILUs trafikkdata.



Figur 1: Oversikt over norske bakgrunnsstasjoner i 1997 (Lükewille et al., 1998)

4.3 Modellberegninger

4.3.1 Modelling på nasjonalt nivå

I Norge benyttes det flere modeller til å beregne belastningen av langtransporterte forurensninger i et rutenett over landet. Modellene er:

- KRIGING er en statistisk ekstrapolasjonsteknikk basert på observasjoner i et rutenett på 50x50 km
- EMEP Acid Deposition Lagrangian Model er basert på klimatiske modeller og emisjonsoversikter i et rutenett på 150x150 km
- EMEP Eulerian Model er også basert på klimatiske modeller og emisjonsoversikter i et rutenett på 50x50 km

Til våre beregninger er det benyttet EMEP Eulerian Model for meteorologiske parametre. Beregningene av korrosjon og risikoområder i Norge er basert på målinger av luftforurensningsparametre på målestasjoner i Norge og fordelt i et rutenett ved bruk av KRIGING i et rutenett på 50 x 50 km over Norge. For de ligningene som krever klorid er de beregnet utfra avstand til kysten.

4.3.2 Modellering av Oslo-området

For modellering av forurensningen i Oslo-området har en benyttet KILDER som er et programsystem utviklet for å beregne langtidsmidler av gassforurensninger, basert på informasjon om utslipp fra forskjellige kildetyper (Gram, 1996). Informasjonen om utslipp til luft rapporteres fra Statistisk Sentralbyrå (SSB). Kildetyperne kan grovt deles i 4 hovedkategorier:

- langtransportert forurensning (hovedsakelig geografisk betinget)
- forurensning fra trafikk (avstand til vei, trafikkmengde)
- utslipp fra industri (spesielle utslipp fra ulike typer industri)
- utslipp fra fyring (avhengig av befolkningensmengde og boligstruktur)

I tillegg kommer klimatisk påvirkning. For Oslo har en benyttet det samme vindfelt og de samme verdier for alle meteorologiske data for hele området. Resultatene fra KILDER er overført til NILUs modell AirQUIS som er en del av programpakken ENSIS (Bøhler og Riise, 1999). Korrosjonshastighetene og levetidene er beregnet med CorrCostmodulen som er en spesial modul for materialberegninger innen AirQUIS.

5 Risikokart og risikoklasser

Forurensningsnivået for SO₂ i Norge i dag er gledelig lavt. De største forurensningsproblemene som påvirker materialer i dag er relatert til NO₂ og støv, primært fra biltrafikk. Basert på dagens ligninger ser en at de klimatiske variasjonene kan bety like mye som forurensningene for enkelte materialer. Eksempelvis vil biologiske angrep på trematerialer være mer avhengig av temperatur og fuktighet enn av forurensninger, og angrepet vil derfor bli redusert nordover i landet hvor middeltemperaturen blir lavere og innover i landet hvor klimaet er tørrere. Selv med de lave forurensningskonsentrasjonene en har i dag kan en imidlertid for de fleste materialer skille ut områder som har forhøyet risiko.

Som en ser av korrosjons- og levetidsligningene i Vedlegg B er det mange av ligningene som har samme oppbygging. Dette betyr at mange av risikokartene vil få svært lik fasong. I stedet for å presentere mange visuelt like kart med ulike grenser for korrosjon og levetid, blir det presentert ett kart for hver ligningstype med en tabell med grenseverdiene for risikoklassene for korrosjonshastigheter eller levetid for hvert materiale.

Korrosjonen uttrykt som μm korrosjonsdybde og som g/m^2 år, er delt i 3 risikoklasser. Risikoklasse 1 har lavest risiko for korrosjon og lengst levetid for materialene mens Risikoklasse 3 har høyest risiko og lavest levetid, se Tabell 2 i avsnitt 5.1. Ingen av klassene representerer spesielt høye korrosjonshastigheter. Dette skyldes primært at forurensningsnivået i Norge er lavt. En annen årsak er at

ligningene ikke tar hensyn til påvirkningen av klorid. Kloridbelastningen synker raskt med avstanden fra sjø. En må imidlertid regne med at risikoen øker med en klasse i forhold til de som er vist i denne rapporten i den nærmeste kilometeren fra sjøen. På værharde områder og i åpent terreng som Jæren vil området gå lenger inn over land, mens en i områder hvor topografien skjermer mot havet blir avstanden kortere. Tilsvarende betraktninger må en gjøre i byer hvor veiene saltes.

Selv om korrosjonshastighetene er lave så er det er imidlertid stor avstand mellom materialene når det gjelder de fastsatte grensene. Eksempelvis korroderer kobber mye langsommere enn rusttregt stål i samme risikoklasse.

5.1 Risikokart for Norge

Risikokartene for Norge er beregnet både med grunnlag i korrosjonsligningene som er tilgjengelig og fra levetidsligningene. Kartene er beregnet ut fra datasett i ruter på 50x50 km. Samtlige miljødata er beregnet for hver rute med unntak av for ozon som er antatt å være $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for hele Norge.

5.1.1 Risikokart basert på korrosjonsligninger

Korrosjonsligningene beregner korrosjonshastigheten for det første året den eksponeres. Korrosjonshastigheten det første året er alltid høyere enn langtidsmiddelverdiene. Verdiene for korrosjonshastigheten for de ulike materialene er beregnet i alle rutene på 50x50 km. I Tabell 2 er den høyeste og laveste korrosjonshastigheten i rutenettet oppgitt og risikoklassene er definert slik at Risikoklasse 1 omfatter områder med korrosjonshastigheter tilnærmet lik den laveste tredjeparten av hastighetene og Risikoklasse 3 tilsvarende med den øverste tredjeparten.

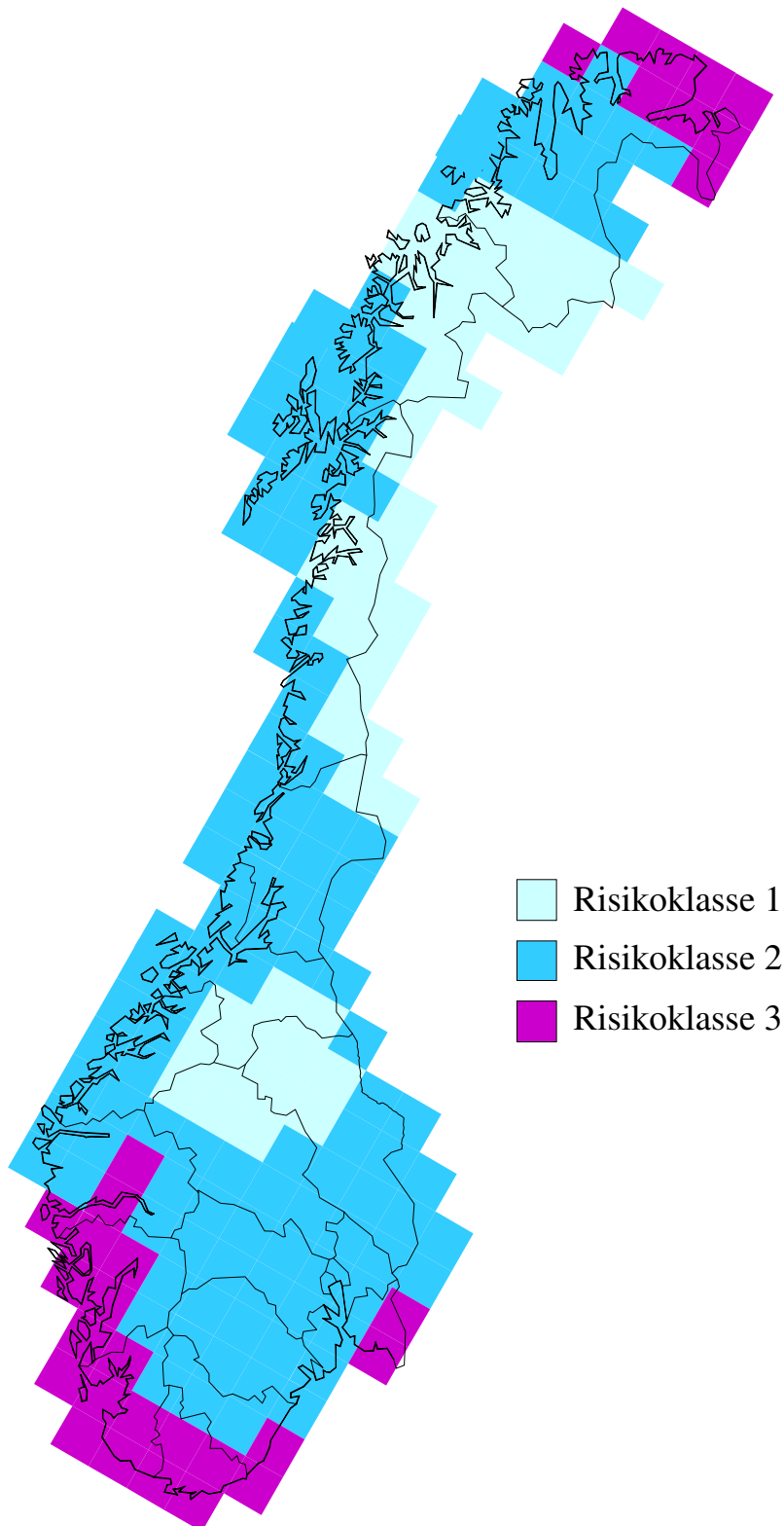
Tabell 2: Risikoklasser for Norge basert på korrosjonshastigheter ($\text{g}/\text{m}^2 \text{ år}$) og $\mu\text{m}/\text{år}$ samt laveste og høyeste korrosjonshastighet i rutenettet.

Materialer	Korr.min.	Korr.max.	Risikoklasse 1		Risikoklasse 2		Risikoklasse 3	
	$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$	$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$	$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$	μm	$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$	μm	$\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{år}$	μm
Sink	2.5	8.9	<4.2	<0.6	4.2-6.3	0.6-0.9	>6.3	>0.9
kobber	1.7	10.3	<3.2	<0.35	3.2-7.4	0.35-0.8	>7.4	>0.8
Kalkpuss og kalkstein	$0.5\mu\text{m}$	$5.3\mu\text{m}$		<1.8		1.5-2.9		>2.9
Kalkholdig sandstein	$0.6\mu\text{m}$	$5.0\mu\text{m}$		<1.5		1.5-2.9		>2.9
Bronse	0.6	4.3	<1.5	<0.17	1.5-3.0	0.17-0.34	>3.0	>0.34
Aluminium	0.07	0.22	<0.13		0.13-0.18		>0.18	
Rusttregt stål	38.6	264.2	<130	<15	130-170	15-20	>170	>20

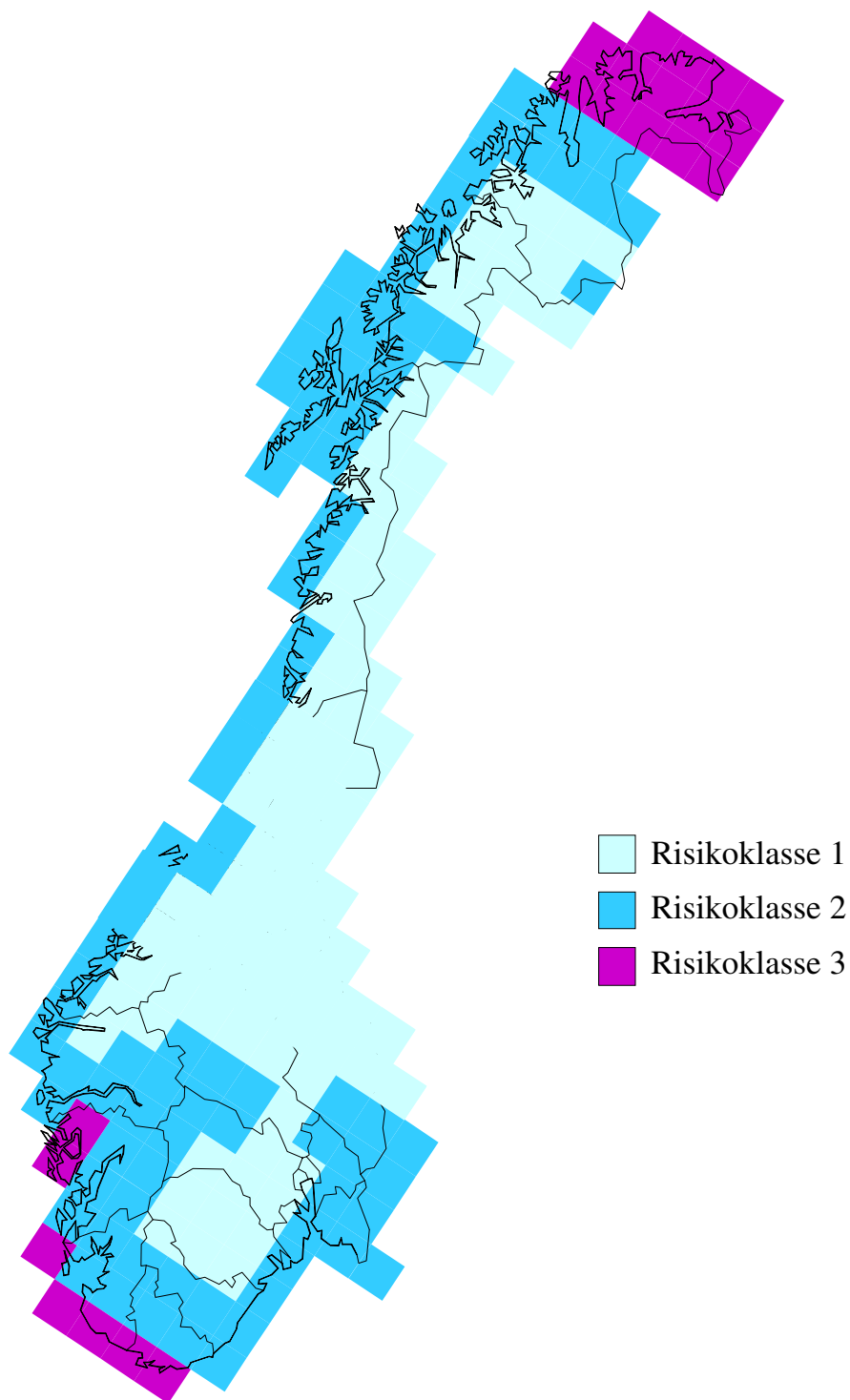
For de fleste materialene er grensene gitt både som $\text{g}/\text{m}^2 \text{ år}$ og μm (0.001mm). For kalkholdig stein og kalkpuss er bare μm angitt siden ligningene gir resultatet i μm og den spesifikke vekten for steintypene ikke er kjent. For aluminium er angivelsen i μm utelatt, siden aluminium korroderer flekkvis med groptæring og en generell tykkelsesreduksjon derfor ikke har mening.

Risikokartene som er beregnet viser at belastningen for enkelte materialer har samme mønster. Disse materialene er slått sammen til en figur. I Figur 2 ser en

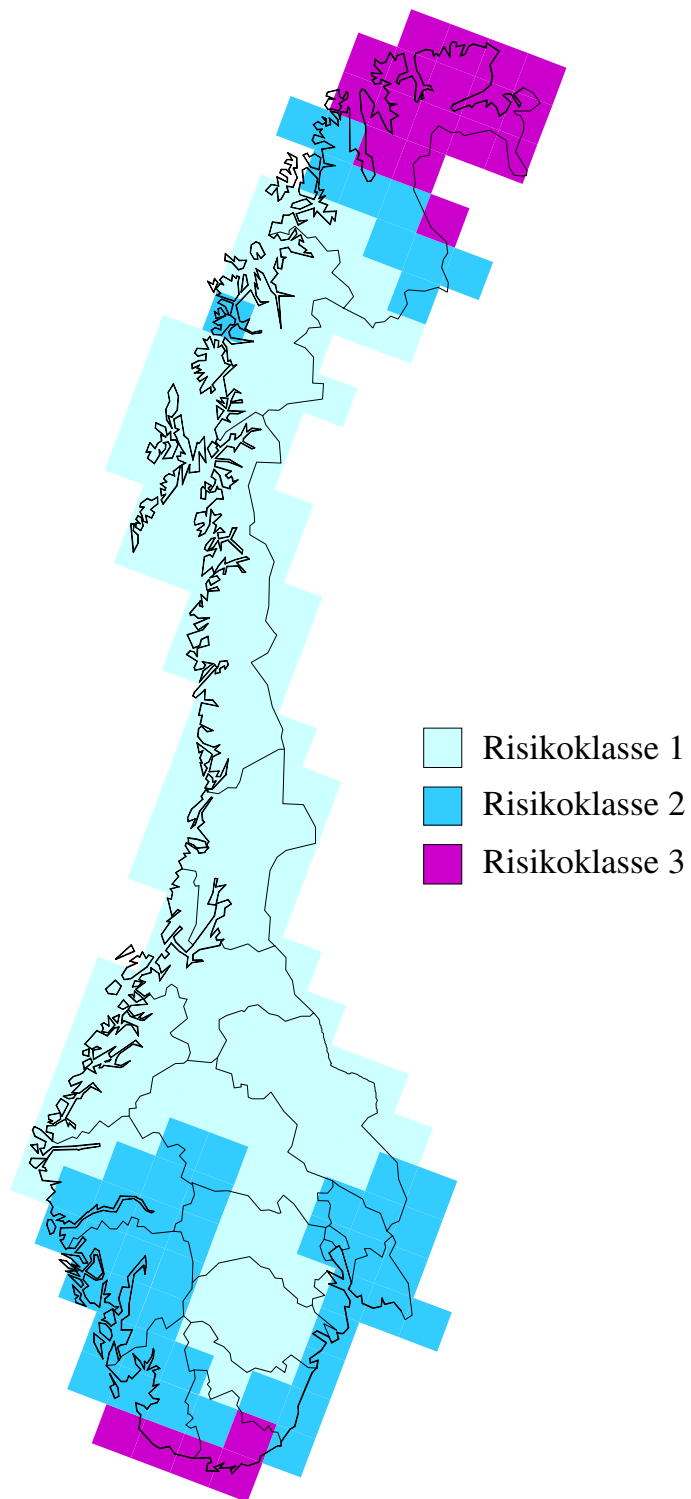
risikokartet for sink, kobber og rusttregt stål. Figur 3 viser kartet for bronse og aluminium og Figur 4 viser kartet for kalkstein og kalkholdig sandstein. I Tabell 2 er grensene for de ulike risikoklassene i Figur 2 til Figur 4 gitt. Korrosjonen er lav i hele beregningsområdet sammenlignet med mer forurensede områder av verden. For kyststrøkene i Norge er den største korrosjonsbelastningen for mange materialer klorid fra havet. Ligningene som er benyttet, dekker ikke dette problem. For å markere det uten at en har tilstrekkelig informasjon om kloridnivået, har vi markert ut kysten med risikoklasse 2 selv om beregningene gir risikoklasse 1 for de materialene hvor klorid er med i ligningen (aluminium og bronse). Helt ytterst mot kysten vil selv risikoklasse 2 bli for lavt, men siden beregningsrutene er 50x50 km og kloridbelastningen faller fort innover land, så vil middelet i ruten bli i risikoklasse 2.



Figur 2: Kart over Norge med risikoklassene beregnet som korrosjonshastighet for sink, kobber og rusttregt stål. Risikoklasse 1 har lavest risiko for korrosjon.



Figur 3: Kart over Norge med risikoklassene for bronse og aluminium beregnet som korrosjonshastighet. Risikoklasse 1 har lavest risiko for korrosjon.



Figur 4: Kart over Norge med risikoklassene for kalkstein, kalkpuss og kalkholdig sandstein beregnet som korrosjonshastighet. Risikoklasse 1 har lavest risiko for korrosjon.

5.1.2 Risikokart basert på levetidsligninger

Levetid er den betegnelse som benyttes for å beskrive den tid en antar at en kan ha mellom vedlikeholdsintervaller. For enkelte materialkombinasjoner som malt tre betyr dette anbefalt tid mellom hvert nytt malingstrøk, mens det for andre materialer som kobber på tak betyr det utskifting av plater. Det betyr at tiden i år kan variere fra 7 år for malt stål til mange hundre år for de mest holdbare materialene eller for materialer som tårer mye nedbrytning før tiltak må iverksettes. Det vil alltid være usikkerhet, eventuelt uenighet om når tiltak må iverksettes. Vi har antatt at det spesielt er for utskifting at usikkerheten er stor. I Tabell 3 er alle materialer hvor levetid er beregnet listet opp. For alle malte materialer er levetidene som er oppgitt vedlikeholdsintervaller. For kobber, kalkholdige steiner, takpapp og forsinkete plater er det tid for utskifting som er listet opp. Følgende kriterier er benyttet for å beregne levetidene:

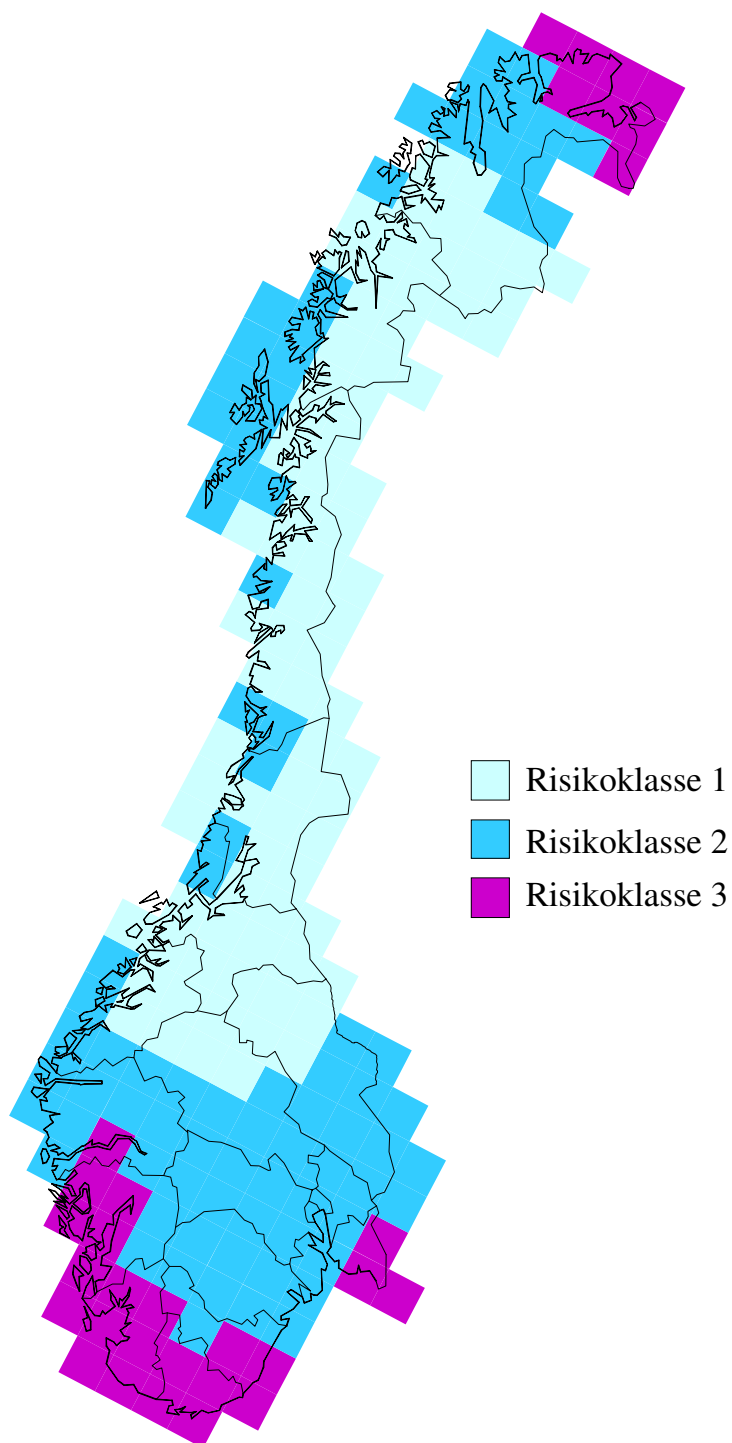
- Kvaderstein byttes når 1 cm av steinen er forvitret. Beregningene tar ikke hensyn til hvor mye stein med dekor kan forvitre.
- Kobberplater med antatt tykkelse på 0.8 mm må byttes når middelkorrosjonen er 0.1 mm siden korrosjonen alltid er større i skjøter og flenser.
- Forsinket plate byttes når sinkbelegget er korrodert bort. Vanlig sinktykkelse på plater er 30µm eller 0.03mm.
- Takpapp byttes når risiko for lekkasje er til stede. Ligningen er utviklet ut fra erfaringstall fra inspeksjon av hus.

Risikoklassene for levetid er delt i tre klasser for de materialer som innbefatter de samme parametrene som korrosjonsligningene, se Tabell 3. I disse ligningene har en tatt hensyn til at korrosjonshastigheten blir redusert etter hvert som korrosjonsbelegget blir tykkere. Levetidsligningene fra MOBAK undersøkelsen har en enklere form. Med dagens forurensningssituasjon blir det små forskjeller mellom de ulike delene av landet og for mange praktiske formål bør en anta samme levetid over hele landet. I denne rapporten er det likevel valgt å presentere to klasser, slik at de mest belastede områdene for sur nedbør kommer fram på kartet. I Tabell 3 er grensene for de ulike risikoklassene vist sammen med den korteste og lengste levetiden for et materiale, beregnet for en 50x50 km rute i Norge i dag. Risikoklasse 1 har laveste risiko og derav lengst levetid for materialer, mens Risikoklasse 3 har kortest levetid. For materialer med ligninger fra MOBAK prosjektet, hvor det er liten avstand mellom korteste og lengste levetid, så er det valgt å bruke Risikoklassene 1 og 2.

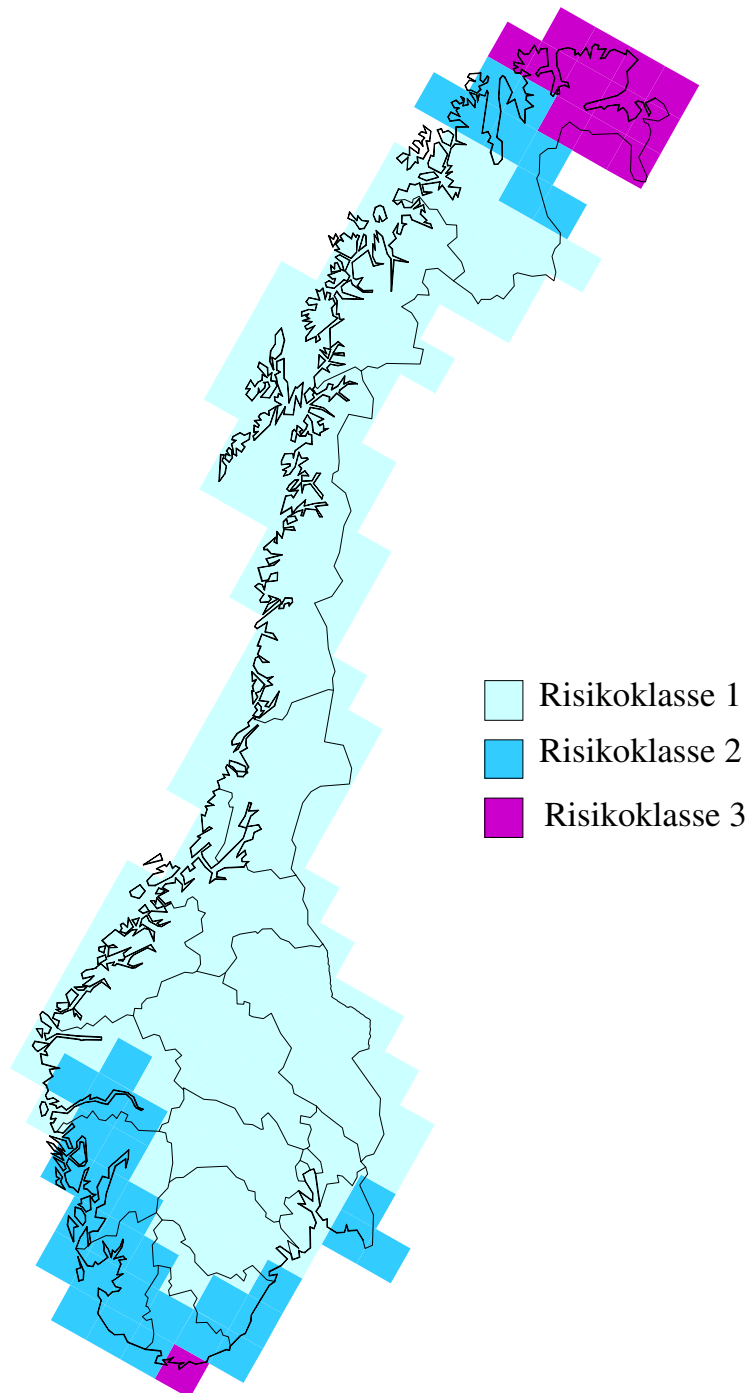
Tabell 3: Risikoklasser basert på levetider (år) og korteste og lengste levetid i rutenettet for Norge

Norge	Levetid min	Levetid max	R.klasse 1	R.klasse 2	R.klasse 3
Forsinket plate	37	180	>95	60-95	<60
Kobber	166	953	>500	250-500	<250
Kalkpuss og kalkstein	216	1933	>700	300-700	<300
Kalkholdig sandstein	339	3331	>1000	500-1000	<500
Lakkert forsinket pl.	24.5	26.2	>25.7	<25.7	
Malt forsinket pl.	10.4	12.1	>11.6	<11.6	
Malt stål	7.8	9.5	>9.0	<9.0	
Lakkert Al pl.	29.3	30.9	>30.5	<30.5	
Malt Al pl.	14.4	15.9	>15.4	<15.4	
Malt tre	9.4	11.2	>10.7	<10.7	
Kalkpuss	60.6	64.1	>63.1	<63.1	
Malt Kalkpuss	42.0	52,0	>49.0	<49.0	
Takpapp	18.7	20.8	>20.2	<20.2	

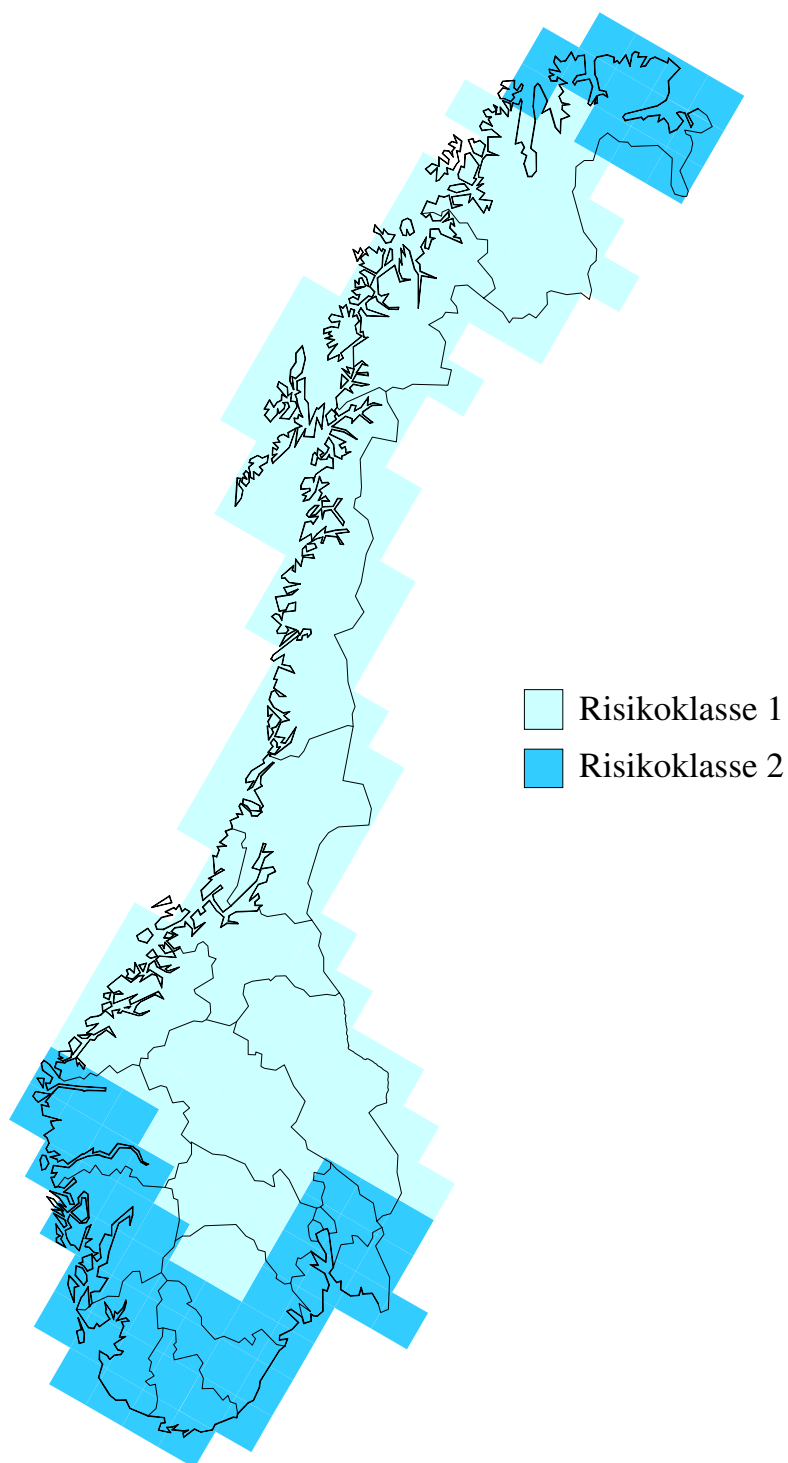
I Figur 5 ser en risikokartene for levetidene til sink og kobber, i Figur 6 risikokartene for kalkstein, kalkpuss og kalkholdig sandstein og Figur 7 for alle materialer som bare har to risikoklasser.



Figur 5: Kart over Norge med risikoklassene for sink og kobber angitt som levetid. Risikoklasse 3 gir laveste levetid.



Figur 6: Kart over Norge med risikoklassene for kalkstein, kalkpuss og kalkholdig sandstein angitt som levetid. Risikoklasse 3 gir laveste levetid.



Figur 7: Kart over Norge med risikoklassene for malte materialer, puss og takpapp angitt som levetid. Risikoklasse 2 gir laveste levetid for materialene.

5.2 Risikokart for Oslo

Risikokart for Oslo er basert på beregnede konsentrasjoner i ruter på 500x500 meter for SO₂ og NO₂. Meteorologiparametrene temperatur, relativ fuktighet og nedbørbelastningen av H⁺ og klorid er antatt konstante i Oslo. Verdiene som er benyttet er: Temperatur 7.7°C, relativ fuktighet 71%, nedbørmengde 600 mm, H⁺ 0.025 mg/l og klorid 1.7 mg/l. I ligninger hvor ozon er en parameter ble dette feltet laget ved en omregning av NO₂-feltet ved bruk av ligningen:

$$O_3 = 60.5 * \exp(-0.014 NO_2)$$

Risikokart for Oslo er laget for to tidsperioder, 1979 og 1995 ved at konsentrasjonsfeltene for SO₂ og NO₂ er overført fra KILDER til ENSIS. Korrosjons- og levetidsnivåene er beregnet ved hjelp av AirQUIS/CorrCost-modellen. Kartene for 1995 er antatt å være lik dagens situasjon og vil bli presentert i dette kapitlet, mens 1979 gir et bilde av situasjonen i en periode hvor forurensningsnivået var betydelig høyere. Disse dataene vil bli presentert nærmere i kapittel 6, Trender.

5.2.1 Risikokart for Oslo basert på korrosjonsligninger

For 1995 er korrosjonshastighetene for materialer tilnærmet lik verdiene i Norge og det er valgt å bruke de samme grensene som i Tabell 2. Dette har medført at enkelte materialer ligger innenfor en risikoklasse for hele Osloområdet. En oversikt over risikoklasser og korrosjonshastigheten i Oslo er gitt i Tabell 4. For alle materialer unntatt kobber, er det slik at de høyeste korrosjonshastighetene er i sentrum av byen. Kobberkorrosjonen er avhengig både av ozon- og SO₂-nivået i ruten. Siden SO₂-nivået har sunket i sentrum av Oslo og ozonnivået er lavt på grunn av høye NO₂-nivåer i det samme området, så har en nå kommet i den situasjon at kobberkorrosjonen er størst i et område sørvest for sentrum, som har noe høyere SO₂- og O₃-konsentrasjoner.

Tabell 4: Oversikt over risikoklasser og korrosjonshastigheter for materialer i Oslo.

Material	Grenser for korrosjonshastighet i Oslo-området	Risikoklasser innen Oslo-området
Sink	4.8 - 7.1 g/m ² ·år	2 og 3
Kobber	4.0 - 5.0 g/m ² ·år	2
Bronse	2.4 - 4.4 g/m ² ·år	2 og 3
Aluminium	0.16 - 0.24 g/m ² ·år	2 og 3
Rusttregt stål	120 – 153 g/m ² ·år	2
Kalkpuss og kalkstein	2.6 – 6.2 µm	2 og 3
Kalkholdig sandstein	2.4 – 5.8 µm	2 og 3

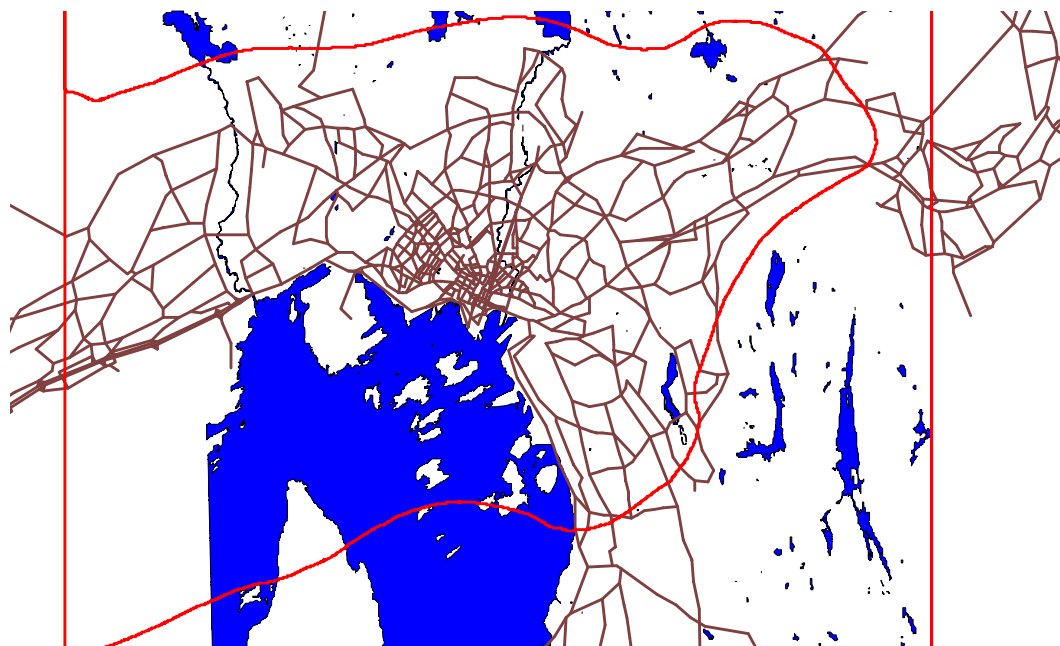
For de materialer som dekker to risikoklasser er områdene vist i Figur 8–Figur 10.



Figur 8: Risiko-områdene for sink i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3. Risikoklasse 3 med høyeste korrosjonshastighet er i sentrum.



Figur 9: Risiko-områdene for bronse og aluminium i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3. Risikoklasse 3 med høyeste korrosjonshastighet er i sentrum.



Figur 10: Risiko-områdene for kalkpuss, kalkstein og kalkholdig sandstein i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3. Risikoklasse 3 med høyeste korrosjonshastighet er i sentrum.

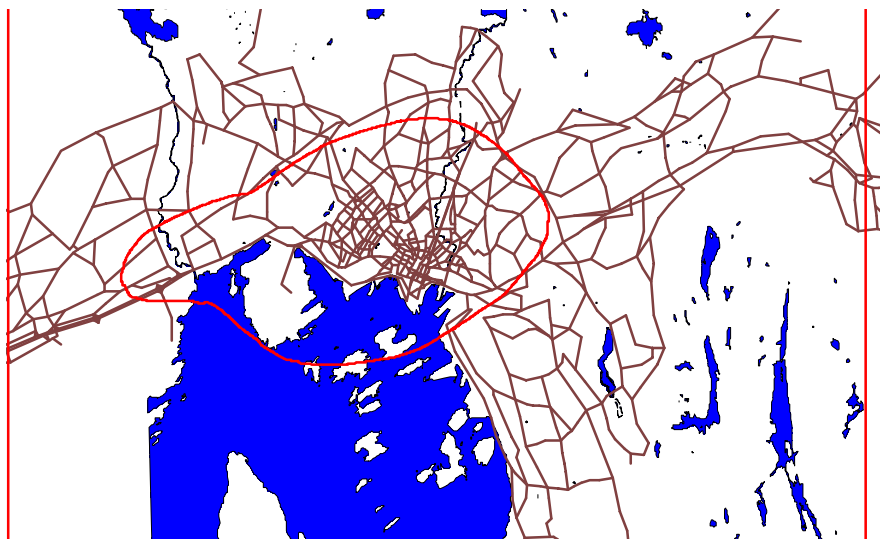
5.2.2 Risikokart for Oslo basert på levetidsligninger

Beregningene av risikoklasser med grunnlag i levetider følger også samme oppsett som for kartene over Norge. I Tabell 5 er risikoklassene og lengste og korteste levetid for materialene vist. Siden rutenettet for Oslo er 500x500 meter, mens det for Norge er på 50x50 km, så ser en at det er områder i Oslo med noe høyere forurensning og derfor med kortere levetid enn det en finner i beregningene for Norge (for kalksteinsgruppen).

Tabell 5: Risikoklasser basert på levetider (år) og korteste og lengste levetid i Oslo.

Norge	Levetid min	Levetid max	R.klasse 1	R.klasse 2	R.klasse 3
Forsinket plate	50	76	>95	60-95	<60
Kobber	455	558	>500	250-500	<250
Kalkstein	199	558	>700	300-700	<300
Kalkholdig sandstein	313	473	>1000	500-1000	<500
Lakkert forsinket pl.	25.2	25.8	>25.7	<25.7	
Malt forsinket pl.	11.1	11.7	>11.6	<11.6	
Malt stål	8.8	9.5	>9.0	<9.0	
Lakkert Al pl.	30.0	30.6	>30.5	<30.5	
Malt Al pl.	15.0	15.5	>15.4	<15.4	
Malt tre	10.1	10.8	>10.7	<10.7	
Kalkpuss	60.5	63.2	>63.1	<63.1	
Malt kalkpuss	46.0	49.7	>49.0	<49.0	
Takpapp	19.6	20.3	>20.2	<20.2	

I Figur 11 til Figur 14 er resultatene fra beregningene i Oslo vist grafisk. Figurene viser at de områdene med kortest levetid er i sentrum og vestover mot Bærum. Dette skyldes at de høyeste utslippene delvis er i disse områdene, men også at det midlere vindfeltet for Oslo domineres av vinder ned Groruddalen slik at nedslagsfeltet for forurensningene er vest for utslippene. Kobber har et helt annet mønster. Dette skyldes at høye ozonverdier gir høyere korrosjon. Langs de store innfartsveiene i Groruddalen og langs Drammensveien blir ozonnivået lavt og dette øker levetiden for kobber. På grunn av de topografiske forholdene i Oslo blir ikke effekten like stor langs hovedveiene fra sørøst.



Figur 11: Risiko-områdene for sink i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3 målt som levetid. Risikoklasse 3 med korteste levetid er i sentrum.



Figur 12: Risiko-områdene for kobber i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3 målt som levetid. Risikoklasse 3 med korteste levetid er i utkanten av Oslo.



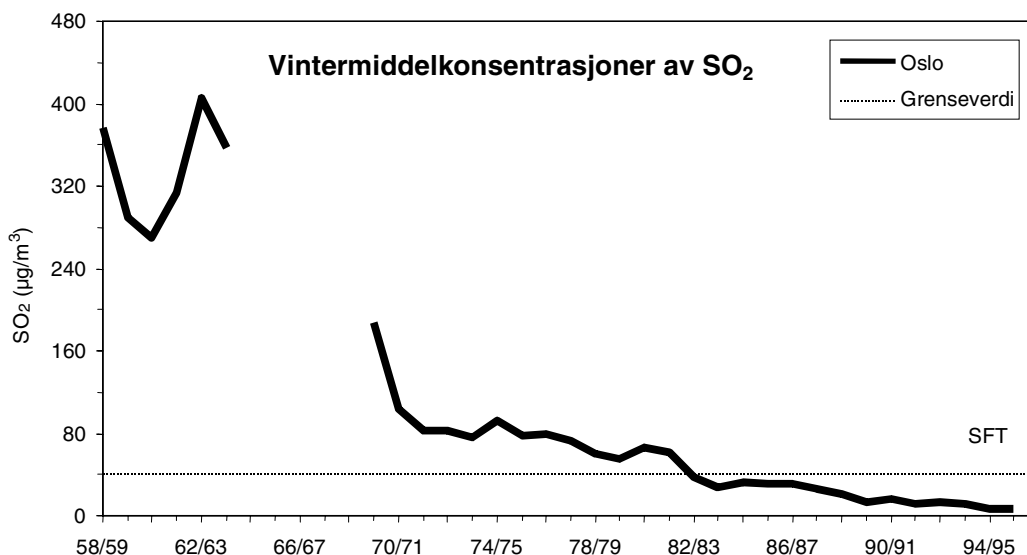
Figur 13: Risiko-områdene for kalkpuss, kalkstein og kalkholdig sandstein i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3 målt som levetid. Risikoklasse 3 med korteste levetid er i sentrum.



Figur 14: Risiko-områdene for malte materialer, puss og takpapp i Oslo med grense mellom risikoklasse 2 og 3 målt som levetid. Risikoklasse 3 med korteste levetid er i sentrum.

6 Trender

Kulturhistoriske bygninger og monumenter har vært utsatt for miljøets påvirkninger i lang tid. Selv om dagens situasjon er rimelig god så har belastningen tidligere vært betydelig. I Figur 15 er vinterkonsentrasjonene for SO₂ i Oslo vist for de årene hvor en har målinger. Fra de mest forurensede årene på slutten av 50-tallet og til i dag har middelkonsentrasjonen blitt redusert med en faktor på nærmere 100.



Figur 15: Utviklingen av SO₂ konsentrasjonen i Oslo i luften fra 1958 til 1995. Den oppgitte grenseverdien er SFTs anbefalte luftkvalitetskriterium på 50 µg/m³ som 6 månedsmiddel (Larssen og Hagen, 1998).

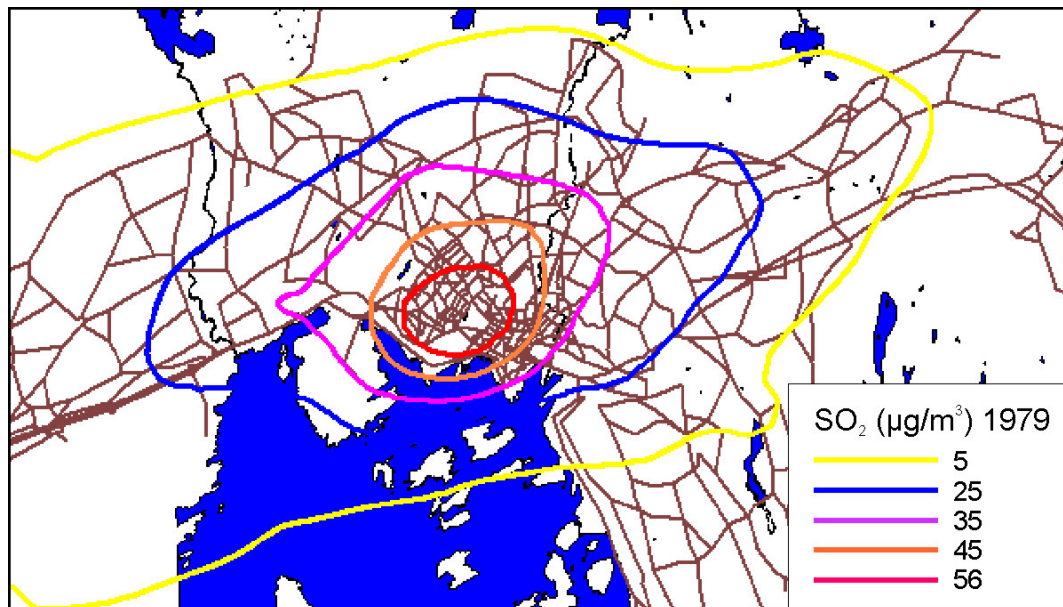
Figur 15 viser måleresultater fra forskjellige målestasjoner i Oslo, med hovedvekt på sentrumsområdet. Rundt 1960-tallet gjorde Walter Lindberg i Oslo Helseråd målinger av SO₂ forskjellige steder i Oslo-området (Lindberg, 1968). På den tiden var det fortsatt mye industri i Oslo som benyttet kull eller tung fyringsolje med et svovelinnhold på godt over 2 % svovel. Det høyeste SO₂-utslippet var i 1966, og vintermiddelkonsentrasjonen i Oslo sentrum ville antakelig blitt opp i mot 500 µg SO₂/m³. På slutten av 1960-tallet begynte en med utslippsrestriksjoner i Oslo, og den største nedgangen i SO₂-utslippet var mellom 1967 og 1968. Samtidig begynte Oslo Lysverker en opprustning av sitt ledningsnett med tanke på en overgang fra fyring med fyringsolje til mer miljøvennlig elektrisitet.

I 1970 ble det laget en oversikt over kvartalsvise SO₂-utslipp, og det ble regnet med et totalutslipp for Oslo på 8 730 tonn (Grønskei et al., 1973). Til sammenligning var utslippet for 1995 på ca. 300 tonn SO₂. Det ble også laget en oversikt over SO₂-utslippet på km²-basis for 1 kvartal 1970 og 1971, og en hadde en reduksjon på 30 % i SO₂-utslippet fra 1970 til 1971. Ved denne kartleggingen ble det sendt spørreskjemaer til de 150 største oljeforbrukerne. Dette avslørte blant annet at oljeforbruket i store bedrifter med hovedkontorer i Oslo ble registrert på hovedkontoret, mens oljen ble forbrukt andre steder i landet. Etter

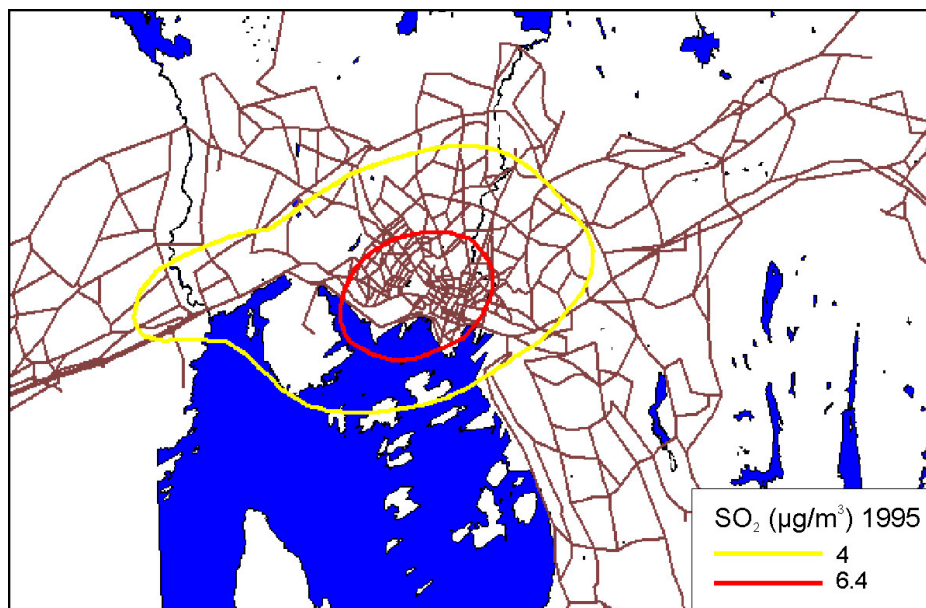
dette ble oljeselskapene mer bevisste på å skille mellom leveringsadresser og faktura-adresser.

Det var først i 1979 at NILU gjorde en detaljert utslippskartlegging for Oslo-området (Gram, 1982), og denne danner utgangspunktet for konsentrasjonsberegningene for året 1979. For 1995 har vi fått forbrukstall for fyring, industri og andre aktiviteter fra Statistisk Sentralbyrå, mens trafikkutslippene er beregnet på grunnlag av NILUs trafikk tall. Det arbeides nå i et separat NILU-prosjekt med å kombinere målinger, utslippstall og beregnede konsentrasjonsfelt til konsentrasjonsfelt for årene tilbake til 1960, i første rekke for SO₂, men også for andre komponenter. Problemet med slike tilbakeberegninger er i første rekke at rådataene ikke er tatt vare på, dernest at det var SO₂ som var problemet på 60-70-tallet, så en har mindre kjennskap til utslippsfaktorer etc. for andre komponenter.

Resultatene fra konsentrasjonsberegningen av SO₂ for 1979 og 1995 er benyttet til å se på materialenes tilstand i de samme årene. I Figur 16 og Figur 17 er SO₂-konsentrasjonen i Oslo for årene 1979 og 1995 vist.

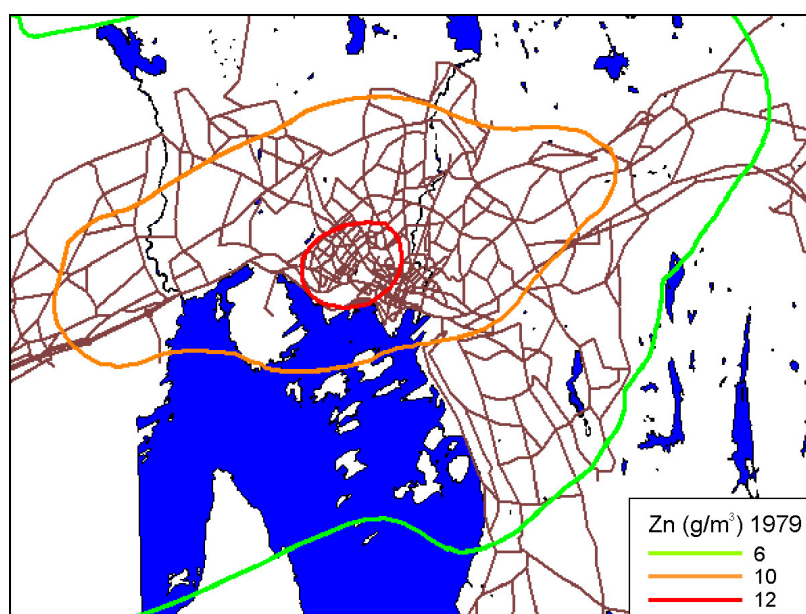


Figur 16: SO₂-konsentrasjonen i Oslo i luften i 1979 uttrykt som iso-linjer beregnet fra utslippsoversikter ved bruk av KILDER.

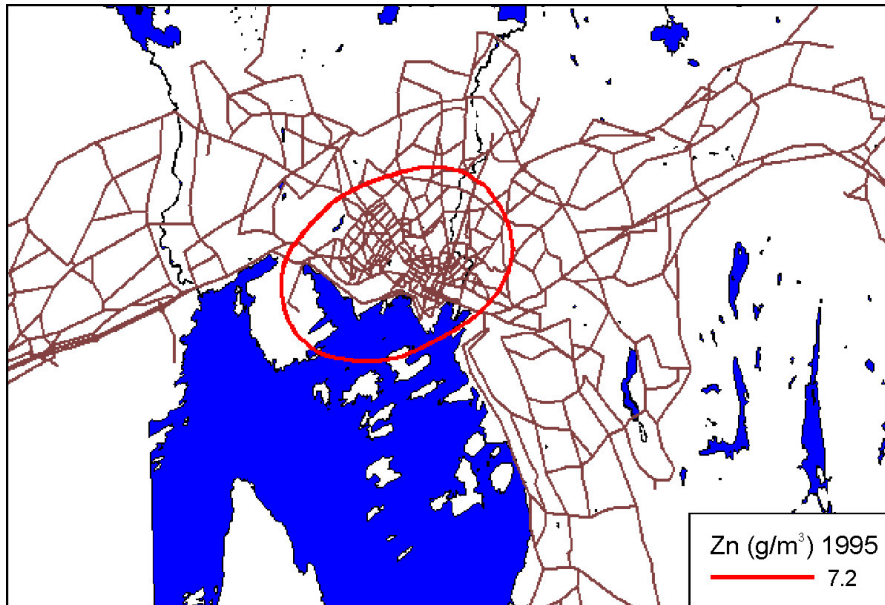


Figur 17: SO_2 -konsentrasjonen i Oslo i luften i 1995 uttrykt som iso-linjer beregnet fra utslippsoversikter ved bruk av KILDER.

For å vise effekten av reduserte forurensninger har en valgt å benytte korrosjonsligningene siden de har de best utviklede dose-respons-ligningene. Korrosjonshastigheten for sink i 1979 er vist i Figur 18. Resultatene for alle utvalgte materialer er vist i Tabell 6. I tabellen har en regnet ut den totale forandringen for korrosjonshastigheten, gass og sur nedbør. I tillegg er effekten av lokale tiltak beregnet ved at en har holdt sur nedbør-effekten lik for begge beregningsårene.



Figur 18: Sink-korrosjon i Oslo i 1979 uttrykt som iso-linjer beregnet ved bruk av AirQUIS/CorrCost.



Figur 19: Sink-korrosjon i Oslo i 1995 uttrykt som iso-linjer beregnet ved bruk av AirQUIS/CorrCost.

Tabell 6: Korrosjonshastigheten og prosentvis reduksjon i nedbrytning for utvalgte materialer for beregningsårene 1995 og 1979. For 1979 er beregningene utført med og uten den tilleggskorrosjon som langtransportert forurensning har gitt.

Materiale	Min. og maks. korrosjon 1995 *	Min. og maks. total korrosjon 1979 *	% reduksjon total korrosjon	Min. og maks. korrosjon 1979. Uten pH komp.*	% reduksjon lokale tiltak
Galvanisert stål / sink	4.8-7.1	5.8-11.6	39	5.4-11.2	36.6
Kobber	4.0-5.0	6.2-10.2	51	5.5-9.4	46.8
Bronse	2.4-4.4	3.3-10.6	58.5	2.8-10.1	56.4
Aluminium	0.16-0.24	0.18-0.38	36.8	0.18-0.38	36.8
Rusttregt stål	120-153	129-204	25	129-204	25
Kalkstein	2.6-6.2	3.7-17.5	64.6	3.4-17.2	64
Kalkholdig sandstein	2.4-5.8	3.6-17.8	67.4	3.1-17.4	66.7

* Enhet: g/m²

Som det fremgår av Tabell 6 så er det de lokale tiltak for å bedre luftkvaliteten som har hatt størst betydning for de forbedringene en ser på materialsiden. Forandringene i korrosjonshastigheten er på mellom 25 og 67.4 %, av dette er bidraget fra langtransportert sur nedbør på 0-4.2 %. For aluminium og rusttregt stål blir det ingen forskjell på grunn av at sur nedbør ikke er med i dose-respons-ligningene.

7 Konklusjoner

SFTs miljødatabase for Norge har tilstrekkelig data til at en kan anslå nedbrytningsrisikoen for materialer i Norge i et rutenett på 50x50 km. Risikokartene viser virkningen fra de parametrene som er med i ligningene og for

de aller fleste materialene betyr dette meteorologiske data og luftforurensningsdata. Ligningene vil underestimere risikoen langs kysten for alle materialer som nedbrytes av klorider. Dette har en forsøkt å ta hensyn til ved at risikokartene for kystlinjen er økt med en klasse der hvor den beregnede risikoklassen er 1. For Norge, som har en lang kystlinje og hvor mye av bebyggelsen og vår kulturarv er knyttet til disse områdene, er det en svakhet at dagens dose-respons-ligninger ikke inkluderer klorid som nedbrytningsfaktor.

De beregnede kartene vil likevel kunne gi informasjon, som kan være av interesse for de ansvarlige myndighetene, hvis informasjonen benyttes på en riktig måte. Områdene sør og nord i landet har økt risiko på grunn av sur nedbør og store utslipp av SO₂ fra russisk side i nord. Risikosone 1 skyldes som oftest variasjoner i meteorologiske parametre og fremkommer med synkende temperatur nordover i landet og med tørrere klima innover i landet.

I Norge har de aller fleste byene i dag så lave korrosjonshastigheter at nivået er sammenlignbart med regionens korrosjonshastighet når en ser på områdene som en enhet. Selv i Oslo er avvikene så små at regionens risikoklasser kan benyttes. De områdene som har høyere korrosjon er Grenlandsområdet og Sarpsborg/Fredrikstad-området. I tillegg vil det være enkelte små steder knyttet til forurensende industri som lokalt har høyere korrosjonshastighet.

Ved bruk av utslippstall fra industri, fyring og trafikk, kan en beregne belastningene i et tettsted eller en by med betydelig større nøyaktighet enn ved bruk av SFTs database. Dette er vist for Oslo. Kartene viser at det fremdeles er forskjeller i risikoen for nedbrytning innenfor byen når rutenettet går fra 50x50 km til 500x500 m. Generelt er det større risiko i sentrum av byen enn i utkanten. Unntaket er som tidligere nevnt kobber som korroderer mer i utkanten av Oslo. Beregningene er gjort i KILDER for langtidsmidler av gassene, mens risikokartene er beregnet i AirQUIS/CorrCost modellen. Når langtidsmodellen i ENSIS blir ferdig, vil hele beregningen kunne gjøres i AirQUIS/CorrCost.

Forurensningsnivået og risikoen for nedbrytning har vært betydelig større i tidligere perioder. Forurensningsnivået i Oslo var sannsynligvis høyest fra slutten av 50-årene til midten av 60 årene. Det finnes dessverre ikke tilstrekkelig med data til en modellkjøring for denne perioden. Den tidligste perioden hvor NILU har data for i dag er for året 1979. Nedbrytningen den gang og den betydning som statlige og lokale tiltak har medført fram til i dag kan illustreres ved å sammenligne tallene for Oslo for periodene 1979 og 1995. Sammenligningen viser at selv i denne perioden hvor den største reduksjonen av luftforurensninger alt hadde funnet sted, så er korrosjonshastigheten likevel blitt redusert med mellom 25 og 67 %, avhengig av materialet.

Det er viktig å legge merke til at risikokartene ikke kan benyttes til å bedømme korrosjonshastigheten og levetiden på enkelte bygg. De lokale forhold kan avvike fra middelverdien i ruten. Ulike deler av et bygg er heller ikke inkludert kartene.

8 Referanser

- Bøhler, T. og Riise, A. (1999) The AirQUIS air quality assessment system. Its use in assessing the effects of pollution abatement on urban air quality and population exposure. Eurotrac Symposium '98. Proceedings. Ed. by P. M. Morrell and P. Borrell. Southampton WITPress 1999, pp. 689-695.
- Dahlin, E., Henriksen, J. F., Anda, O., Krigsvold, G., Børja, I. og Wright, R. (1999) Identifisering og vurdering av SFTs overvåkingsdata sett i relasjon til nedbrytning av kulturminner i luft, jord og vann. Kjeller (NILU OR 10/99).
- Glomsrød, S, Godal, O., Henriksen, J.F., Haagenrud, S.E. og Skancke, T. (1996) Luftforurensninger - effekter og verdier (LEVE). Materialkostnader på bygninger og biler i Norge. Oslo (SFT Rapport 96:7).
- Gram, F. (1982) Utslipp av luftforurensninger i Oslo-området 1979. Lillestrøm (NILU OR 10/82).
- Gram, F. (1996) The "KILDER" Air pollution modelling system, version 2.0. Kjeller (NILU TR 12/96).
- Grønскеi, K.E., Joranger, E. og Gram, F. (1973) Assessment of Air Quality in Oslo, Norway. Kjeller (NILU OR 50/73).
- Hagen, L.O. (1995) Rutineovervåking av luftforurensning april 1993-mars 1994. Kjeller (NILU OR 46/94 og SFT Rapport nr. 596/95).
- Hagen, L.O. og Schjoldager, J. (1986) Klassifisering av luftforurensninger i byer og tettsteder. Lillestrøm (NILU OR 39/86).
- Holtedahl, O. (1993) Hvordan landet vårt ble til. Oslo, Cappelen.
- Kucera, V., Henriksen, J.F., Knotková, D., Sjöström, Ch. (1993) Model of calculations of corrosion cost caused by air pollution and its application in three cities. In: *Progress in the understanding and prevention of corrosion. Vol. 1.* London, Institute of Materials. pp. 24-32.
- Larsen, S. og Hagen, L.O. (1998) Luftkvaliteten i norske byer. Utvikling, årsaker, tiltak, framtid. Kjeller (NILU OR 69/98).
- Lindberg, W. (1968) Den alminnelige luftforurensning i Norge. Oslo, Røykskaderådet.
- Lov 9. juni 1978, nr. 50 om kulturminner (Kulturminneloven). Med endringer, sist av 24. november 1995 nr. 63. (1996) Oslo, Miljøverndepartementet.
- Lükewille, A., Manø, S. og Tørseth, K. (1998) Overvåking av langtransportert forurenset luft og nedbør. Atmosfærisk tilførsel, 1997. Kjeller (NILU OR 33/98).

Scheffer, T. C. (1971) A climatic index for estimating potential for decay in wood structures above ground. *For. prod. j.*, 21, 10-25.

Tidblad, J., Kucera, V., og Mikhailov, A. (1997) UN/ECE International co-operative programme on effects on materials including historic and cultural monuments. Statistical analysis of 8 year materials exposure and acceptable deterioration and pollution levels. Stockholm, Korrosionsinstituttet (Report no. 30).

Tørseth, K. og Semb, A. (1997) Deposition of major inorganic compounds in Norway 1992-1996. Kjeller (NILU OR 67/97).

Vedlegg A
Kulturminner i Norge

Fra rapport NILU OR 10/99

1. Innledning

Kulturminner finnes over hele Norge, både i byer og på landsbygda. I følge Lov 9. juni 1978, nr 50 om kulturminner, Kap.1. § 2 defineres kulturminner som følger: "Med kulturminner menes alle spor etter menneskelig virksomhet i vårt fysiske miljø, herunder lokaliteter det knytter seg historiske hendelser, tro eller tradisjon til." (Lov om kulturminner, 1996). Det vil i denne rapporten ikke bli gjort vurderinger av nedbrytning som skyldes andre faktorer enn miljøparametre som for eksempel, bruk av feil materiale, feil konstruksjon, manglende vedlikehold, fysisk slitasje med mer. Kulturlandskapet vil ikke bli vurdert innenfor rammen av dette prosjektet.

2. Kulturminner

Kulturminnevernets oppgaver er beskrevet i Lov 9. juni 1978 nr 50 om kulturminner (kulturminneloven), med endringer (Lov om kulturminner, 1996). Den slår fast at det er et nasjonalt ansvar å ivareta kulturminner og kulturmiljøer, både som en del av kulturarven og som ledd i en helhetlig miljø- og ressursforvaltning.

Kulturminner kan fredes på to måter. Kulturminner fra før 1537 er automatisk fredet, mens det for de fleste kulturminner fra nyere tid må fattes vedtak om fredning i hvert enkelt tilfelle.

Det er i denne sammenheng vanskelig å oppgi nøyaktig antall for de enkelte kategorier av kulturminner samt spredningen av disse rundt omkring i landet. Vi ønsker allikevel å vise til noen tall fra Riksantikvarens oversikter:

Automatisk fredete kulturminner i Norge (fra før år 1537):

Vi har i dag 58.000 kjente fornminnefelt (300.000 fornminner) som er R-merket (rune) i Fornminneregisteret. I tillegg kommer alle ikke kjente fornminner; for hvert synlige fornminne regnes det med 20 usynlige fornminner under jorda.

Det er bevart 261 profane middelalderbygninger, hvorav 20 i stein. Av steinkirker fra middelalderen er det bevart 154, mens det kun er bevart 28 stavkirker.

Det er bevart 70 ruiner fra middelalderen.

Per i dag er det registrert ca 1100 bergkunstlokaliteter (disse er registrert i Fornminneregisteret).

Vedtaksfredete kulturminner (fra etter år 1537):

Det er fattet vedtak om å frede ca. 1230 anlegg (2900 enkeltobjekter) fra etter år 1537.

Vern av kirker:

I Norge er det totalt 1300 kirker og 1000 av disse er eldre enn 90 år.

Generelt:

550.000 bygninger eldre enn 1900 er feltregistrert og kartfestet, flest på gårder (SEFRAK-registret). 200.000 av disse er ”verneverdige”.

I tillegg er det i Norge 54 eldre trebyer med til sammen 13 000 trebygninger.

I følge Riksantikvaren er det vanskelig å presentere en prioritering blant de fredete og verneverdige kulturminnene, det er derfor ikke gjort en slik prioritering i denne sammenheng. Det kan derimot nevnes enkelte viktige satsningsområder som: sikring og bevaring av bergkunsten, sikring og bevaring av stavkirker samt sikring og bevaring av tømmerhus fra middelalderen. I tillegg vil de 4 objekter som står på ”World Heritage List”: Bryggen i Bergen, Røros bergstad, Bergkunsten i Alta og Urnes stavkirke, alltid stå i en særstilling.

Mange av de fredete kulturminnene er utført i stein (f. eks. bergkunsten). Nedbrytning av stein varierer i forhold til bergartens mineralogiske sammensetning.

2.1 Oversikt over materialer brukt i kulturminner

Denne oversikten viser de mest anvendte materialer innenfor de ulike kategorier av kulturminner som enten er eksponert i luft, bevart i jord eller under vann. Oversikten gir ikke et fullstendig bilde og det er i denne sammenheng heller ikke mulig å gå inn i detaljer omkring kombinasjon av ulike typer materialer brukt på ett og samme kulturminne. Ved en vurdering av faren for nedbrytning på grunn av ulike forurensningsparametre og klimaparametre er det vesentlig å vurdere kulturminnets beliggenhet fordi forurensningsbildet er forskjellig i fra byer og tettsteder enn på landsbygda.

2.2 Kulturminner eksponert i luft**2.2.1 Profane bygninger og kirker**

De profane bygningene og kirkene er for en stor del konsentrert i byer og mindre tettsteder, men finnes også spredt ut over på landsbygda.

Hovedbyggematerialet i disse bygningene er enten stein, tegl eller tre, mens noen nyere tids bygninger er bygget i betong. Av andre materialgrupper som forekommer på mindre bygningsdetaljer er ulike metaller (f. eks. kobber, jern, sink, bly), glass, ulike plastprodukter, torv, papp, takstein og keramiske fliser. I tillegg er mange av bygningene overflatebehandlet med enten kalkpuss, ulike malingstyper, tjære eller beis.

2.2.1 Statuer og skulpturer

Bevaringsverdige skulpturer og statuer finnes for det meste i byer og tettsteder, men kan også forekomme spredt ut over på landsbygda.

De mest vanlige materialene er bronse og ulike bergarter som granitt, kleberstein, marmor, syenitt med fl. I moderne skulpturer kan andre materialer forekomme.

2.2.2 Gravminner på kirkegårder

Kirkegårder finnes både i byer, tettsteder og på landsbygda. Gravminnene kan være utført i ulike materialer som: tre, jern, bronse og ulike typer bergarter (granitt, syenitt, kleberstein og marmor med flere).

2.2.3 Broanlegg for vei og jernbane

Broanlegg finnes mest på landsbygda, men kan også forekomme i byer og tettsteder.

Broanleggene kan være utført i ulike materialer som tre, jern, stål, betong og ulike typer lokale bergarter.

2.2.4 Ruiner fra middelalder og nyere tid

I middelalderbyene: Oslo, Bergen, Trondheim, Tønsberg, Skien, Stavanger, Sarpsborg og Hamar finnes det bevarte ruiner fra profane og geistlige bygg som kirker og klostre. Det finnes også bevart en del ruiner på landsbygda.

Ruinene består som regel av bergarter av lokal opprinnelse, kalkmørtel og i en del tilfeller av teglstein.

2.2.5 Bautasteiner og forhistoriske steinsetninger

Bautasteiner, forhistoriske steinsetninger, samt samiske offersteiner, finnes bevart på spredte steder rundt omkring i landet, mest på landsbygda. Disse er utført i ulike lokale bergarter.

2.2.6 Bergkunst

Bergkunstlokaliteter finnes spredt over hele landet, men med større konsentrasjoner i Østfold, Telemark, Rogaland, Sogn og Fjordane, Trøndelag, Nordland og Finnmark. 90% av de kjente bergkunstlokalitetene er skadet.

Bergkunsten ble i stor grad utført i områdene nær havet. Landhevingen etter siste istid førte til at daværende strandlinje ligger atskillig høyere enn dagens strandlinje.

Bergkunsten i form av helleristninger er hugget inn i lokale bergarter som varierer fra fylke til fylke. En beskrivelse av landets geologi og bergarter finnes i lærebøker som i "Hvordan landet vårt ble til" av Olav Høltedahl (Høltedahl, 1973).

Når det gjelder den malte bergkunsten, så forekommer disse enten på åpne lokaliteter/huler som har god luftsirkulasjon eller i huler som ikke er direkte eksponert for uteluft. Inne i hulene vil det ofte utvikles et miljø som bør kartlegges spesielt i de enkelte tilfeller. Erfaring fra andre land, f. eks. Frankrike, viser at huler som er åpne for besøkende medfører endringer i klimaet inne i hulene, noe som påvirker tilstanden til maleriene.

Vedlegg B

Ligninger benyttet til beregning av risikokart

Dose-responsligninger etter 8 års eksponering i programmet UN/ECE materials er vist i Tabell B1.

Følgende parametre inngår i ligningene: ML = massetap i g/m², t = tid i år, SO₂ = µg/m³, O₃ = µg/m³, RH = relativ fuktighet i %, Rain(H⁺) = årlig sur nedbør i mg/m², (H⁺) = mg/l, (Cl⁻) = mg/l og T = temp. i °C.

Tabell B 1: Dose-respons-ligninger utviklet etter 8 års eksponering i "UN/ECE ICP Materials- programmet" (Tidblad 1998).

Rusttregt stål fritt eksponert

$$\ln(\text{ML}) = 3.54 + 0.33 \ln(t) + 0.13 \ln(\text{SO}_2) + 0.020 \text{RH} + 0.059(T-10) \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\ln(\text{ML}) = 3.54 + 0.33 \ln(t) + 0.13 \ln(\text{SO}_2) + 0.020 \text{RH} - 0.036(T-10) \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Rusttregt stål regnbeskyttet

$$\ln(\text{ML}) = 2.01 + 0.66 \ln(t) + 0.24 \ln(\text{SO}_2) + 0.025 \text{RH} + 0.048(T-10) \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\ln(\text{ML}) = 2.01 + 0.66 \ln(t) + 0.24 \ln(\text{SO}_2) + 0.025 \text{RH} - 0.047(T-10) \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sink fritt eksponert

$$\text{ML} = 1.35(\text{SO}_2)^{0.22} \exp(0.018 \text{RH} + 0.062(T-10)) t^{0.85} + 0.029 \text{Rain}(\text{H}^+) t \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 1.35(\text{SO}_2)^{0.22} \exp(0.018 \text{RH} - 0.021(T-10)) t^{0.85} + 0.029 \text{Rain}(\text{H}^+) t \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Sink regnbeskyttet

$$\text{ML} = 0.058(\text{SO}_2)^{0.16} \text{RH} * \exp(+0.039(T-10)) t^{0.49} \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.058(\text{SO}_2)^{0.16} \text{RH} * \exp(-0.034(T-10)) t^{0.49} \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Aluminium fritt eksponert

$$\text{ML} = 0.0021(\text{SO}_2)^{0.23} \text{RH} * \exp(+0.031(T-10)) t^{1.2} + 0.000023 \text{Rain}(\text{Cl}^-) t \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.0021(\text{SO}_2)^{0.23} \text{RH} * \exp(-0.061(T-10)) t^{1.2} + 0.000023 \text{Rain}(\text{Cl}^-) t \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kobber fritt eksponert

$$\text{ML} = 0.0027(\text{SO}_2)^{0.32} (\text{O}_3)^{0.79} \text{RH} * \exp(+0.083(T-10)) t^{0.78} + 0.050 \text{Rain}(\text{H}^+) t \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.0027(\text{SO}_2)^{0.32} (\text{O}_3)^{0.79} \text{RH} * \exp(-0.032(T-10)) t^{0.78} + 0.050 \text{Rain}(\text{H}^+) t \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Kobber regnbeskyttet

$$\text{ML} = 0.00045(\text{SO}_2)^{0.28} (\text{O}_3)^{1.16} \text{RH} \exp(+0.033(T-10)) t^{0.78} \quad T < 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.00045(\text{SO}_2)^{0.28} (\text{O}_3)^{1.16} \text{RH} \exp(+0.019(T-10)) t^{0.78} \quad T > 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

Støpt bronse fritt eksponert

$$\text{ML} = 0.026(\text{SO}_2)^{0.44} \text{RH} * \exp(+0.060(T-11)) t^{0.86} + (0.029 \text{Rain}(\text{H}^+) + 0.00043 \text{Rain}(\text{Cl}^-)) t^{0.76} \quad T < 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.026(\text{SO}_2)^{0.44} \text{RH} * \exp(-0.067(T-11)) t^{0.86} + (0.029 \text{Rain}(\text{H}^+) + 0.00043 \text{Rain}(\text{Cl}^-)) t^{0.76} \quad T > 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

Støpt bronse regnbeskyttet

$$\text{ML} = 0.014(\text{SO}_2)^{0.41} \text{RH} * \exp(+0.063(T-11)) t \quad T < 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{ML} = 0.014(\text{SO}_2)^{0.41} \text{RH} * \exp(-0.053(T-11)) t \quad T > 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

Portland kalkstein

$$\text{ML} = (2.7(\text{SO}_2)^{0.48} \exp(-0.018T) + 0.019 \text{Rain}(\text{H}^+)) t^{0.96}$$

Kalkholdig sandstein (Mansfield)

$$ML = (2.0(SO_2)^{0.52} + 0.028\text{Rain}(H^+))t^{0.91} \quad T < 10^\circ\text{C}$$

$$ML = (2.0(SO_2)^{0.52} \exp(-0.013(T-10)) + 0.028\text{Rain}(H^+))t^{0.91} \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Levetidsligninger slik de er fremkommet i MOBAK-prosjektet og fra UN/ECE ICP materials programmet er vist i Tabell B2.

Tabell B2: Levetidsligninger utviklet med basis resultatene fra inspeksjonen av hus i MOBAK prosjektet og fra UN/ECE ICP materials

Galvanisert tråd utskifting

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/30^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/30) \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/30^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/30) \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Galvanisert plate vedlikehold

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/20^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/20) \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/20^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/20) \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Galvanisert plate utskifting

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/30^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/30) \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/30^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/30) \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Båndlakkert galvanisert plate vedlikehold

$$L = 1000/(0.155*SO_2 + 38 + 39*\text{rain}*(H^+))$$

Malt galvanisert stål vedlikehold

$$L = 1000/(0.803*SO_2 + 81.5 + 200*\text{rain}*(H^+))$$

Galvanisert profil vedlikehold

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH+0.073*(T-10)))/60^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/60) \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$L = 1/((0.14*(SO_2)^{0.26} \exp(0.021*100*RH-0.025*(T-10)))/60^{1.18} + 4.1*\text{rain}*(H^+)/60) \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Malt stål vedlikehold

$$L = 1000/(1.37*SO_2 + 103 + 350*\text{rain}*(H^+))$$

Båndlakkert aluminium vedlikehold

$$L = 1000/(0.107*SO_2 + 32.2 + 27*\text{rain}*(H^+))$$

Malt aluminium vedlikehold

$$L = 1000/(0.37*SO_2 + 62.9 + 95*\text{rain}*(H^+))$$

Kobber plate utskifting

$$L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34}*(O_3)^{0.84}*100*RH^{1.06} \exp(0.028*(T-10)))/100^{1.06} + 8*(\text{rain}*(H^+)/100)^{0.93})^{1.2} \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$L = 1/(((0.00018*(SO_2)^{0.34}*(O_3)^{0.84}*100*RH^{1.06} \exp(-0.054*(T-10)))/100^{1.06} + 8*(\text{rain}*(H^+)/100)^{0.93})^{1.2} \quad T > 10^\circ\text{C}$$

Malt tre vedlikehold

$$L = 1000/(1.03*SO_2 + 87.5 + 260*\text{rain}*(H^+))$$

Kalk og sement puss ubehandlet vedlikehold

$$L = 1000/(0.124*SO_2 + 15.5 + 13*\text{rain}*(H^+))$$

Malt puss vedlikehold

$$L = 1000/(0.28*SO_2 + 18.8 + 70*\text{rain}*(H^+))$$

Takpapp utskifting

$$L = 1000/(0.327*SO_2 + 47.7 + 80*\text{rain}*(H^+))$$

Kalkstein utskifting

$$L = (m/(2.7*SO_2^{0.48} \exp(-0.018 * T) + 19 * \text{rain} * H^+))^{1.04}$$

Kalkholdig sandstein utskifting

$$L = (m / 2.0 * SO_2^{0.52} + 28 * \text{rain} * H^+)^{1.1} \quad T \leq 10^\circ\text{C}$$

$$(m / 2.0 * SO_2^{0.52} \exp(-0.013 * (T - 10)) + 28 * \text{rain} * H^+)^{1.1} \quad T > 10^\circ\text{C}$$

I Tabell 2 er RH=verdien mellom 0 og 1 og rain= m nedbør pr. år.



Norsk institutt for luftforskning (NILU)

Postboks 100, N-2027 Kjeller

RAPPORTTYPE OPPDRAGRAPPORT	RAPPORT NR. OR 14/2001	ISBN 82-425-1251-5 ISSN 0807-7207	
DATO	ANSV. SIGN.	ANT. SIDER 46	PRIS NOK 120,-
TITTEL En vurdering av risiko-områder for kulturminner i Norge basert på forurensnings- og klimaparametre		PROSJEKTLEDER Jan F. Henriksen	
		NILU PROSJEKT NR. O-100072	
FORFATTER(E) Jan F. Henriksen, Wenche Aas og Frederick Gram		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF. Kontrakt-prosjekt nr 2000087	
OPPDRAKSGIVER Statens forurensningstilsyn Riksantikvaren Postboks 8100 Dep Postboks 8196 Dep 0032 Oslo 0034 Oslo Att. Ola Glesne Att. Iver Schonhowd			
STIKKORD Kulturminner	korrosjon	luftforurensning	
REFERAT På oppdrag fra Statens forurensningstilsyn (SFT) og Riksantikvaren har Norsk institutt for luftforskning (NILU) utarbeidet en geografisk oversikt over risikoområder for nedbrytning av kulturminner i Norge med utgangspunkt i forurensnings- og klimaparametre. Beregningene på landsbasis er gjort i et rutenett på 50x50 km ved hjelp av SFTs måledatabase. Resultatene er delt i tre Risikoklasser 1,2 og 3, hvor klasse 1 har lavest risiko og klasse 3 har den høyeste. Ut fra spredningsberegninger har en modellert korrosjonsforholdene i Oslo. Spredningsberegningene er gjort i KILDER, mens risikokartene er laget i AirQUIS/CorrCost modellen. Resultatene i Oslo er beregnet i et rutenett på 500x500 m. Resultatene viser at korrosjonsrisikoen i Norge generelt er lavt. Likevel er det geografiske forskjeller. I Norge er risikoen størst i Sørvest-Norge og Øst-Finmark. Lavest risiko finner en i innlandet på Østlandet og i innlandet i Nord-Norge. I Oslo er det fremdeles større risiko for nedbrytning i sentrum av byen og langs de store innfartsårene en i utkanten. Et unntak er kobber som har høyere risiko i utkanten hvor ozonnivået er høyere.			
TITLE A risk assessment for damage of cultural heritage influenced by air pollution and climatic parameters.			
ABSTRACT			

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