

NILU TR : 3/92
REFERANSE : E-92025
DATO : APRIL 1992
ISBN : 82-425-0367-2

Dose-effekt-sammenhenger, levetider og kost-nytte- analyser

M. Støre



NILU

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
Norwegian Institute for Air Research
POSTBOKS 64 — N-2001 LILLESTRØM — NORWAY

INNHOOLD

	Side
BENYTTETE FORKORTELSER	2
SAMMENDRAG	3
1 INNLEDNING	5
2 DOSE-EFFEKT-SAMMENHENGER FOR MATERIALER	6
2.1 Nedbrytningsfaktorer (dose)	7
2.2 Nedbrytning av materialet (effekten av miljøet)	8
2.3 Dose-effekt- kontra "Damage"-funksjoner (skadefunksjoner)	9
2.4 Målemetoder for å bestemme miljøparametrene	10
2.5 Nedbrytningseffekter og metoder for å bestemme effekt	15
2.6 Tiltak for å redusere nedbrytningen	18
2.7 Metoder for å bestemme dose-effekt-sammenhenger	19
3 MATERIALERS LEVETID	22
3.1 Definisjon av levetid	22
3.2 Metoder for å forutsi levetiden - CIB/RILEM-arbeidet	23
4 FRA DOSE-EFFEKT TIL KOST-NYTTE-ANALYSER	27
4.1 Oversikt over dose-effekt-sammenhenger for noen materialer	28
4.2 Kost-nytte-analysen	34
5 OVERSIKT OVER FORSKNINGSPROGRAMMER/PROSJEKTER	36
5.1 Dose-effekt-rettede prosjekter	36
5.2 Material- og kostnadsrettede prosjekter	39
6 OVERSIKT OVER TEORETISKE STATISTISKE VARIABLER	40
6.1 Statistiske begreper	40
6.2 Stokastiske variabler og fordelinger	41
7 KONKLUSJONER	45
8 FORSLAG TIL ARBEIDSPROGRAM FOR DOSE-EFFEKT-ANALYSER .	46
9 REFERANSER	46

BENYTTETE FORKORTELSER

NORSKE

NILU : Norsk institutt for luftforskning
MILBYGG: Miljøvirkninger på bygningsmaterialer

NORDISKE

NBS-MK : Nordiske byggforskningsorganers samarbeidsgruppe med flere undergrupper, som f.eks. NBS-MK hvor MK står for materialer og konstruksjoner
MOBAK : Materialinventering og besiktning av korrosjonsskader på bygninger

INTERNASJONALE

ECE : FNs Economic Commission for Europe, hvor konvensjonene om reduksjon av grenseoverskridende luftforurensninger kan fattes
ISO : International Standardization Organization
CIB : International Council for Building Research Studies and Documentation
RILEM : International Union of Testing and Research
EUREKA : Europeisk forskningsprogram for industriell utvikling av Europa, hvor både EF og EFTA-landene deltar
CEN : European Committee for Standardization

SAMMENDRAG

Denne rapporten er et resultat av en litteraturstudie innen fagområdet dose-effekt-sammenhenger (D/E), levetider og kost-nytteanalyser av materialer.

Hensikten med rapporten er å:

- beskrive sammenhengen mellom D/E-relasjoner, levetider og kost-nytte-analyser,
- fremskaffe en oversikt over metoder og resultater på dette feltet, og
- komme fram til forslag til arbeidsprogram for behandling av korrosjonsdata fra eksisterende materialprogram for utvikling av D/E-relasjoner.

Konklusjoner:

- Dose-effekt-sammenhenger (D/E) defineres som matematiske uttrykk som beskriver sammenhengen mellom miljøpåvirkningen og nedbrytningen av materialet.
- Utledningen av dem kan foregå ut fra kjemisk/fysiske betraktninger, ved hjelp av felt- og laboratorieforsøk eller en kombinasjon av begge.
- Det eksisterer en rekke D/E-funksjoner for metaller og for naturstein. Det finnes i noen grad D/E-sammenhenger for maling.
- For materialer som tre, betong og puss eksisterer det ikke D/E-sammenhenger.

- Det er liten informasjon om de ulike nedbrytningsprosesser av de samme materialene (tre, puss, betong og malte flater).
- Det finnes manglende kunnskap om målemetoder som kan kvantifisere effekten av miljøet (nedbrytningen) for disse materialene.
- De fleste eksisterende D/E-funksjoner beskriver som regel bare virkningen av noen få dominerende miljøvariabler i et datasett, og ikke de fysikalske-kjemiske nedbrytningsmekanismene som er til stede for materialet.

DOSE-EFFEKT-SAMMENHENGER, LEVETIDER OG KOST-NYTTE-ANALYSER

1 INNLEDNING

Dose-effekt-sammenhenger (D/E) for materialer danner grunnlag for å bestemme materialers og konstruksjoners levetider. De danner videre grunnlag for kost-nytte-analyser, som igjen er avgjørende for ulike miljøtiltak.

Hensikten med denne rapporten er å:

- beskrive sammenhengen mellom D/E-relasjoner, levetider og kost-nytte-analyser.
- fremskaffe en oversikt over metoder og resultater på dette feltet, og
- komme fram til forslag til arbeidsprogram for behandling av korrosjonsdata fra eksisterende materialprogram for utvikling av D/E-relasjoner.

På NILU har det vært gjort studier fra midten av 70-tallet for å prøve å etablere D/E-sammenhenger for Norge og Skandinavia. En del D/E-funksjoner for metaller er etablert for Skandinavia og i noen mindre områder i Norge. Det er ønskelig å prøve og utvide dette til å gjelde hele Norge. Samtidig er det ønskelig å etablere D/E-sammenhenger for andre materialer enn metaller.

Dette arbeidet består i hovedsak av å gjøre et utvalg av metoder for utarbeidelse av D/E-sammenhenger, og etablere sammenhenger for Norge og internasjonalt ved hjelp av eksponeringsprogrammer som UN ECE-programmet og ISO CORRAG-programmet (UN/ECE, 1988; Technical committee ISO (ISO, 1986) (se for øvrig kap. 5 Oversikt over forskningsprogrammer/prosjekter).

Denne rapporten er et resultat av et litteraturstudie. Det er også gjort forsøk på å samle en del begreper og definisjoner

som stadig dukker opp i diskusjoner vedrørende dette fagområdet.

Mye av bakgrunnstoffet er hentet fra NTNFRapporten "Miljøvirkninger på bygningsmaterialer (MILBYGG)" (Bjørberg et. al., 1990).

2 DOSE-EFFEKT-SAMMENHENGER FOR MATERIALER

Skadelige miljøpåvirkninger på bygningsmassen, på infrastruktur og på den materielle kulturarv i luft, jord og vann er et økende problem i Norge og over hele Europa. Store verdier står på spill.

Bygningsmassen utgjør i de fleste land mer enn halvparten av landets realkapital. Dette betyr at skader på bygningsmaterialer som f. eks. puss, betong og trematerialer resulterer i høye drifts- og vedlikeholdskostnader.

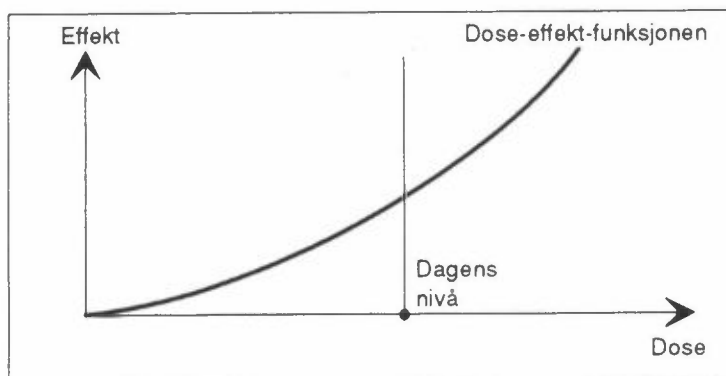
For å kunne kjenne omfanget og kostnadene av skadevirkningene, er det viktig å kjenne miljøbelastningens effekt på nedbrytningen av de ulike bygningsmaterialene (Bjørberg et al., 1990).

Dose-effekt-sammenhenger (D/E) er funksjoner som uttrykker dette. De er også viktige for å kunne forutsi levetiden til et materiale.

Begrepet "dose-effekt" tilsvarer begrepet "dose-respons".

Nedbrytningen av materialer avhenger av miljøet, og sammenhengen kan beskrives av dose-effekt-funksjoner (D/E), se figur 1.

En D/E-funksjon kan defineres som utledete matematiske uttrykk som beskriver sammenhengen mellom miljøpåvirkningen (dosen) og nedbrytningen av materialet (effekten) (ECE, 1990).



Figur 1: Illustrasjon av dose-effekt-funksjonen (nedbrytningen av materialet (effekten) som funksjon av miljøbelastningen (dosen)).

2.1 NEDBRYTNINGSFAKTORER (DOSE)

Miljøbelastningen på materialet er den dose som materialet er utsatt for. Denne belastningen (dosen) uttrykkes langs miljøaksen i figur 1, dvs. de parametrene i det ytre miljøet som påvirker materialet. Det er viktig å være klar over at som miljøparametere inngår ikke bare forurensningsparametere som SO_2 og NO_x , men også de naturlige parametrene som temperatur, fuktighet, solstråling osv.

Miljøparametrene kan deles inn i 5 hovedgrupper (Masters, 1989; ISO, 1984):

- Klimafaktorer
 - Naturlige klimavariabler:
 - Solstråling
 - Temperatur
 - Vann (nedbør i form av damp, regn og is)
 - Gasser, normale i luft (O_2 , O_3 , CO_2)
 - Luftforurensninger:
 - Gasser (SO_2 , NO_2 , NH_3 , m.m)
 - Partikler, støv og sot (smuss)
 - Salter og org. syrer

- Biologiske faktorer
 - Mikroorganismer (alger, bakterier)
 - Sopp
 - Andre levende organismer (planter og dyr)

- Stress-faktorer/
fysiske påkjenninger
 - Vedvarende stress/påkjenninger
 - Periodisk stress/påkjenninger pga. klimafaktorer:
 - Fysiske effekter av vann, som regn, hagl, snø og salter (f.eks. fryse-tine-sykluser)
 - Fysiske effekter av vind
 - Kombinasjonseffekter av vann og vind
 - Termiske bevegelser og bevegelser pga. andre faktorer (f.eks. setninger, jordskjelv m.m.)

- Ikke blandbare faktorer (Incompability factors)
 - Kjemiske effekter (f.eks. galvaniske effekter)
 - Fysiske effekter (f.eks. forskjellige utvidelsesfaktorer)

- Brukerfaktorer
 - Misbruk
 - Slitasje

Listen er ikke fullstendig, men inneholder de viktigste miljøparametrene for nedbrytning av materialer. Det er ikke klare grenser mellom de ulike gruppene av miljøfaktorer. F.eks. er O₃ en naturlig gass i naturen, samtidig som den gir en økt forurensning på regional og lokal skala.

2.2 NEDBRYTNING AV MATERIALET (EFFEKTEN AV MILJØET)

Nedbrytningen av materialet karakteriseres av hvilken material-egenskap som påvirkes. Hvilken variabel som karakteriserer nedbrytningen, avhenger av hvilket materiale en har, og hvilken materialfunksjon en ønsker å karakterisere. F.eks for metaller måles nedbrytningen som vekttapet eller tykkelsesminskningen, og for malte flater måles glanstap, krittning, krakelering m.m.

2.3 DOSE-EFFEKT- KONTRA "DAMAGE"-FUNKSJONER (SKADEFUNKSJONER)

I faglitteraturen brukes begrepene "Damage functions" (eller på norsk; skadefunksjoner) og dose-effekt-sammenhenger om hverandre. I amerikansk og engelsk faglitteratur er uttrykket skadefunksjon gitt definisjonen (Lipfert, 1989; Sereda, 1989; 1990):

"Matematisk sammenheng mellom miljøets belastning og materialers nedbrytning."

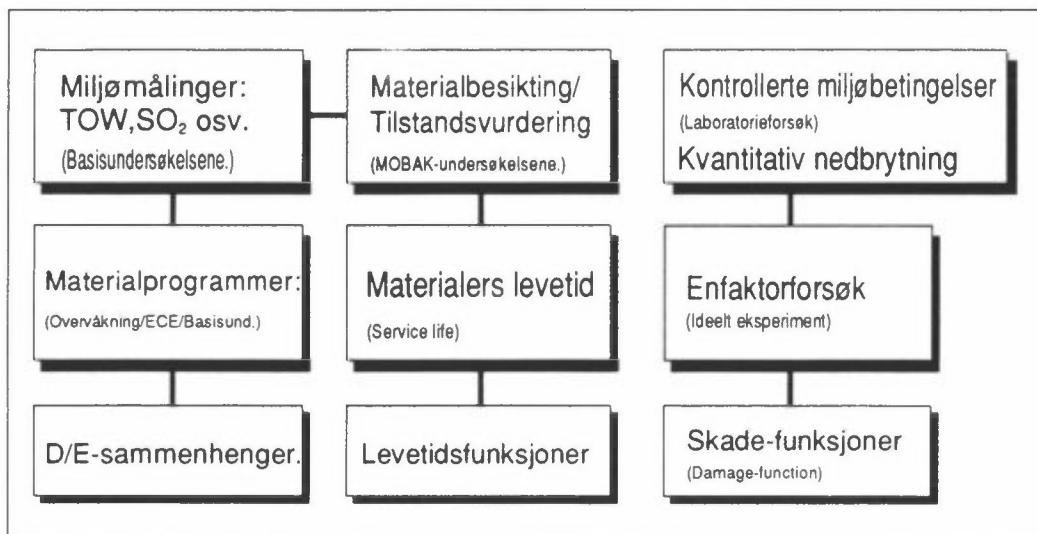
Dette tilsvarer definisjonen som gitt for dose-effekt-sammenhenger.

En annen beskrivelse av skadefunksjoner (damage functions) er:

Skadefunksjoner kan sies å være utledete matematiske uttrykk som beskriver sammenhengen mellom materialers levetid og miljøpåvirkningen (dose) (OECD, 1980; Henriksen et al., 1981). Et bedre uttrykk for denne type sammenhenger er levetidsfunksjoner.

Livingston har forsøkt å klarlegge begrepene noe, og definerer skadefunksjoner som matematiske uttrykk som beskriver sammenhengen mellom nedbrytningen av materialet og miljøpåvirkningen, utviklet gjennom laboratorieforsøk som enfaktorforsøk (Livingston, 1990).

I det følgende har en skilt mellom begrepene D/E-sammenhenger, levetidsfunksjoner og skadefunksjoner slik det fremgår av oversikten i figur 2. Se også kap. 2.7 Metoder for å bestemme dose-effekt-sammenhenger, hvor det er gitt praktiske eksempler på utviklingen av disse funksjonene.



Figur 2: Definisjon av de ulike funksjonene D/E-sammenhenger, levetider og skadefunksjoner.

2.4 MÅLEMETODER FOR Å BESTEMME MILJØPARAMETRENE

Miljøparametere kan måles både ved:

- Kontinuerlige målinger, og som
- Middelerverdier i form av døgnmiddel, månedsmiddel osv.

Når det gjelder miljømålinger av gasser og partikler, er ulike metoder tilgjengelig.

Kontinuerlige målinger registreres ved bruk av monitører, som trekker en kontinuerlig luftstrøm gjennom en detektor som selektivt "føler" og gir et signal som et mål for konsentrasjonen av den aktuelle gassen. Kontinuerlige målinger av denne typen er av nyere dato. Ulike prinsipper benyttes avhengig av hvilke gasser en registrerer, og i noen instrumenter fjernes interfererende gasser selektivt før detektoren. Det brukes en lang rekke ulike måleprinsipper avhengig av hvilke gasser som

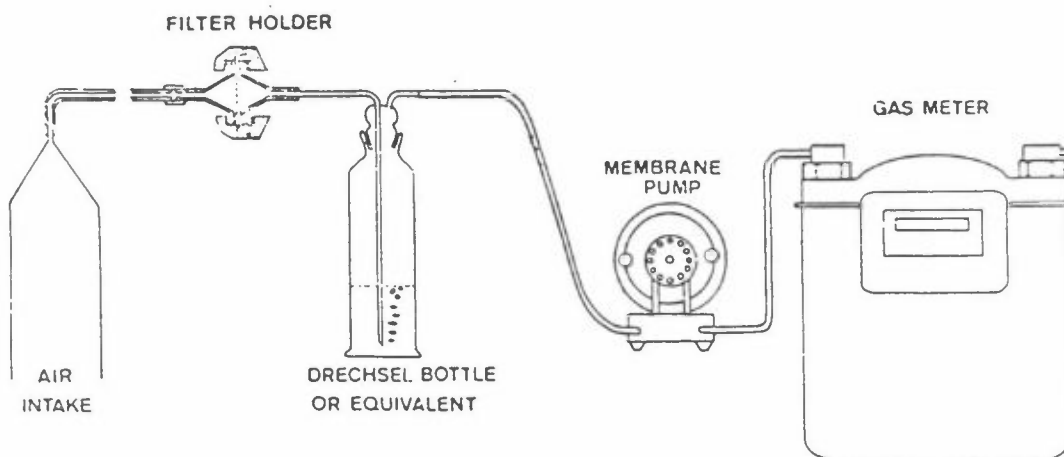
skal registreres (for SO_2 f.eks. flammefotometri eller UV-fluorescens, se tabell 1).

Alternativet til disse automatiske registrerende instrumentene er diskret prøvetaking (middelverdimålinger). Luften trekkes gjennom et absorpsjonsmedium som absorberer den aktuelle gassen, og middelkonsentrasjonen kan se bestemmes ved hjelp av en etterfølgende kjemisk analyse.

En bestemt luftmengde suges gjennom et luftinntak, via et filter for samling av støv og partikler og gjennom en absorberende væske (bobleflaske) eller et kjemisk behandlet filter, se figur 3.

Etterpå analyseres absorpsjonsmediet for bestemmelse av gasskonsentrasjonen i luft.

Denne metoden er anbefalt å bruke av OECD for måling av SO_2 (OECD, 1964), og benyttes av NILU i ulike overvåkningsprogrammer (EMEP, 1977).



Figur 3: Utstyr for prøvetaking av SO_2 i en absorberende løsning. (Kilde: EMEP, 1977.)

Fordeler og ulemper ved kontinuerlig målinger kontra middelverdimålinger:

Kontinuerlige målinger:	Middelverdimålinger
<ul style="list-style-type: none"> • Kan registrere raske variasjoner • Gir raskere resultater enn middelverdimålinger • Kan brukes til varsling ved overskridelse av terskelverdier • Dyre instrumenter • Krever ofte kalibrering • Bestemmer ikke partiklenes kjemiske sammensetning • Følsomheten kan være en begrensning 	<ul style="list-style-type: none"> • Raske svingninger blir ikke registrert • Kan ikke brukes til varsling • Rimelig utstyr og målinger • Kan benyttes til videre analyse av partikler • Stor nøyaktighet i målingene • Måler lave middelkonsentrasjoner • Absorpsjonsmediet kan mettes

Våttid (TOW)

Materialnedbrytningen er avhengig av fuktforholdene på flaten. Våttiden er relatert til materialnedbrytningen, og er definert som den tiden som et materiales overflate er fuktig (Time of Wetness, TOW). Den bestemmes av flere faktorer som nedbør, relativ fuktighet, temperatur og forurensninger. For metaller regnes våttiden som antall timer over 80% relativ fuktighet (RF) og temperatur over 0°C.

For å bestemme våttiden kan en registrere våttiden ved hjelp av en sensor (WETCORR-metoden), eller en kan beregne våttiden ut fra temperatur og relativ fuktighet.

Våttiden registrert ved hjelp av WETCORR-metoden gir våttiden direkte relatert til en flate (i mikromiljøet), mens våttiden beregnet ut fra temperatur og RF sier ikke noe om fuktforholdene på materialoverflaten, men mer om fuktforholdene i omgivelsene (se for øvrig s. 5 Oversikt over forskningsprogrammer/prosjekter).

For øvrig registreres mm nedbør i nedbørsamlere eller ved hjelp av vektpluviografer. Nedbørsprøver brukes også til å analysere ledningsevne, pH-verdi og ioner i nedbøren.

Temperatur

Nedbrytningen av materialet påvirkes av temperaturen på ulike måter. Korrosjonshastigheten for metaller øker med temperaturen, og en får en økning i de elektrokjemiske og kjemiske reaksjonene samt diffusjonshastigheten. Økende temperatur fører også til en raskere opptørking og således en lavere våttid.

For temperaturer under 0°C fryser vannet, og de kjemiske reaksjonene stopper. For porøse materialer som f.eks. tegl, puss osv. kan frostsprengning oppstå.

Temperatur og relativ fuktighet (RF) registreres enkelt ved hjelp av en termohygrograf. Middelveidmålinger for temperatur og RF kan også registreres ved hjelp av digitale instrumenter.

Svoveldioksid, SO₂

Både felt- og laboratorieforsøk har vist at SO₂ er sterkt korrosivt overfor metalliske materialer som stål og sink, men SO₂ bidrar også til raskere nedbrytning av karbonatholdige materialer som kalkstein og puss. For målemetoder, se tabell 1.

Nitrogenoksider, NO_x

NO_x har lenge vært betraktet som betydningsløse for den atmosfæriske nedbrytningen. Fra laboratorieforsøk har en i de senere årene funnet at SO₂ og NO₂ kan ha en sterk synergisk effekt. NO₂ øker omdannelseshastigheten fra SO₂ til svovelsyre etter følgende reaksjon:



Dette skjer først når en har en metallisk overflate å reagere på (Eriksson, 1992).

Største bidraget til NO_x er biltrafikken. For målemetoder, se tabell 1.

Klorider

Klorider virker nedbrytende på de fleste materialer. Særlig virker det korrosivt på metaller. Dette viser eksponeringen i marin atmosfære og erfaringer fra veisalting.

Andre forurensninger

Av andre forurensninger som påvirker materialets levetid, er pH i nedbør, ozon, CO₂, sulfider, støv og sotpartikler. For målemetoder, se tabell 1 (Henriksen et al., 1989; Sjöström et al., 1987; 1989).

Tabell 1: Metoder/måleprinsipper (kilde: Henriksen, 1987).

Miljøvariable	Kontinuerlige målinger	Middelverdimålinger
Våttid (TOW)	WETCORR-metoden, eller beregnet ut fra RF og temperatur	
mm nedbør	Vektpluviograf	Nedbørsamler
Temperatur og rel. fuktighet	Termohygrograf	
SO ₂	UV-fluorescens Flammefotometri	Absorpsjon/spektrofotometri eller ionekromatograf
Cl ⁻ /SO ₄ ²⁻		Filter/ionekromatografi

Andre miljøvariable	Kontinuerlige målinger	Middelverdimålinger
NO ₂	Chemiluminescens (ozongass) (måler NO alene og NO _x etter reduksjon av NO ₂ til NO)	Absorpsjon/spektrofotometri eller ionekromatograf
O ₃	UV-spektrofotometri (absorpsjon) Chemiluminescens (etylengass)	
H ₂ S	UV-fluorescens/flammefotometri Gullfilm-resistans-måling	Absorpsjon (FK)/røntgenfluorescens
Cl ₂		
NH ₃ /NH ₄ ³⁺		Filter/spektrofotometri
Sot		Filter/reflektometri

2.5. NEDBRYTNINGSEFFEKTER OG METODER FOR Å BESTEMME EFFEKT

Av nedbrytningsprosesser/skader på materialer kan nevnes noen:

- Karbonatisering av betong med tilhørende armeringskorrosjon
- Frostsprengning i fuger og murverk
- Nedbrytning av steinmaterialer
- Nedbrytning (f.eks. sprekkdannelse, avskalling og krakelering) av pussede flater
- Korrosjon av metaller
- Råteskader på treverk

For å kunne relatere disse skadene til dose-effekt-sammenhenger er det viktig å kunne benytte evalueringmetoder som karakteriserer nedbrytningen (Effekten). Det skilles derfor mellom kvantitative og kvalitative målemetoder for evaluering av effekten.

Kvantitative metoder gir resultater i form av målbare effekter som f.eks. ant. g korrodert pr. m² flate pr. år for et metall. Kvalitative metoder omformer og måler materialets effekt i form av intervaller/grader (Evalueringsskjema/Tilstandsprotokoller). F.eks. er tilstandsregistrering kvalitativ metode, hvor effekten på materialet måles i tilstandsgrader.

En ønsker å benytte kvantitative målemetoder for evaluering av miljøets effekt på materialer. Materialprøver blir eksponert i et miljø, og evaluert etter bestemte metoder for å bestemme effekten.

Material	Målemetode
• Metaller	- Veiling av prøvene for bestemmelse av vekttap etter fjerning av korrosjonsproduktene på prøven (ISO DIS 8407)
• Stein	- Veiling av prøver eksponert ute under tak for registrering av vektøkning (Scanning Electron Microscopy). (Opptak av miljøparametre, f.eks. SO ₂ -gass.)
• Malte flater (Tre/Puss/Metall)	- Bestemmelse av tykkelsesminskning av maling
• Tre • Puss • Betong	- For bestemmelse av råteskader på tre og nedbrytning av puss og betong finnes det foreløpig ingen kvantitativ metode

Tilstandsregistrering:

Tilstandsregistrering regnes som en kvalitativ metode til bruk for evaluering av en skadetilstand på et materiale eller en bygning.

Skadesymptomer og tilstandsgrader er viktige begreper når en skal gjøre en tilstandsbeskrivelse av et materiale eller en bygning. MILBYGG-rapporten definerer ulike tilstandsgrader for å klassifisere skader på materialer. Disse deles opp som følger, se figur 4:

- Tilstandsgrad 0 (TG 0): ingen synlige tegn
- Tilstandsgrad 1 (TG 1): svake synlige tegn
- Tilstandsgrad 2 (TG 2): tydelige tegn
- Tilstandsgrad 3 (TG 3): omfattende symptomer

I MOBAK-undersøkelsene i Stockholm og Sarpsborg benyttet en seg av 3 skadegrader (MOBAK = Materialinventering og besiktning av korrosjonsskader). (For nærmere opplysning vedrørende MOBAK-undersøkelsen, se kapittel 4.2 og kapittel 5.)

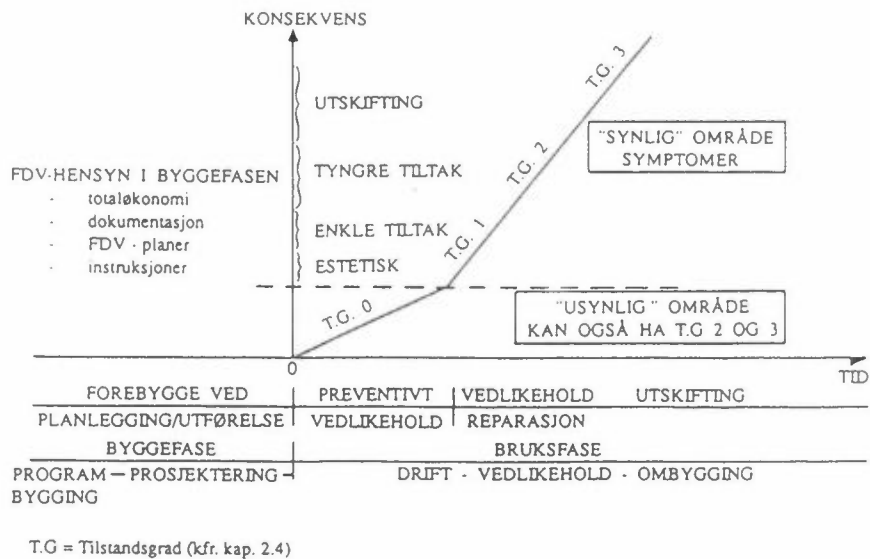
For å kunne bedømme disse tilstandsgradene er presisjonsnivåene for undersøkelsene viktig. MILBYGG deler disse opp i tre nivåer:

- Nivå 1: Visuell besiktning kombinert med enkle målinger
- Nivå 2: Mer omfattende målinger (ikke-destruktive)
- Nivå 3: Destruktive undersøkelser

I Danmark deler en opp tilstandsundersøkelsen i fire nivåer (Teknologisk institutt, 1980). For tegl, trevinduer og betongflater brukes i Danmark de samme skadegradene som er definert i MILBYGG-rapporten (Bjørberg et al., 1990).

Valg av undersøkelsesnivå blir et kostnadsspørsmål. Kostnadene stiger med en faktor 10 mellom nivå 1 og nivå 3. Det kan tenkes at en bruker nivå 1 for å skaffe oversikt over skadene. Deretter kan nivå 2 brukes for å fremskaffe detaljinformasjon om skadebilde, der det etter nivå 1 viser seg å være nødvendig.

Ulike metoder finnes for å oppnå disse nivåene. Enkle hjelpemidler er sjekklister og bildestandarder.



Figur 4: Livssyklus for en bygning, bygningsdel eller materiale (kilde: MILBYGG, Bjørberg et al., 1990).

2.6 TILTAK FOR Å REDUSERE NEDBRYTNINGEN

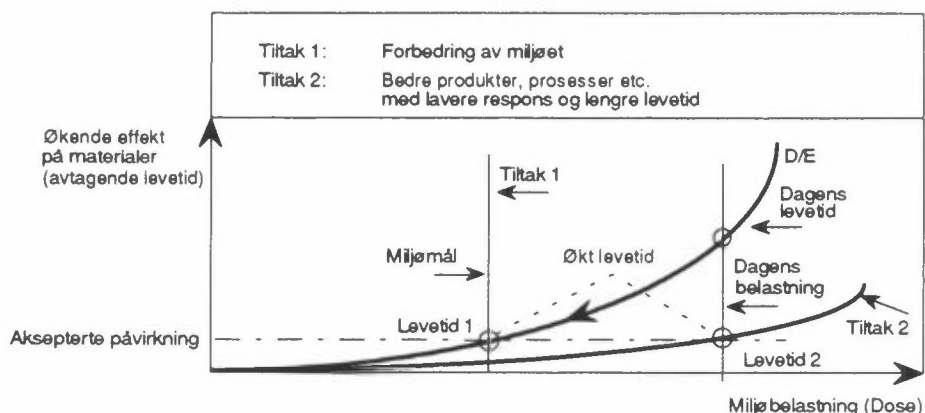
I prinsippet har vi 2 typer av tiltak for å redusere nedbrytningen.

- Tiltak 1: Forbedre miljøkvaliteten.
- Tiltak 2: Utvikle bedre produkter, prosesser osv. som påvirkes mindre.

Begge tiltakene bidrar til økt levetid for materialet, se figur 5.

Tiltak 1:

Å forbedre miljøkvaliteten/luftkvaliteten er et internasjonalt politisk problem som vil ta lang tid å løse. Det er her viktig at materialskadene bringes inn i kost-nytte-analysene for de ulike skadeområdene (helse, skog, fisk etc.) som ligger til grunn for de politiske vedtakene om mål for miljøforbedringene.



Figur 5: Illustrasjon av dose-effekt-sammenheng (D/E) for et materiale, og effekten av ulike tiltak på levetiden.

Tiltak 2:

- Utvikle forbedrede produkter og prosesser med bedre bestandighet som gir økt levetid (jfr. levetid 2, figur 5).
- Utvikle bedre vedlikeholdsrutiner og samtidig påvirke til økt og bedret vedlikehold for utvendige materialer og konstruksjoner som gir økt levetid.

2.7 METODER FOR Å BESTEMME DOSE-EFFEKT-SAMMENHENGER

Det kan sies å være tre metoder for å etablere dose-effekt-sammenhenger.

1. Dataorientert metode

- 2a) Mekanismeorientert metode ut fra kjemiske/fysiske modeller for nedbrytningen
- 2b) Mekanismeorientert metode ut fra empiriske sammenhenger.

Metode 1 - Dataorientert metode beskrives som følger:

En eksponerer materialprøver og måler miljøparametere (Dose) som en etter valgte eksponeringsperioder evaluerer for å

bestemme materialnedbrytningen (Effekten). Dette gjøres slik at en har et miljø- og korrosjonsdatasett som er et statistisk utvalg av data for situasjonen på stedet. Ved å bruke lineær regresjonsanalyse og statistisk hypotesetesting (med valgt signifikansnivå og sannsynlighetsfordeling) på disse datasettene, kan en etablere empiriske D/E-sammenhenger (Haagenrud et al., 1985).

Denne metoden gir ofte lineære ligninger.

Eksempel på en D/E-funksjon for kopper, utviklet etter metode 1 (Haagenrud et al. 1985):

$$K'_{cu} = 0.14 \text{ SO}_2 + 0.007 \text{ TOW} - 16.9, R = 0.91, (1-R^2) = 17\%$$

hvor

K = materialets vekttap for kopper (Cu) i g/m²/year
 SO₂ = SO₂-konsentrasjonen i µg/m³
 TOW = våttid (Time of Wetness)
 R = korrelasjonskoeffisient
 (1-R²) = uforklarlig restvarians

Metode 2a) som er en mekanismeorientert metode og baserer seg på en kjemisk/fysisk modell for nedbrytningen av materialet. Ved å teste denne modellen med laboratorieforsøk og med datasett fra felten, vil man få et bilde på hvor god denne modellen er, og hvor godt den beskriver de virkelige sammenhengene (Lipfert, 1989; Haynie, 1990).

Denne metoden gir ofte eksponensielle eller logaritmiske funksjoner.

Eksempel på en D/E-funksjon for galvanisert stål, utviklet av metode 2 (Haynie et al., 1976):

$$K = (0.0187 \text{ SO}_2) + (e^{41.85-23.24/RT})_{\text{TOW}}$$

hvor

K = korrosjonstap i g/m²
 SO₂ = SO₂-konsentrasjon i µg/m³
 TOW = våttid (Time of Wetness)
 T = Temperatur
 R = gasskonst.

Metode 2b) er en variant av metode 2a) hvor modeller etableres ut fra empiriske data og det en mener å kjenne om nedbrytningsmekanismer ut fra årevis erfaringer. Disse modellene testes på samme måte som for metode 2a) (Mikhailov et al., 1991).

Et generelt eksempel på en slik funksjon kan være:

$$y = a[\text{TOW}]([\text{SO}_2] + [\text{SO}_2][\text{NO}_2]) + b[\text{TOW}] + c [\text{Andre}]$$

hvor

TOW = materialets våttid (Time of Wetness)
 [SO₂] og [NO₂] = SO₂- og NO₂-konsentrasjonen i luft.

Dette er ett forsøk på å etablere en modell ut fra empiriske forhold der hvor en sier følgende:

Ethvert materiale er utsatt for nedbrytning når det er utsatt for klimapåkjenninger og forurensninger. Mange års erfaringer fra materialers langtidseksponering har vist at fuktighet kombinert med høy SO₂-konsentrasjon i luft er viktige nedbrytningsfaktorer.

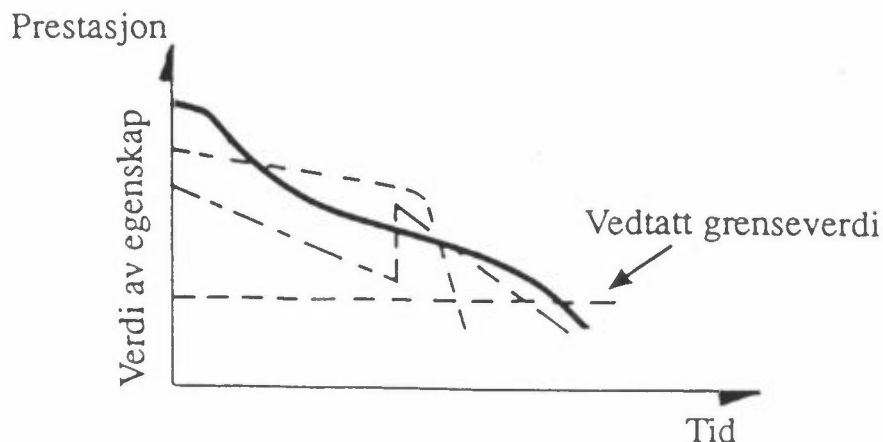
3 MATERIALERS LEVETID

Levetidsbegrepet kommer i fokus i mange diskusjoner vedrørende materialer. Det er derfor behov for å omtale begrepet noe nærmere. Arbeid som er gjort vedrørende levetidsproblematikken, presenteres også.

3.1 DEFINISJON AV LEVETID

Begrepet levetid defineres av RILEM- rekommendasjonen (Masters, 1989) som "Levetiden for et bygningsmateriale, komponent eller system er den tidsperioden etter installering hvor de vesentlige egenskapene oppfyller vedtatte minimumsnivåer". Forskjellige typer av levetider kan defineres ut fra valget av tillatt minimumsnivå på kritisk materialegenskap, se figur 6. Det kan skilles mellom (Bjørberg et al., 1990):

- * Estetisk levetid, dvs. nedbrytning kun med estetisk konsekvens (utseende)
- * Teknisk levetid, dvs. nedbrytning inntil tyngre utskiftning blir nødvendig av hensyn til funksjon eller sikkerhet
- * Økonomisk levetid, dvs. akseptabelt nedbrytningsnivå avhengig av kalkylerente
- * Antikvarisk levetid, dvs. nedbrytning aksepteres i utgangspunktet ikke (konservering)



Figur 6: Illustrasjon av hypotetiske forløp for materialegenskap som funksjon av tiden (MILBYGG, 1990; Masters, 1989).

3.2 METODER FOR Å FORUTSI LEVETIDEN (CIB/RILEM-ARBEIDET)

I 1981 dannet CIB og RILEM en felles "working commission" (technical committee) for "Prediction of the service life of building materials and components", CIB W80/RILEM 71/PSL (Prediction of Service Life).

Komiteen hadde følgende mål:

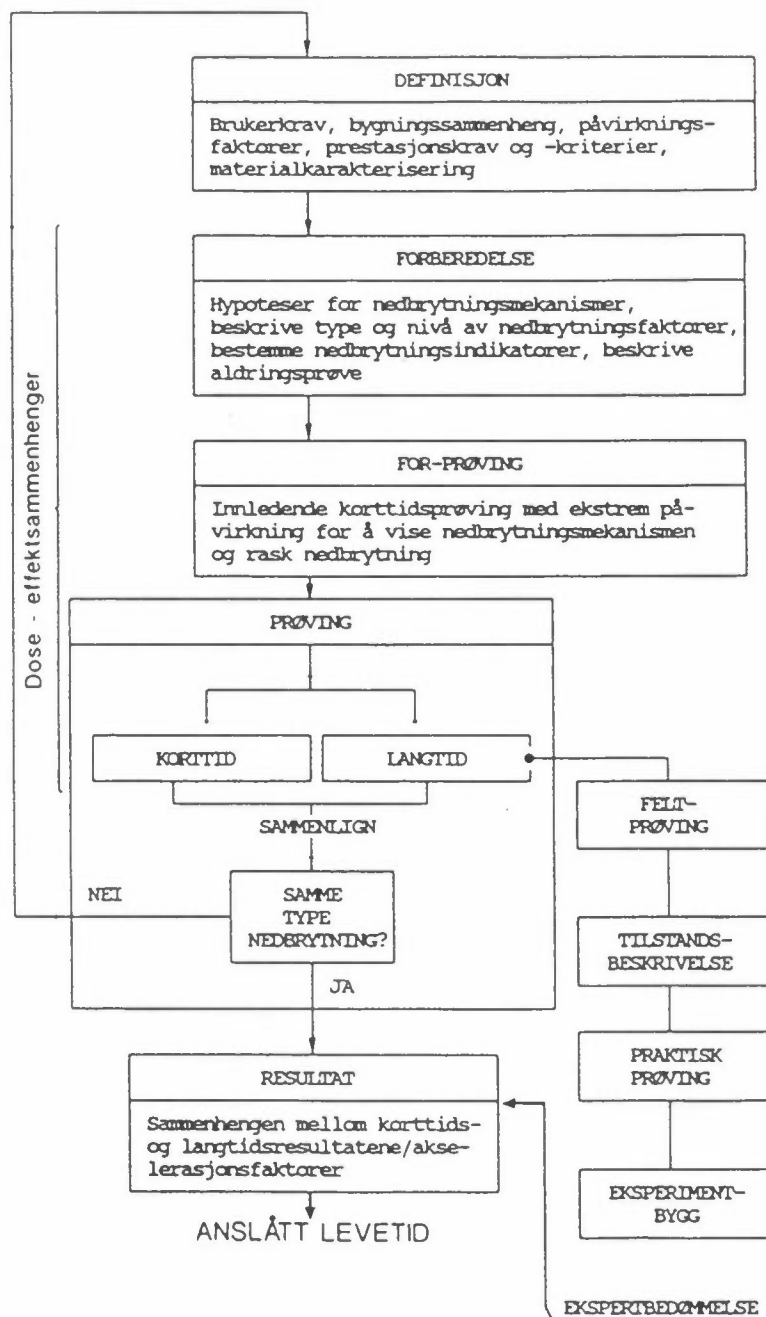
- å vurdere dagens kunnskapsnivå om levetidsbestemmelse
- å identifisere og beskrive tilgjengelige systematiske metoder for levetidsbestemmelse
- å foreslå en generell systematisk metode
- å identifisere forskningsbehov som trengs for å forbedre dagens kunnskapsnivå om levetidsbestemmelse av bygningsmaterialer og komponenter.

Et viktig resultat fra arbeidsgruppen er en generell systematisk metode for bruk ved levetidsbestemmelse, se figur 7.

Denne metoden setter dose-effekt-sammenhenger inn i en modell. Modellen er et flytskjema for nødvendige forsøksmetoder for å kunne fremskaffe grunnlagsdata for å etablere dose-effekt-sammenhenger og anslå levetider.

Kort- og langtidsprøving er henholdsvis laboratorie- og feltforsøk for å kunne sammenligne type nedbrytning.

(Modellen har nå fått positive signaler om å bli akseptert som ISO- og CEN-standard.)



Figur 7: Illustrasjon av den generelle levetidsmodellen fra RILEM, (CIB, 1990).

CIB/RILEM-gruppen W80/TC71-PSL konkluderte med følgende forskningsbehov (CIB, 1987):

1. Utvikling av forbedrede prøvemetoder for å generere levetidsdata. Utviklingen av slike metoder er imidlertid avhengig av å få kunnskap på spesifikke områder.
2. Utvikling av systemer for kartlegging/rapportering fra eksisterende byggverk. Bruk av ekspertssystemer kan bli nyttig i denne sammenheng.
3. Utvikling av forbedret kunnskap om materialers nedbrytningsmekanismer.
4. Utvikling av forbedret verktøy og metoder for å måle nedbrytning av ulike materialer.
5. Utvikling av kunnskap og metoder for å måle miljøfaktorer.
6. Utvikling av modeller som beskriver dose-effekt-sammenhenger som funksjon av bruksmiljø og prøvningsmiljø.
7. Utvikling av prøvemetoder for beskyttelsessystemer.

De fleste av NILUs materialprogrammer/prosjekter kan kategoriseres etter disse punktene. Disse kommenteres i kap. 5 Oversikt over forskningsprogrammer/prosjekter.

For videreføring av arbeidet med levetidsmodellen fra 1987 ble det dannet en ny gruppe, CIB W80/RILEM TC 100-TSL (Techniques for Predicting Service Life). Denne komiteen arbeidet etter følgende mandat:

- å beskrive dagens kunnskapsnivå om hvordan bestemme levetiden av bygningsmaterialer og -komponenter
- å videreutvikle og foreslå en felles systematisk metode for levetidsbestemmelse

Dette arbeidet resulterte i rapporten "Feedback from practice of durability data inspection of buildings" (CIB, 1990), og hvor pilotprosjektet "Materialinventering og besikting av korrosjonsskader på bygninger" (MOBAK) i Stockholm og Sarpsborg er "case-studier" for denne rapporten. MOBAK-prosjektet er et bidrag til å fremskaffe grunnlagsdata for å kunne estimere materialers levetider (Henriksen et al., 1989; Tolstoy et al., 1989). Se for øvrig kap. 5.2 Material- og kostnadsrettede prosjekter.

Det er besluttet å videreføre dette arbeidet, og det er etablert en ny felles CIB/RILEM-komite (CIB W80/RILEM 140 TSL). Arbeidsperioden er 1991-95 og arbeidet er delt inn i 5 arbeidsgrupper. Komiteen hadde sitt konstituerende møte på Lillehammer den 2.-3. oktober 1991. Gruppens målsetting er følgende (CIB, 1991):

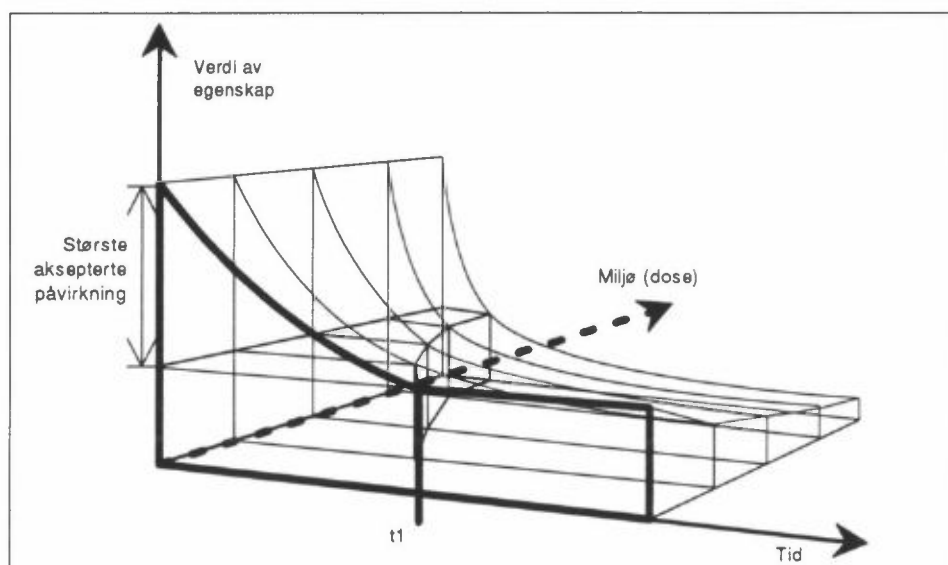
- * Bearbeiding av resultater fra felteksponeringsprøver, "In-Use"-testing (praktiske/reelle prøver) og eksperimentelle bygninger for bruk ved levetidsbestemmelse av materialer og konstruksjoner
- * Karakterisering av miljø inkludert målemetoder og -utstyr
- * Karakterisering av materialer inkludert måling av nedbrytningsprosesser
- * Matematiske modeller
- * Komme fram til en modell for korttidstesting

En av disse arbeidsgruppene, "Bearbeiding av resultater fra felteksponering.....", er en videreføring av MOBAK-undersøkelsen til å gjelde hele Norden, MOBAK-Norden, vil bli et viktig element i arbeidet til denne gruppen

Arbeidet er forankret i NBS-MK-gruppen, og inngår som en del av EUREKA-prosjektet EURO CARE DATA som har som mål å etablere et europeisk kunnskapsbasert informasjonssystem for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) av bygninger og minnesmerker.

4 FRA DOSE-EFFEKT TIL KOST-NYTTE-ANALYSER

Dose-effekt-sammenhenger danner grunnlaget for å bestemme levetida for materialer. Kjennskap til levetider og vedlikeholdsintervaller er på sin side nødvendig for beregning av kostnadene ved materialnedbrytningen. Dette er også viktig for å kunne vite hvor stor effekt et hvert tiltak langs miljøaksen gir utslag i materialnedbrytning. Se figur 8. Disse kurvene kan da si noe om hvor store de fremtidige besparelser kan være for ulike former for tiltak. Her kommer kost-nytte-analysene inn.



Figur 8: Illustrasjon av hypotetisk dose-egenskap-tid-sammenheng (D-E-T) for et materiale.

Kost-nytte-analysene er igjen et videre grunnlag eller argument for politiske vedtak om miljøtiltak. Et eksempel på en slik problemstilling kan være f. eks. hvor store økonomiske besparelser vil en oppnå som følge av reduksjon i korrosjonsskader ved reduksjon av SO_2 -utslipp i luft.

De fleste materialer som anvendes i bygninger, korroderer eller nedbrytes pga. miljøets påvirkning. Nedbrytningen av materialene øker med økende mengde av luftforurensninger.

De økonomiske konsekvensene av materialnedbrytningen og sammenheng med SO_2 er blitt vurdert i flere arbeider i forskjellige land. Til dette benyttes kost-nytte-analyser hvor investeringskostnadene til ethvert tiltak for å forbedre miljøet, blir sammenlignet med de besparelsene tiltakene resulterer i form av reduksjon av korrosjonsskader.

Til slike kost-nytte-analyser benyttes tre typer parametere (Henriksen et al., 1989):

- a) Målte eller beregnede miljøparametere.
- b) Dose-effekt-sammenhenger for materialer.
- c) Pris og materialmengde i ulike tettsteder.

De viktigste miljøparametrene som nevnt i pkt. a) Målte eller beregnede miljøparametere, er nedbør- og klimadata (mm nedbør, våttid, temperatur og fuktighet) og gasser (oftest SO_2 , ofte NO_x og av og til Cl_2) og partikler.

4.1 OVERSIKT OVER DOSE-EFFEKT-SAMMENHENGER FOR NOEN MATERIALER

En oversikt over hvilke D/E-sammenhenger som er prøvd etablert for noen materialer er stilt opp i en tabell. Denne oversikten er fremskaffet av Korrosionsinstituttet i Stockholm, se tabellene 2 og 3.

Parametere som går igjen blant disse D/E-sammenhengene er konsentrasjonen av SO_2 , og nedbørs- og klimaparametere som våttid (TOW), temperatur og fuktighet. Disse er faktorer som en vet har betydning for nedbrytningen.

Ligningene er noe forskjellige i uttrykksmåte, og metodene/modellene for utviklingen av dem er noe forskjellige.

Tabell 2: Oversikt over ulike D/E-sammenhenger for metaller (fra United Nations Economic Commission for Europe, 1984).

Ligninger	Signifikante parametere/ kommentarer	Referanse
<p>GALVANISK STÅL:</p> <p>*2 $K = (0,0187 \text{ SO}_2) + (e^{41,85-23,24/RT})_{TOW}$</p> <p>*1 $y = 0,45 \text{ SO}_2 + 0,7$</p> <p>*2 $\log V(t) = 1,977 - 0,144 \log t$</p> <p>*2 $\log V(t) = 1,863 - 0,102 \log t + 0,004 \text{ TS} - 0,005 \text{ SO}_2 + 0,0054 \text{ H}_2\text{S} - 0,065 \text{ O}_3 - 0,002 \text{ NO}_x + 0,003 \text{ TSP} - 0,008 \text{ SO}_4 + 0,018 \text{ NO}_3$</p> <p>*1 $\text{Rate}(\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}) = 0,8 - 85,39 \text{ I}^2 + 0,022 \text{ SO}_2 \cdot \text{I} + 0,271 \text{ I} \cdot \text{SO}_2$</p>	<p>K = korrosjonstap, SO_2 i $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TOW = time of wetness, T = temperatur, R = gasskonst. y = $\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$ = korrosjonstap</p> <p>V(t)=korrosjonshastighet t=eksponeringstid</p> <p>TS = total mengde svovel TSP = total suspended particulate</p> <p>I = nedbørsintensitet $\text{SO}_2 \cdot \text{I}$ = veid avvik for de 6 første eksponerte mndr. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) $\text{I} \cdot \text{SO}_2$ = intensitet x SO_2</p>	<p>Haynie o.a., 1976</p> <p>Norwegian Function for Economic Assessment</p> <p>Mansfeld, 1980</p> <p>Saunders, 1982 (forenklet ligning for kost-nytte-analyser)</p>
<p>STÅL:</p> <p>*1 $z = 0,16 \text{ TOW}^{0,7} (\text{SO}_2 + 1,78)$</p> <p>*2 $y = 9,013 (e^{0,0016 \cdot \text{SO}_2}) (4,768t)^{0,7012} (0,00582 \cdot \text{OX})$</p> <p>*2 $y = a_0 t (e^{a_1 x - a_2 / \text{RH}})$</p> <p>*2 $y = (5,64 / \text{SO}_2) + e^{(55,44 - 31,150 / \text{RT})}_{TOW}$</p> <p>*2 $\text{Log rate} = 0,702 - 0,588 \log T - 0,004 \text{ TS} + 0,006 \text{ SO}_2 + 0,011 \cdot \text{H}_2\text{S} - 0,010 \cdot \text{NO}_x + 0,006 \cdot \text{TSP} - 0,005 \text{ SO}_4 - 0,001 \text{ NO}_3$</p>	<p>TOW, SO_2</p> <p>SO_2, t OX = Oxidant</p> <p>y = $\text{g}/\text{m}^2/\text{year}$ t, x = SO_4 og SO_2, RH</p> <p>SO_2</p> <p>TS, TSP, SO_4^{2-}</p>	<p>Guttman and Sereda, 1968</p> <p>Haynie & Upham, 1971</p> <p>Haynie & Upham, 1974</p> <p>Haynie et al., 1976</p> <p>Mansfeld, 1980</p>

*1 = Utviklet av D/E-metode 1) Dataorientert, se s. 13.

*2 = Utviklet av D/E-metode 2a) Mekanismeorientert (fysiske/kjemiske sammenhenger), se s. 13.

*3 = Utviklet av D/E-metode 2b) Mekanismeorientert (empiriske sammenhenger), se s. 13.

Tabell 2, forts.

Ligninger	Signifikante parametere/ kommentarer	Referanse
Monthly rate: *1 $y = 1,54 \text{ SO}_2 + 2,34 \text{ NPREC} + 0,05 \text{ H}^+ - 15,2$	SO_2 , H^+ (BIALBO) NPREC = Ant. dager med nedbør	Atteraas og Haagenrud, 1980, NILU
*1 $y = 0,96 \text{ SO}_2 + 0,13 \text{ TOW} - 12,7$	Sarpsborg SO_2 , TOW Korr. koeff. $R = 0,85$	Haagenrud et al., 1985
Årskorrosjon: *1 $y = 0,12 \text{ TOW} + 0,72 \text{ SO}_2 + \text{Cl}(\text{C}) - 250,3$	Bergen $\text{Cl}(\text{C}) = \text{kloridkonsentrasjonen i nedbør (mg/l)}$	Haagenrud, 1986
*1 $y = 0,0106 \text{ SO}_2 + 2,0$	Karbonstål	FRG
*1 $y = 5,28 \text{ SO}_2 + 176,6$		Nordforsk, 1978; 1980
*3 $y = 1,17 \text{ TOW}^{0,66} (\text{SO}_2 + 0,048)$	TOW, SO_2	Hakkarainen & Ylasaari, 1980
*3 $y = [(2,0 \times 10^{-3} + 7,3 \times 10^{-3} \text{T}) \text{TOW} + 1,43 + 6,0 \times 10^{-2} \text{t}) \text{SO}_2$	t, SO_2 , TOW	Mikhailovskii, 1980
*3 $Y = 71,99 \text{ TOW}^{0,386} \text{ SO}_2^{0,556}$ $y = 0,0152 \text{ TOW} 0,428 \text{ SO}_2 0,570$	SO_2 in $\text{mg/m}^2/\text{d}$	Barton, 1980
*3 $y = 1,445 \times 10^{-2} (\text{H}_2\text{O})^{0,824} \text{ SO}_2 0,458$		Barton, 1973
SINK: *3 $K = 0,00076 \text{ TOW}^{0,50} \text{ SO}_2 + 0,718$	TOW	Barton, 1980, 10-års ekstrapolering
*3 $K^1 = 1,4 \text{ TOW}^{0,51} \text{ SO}_2^{0,78}$		
*2 $K = 0,001028 (\text{RH}-48,8) \text{ SO}_2$		Haynie & Upham, 1970
*1 $K = 0,22 \text{ SO}_2 + 6,0$		Nordforsk, 1975
*1 $K = 0,27 \text{ Cl} + 0,22 \text{ SO}_2 + 4,5$		
*1 $K = 0,03 \text{ SO}_2 + 0,01 \text{ RH}<90\% + 1,6$	Korr. Koeff., $R = 0,54$	Haagenrud et al., 1980
*1 $K = 0,35 \text{ SO}_2 + 0,01 \text{ TOW} - 21,8$	Korr. Koeff., $R = 0,94$, Sarpsborg, årskorrosjon	Haagenrud et al., 1985

*1 = Utviklet av D/E-metode 1) Dataorientert, se s. 13.

*2 = Utviklet av D/E-metode 2a) Mekanismeorientert (fysiske/kjemiske sammenhenger), se s. 13.

*3 = Utviklet av D/E-metode 2b) Mekanismeorientert (empiriske sammenhenger), se s. 13.

Tabell 2, forts.

	Ligninger	Signifikante parametere/ kommentarer	Referanse
*1	$K^1 = 0,06 \text{ SO}_2 - 0,14 \text{ t} + 2,3$	Korr. Koeff., R = 0,78	
*1	$K = 0,004 \text{ mm} + 0,16 \text{ H}^+ + 0,51$	Korr. Koeff., R = 0,72, Bergen	Haagenrud et al., 1986
*1	$Y = 0,204 (\text{SO}_2) + 2,46$		OECD, 1981
*3	$K = [(2 \times 10^{-4} + 2,0 \times 10^{-4} \text{ T}) + (5,5 \times 10^{-2}) \text{ SO}_2] \text{ TOW}$		Mikhailovski, 1980
KOPPER:			
*1	$K_{\text{Cu}}^{\text{år}} = 0,14 \text{ SO}_2 + 0,007 \text{ TOW} - 16,9$	Korr. Koeff., R = 0,91, Sarpsborg, årskorrosjon	Haagenrud et al., 1985
*1	$K_{\text{Cu}}^{\text{år}} = 0,003 \text{ mm} + 0,37$	Korr. Koeff., R = 0,77,	Haagenrud et al., 1986
	$K_{\text{Cu}}^{\text{år}} = 0,005 \text{ TOW} - 11,7$	Korr. Koeff., R = 0,82	
	$K_{\text{Cu}}^{\text{år}} = 0,09 \text{ Cl} + 2,1$	Korr. Koeff., R = 0,81, Bergen, årskorrosjon	
ALUMINIUM:			
*1	$K_{\text{Al}}^{\text{år}} = 0,01 \text{ SO}_2 + 0,0005 \text{ TOW} - 1,2$	Korr. Koeff., R = 0,78, Sarpsborg, årskorrosjon	Haagenrud et al., 1985
*1	$K_{\text{Al}}^{\text{år}} = 0,0002 \text{ mm} + 0,05$	Korr. Koeff., R = 0,86,	Haagenrud et al., 1986
	$K_{\text{Al}}^{\text{år}} = 0,0004 \text{ TOW} - 0,82$	Korr. Koeff., R = 0,82	
	$K_{\text{Al}}^{\text{år}} = 0,008 \text{ Cl} + 0,21$	Korr. Koeff., R = 0,88, Bergen, årskorrosjon	

*1 = Utviklet av D/E-metode 1) Dataorientert, se s. 13.

*2 = Utviklet av D/E-metode 2a) Mekanismeorientert (fysiske/kjemiske sammenhenger), se s. 13.

*3 = Utviklet av D/E-metode 2b) Mekanismeorientert (empiriske sammenhenger), se s. 13.

Tabell 3: Oversikt over D/E-sammenhenger for maling (ECE, 1984).

Ligninger	Kommentarer	Referanse
*2 $y = 14,3 + 0,0151 SO_2 + 0,388 RH$	y = mm/year i tykkelses- minskning Oljebasert husmaling, laboratoriestudie NO ₂ økte vekten av filmen O ₃ var ikke signifikant	Haynie et al., 1976
*2 $y = 2,51 + 1,6 \times 10^{-5} (SO_2)$	Dekkbeis	
*2 $y = 0,159 + 0,000714 O_3$	Akrelat-maling	
*2 $\log y = 1,678 - 0,04 NO_3$	Latex-basert husmaling, feltstudier	Mansfeld, 1980
*2 $\log y = 1,263 - 0,098 \log t + 0,021 SO_4$	Oljebasert maling	

*2 = Utviklet av D/E-metode 2a) Mekanismeorientert (fysiske/kjemiske sammenhenger), se s. 13.

Noen D/E-sammenhenger er utviklet etter Metode 1: Dataorientert metode, og er ofte lineære funksjoner av formen $y=ax+b$. Andre funksjoner er ofte eksponensielle eller logaritmiske, ($y=e^a \cdot x$) og er utviklet av metode 2a) Mekanismeorientert. Se for øvrig kap. 2.7 Metoder for å bestemme Dose-effekt-sammenhenger.

Svakheter ved disse D/E-funksjonene er at de ikke tar godt nok hensyn til samvirkninger mellom miljøparametrene. Mange av ligningene er enfaktorvariabler og synergiske effekter kommer ikke inn. Dessuten blir randbetingelsene for disse ligningene ofte urealistiske.

Når det gjelder miljøparametere som gasser, nedbørs- og klimadata vet man at man har en viss synergisk effekt mellom gasser som SO₂ og NO_x. En vet også at SO₂-konsentrasjonen i lufta er uten betydning for materialets nedbrytning hvis fuktighet ikke er til stede.

Det er ønskelig med ligninger som tar hensyn til dette, f.eks. av formen

$$y = a[TOW]([SO_2] + [SO_2] \cdot [NO_2]) + b[TOW] + c[Andre]$$

Denne typen ligninger er D/E-sammenhenger som er prøvd etablert ut fra kjente nedbrytningsmekanismer ut fra empiriske sammenhenger, se metode 2b) kap. 2.7 Metoder for å bestemme Dose-effekt-sammenhenger.

Tabell 4: D/E-sammenhenger for karbonatholdig stein (Benarie, 1985; Anda, 1991).

Data source	Material	Recession damage function	Statistical methods
A. RELATIONSHIPS BASED ON SO ₂ AIR CONCENTRATIONS			
Haynie, 1982; 1983	Georgia marble	8+0,15 SO ₂	Cross-sectional analysis from 9 sites
Reddy et al., 1985b	Vermont marble Indiana limestone	6,02+0,018 H ⁺ +0,085 SO ₂ 4,88+0,015 H ⁺ +0,069 SO ₂	Time series analysis of 40 runoff events from 3 test sites; dissolution loss only
Husar et al., 1985	Vermont marble tomstones	8,5+0,02 SO ₂	Comparison of city and rural sites based on estimated SO ₂ gradient
Braun and Wilson, 1970	Monk's Park limestone	12,5+0,054 SO ₂	Measured SO ₂ uptake by stone (assumed equal to Ca loss on molar basis)
Jaynes and Cooke, 1987	Monk's Park limestone	46,9+0,10 SO ₂	Cross-sectional analysis of 25 sites, two stone types pooled (2 years)
Jaynes and Cooke, 1987	Portland limestone	25,7+0,10 SO ₂	Cross-sectional analysis of 25 sites, two stone types pooled (2 years)
Butlin et al., 1985	Portland limestone	12,5+0,71 H ⁺	6 runoff events; no account of SO ₂
Bawden, 1989	Portland limestone	29+0,51 SO ₂	SO ₂ fumigation facility (6 mos. exp.)
B. RELATIONSHIPS BASED ON SO ₂ DEPOSITION			
Haynie, 1982; 1983	Georgia marble (exposed 1 year or more)	9,6+0,19 SO ₂ *	Cross-sectional analysis from 9 sites
Weber, 1985	Porous limestones Compact lime Marble Quartz	7,7+0,35 SO ₂ * 11,9+0,16 SO ₂ * 0,25 SO ₂ * 4,3	Differences between high and low SO ₂ sites in the same city (Vienna)
Luckat, 1981b	Baumsburg sandstone Krensheim limestone	17,6+0,28 SO ₂ *-0,09 ht. 9,7+0,28 SO ₂ *-0,09 ht.	Cross-sectional regressions on 20 sites, two stone types pooled

SO₂ in µg m⁻³; SO₂* in mg m⁻² day⁻¹, ht in m, H⁺ in meq m⁻².
Damage functions based on 1 m precipitation per year in 100 events.

4.2 KOST-NYTTE-ANALYSEN

Når det gjelder pkt. c) Pris og materialmengde i ulike tettsteder, er pilotundersøkelsene MOBAK-Stockholm og -Sarpsborg prosjekter som forsøker å kartlegge skadeomfanget og materialmengdene av de utvendige bygningsmaterialene. MOBAK er en del av et felles nordisk prosjekt om "Beregning av reduserte korrosjonsskader på grunn av reduserte SO₂-utslipp".

Målet med MOBAK er å fremskaffe en oversikt over:

- Mengden av de ulike materialer
- Tilstandsgrader til de ulike materialer (Skadebildeatlas)
- Nedbrytningsårsaker (utvikling av levetids-funksjoner/D-E-sammenhenger)
- Vedlikeholdsbehov og - intervaller (Levetider)

Denne oversikten er et viktig grunnlag som må være til stede før kost-nytte-analysene kan utføres. Den gir grunnlag for:

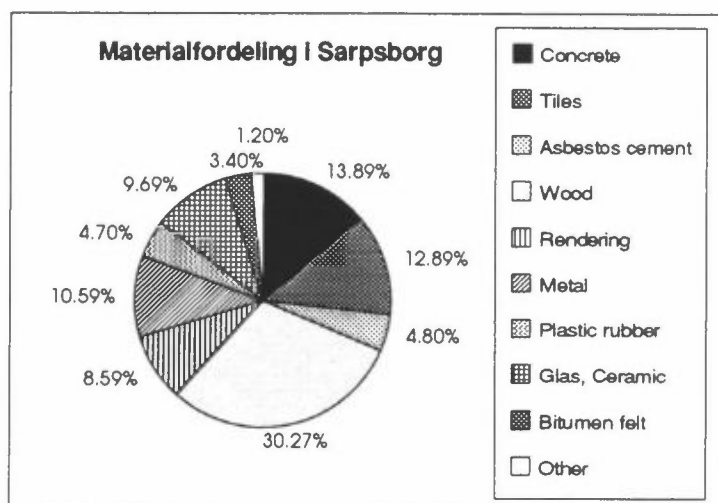
- a) Realistiske kost-nytte-analyser.
- b) Bedre vedlikehold og vedlikeholdsmetoder og bedre ressursanvendelse gjennom å oppnå lengre levetider for materialene.

MOBAK-undersøkelsene er delt opp i tre trinn (Henriksen et al., 1989):

Trinn 1 - Gjennomgang og vurdering av eksisterende tekniske og økonomiske data og metoder for gjennomføring av besiktigelsen på best mulig måte.

Trinn 2 - "Case"-studier i utvalgte byer (Stockholm og Sarpsborg).

Trinn 3 - Fullskalaberegninger for Norden av reduserte korrosjonsskader som følge av reduserte SO₂-utslipp.



Figur 9: Materialfordelingen på utvendige flater på bygninger i Sarpsborg (kilde: MOBAK-Sarpsborg, Henriksen et al., 1989.)

Prosjektet er ferdig med trinn 2, og trinn 3 er nå igangsatt av en arbeidsgruppe MOBAK-Norden, som har følgende mål:

- Felles nordisk system for vurdering av skadetype og skadegrad og helst skadeårsak for alle relevante bygningsmaterialer.
- Å utvikle felles nordiske metoder for statistisk utvalg av studieobjekter i bygningsmassen, tilstrekkelig til å kunne gi svar for hele populasjonen.
- Gjøre nødvendige feltundersøkelser for å kunne gi svar for hele Nordens bygningsmasse, infrastruktur og materielle kulturarv.

(MOBAK-Norden, Prosj.søknad, 1991.)

Arbeidet skal etter hvert kobles direkte opp mot EURO CARE DATA som er et Eureka-prosjekt. EURO CARE DATA har som mål å etablere et europeisk kunnskapsbasert informasjonssystem for FDV av bygninger og minnesmerker.

Prosjektet "Pilotstudier for modellering av korrosjonskostnader" som er et ledd i dette nordiske forsknings samarbeidet, har i løpet av 1991 arbeidet med kost-nytte-analyse av dataene fra MOBAK-undersøkelsen. Ved å bruke materialmengdene og gjøre et utvalg av kjente D/E-sammenhenger og levetids-funksjoner, kan levetiden og vedlikeholdsperiodene estimeres og kost-nytte-analysen utføres. Det går klart fram av dette arbeidet at behovet for utvikling av D/E-sammenhenger på andre materialer enn metaller er stort.

5 OVERSIKT OVER FORSKNINGSPROGRAMMER/PROSJEKTER

I dette kapitlet er det gitt en oversikt over forskningsprogrammer og -prosjekter som på ulike måter er med på å tilfredsstille CIB W80/RILEM TC71-PSL-komiteens forskningsbehov (CIB, 1986). Se for øvrig kap. 3.2.

5.1 DOSE-EFFEKT-RETTEDE PROSJEKTER

a) Materialprogrammer for å etablere D/E-sammenhenger, jfr. CIB/RILEM-komiteens forskningsbehov 3, kap. 3.2:

Norske programmer:

- * Basisundersøkelsene (Sarpsborg, Fredrikstad, Bergen, Drammen og Sør-Varanger).
- * Overvåkning av korrosjon, 1981-86, 1987-88 (Hoff, Alvim, Borregaard, Oslo, Bergen, Svanvik).

Internasjonale programmer:

- * ISO CORRAG-programmet.
- * UN ECE-programmet.

Alle disse programmene har en felles målsetting:

- Å fremskaffe grunnlagsdata for etablering av D/E-sammenhenger på materialer.

Basisundersøkelsene, overvåknings- og ISO CORRAG-programmet er alle materialprogrammer for metallene stål, sink, kopper og aluminium.

UN ECE-programmet har et utvidet materialprogram, og omfatter følgende materialer:

- Metaller
- Malte flater (maling på tre, maling på metall)
- Stein
- Elektriske kontaktmaterialer

Overvåkningsprogrammet og basisundersøkelsene i Sarpsborg, Fredrikstad, Drammen og Sør-Varanger hadde følgende målsetting:

- Fremskaffe informasjon om konsentrasjonsnivåer.
- Etablere D/E-sammenhenger mellom metallers korrosjon og miljøpåvirkning (Haagenrud et al., 1984; 1986).

ISO CORRAG-programmet

ISO CORRAG er et verifiseringsprogram for prosedyrene til internasjonale standarder som ISO 9223, 9224, 9225 og 9226. Dette er ISO-standarder som har forsøkt å klassifisere atmosfærens korrosivitet (ISO, 1992). Standardene deler metaller inn i korrosjonsklasser og miljøklasser. Eksempler er våttidsklasser og forurensningsnivåklasser (SO₂-kons.-nivåer) (klassene er benyttet i MOBAK-undersøkelsen).

I ISO CORRAG-programmet benyttes to forskjellige eksponeringsmetoder (flate standardprøver og trådspiral helix). Material-eksponeringen startet i 1986 (Technical committee, 1986).

UN ECE-programmet

UN ECE-programmet "International Co-operative Programme on Effects on Materials Including Historic and Cultural Monuments" startet i 1988 (UN ECE, 1988).

UN ECE-programmet eksponerer materialer på 39 stasjoner i en bred geografisk sone i Europa og Nord-Amerika, og har følgende målsetting:

- skaffe grunnlagsdata for å etablere dose-effekt-sammenhenger internasjonalt, i ulike atmosfæriske miljøer.

I det videre arbeid kobles dette sammen med forskning innen naturens tålegrenser, og det vises til "Draft manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded" (1990), hvor det henvises til følgende tiltak ECE-konvensjonen:

1. Utarbeidelse av kart over effekten på materialer, herunder informasjon om:
 - a) Forurensningskonsentrasjoner (kart)
 - b) Klimadata (kart)
 - c) Materialmengder (eksponert overflate av bygningsmaterialer)
 - d) D/E-sammenhenger for aktuelle materialer.
- 2) Feltundersøkelser av tilstanden i bygningsmassen.

- b) Utvikling av metoder for å måle miljøfaktorer, jfr. CIB/RILEM-komiteens forskningsbehov 5, kap. 3.2:

Prosjektet EUREKA EU 615 EUROCORE WETCORR har som mål å fremskaffe bedre miljømålinger i mikromiljøet.

Dette skjer ved videreutvikling av et måleinstrument som registrerer kontinuerlige målinger av materialets våttid (TOW, Time of wetness).

I nedbrytningssammenheng er det av stor viktighet å kunne vite når et materiale er utsatt for fuktighet.

Denne målemetoden skiller seg ut fra andre fuktighetsmålemetoder ved at den gir informasjon om fuktbelastningen i mikromiljøet, og ikke i omgivelsene slik andre fuktighetsmålere gjør.

5.2 MATERIAL- OG KOSTNADSRETTEDE PROSJEKTER

- a) Generering av levetidsdata, jfr. CIB/RILEM-komiteens forskningsbehov 1, s. 17:

- * MOBAK-undersøkelsenene og prosjektet "Pilotstudier for modellering av korrosjonskostnader"
- * MOBAK-Norden

Disse er prosjekter hvor en benytter D/E-sammenhenger og internasjonal miljøklassifisering for å fremskaffe materialmengder og korrosjonskostnader.

Målsetting med MOBAK-undersøkelsene:

- å fremskaffe en total oversikt over materialmengder og tilstand

- å kartlegge materialmengders geografiske spredning etter miljø, inndelt etter internasjonale miljø- og korrosjonsklasser

Dataene fra MOBAK-undersøkelsen er videre et av grunnlagene til miljø- og materialdatabasen i EURO CARE DATA.

- b) Systemer for kartlegging/rapportering fra eksisterende byggverk, jfr. CIB/RILEMS forskningsbehov 2, kap. 3.2:

* EU 454 EURO CARE DATA

EUREKA-prosjektet EURO CARE DATA er et europeisk kunnskapsbasert informasjonssystem for forvaltning, drift og vedlikehold (FDV) av bygninger, infrastrukturer og kulturminner.

Prosjektet har følgende målsetting:

- Oppbygging og uttesting av et enhetlig system for teknisk tilstansvurdering av bygningsmassen.
- Oppbygging og uttesting av et system for informasjonsbehandling og formidling av data tilbake til brukerne.

6 OVERSIKT OVER TEORETISKE STATISTISKE VARIABLER

6.1 STATISTISKE BEGREPER

Middelverdi

Middelverdien eller forventningsverdien defineres som gjennomsnittet i det lange løp, og omtales som μ . Denne verdien beskriver tyngdepunktet i fordelingen. Middelverdi betegnes som \bar{x} og kan uttrykkes som

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

hvor n er antall observasjoner og $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ betyr n uavhengige målinger av X , og \sum betyr summen av alle uavhengige målinger.

To sett av data kan ha samme middelerdi, men være forskjellig i utstrekning. Dette viser at middelerdier ofte kan gi et ufullstendig bilde av målingene. F.eks. har både datasettene 0,4,8 og 4,4,4 middelerdi lik 4.

Maksimums- og minimumsverdier

Maks./min.-verdier er største og minste observerte verdi i et datasett.

Varians

Variansen er en størrelse som beskriver spredningen i måledataene. Variansen omtales som σ^2 , og kan anslås som S^2 :

$$S^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

Standardavvik

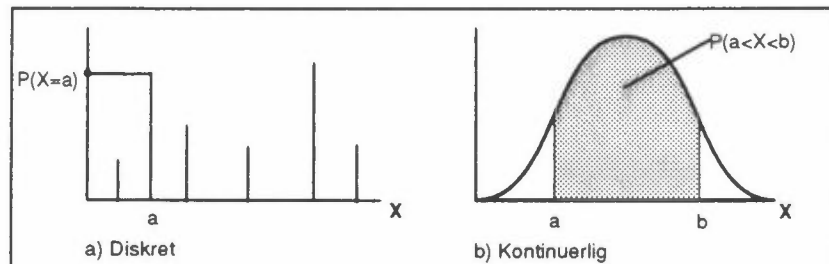
Standardavviket kan også nyttes som mål for spredning i en fordeling. Standardavviket omtales som σ , og anslås som $S(x)$:

$$S(x) = \sqrt{S^2(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

6.2 STOKASTISKE VARIABLER OG FORDELINGER

Stokastiske variabler (eller tilfeldige variabler) kan representeres som resultater/utfall av forsøk hvor verdi variabelen ikke er forutsigbar (eks. trekking av tall, randomforsøk).

Hvilke verdier og hvor ofte disse variablene kan inntreffe, beskrives av sannsynlighetsfordelinger (frekvensfordelinger) som uttrykker sammenhengen mellom verdien og dens sannsynlighet i en populasjon. Se figur 10.



Figur 10: Illustrasjon av diskrete versus kontinuerlige fordelinger ($P(X=a)$ betyr: Sannsynligheten at X har verdien a).

Diskrete stokastiske variabler er variabler som kun opptrer som endelige antall verdier eller er tellbare (eks. resultat av trekning, antall feil på et måleutstyr, antall dødsfall i en periode osv.). Fordelingene kan beskrives i linjeserier, stolpediagrammer, eller histogrammer. Hver verdi fremkommer med et gitt (punkt)sannsynlighet definert av fordeling.

Kontinuerlige stokastiske variabler (eks. temperatur, gasskonsentrasjon) er variabler som kan opptre som enhver verdi i et intervall. Fordelingen beskrives av kontinuerlige sannsynlighetsfunksjoner. Sannsynligheten for at variabel X opptrer som verdien i intervallet fra a til b er lik arealet under kurven. Sannsynlighet for at enkelte verdier forekommer er null.

To fordelinger som er viktige i praktiske sammenhenger er binominalfordelingen som er diskret, og normalfordelingen som er kontinuerlig.

Binominal fordeling, $B(n,p)$

Resultat x for en hver forsøksserie kan sies å være binomisk fordelt hvis hvert enkeltforsøk kan karakteriseres av følgende:

1. n uavhengige enkeltforsøk
2. Hvert enkelt forsøksresultat A_j , hvor $j=1, \dots, n$, er uavhengig
3. I hvert enkeltforsøk registreres hvorvidt en bestemt hendelse A inntreffer eller ikke inntreffer, A^*
4. Hvert enkeltforsøk har samme sannsynlighet, $P(A)=p$ eller $P(A^*) = 1-p$.

Det er vanlig å omtale en binominalfordeling som $B(n,p)$ hvor n er antall enkeltforsøk og p er sannsynligheten for hendelsen A i enkeltforsøket. Sannsynlighetsfordelingen for denne diskrete variabelen, x , er gitt av:

$$P(X=j) = {}_n C_j p^j (1-p)^{n-j}, \quad j = 0, 1, \dots, n$$

hvor

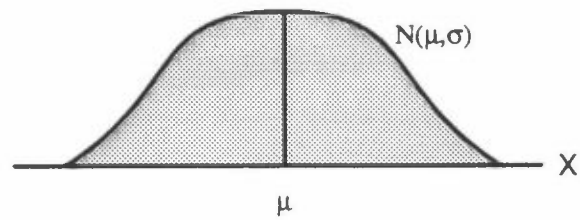
$${}_n C_j = \frac{n!}{j!(n-j)!},$$

og er et uttrykk for antall kombinasjoner som består av j A 'er og $(n-j)$ A^* (= ikke- A 'er).

Middelverdien og standardavviket for en binomial fordelt variabel kan beregnes etter $\mu = np$ og $\sigma = \sqrt{np(1-p)}$.

Normal fordeling, $N(\mu, \sigma)$

Normalfordelingen omtales som $N(\mu, \sigma)$ hvor μ er middelverdien og σ er standardavviket i fordelingen. Fordelingen er kjent for sine symmetriske klokkeformete sannsynlighetsfunksjoner, se figur 11.



Figur 11: Illustrasjon av sannsynlighetsfunksjonen for normalfordeling.

Stokastiske variabler som er standard normalfordelte, har en normalfordeling med $\mu=0$ og $\sigma=1$. Vanlig formulering for en standardnormal stokastisk variabel er:

$$Z \sim N(0, 1)$$

For å beregne sannsynligheten $P(a \leq X \leq b)$ for en stokastisk variabel X som er $N(\mu, \sigma)$ -fordelt, må en transformere X til Z ved:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma},$$

som gir sannsynlighetsfunksjonen:

$$P(a \leq X \leq b) = P\left(\frac{a - \mu}{\sigma} \leq Z \leq \frac{b - \mu}{\sigma}\right)$$

For sannsynlighetsberegninger og bestemmelse av kvantiler brukes tabeller for standard normalfordelte kurver.

Andre kjente fordelinger er student-T-, χ^2 - og Fishers F-fordeling (Klienbaum & Kupper, 1978).

7 KONKLUSJONER

De D/E-sammenhengene som er utviklet fram til i dag er i hovedsak for metaller. En rekke funksjoner finnes også for karbonatholdig stein. Noen funksjoner eksisterer også for maling (se tabell 2 og 3). For andre materialer finnes det ikke pr. i dag D/E-sammenhenger. En kan oppsummere slik:

- Metaller
 - stål
 - sink
 - aluminium
 - kopper
 - Karbonatholdig stein
 - Maling
 - Tre
 - Puss
 - Betong
 - Tegl
- Mange funksjoner eksisterer som f.eks. $K=f(\text{SO}_2, \text{H}^+, \text{TOW})$
- $K=f(\text{SO}_2, \text{H}^+, \text{TOW})$
- Noen funksjoner eksisterer av typen $K=f(\text{SO}_2, \text{NO}_3, \text{RH})$
- Ingen funksjoner eksisterer
- Ingen funksjoner eksisterer
- Ingen funksjoner eksisterer
- Ingen funksjoner eksisterer

Når det gjelder miljø- og korrosjonsklassifisering er dette gjort for metaller (ISO standard 9223) hvor D/E-sammenhenger for metaller er benyttet. Miljø- og korrosjonsklassifisering for andre materialer er også her mangelfull.

Det finnes også lite informasjon om de ulike nedbrytningsprosesser av de samme materialene (tre, puss, betong og malte flater).

Dessuten finnes det også i svært liten grad målemetoder som kan kvantifisere effekten av miljøet (nedbrytningen) for disse materialene.

8 FORSLAG TIL ARBEIDSPROGRAM FOR DOSE-EFFEKT-ANALYSER

Denne rapporten har fremskaffet en oversikt over metoder og resultater på dette fagfeltet. Et videre arbeid er å gjøre et utvalg av disse metodene for å videreutvikle nye og bedre D/E-sammenhenger for metaller og andre materialer.

Aktuelle eksponeringsprogram og måledata som det vil være aktuelt å videreutvikle D/E-sammenhenger:

- | | | |
|--|---|------------------|
| - Basisundersøkelsene, f.eks. Sør-Varanger | } | - Nasjonalt |
| - Overvåkningsprogrammet | | |
| - ECE-programmet | } | - Internasjonalt |
| - CORRAG-programmet | | |

9 REFERANSER

Anda, O. og Henriksen, J.F. (1988) Overvåking av korrosjon, 1981-86. Lillestrøm (NILU OR 32/88).

Bjørberg, S., Bøhlerengen, T., Dahlin, E., Haagenrud, S., Klaveness, O., Mellquist, P., Skarsbø, E. og Tjugum, O.G., (1990) Miljøvirkninger på bygningsmaterialer - "MILBYGG". Lillestrøm, NILU/Multiconsult.

ECE/Task force on Mapping (1990) Convention on long-range transboundary air pollution. Draft manual on methodologies and criteria for mapping critical levels/loads and geographical areas where they are exceeded. Geneve.

EMEP/CHEM (1977) Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe. Manual for sampling and chemical analysis. Lillestrøm (EMEP/CHEM 3/77).

Eriksson, P. (1992) Effects of SO₂ and NO₂ on metal surfaces: Atmospheric corrosion of copper and surface reactions on gold. Göteborg, Chalmers Tekniska Högskola.

Haagenrud, S.E., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1984) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Sarpsborg og Fredrikstad 1981-1983. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 28/84).

- Haagenrud, S., Henriksen, J.F. og Gram, F. (1986) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Bergen 1983-85. Delrapport B: Korrosjon og miljø. Lillestrøm (NILU OR 56/86).
- Hagen, L.O., Henriksen, J.F., Hoem, K. og Larssen, S. (1987) Basisundersøkelse av luftkvaliteten i Drammen, 1984-1986. Delrapport F: Eksponeringsberegninger og korrosjon. Lillestrøm (NILU OR 50/87).
- Hagen, L.O., Henriksen, J.F., Aarnes M.J. og Sivertsen, B. (1990) Basisundersøkelse av luftforurensinger i Sør-Varanger 1988-90. Fremdriftsrapport 3 pr. 1.9.1990. Lillestrøm (NILU OR 79/90).
- Henriksen, J.F., Bartonova, A. og Ofstad, T. (1989) Utvendige bygningsmaterialer i Sarpsborg - mengder og nedbrytning. Lillestrøm (NILU OR 80/89).
- Henriksen, J. (1987) Målemetoder for miljøparametere. Korrosion i atmosfær. Prövning och utvärdering. Bohus Malmö, 15.-16. september 1987. Lillestrøm (NILU F 34/87).
- Haynie, F.H. and Spence, J.W. (1990) Derivation of a Damage function for Galvanized Steel Structures: Corrosion Kinetics and Thermodynamic Considerations. In: Corrosion Testing and evaluation: Silver anniversary volume. Ed. by R. Baboian and S.W. Dean. Philadelphia (ASTM STP 1000).
- Haynie, F.H. and Spence, J.W. (1990) Evaluation of an Atmospheric Damage function for Galvanized Steel. In: Corrosion Testing and evaluation: Silver anniversary volume. Ed. by R. Baboian and S.W. Dean. Philadelphia (ASTM STP 1000).
- Haynie, F., Spence, J.W. and Upham, H.J. (1976) Effect of gaseous pollutants on materials, a chamber study. Research Triangle Park, North Carolina (EPA-600/3-76-015).
- Henriksen, J.F., Mikhailov, A.A. and Mikhailovski, Y.N. (1991) Atmospheric corrosion tests along the Norwegian-Soviet Border. Lillestrøm (NILU report in preparation).
- International Council for Building Research (1986) Prediction of service life of building materials and components. Final report of CIB W80/RILEM TC71-PSL with an Appendix Proposed systematic methodology. Rotterdam (CIB Report. Publication 96).

- International Council for Building Research (1990) Feedback from practice of durability data. Inspection of buildings. Joint CIB/RILEM Committee W80/100-TSL on the prediction of service life of building materials and components. Rotterdam (CIB Report. Publication 127).
- International Council for Building Research (1991) Summarizing report on state of work and future plans. Joint CIB/RILEM Committee W80/140-TSL on the prediction of service life of building materials and components.
- ISO 6241 (1984) Performance standards in building - principles for the preparation and factors to be considered. Geneva, International Organization for Standardization.
- ISO/TC 156 (1986) The collaborative testing programme ISO-CORRAG. Technical Manual (WG4). Technical committee ISO/TC 156: Corrosion of metals and alloys. Classification of Corrosivity of Atmospheres.
- ISO 9223 (1992) Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification. Geneva, International Organization for Standardization.
- Kleinbaum, D.G. and Kupper, L.L. (1978) Applied regression analysis and other multivariable methods. North Scituate, Mass., Duxbury. Chap. 3, pp. 15-34.
- Lipfert, F.W. (1989) Atmospheric Damage to calcareous stones; Comparison and reconciliation of recent experimental findings. Atmos. Environ., 23, 415-429.
- Livingston, R.A. (1990) Dose-Response functions versus damage functions for materials effects studies. Conference paper at the NAPAP International Conference on Acidic Deposition. State of Science and Technology. February 1990, Hilton Head Island, SC USA.
- Masters, L.W. and Brandt, E. (1989) Systematic methodology for service life prediction of building materials and components. Materials and structures, 12, 385-392.
- Mikhailov, A.A., Mikhailovski, Y.N. (1990) The use of the results of the international co-operative programme on effects on materials including historic and cultural monuments for the solution of global problems of atmospheric corrosion. Moscow, Institute of physical chemistry of the Academy of Sciences of the USSR.

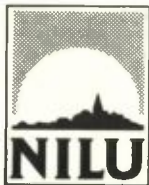
Organization for Economic Co-operation and Development (1964)
Methods of measuring air pollution. Paris, OECD.

Sereda, P.J. and Hechler, J.-J. (1989) Assessment of the state of knowledge on the long-range transport of air pollutants and acid deposition. Part 7: Effects on man-made structures. Ottawa, National Research Council of Canada (Publ. no. 31075).

Sjöström, C. og Henriksen, J.F. (1987) Påvärkan på fasadytor från yttre miljö. Projekt fasadytor - förnyad ytbehandling. Gävle, Statens institut för byggnadsforskning (SIB M:16).

Tolstoy, N., Andersson, G., Kucera, V. och Sjöström, C. (1989) Utvändiga byggnadsmaterial - mängder og nedbrytning. Gävle, Statens institut för byggnadsforskning (SIB M:25).

UN ECE (1988) Convention on long-range transboundary air pollution. UN/ECE International co-operative programme on effects on materials, including historic and cultural monuments. Report no. 1: Technical manual. Prepared by The Main Research Centre. Stockholm, Korrosionsinstitutet.



NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING (NILU)
NORWEGIAN INSTITUTE FOR AIR RESEARCH
POSTBOKS 64, N-2001 LILLESTRØM

RAPPORTTYPE TEKNISK RAPPORT	RAPPORTNR. TR 3/92	ISBN-82-425-0367-2	
DATO 3/6-92	ANSV. SIGN. P. Berg	ANT. SIDER 49	PRIS NOK 75,-
TITTEL Dose-effekt-sammenhenger, levetider og kost-nytte-analyser		PROSJEKTLEDER M. Støre	
		NILU PROSJEKT NR. E-92025	
FORFATTER(E) M. Støre		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAGSGIVERS REF.	
OPPDRAGSGIVER (NAVN OG ADRESSE) Norsk institutt for luftforskning Postboks 64 2001 Lillestrøm			
STIKKORD Dose-effekt-sammenh. Levetider Kost-nytte-analyser			
REFERAT Rapporten beskriver sammenhengen mellom dose-effekt-sammenhenger, levetider og kost-nytte-analyser på materialer. I hovedtrekk finnes det 2 ulike metoder for å utvikle dose-effekt-sammenhenger: 1) Dataorientert metode eller 2) mekanismeorientert metode (a) ut fra fysisk/kjemiske sammenhenger eller (b) ut fra empiriske sammenhenger. En rekke dose-effekt-sammenhenger eksisterer for materialer som metall og stein. Noen sammenhenger eksisterer også for malte flater. For materialene tre, puss og betong eksisterer det ikke dose-effekt-sammenhenger.			

TITLE	Dose-response relationships, service life and cost-benefit analysis
ABSTRACT	

* Kategorier: Åpen - kan bestilles fra NILU A
 Må bestilles gjennom oppdragsgiver B
 Kan ikke utleveres C