

Norges forskningsråd - Strategisk instituttprogram **Adapting to extreme weather in municipalities** **“Klima SIP”**

Effekter av klima og klimaendringer på den bygde kulturarven
Nedbrytningsmekanismer og sårbarhet



Oslo domkirke, 2008

Forfattere:

Terje Grøntoft, Norsk institutt for luftforskning (NILU)
Miloš Drdácý, Institute of Theoretical and Applied Mechanics (ITAM) of the Academy of
Sciences of the Czech Republic - ARCCHIP Center of Excellence

Prosjektkoordinator: Senter for klimaforskning (CICERO)



NILU: OR 48/2008
REFERANSE: B-106033
DATO: SEPTEMBER 2008
ISBN: 978-82-425-2007-4 (trykt)
978-82-425-2008-1 (elektronisk)

Effekter av klima og klimaendringer på den bygde kulturarven

Nedbrytningsmekanismer og sårbarhet

Terje Grøntoft og Miloš Drdácý

Forord

Det Norske Forskningsrådet finansierer for årene 2006 – 2011 et felles strategisk instituttprogram mellom CICERO (koordinator), JORDFORSK, NIBR, NIKU, NILU, NINA OG NIVA med tittelen: ”KLIMA: Tilpasning til ekstremvær i kommunene, hva, hvordan og hvorfor.” Denne NILU rapporten er skrevet som en del av arbeidet i dette ”KLIMA-SIP” prosjektet. NILU har inntil nå i prosjektet, delvis i samarbeid med NIKU, arbeidet med å kartlegge forventede effekter av klimaendringer på norsk kulturarv og norske kommuners muligheter for å tilpasse seg disse effektene. Hovedelementene i NILUs pågående arbeid i KLIMA-SIP prosjektet er beskrevet i denne rapporten. Rapporten tar for seg mulige klimaeffekter på norsk kulturarv p.g.a. mer ekstremvær, men også forventede effekter av mer gradvise klimaendringer. Raskere gradvis nedbrytning av kulturarv kan gi større frekvens av ”ekstreme” effekter.

En viktig del av rapporten (Del 2) er beskrivelsen av risiko, sårbarhet og muligheter for tilpasning til klimaendringer for å redusere klimasårbarheten for kulturarv i norske kommuner. Rapporten er av generell karakter ved å beskrive mekanismene som forårsaker nedbrytning av kulturarv, hvordan klimaendringer kan tenkes å påvirke nedbrytningen av norsk kulturarv og hvordan sårbarheten til kulturarv i norske kommuner kan vurderes.

Resultatene fra det Europeiske prosjektet NOAHs ARK (SSPI-CT-2003-501837), som ble avsluttet i 2007, er viktig bakgrunnsinformasjon for rapporten. Oversikten over klimaeffekter og skademekanismer for kulturarv i Del 1 er basert på Rapport nr. 7 i NOAHs ARK prosjektet: Miloš Drdácý et al. (2006) ”Scientific reference on mechanical damage and failures of historic structures due to weather effects and related natural disasters and their mitigation strategies and measures.” Referanser til det meget store omfanget av litteratur som generelt beskriver vær fenomener, naturkatastrofer og skademekanismer, eller til konkrete objektstudier er ikke tatt med i denne generelle oppsummerende oversikten. Den interesserte leseren oppfordres til å gjøre tematiske litteratursøk.

Rapporten gir bakgrunnsinformasjon og er et utgangspunkt for vurdering av mulige effekter av klimaendringer på, og muligheten for tilpasningstiltak for enkelte eller et utvalg av kulturminner i norske kommuner. Dette arbeidet kan bygge på det store tilfanget av mer detaljerte studier av skademekanismer og nedbrytning av kulturarv-bygninger og objekter som har vært gjennomført av bl.a. NILU og NIKU og av andre norske og utenlandske miljøer, og som ellers finnes omtalt i litteraturen.

Bildene i rapporten er ment å illustrere generelle fenomener som har sine spesielle uttrykk i norske kommuner. For hver enkelt norske kommune vil sannsynligvis et mindre utvalg av de omtalte og illustrerte risikoene for skade ha større betydning. En del bilder av ikke norske eksempler er brukt der gode norske illustrasjoner ikke var tilgjengelig.

Innhold

	Side
Forord	1
Innhold	3
Sammendrag	5
1 Innledning	7
DEL 1 Miloš Drdácý (forf.), Terje Grøntoft (ill.)	9
2 Vær og naturkatastrofer som årsak til skade på kulturminner og miljøer	9
2.1 Været	10
2.1.1 Stråling	10
2.1.2 Temperatur	11
2.1.3 Vann	12
2.1.4 Luft	13
2.1.5 Luftforurensninger.....	14
2.1.6 Vind	15
2.1.7 Synergi mellom værfaktorer.....	16
2.2 Uventede eller dramatiske hendelser.....	16
2.2.1 Flom.....	17
2.2.2 Jordskjelv.....	18
2.2.3 Ras	19
2.2.4 Sterke vinder, stormer, orkaner	20
2.2.5 Andre naturkatastrofer.....	21
2.2.6 Brann	22
2.2.7 Virkninger fra kjøretøyer.....	23
3 Typiske skademekanismer og skadetyper for kulturminner	24
3.1 Skademekanismene	24
3.1.1 Fysisk skade	24
3.1.2 Kjemisk skade	25
3.1.3 Tilsmussing	26
3.2 Skadetyperne	27
3.2.1 Forvitring.....	27
3.2.2 Biologiske faktorer	28
3.2.3 Inkompatibilitet	29
3.2.4 Laster	30
3.2.5 Bruk	31
3.2.6 Ide, design, konstruksjon av og endringer gjort med kulturminnet / miljøet.....	31
3.2.7 Uventede hendelser og skader	33
4 Skadebeskrivelse for kulturminner og miljøer	33
DEL 2 Terje Grøntoft (forf.)	37
5 Forventede effekter av klimaendringer på norsk kulturarv	37
5.1 Klimaendringene	37

5.2	Forventede effekter av klimaendringer på norsk bygd kulturarv.....	37
5.2.1	Stigende havnivå	38
5.2.2	Flommer	39
5.2.3	Ras	40
5.2.4	Vind og vindrevet regn.....	40
5.2.5	Snø.....	41
5.2.6	Fysiske nedbrytningsprosesser	41
5.2.7	Kjemisk nedbrytning	42
5.2.8	Biologisk nedbrytning	44
5.2.9	Eksposering, følsomhet, tilpasning og sårbarhet.	45
6	Kulturminner og miljøer. Risiko, sårbarhet og tilpasning til klimaendringer	46
6.1	Sårbarhetsanalyse.....	53
6.1.1	Katastrofeflom.....	53
6.1.2	Råte i treverk	56
6.1.3	Generell fremgangsmåte for sårbarhetsanalyse for kulturminner i kommunene	59
7	Referanser	60

Sammendrag

Menneskeskapte klimaendringer forventes å bli større utover i dette århundret og få effekter på natur og samfunn. I et varmere, våtere og mer skiftende klima vil nedbrytningen av infrastruktur, bygninger og også kulturarv og kulturminner gå raskere. Del 1 av denne rapporten beskriver vørelementene, tilknyttede skademekanismer og grunnlaget for en skadebeskrivelse for kulturarv og kulturminner. Del 2 beskriver forventede virkninger av klimaendringer på nedbrytningen og bevaringstilstanden for kulturarven i Norge og de grunnleggende ideene i en sårbarhetsanalyse for kulturarv slik den kan gjennomføres i Norske kommuner. De ulike typene klimarisiko og skader som kan oppstå er illustrert med fotografier fra i hovedsak Norge, men også fra noen andre steder i Europa.

Fysiske og kjemiske, inkludert biologiske, prosesser som foregår i kontakten mellom atmosfæren og bearbejdede materialer og bygde konstruksjoner bryter ned disse med tiden. I Kapittel 2 beskrives værets kjemi og fysikk, som er de grunnleggende virkende faktorene for nedbrytningen, og uventede og dramatiske hendelser som er forårsaket av været. Noen dramatiske hendelser som ikke har sammenheng med vær og klima, men som i stor grad kan ødelegge kulturarv er også tatt med. De generelle fysiske og kjemiske skademekanismene er beskrevet i Kapittel 3, som fortsetter med å beskrive konkrete skadetyper, som ofte vil være forårsaket av en kombinasjon av virkende mekanismer og hendelser. Kapittel 4 beskriver hovedprinsippene for og formålet med en skadebeskrivelse for kulturarv. En skadebeskrivelse bør gjennomføres ut fra visse prinsipper og etter visse retningslinjer som delvis er gyldige for bygde konstruksjoner generelt, men der noen spesielle hensyn må tas for kulturarv. Disse retningslinjene er beskrevet i norske og internasjonale standarder. De to siste kapitlene, Del 2 i rapporten, beskriver hvordan klimaendringer kan forventes å påvirke nedbrytningen av kulturarv i Norge og hvordan kulturarvens sårbarhet for klima og klimaendringer kan forstås og vurderes / beregnes. Klimaendringene frem mot midten av dette århundret er i hovedsak bestemt av tidligere utslipp av klimagasser. Hvor store klimaendringene blir mot slutten av århundret avhenger av hvor store mengder klimagasser som slippes ut globalt. I Kapittel 5 brukes tilgjengelige resultater fra klimamodellering med ulike utslippsscenarioer og modeller til å vurdere sannsynlige effekter av klimaendringer på nedbrytningen av norsk kulturarv i dette århundret. Betydningen av disse effektene for samfunnet, ved at verdien av kulturarven påvirkes, er ikke bare bestemt av klimaeffektene, men også av samfunnets tilpasningsevne. I Kapittel 6 diskuteres hva som forstås med kulturarvens sårbarhet for klimaendringer. Hovedelementene i en sårbarhetsanalyse beskrives og det legges vekt på at et hovedformål med en slik analyse er å finne mest mulig kostnadseffektive tilpasningstiltak som kan minimere sårbarheten.

Effekter av klima og klimaendringer på den bygde kulturarven

Nedbrytningsmekanismer og sårbarhet

1 Innledning

Vær og klima har stor betydning for slitasje på og nedbrytning av bygninger og bygde strukturer inkludert bygd kulturarv. Denne slitasjen og nedbrytningen av den bygde kulturarven kan i alminnelighet antas å senke både den ikke målbare, f.eks. estetiske, og den målbare, f.eks. bruksverdien av kulturarven. En målsetning for forvaltere av kulturarv/objekteter er å bevare dem i en ”opprinnelige form” og i en stand som i størst mulig grad bevarer deres verdi. Dette medfører som regel kostnader til istandsetting, vedlikehold og drift. Disse kostnadene er ofte bestemt av nedbrytningshastigheten for f.eks en bygning som igjen er direkte avhengig av vær og klima. I en del situasjoner kan imidlertid andre forhold, som f.eks nye ideer om hvordan en bygning bør fremstå for å ivareta sin funksjon som kulturbærer, føre til fysiske endringer, inngrep og tiltak uten at dette har sammenheng med bygningens vedlikeholdstilstand. Klimaendringene, som nå måles og som forskerne forventer vil øke utover i dette århundret, kan antas å ville påvirke nedbrytningshastigheten og vedlikeholdsbehovet for norsk bygd kulturarv.



Figur 1: Hvor mye av kostnadene til istandsetting, vedlikehold og drift av kulturarven skyldes klima og klimaendringer? Hvilke andre faktorer påvirker kostnadene? Bildet viser domkirken i Oslo under restaureringsarbeider. Våren 2008. (Foto: Terje Grøntoft).

Denne rapporten beskriver de viktigste trekkene i hvordan klimaet har og klimaendringer kan få effekter på kulturarven og hvordan samfunnet kan forholde seg til dette for å redusere mulige negative virkninger. Rapporten beskriver de viktigste egenskapene ved været og de viktigste uventede eller dramatiske hendelsene som kan skade kulturminner og miljøer. Den fortsetter med å beskrive de skademekanismene som virker og de typiske skadene som oppstår som en følge av vær og klima. Dette gir, i forlengelsen av denne rapporten, grunnlaget for en mer prosessorientert beskrivelse av hvordan skader utvikler seg og hvordan de kan håndteres.

DEL 1 Miloš Drdácý (forf.), Terje Grøntoft (ill.)

2 Vær og naturkatastrofer som årsak til skade på kulturminner og miljøer

Både været i seg selv og uventede eller dramatiske hendelser som ofte utløses av været kan skade kulturminner og miljøer. Effektene kan variere fra de langsomme og gradvise til de plutselige og katastrofale. Nedenfor beskrives de viktigste egenskapene ved været og de viktigste uventede eller dramatiske hendelsene som kan skade kulturminner og miljøer. De aller fleste av fenomenene vil påvirkes av klimaendringer, men noen viktige fenomener som ikke påvirkes av klimaendringer er også tatt med for helhetens skyld.

Været har betydning for konserveringstilstanden for kulturminner og miljøer, både inne og ute. De forskjellige komponentene i været er beskrevet under:



Figur 2: Været har stor betydning for nedbrytning og bevaring av bygninger og kulturarv. Bildet viser Boligområde i Kragerø, August 2008 (Foto: Terje Grøntoft).

2.1 Været

2.1.1 Stråling

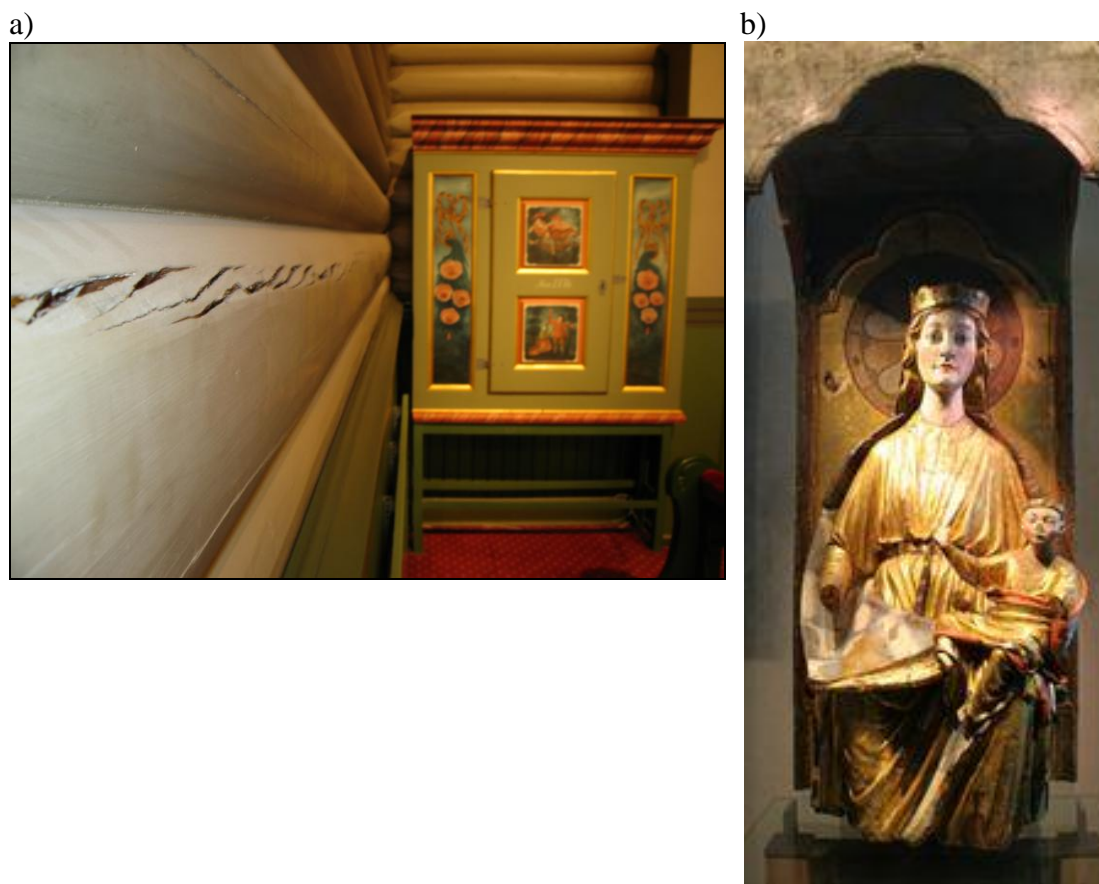
Utendørs er de fleste kulturarv-objekter permanent eksponert for kosmisk stråling, solstråling og jordstråling. Fysisk skiller man mellom partikkelstråling (kjerne-stråling) og elektromagnetisk stråling, som beskrives ut fra det elektromagnetiske spekteret som radio, varme, infrarød, lys, ultrafiolett, røntgen og gammastråling. Objekter som utsettes for direkte sollys viser skader p.g.a. varme, UV-stråling og lys. Det finnes kunstige kilder til stråling ved nesten alle bølgelengder, inkludert UV, synlig og infrarød elektromagnetisk stråling, som kulturobjekter oftest eksponeres for.



Figur 3: Kulturobjekter utsettes for dagslys og kunstig lys som kan virke nedbrytende. Bildet viser en gjenværende del av Berlinmuren, oktober 2005. (Foto: Terje Grøntoft)

2.1.2 Temperatur

Temperatur er en av klimafaktorene som har størst nedbrytende virkning. Historiske miljøer utsettes for sykliske temperatursvingninger avhengig av geografisk posisjon og årstid. I Norge kan utetemperatur variere fra ca. +30°C til -50°C. For spesielle konstruksjoner kan temperaturvariasjonene i materialene være større. Alle bygnings og konstruksjonsmaterialer er følsomme for temperatur og de endrer volum avhengig av temperaturendringer. De fleste materialer utvider seg ved økning av temperatur og trekker seg sammen ved senking av temperatur. Effektene av endring i temperatur blir som regel i praksis undervurdert selv om de er kjent og publisert.

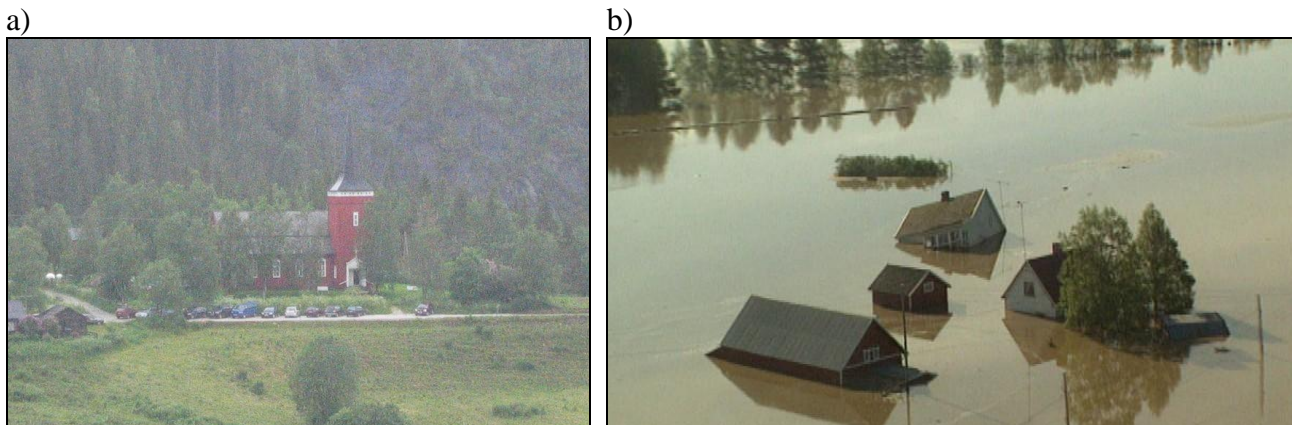


Figur 4: Store temperaturvariasjoner kan være svært skadelig for kulturminner bl.a. ved å føre til dimensjonsendringer og oppsprekking av materialer, som her i tømmer i Rena kirke, Hedemark (a). Situasjonen blir stabil når spenningene er utløst ved oppsprekking. Oppsprekking er en større potensiell trussel for treskulpturer, som f. eks madonnaen i Hov kirke (b), enn for bygningselementer. Temperatur virker også sammen med andre faktorer som f. eks fuktighet og forurensninger i prosesser som bryter ned kulturarv: (Kilder: a. Foto: Terje Grøntoft, 2008. b. Wikipedia).

2.1.3 Vann

Vann virker på kullturminner og miljøer i alle sine faser og er deres mest skadelig og farligste ”fiende”. Vann kan, sammen med temperatur og andre faktorer, forårsake rask nedbrytning og til og med ødelegge monumenter. Vann i fast fase virker som is eller snø. I flytende fase angriper vann som regn, som kondensert vann fanget i hulrom og åpninger og som grunnvann, og kan bringe med seg korrosive substanser. Muligheten for erosjon under fundamenter er en annen stor risiko. Som gass øker vann luftens relative fuktighet og kan kondensere og gi øket fuktinnhold i materialer og øket risiko for biologisk nedbrytning. Våte prosesser bør unngås eller i alle fall reduseres mest mulig under restaureringsarbeider.

Blant de farligste truslene mot bygningsmaterialer i historiske strukturer er faseendring mellom vann og is og sykliske endringer i fuktighet i materialer, spesielt i materialer som inneholder løsbare salter eller i leireholdige materialer. I materialer med løsbare salter vil endringer i fuktighet skape krystalliserings og hydratiserings-trykk ved reversible overganger mellom faser eller krystallformer. I leireholdige materialer vil endringer i fuktighet føre til utvidelse og krymping. In noen tilfeller kan uttørking av permanent fuktige materialer gi store ødeleggelser, f.eks. ved oppløsning av mergelstein ved raskt tap av fritt bundet vann.



Figur 5: Vann har betydning i de fleste nedbrytningsprosesser, både gradvise og katastrofale. Væting av overflater med rennende vann, fra nedbør eller på grunn av kondensasjon kan gi store skader over tid. Store vannmengder, som for eksempel ved flom kan gi øyeblikkelige belastningskader. Bildene viser a. Kraftig regn ved Elsfjord kirke, Vefsn, Nordland og b. Flom i Heradsbygd ved Glomma, Elverum i Hedemark, i 1995. (Kilder: a. <http://commons.wikimedia.org> b. www.dagsavisen.no).

2.1.4 Luft

Gasser som normalt er til stede i luften (oksygen, ozon, og karbondioksid) reagerer med noen materialer og kan forårsake nedbrytning. Luftens sammensetning kan som regel ikke endres noe som begrenser mulige bevaringsmetoder i denne sammenheng.



Figur 6: Det er ofte små mengder nedbrytende forurensninger også i luft som virker ren. Selv ren luft uten antropogene (eller naturlige) forurensninger vil reagere med overflaten av materialer og endre og bryte ned disse over tid. Bildet viser de restaurerte ruinene av palasset i Knossos på Kreta. (Foto: Terje Grøntoft, 2005).

2.1.5 Luftforurensninger

Luftforurensninger i gassfase, hovedsakelig svoveldioksid og nitrogenoksider, har liknende men ofte sterkt akselererte effekter, som luften i seg selv. Luftforurensninger i partikkelfase (aerosoler) kan være både væske og faste partikler, og ofte begge deler som en fast partikkelkjerne med kondensert væske omkring. Partiklene kan være nøytrale, sure eller basiske salter løst i vann, elementært uorganisk karbon (sot) eller organisk karbon med forskjellig molekylært innhold.



Figur 7: Luftforurensninger, f. eks, fra biltrafikk akselererer hastigheten til nedbrytende overflatereaksjoner på kulturminner utendørs og ved ventilasjon til innendørs miljø. Bildet viser gatetrafikk og delvis istandsatt bygning i Palermo, Italia. (Foto: Terje Grøntoft, 2006).

2.1.6 Vind

Vindlast og mekaniske skader er hoved-skadeeffektene av vind på strukturer. Men, vind forsterker eller reduserer også den kjemiske virkningen av vann og gasser og den fysiske virkningen av partikler på kulturminner. Vinden, luftflyten, rundt objekter har betydelig innvirkning på avsetning av forurensninger, biologisk kolonisering, fukt/tørke sykler og også mekanisk slitasje på overflater. Vind transporterer vann (snø, is), salter, støv og gasser til og fra objekter og bygninger.

a)



b)



Figur 8: Sterk vind kan føre til store mekaniske skader på bygninger og bygningskonstruksjoner slik som gavler og tak. Bildene a) og b) viser skader etter storm i Danmark i 1999. (Kilde: www.husetoghaven.dk).

2.1.7 Synergi mellom værfaktorer

Værfaktorer virker oftest sammen (synergistisk) på kulturminner. Den samtidige virkningen av temperatur og vann ved gjentatte fryse/tine sykler er et typisk eksempel på en veldig skadelig situasjon for våte porøse, skjøre eller halvskjøre materialer. Samvirket mellom temperatur og fuktighet forårsaker gjentatte og varierende volumendringer som fører til nedbrytning av materialer og forsterking av defekter. Vind kan, sammen med slipende partikler, forårsake overraskende sterk overflateerosjon, f.eks. på monumenter utsatt for ørkensand. Det finnes mange andre eksempler som f.eks. fuktighet + avsetningsmekanismer og vind + vann + forurensninger som trenger inn i materialer som svake syrer.



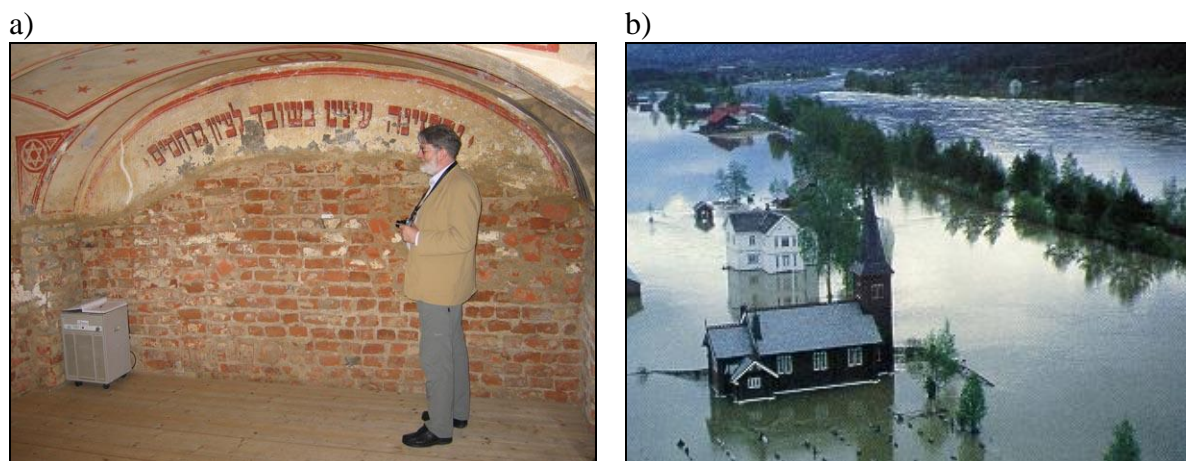
Figur 9: Værfaktorer virker ofte sammen, synergistisk, i nedbrytningen av kulturminner. Frost etter regn på steinmaterialer øker erosjonen. Bildene viser frost på vegg på Nidarosdomen. (Foto: Per Storemyr, Kilde: "The stones of Nidaros", dr. avhandling).

2.2 Uventede eller dramatiske hendelser

Uventede eller dramatiske hendelser er ikke den vanligste årsaken til skader og feil, men deres konsekvenser er svært skadelig og ofte katastrofale. Ikke alle typer slike hendelser har sammenheng med klima, men en større hyppighet av slike hendelser forventes som en følge av klimaendringer og global oppvarming. Slike hendelser klassifiseres derfor i mer detalj nedenfor.

2.2.1 Flom

Europeiske byområder oversvømmes nå oftere enn tidligere og flommene arter seg forskjellig med hensyn til størrelse og varighet. De forårsaker skader og feil p.g.a. statiske og dynamiske laster (vanntrykk, vannflyt, oppdrift), p.g.a. sammenstøt med flytende gjenstander, p.g.a. væting av bygningsmaterialer (som er vanskelige å flytte) og p.g.a. tilførsel av kjemiske forurensninger og biologisk ”infisering”. Selv om flommer vanligvis er kortvarige fenomener, krever reparasjon og oppretting av skader og konsekvenser av flommer lang tid og meget stor innsats. Flommer kan både skje med ferskvann fra elver og med saltvann fra stormfloer ved kyst.



Figur 10: Flom gir både øyeblikkelige belastningskader og risiko for mer langvarige etterskader. Bildene viser: a) Flomskader påført år 2002 på synagoge brukt under annen verdenskrig i byen Terezin, Tsjekkia og b) Evenstad kapell i Stor-Elvdal ved flom i Glomma i 1995. (Kilder: a) Foto: Terje Grøntoft, b) <http://pub.tv2.no/nettavisen/>).

2.2.2 Jordskjelv

Jordskjelv tas med her for helhetens skyld, selv om klimaendringer ikke antas å ha noen direkte effekt på jordskjelv. Derimot kan klimaendringer få betydning for skader som følge av jordskjelv, f.eks. vad at rasrisikoen som følger med jordskjelv kan øke under spesielle omstendigheter. Naturlig og menneskeskapt seismisk aktivitet truer tusenvis av kulturarvobjekter globalt. I Norge kan man av og til oppleve relativt svake naturlige jordskjelv. Svalbard opplevde et uvanlig sterkt jordskjelv 6.2 på Richters skala, 21. Februar 2008. Også menneskeskapt, såkalt ”industriell og teknisk” seismisk aktivitet har det vist seg kan forårsake farlige vibrasjoner og forskyvninger som kan gjøre alvorlig skade, for det meste på murverk. De kan skapes teknologisk ved utsprenngning i steinbrudd, som transportvibrasjoner og sjokk (f.eks. fra supersoniske fly) og som mikroseismikk i gruveområder. Jordskjelvproblemer blir ikke ytterligere omtalt på disse sidene.



Figur 11: Jordskjelv har historisk ødelagt byer og monumenter. Bygninger vi i dag ser som ruiner i jordskjelvområder kan ha blitt delvis eller helt ødelagt ved jordskjelv. Bildet viser kirkeruin i Olympos, Tyrkia, muligens først gjort til ruin ved jordskjelv. (Foto: Terje Grøntoft, 2008).

2.2.3 Ras

Stein, jord og snøras er årsak til tap av kulturminner og bygd kulturarv. De virker på store områder og skaden er som regel, i motsetning til jordskjelvskader, uopprettelige. Kulturminnene blir som regel forflyttet fra sin opprinnelige lokalitet og i mange tilfeller veltet om. Den generelle årsaken til ras er forutgående langvarig etterfulgt av kortvarig kraftig nedbør, men dette kan arte seg ulikt for forskjellige typer ras. Mekanismene for leirras, jordras, steinras/sprang og snøras er forskjellige.



Figur 12: Stein, jord eller snøras gir som regel store uopprettelige skader på kulturminner. Bildet viser gård tatt av leirras i Rissa i Nord Trøndelag i 1978. (Kilde: <http://forbruker.no>).

2.2.4 Sterke vinder, stormer, orkaner

Sterk vind og storm forårsaker skade og sammenbrudd både på kultur og naturarv. Kraftige vinder er farlige for høye bygninger, høye og lette tak, enkle og lette bygningslementer og alle objekter i nærheten av høye trær.



Figur 13: De høye vindhastighetene i orkaner kan gi store skader, også på kulturminner. De enorme skadene påført av tropiske orkaner er særlig godt kjent, men også stormer og orkaner i tempererte områder kan føre til store skader. Bildet viser orkanskader i USA. (Kilde: [lsqcp](#)).

2.2.5 Andre naturkatastrofer

Sterk hagl, snø og sandstormer kan ha katastrofale virkninger p.g.a. kraftige slag mot strukturer, overlast, ising og andre plutselige effekter.



Figur 14: Stor snølast utgjør en betydelig risiko for sammenbrudd i bygningskonstruksjoner. Bildet viser sammenrast takkonstruksjon på bensinstasjon, Stokkebekken i Bamle, Telemark, 30. Mars 2008. - Vinteren 2008 raste 15 bygninger sammen i Norge p.g.a. snølast (Kilde: <http://www.tu.no>).

2.2.6 Brann

Klimaendringer med lange tørkeperioder øker faren for branner. En varmere atmosfære med mer energi kan gi mer tordenvær og lynnedslag. Branner var farligere for bebyggelse i historisk tid enn i dag, men allikevel mistes hvert år viktige kulturminner p.g.a. brann. Brann kan starte ved lynnedslag, kortslutninger, menneskelige feil eller ved påtenning.



Figur 15: Kulturminner kan ødelegges totalt i branner. Medvirkende årsak til branner kan være tørkeperioder og varmt vær. Bildet viser brannen i Dombås hotell 19.5.2007. (Kilde <http://www.nrk.no/nyheter>).

2.2.7 Virkninger fra kjøretøyer

Denne gruppen faktorer inkluderer effekter fra kjøretøyer som biler, skip og fly på kulturminner og miljøer. Dette er ikke naturkatastrofer som kan påvirkes av klimaendringer, men tas allikevel med her fordi de har liknende effekter. Vibrasjoner fra kjøretøyer kan skade kulturminner i deres nærhet. Overfladiske skader på blant annet porter er vanlige. Broer kan skades av skip, og andre flytende objekter, ved høyvann. Mer dramatiske skader kan oppstå ved katastrofale sammenstøt.



Figur 16: Ved berøring eller sammenstøt mellom kjøretøyer og kulturminner kan skader med forskjellig alvorlighetsgrad oppstå. De fleste skader vil i utgangspunktet være av mindre omfang. På bildet sees reparerte skader på et eldre uthus i tre i Kongsberg sentrum, muligens etter påkjørsel av bil. (Foto: Terje Grøntoft, 2008).

Forventede klimaeffekter på kulturminner og miljøer i Norge er beskrevet i Kapittel 4.

3 Typiske skademekanismer og skadetyper for kulturminner

3.1 Skademekanismene

Skademekanismene som virker på kulturminner og miljøer kan i prinsippet deles i tre kategorier, fysisk og kjemisk, inkludert biologisk, nedbrytning og tilsmussing. Mekanismene virker ofte samtidig, men kan også forekomme som etterfølgende prosesser.

3.1.1 Fysisk skade

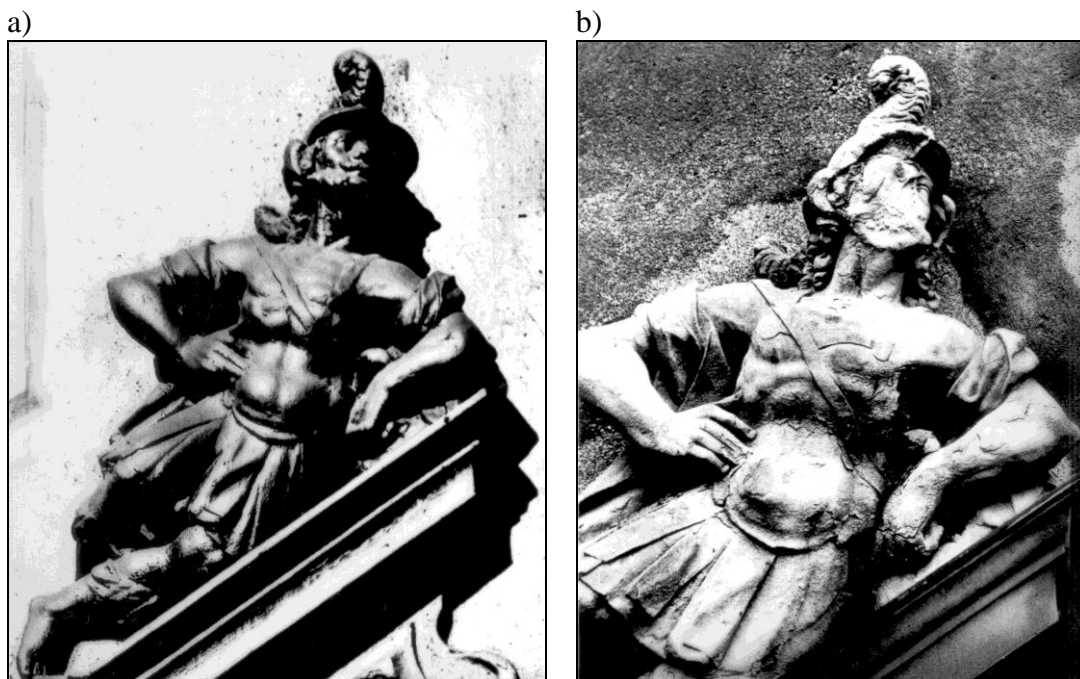
Materialer brytes i hovedsak ned mekanisk på grunn av ytre krefter (f.eks. fra laster, bevegelser, støt og menneskelige aktiviteter) eller indre krefter (f.eks. ved deformasjoner p.g.a. skiftende temperatur og endring i fuktighet). Tidsaspektet kan være viktig som ved langvarig overlast av tømmerstrukturer. Erosjon som reduserer tverrsnitt og fysiske dimensjoner hører også med her. Fysisk skade fører typisk til mekaniske sammenbrudd.



Figur 17: Mekaniske sammenbrudd er typisk forårsaket av en eller annen fysisk skade. Bildet viser et sannsynlig snart forestående mekanisk sammenbrudd for en vegg i ruinen av det romerske badet i Olympos, Tyrkia. (Foto: Terje Grøntoft, 2008).

3.1.2 Kjemisk skade

Materialer angripes kjemisk av reaktive stoffer som finnes i omgivelsene eller som produseres av biologiske agenter som f. eks bakterier og lav. Materialer kan være næringsemner for organismer, som f.eks. ved soppers nedbrytning av cellulose, og koloniserende organismer som ikke bruker materialene som næringsemner, kan avgi stoffer som forårsaker nedbrytning. Kjemisk nedbrytning kan intensiveres eller akselereres ved fysisk stimulering fra temperatur, termisk skade, lys (eller annen stråling) eller fotokjemisk skade. Brann kan inkluderes her selv om de fysiske skadene da oftest dominerer. Kjemisk skade fører til oppløsning av og endringer i materialer, f.eks. av stein.



Figur 18: 1960 og 70 årene var årene med høyest SO₂ konsentrasjoner og hastigheter på nedbrytningen av karbonatholdig stein i Norden. Et fuktigere og varmere klima vil igjen generelt øke den kjemiske nedbrytningshastigheten for steinmaterialer. Bildene viser: a) Fasadeskulptur i gotlandsk sandstein, Gamla Stan, Stockholm, 1906. b) Samme skulptur i 1985. (Kilder: a) Stockholm Stadsmuseum. b) Finn Martner, Riksantikvarieämbetet.)

3.1.3 Tilsmussing

Tilsmussing kan senke kulturminners bruksverdi både estetisk og ved å forårsake mer alvorlig skade, f.eks. reduksjon av indre rørdimensjoner, kortslutning av elektriske kretser og dannelsen av svarte skorper som fører til høyere overflatetemperatur og termiske spenninger. Materialer er ofte bærere av et uønsket smusslag som kan initiere eller akselerere fysisk eller kjemisk skade. Smuss kan oppdages som endringer på overflater, avsatt stoff og biologisk kolonisering.



Figur 19: Smuss er estetisk uønsket og kan bidra til kjemisk og fysisk skader på bygningsoverflater. Her: Graderinger av tilsmussing på bygning langs trafikkert gate i Roma sentrum. (Foto: Terje Grøntoft, 2007).

3.2 Skadetyper

I tillegg til at skader kan skyldes miljøet kan skader også oppstå p.g.a. svakheter i materialer og konstruksjoner. Skader kan skje før produksjonen av objekter, i produksjons/konstruksjonsfasen og eller ved bruk i løpet av objektets/-kulturminnets levetid etter ferdigstilling. Dette vil vise seg som forskjellige observerbare skadetyper. Under beskrives de viktigste skadetyper for kulturminner og miljøer.

3.2.1 Forvitring

Forvitring forårsakes av stråling, varme, vann, vind og luftforurensninger som kulturminner / miljøer utsettes for. Enkelteffektene forsterkes ofte ved at de virker sammen, både ute og innendørs. Disse effektene er nærmere beskrevet i kapittel 1 "Vær og naturkatastrofer som årsak til skade på kulturminner og miljøer".



Figur 20: Steinkonstruksjoner eksponert utendørs vil gradvis forvitte. Hastigheten vil avhenge av klima og forurensningsbelastningen. Bildet viser begynnende forvitring på skulpturelementer, særlig søyledekorasjonene, på Nidarosdomens front. (Foto: Terje Grøntoft, 2004).

3.2.2 *Biologiske faktorer*

Biologiske nedbrytningsfaktorer inkluderer mikroorganismer, planter og dyr som angriper kulturminner og miljøer og forårsaker nedbrytning og sammenbrudd. De inkluderer sopp, mugg, bakterier, lav, moser og alger, planter, insekter, fugler, sjødyr, reptiler og pattedyr og da spesielt mennesker, som representerer en av de største truslene mot kulturarv.



Figur 21: Bygninger koloniseres og brytes etter hvert ned av stadig større biologiske organismer. Bildet viser vekst av trær på taket på Sagene folkebad, Oslo, våren 2007, før restaurering. (Foto: Terje Grøntoft).

3.2.3 Inkompatibilitet

Bygningsmaterialer, elementer og strukturer er deler av ikke-homogene sammensatte systemer, som kombinerer materialer med forskjellige fysiske, kjemiske og biologiske egenskaper. Materialene responderer forskjellig på laster og påvirkningsfaktorer, og når en felles toleransegrense overskrides oppstår en defekt eller et sammenbrudd. For kulturminner og miljøer må også ikke-materielle verdier tas med. I praksis skiller man i det minste mellom følgende typer inkompatibilitet: fysisk, kjemisk, biologisk, konstruksjonsmessig (inkludert estetisk) og sosial.



Figur 22: En sammensatt bygningsstruktur kan brytes ned p.g.a. ulike egenskaper til materialene den er laget av. Fysisk skade på betong p.g.a. korrosjon og påfølgende utvidelse av armeringsjern. Bildet viser forstøtningsmur rundt park bak "Palazzo dei Normanni" i Palermo, Italia. (Foto: Terje Grøntoft, 2006).

3.2.4 Laster

Kulturminner og historiske bygninger utsettes for laster, som vanligvis beskrives som statiske eller periodiske (gjentatte eller dynamiske), og for bevegelse i støttestrukturer. Belastningene skyldes ytre krefter (f.eks. gravitasjon, trykk, løftende krefter og treghetskrefter), som kan ha forskjellige retning, intensitet og varighet. Deformasjoner påføres f.eks. ved utvidelse p.g.a. forskjeller i temperatur eller fuktighet, ved bevegelser i grunnen eller vibrasjoner, eller p.g.a. indre materialeegenskaper som gir sving, krymping eller krystallisering. Lastene gir lokal skade i materialer og sammenbrudd ved skjærkrefter, strekk, kompresjon og tretthet (mekanisk og fra miljøet).



Figur 23: Ytre laster ofte i kombinasjon kan gi deformasjoner, overlast og til slutt katastrofale sammenbrudd. Bildet viser trær som vokser på ruinene av kirke i ruinbyen Olympos, Tyrkia. (Foto: Terje Grøntoft, 2008).

3.2.5 *Bruk*

Bruk av kulturminner / miljøer medfører mange nedbrytnings virkninger, først og fremst slitasje som gradvis forkorter livslengden for objekter og bygninger. Slitasje og fare for sammenbrudd øker ved uegnet bruk av kulturarvbygninger. Dette kan gi seg uttrykk mekanisk (overlast) eller på bygningsfysikken f.eks. som ugunstige endringer i innemiljø ved dannelse av diffusjonsbarrierer. På den annen side reduseres farene ved bruk ved regelmessig vedlikehold og vedlikehold gjennomført til riktig tid, som er en av de viktigste beskyttelsesfaktorene.



Figur 24: Bygninger i bruk trenger vedlikehold. Bildet viser innemiljø fra Sorknes Gård på i Åmot i Østerdalen. Sorknes ble oversvømt under flommen i Glomma i 1995 og et stort istandsettings og restaureringsarbeid ble gjort i etterkant. (Foto. Terje Grøntoft, 2008).

3.2.6 *Ide, design, konstruksjon av og endringer gjort med kulturminnet / miljøet.*

Den opprinnelige ide, design og konstruksjon av et objekt eller en bygning har stor betydning for dets levetid. Et dårlig valg av byggested f.eks. i forhold til vannreservoar, snølast og forurensninger, detaljer som er galt utført, utilstrekkelig isolering, utilstrekkelig ventilasjon og ikke tilpassede materialer og teknologier kan redusere levetiden til en historisk bygning betydelig. Slikt arbeid ansees mangelfullt eller til og med som en grunnleggende feil. Allikevel blir slike feil ved konservering av kulturminner og miljøer vanligvis ikke korrigert, fordi de tilhørende egenskapene noen ganger betraktes som en del av den kulturarven som

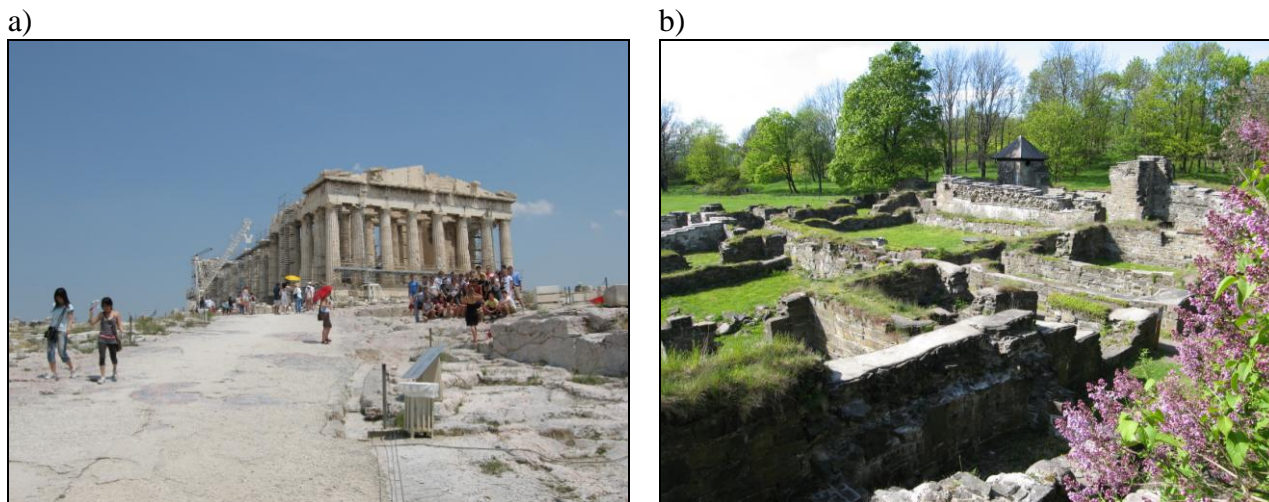
skal beveres. Dette er et viktig tema for debatt når det kan hevdes at en annen tilnærming til konservering kan forlenge levetiden til kulturminnet og dets originale deler. Slike feil blir ofte gjort i forbindelse restaureringsarbeid og liknende endringer som gjøres med kulturminnet / miljøet.



Figur 25: Portland sement har mange steder blitt brukt til istandsetting av steinbygninger. Denne sementen er stiv, hard og tett og det er stor risiko for at den vil sprekke fra steinen under ved at den beveger seg annerledes med endringer i fuktighet og temperatur og ved at den sperrer inne fuktighet. Bildene viser restaurering gjort med Portland sement på fasaden av pavepalasset i Avignon, Frankrike. (Foto: Terje Grøntoft, 2008).

3.2.7 Uventede hendelser og skader

Uventede hendelser er ikke den oftest forekommende årsaken til skade på og sammenbrudd for kulturminner og miljøer. Konsekvensene er allikevel oftest katastrofale og mye av oppmerksomheten omkring effekter av klimaendringer er derfor knyttet til slike hendelser. Klimarelaterte hendelser kan være flommer, jordskjelv, ras og snøskred. Andre skadehendelser er vandalisme, eksplosjoner og alle slags støt fra f.eks. kjøretøy eller flytende objekter.

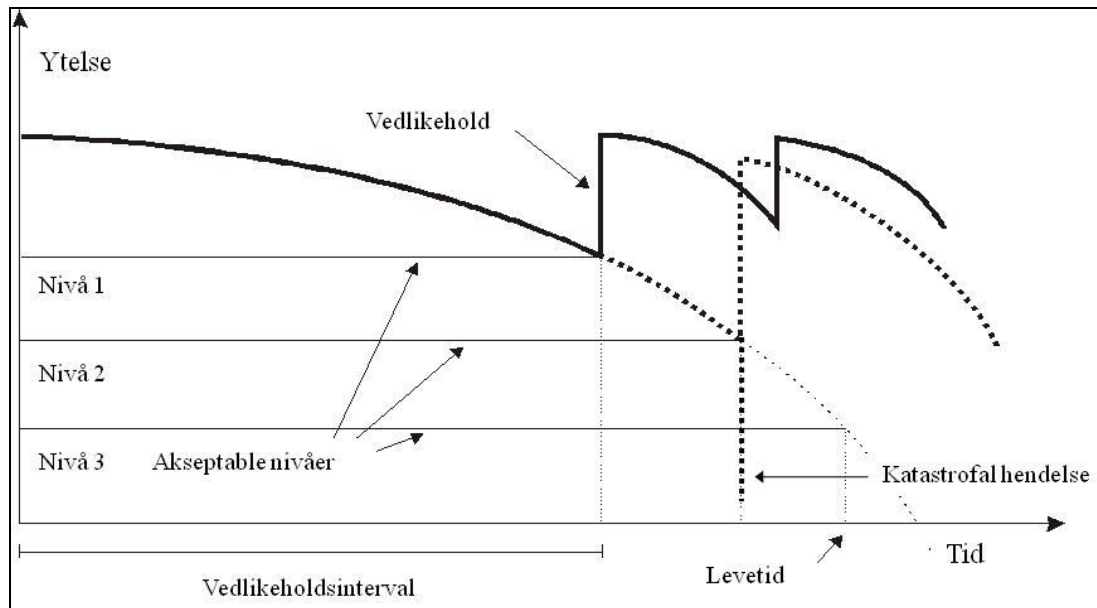


Figur 26: Den viktigste grunnen til ødeleggelse av kulturminner er sannsynligvis ikke klimarelaterte hendelser, men menneskers handlinger. Parthenon i Athen (a) ble i flere omganger i hovedsak ødelagt ved "vandalisme", eller hærværk i ordets rette forstand. Først av perserne i 480 f.kr. hvoretter det ble gjenoppbygget til sitt mest storslåtte og så i 1687 da et venetiansk granattreff antente et tyrkisk ammunisjonslager i bygningen. Hovedøya kloster (b) i Oslofjorden ble ruin etter at det ble plyndret og brent i 1532 under reformasjonsstridighetene. (Foto Terje Grøntoft, 2007).

4 Skadebeskrivelse for kulturminner og miljøer

Gjennomføring av tiltak for tilpasning av kulturminner og miljøer til nye belastninger fra klimaendringer bør vurderes ut fra gjeldende metoder for "Tilstandsanalyse for fredede og verneverdige bygninger", slik dette er beskrevet i Norsk Standard (NS 3423:2004). Denne standarden bygger direkte på gjeldene generelle norske standard for "Tilstandsanalyse for byggverk" (NS 3424. 1995). Liknende internasjonal standardisering for beregning av levetid for bygninger og bygningsmaterialer er gjort i ISO/TC59/SC14, ISO-serien 15686 og CEN/BT WG 174. Med hensyn til tap og skade gjelder Norsk Standard, "Automatisk fredede kulturminner – Registrering av tap og skade" (NS 9450:2003).

En liknende tankegang som for kulturminner kan også brukes for kulturmiljøer. Utgangspunktet for analysen i standarder for tilstandsanalyse er en ytelse over tid funksjon (Figur 27) (Haagenrud et al., 1998).



Figur 27: Eksempel på ytelse over tid funksjon.

Figur 27 illustrerer hvordan en bygnings ytelse i forhold til ytelseskriterier, nivå 1 – 3, synker med tiden når bygningen utsettes for slitasje og nedbrytning. Nivåene bestemmes ut fra funksjons og / eller tilstandskriterier for bygningen. For å opprettholde bygningen på et funksjons og tilstandnivå som tilfredsstill kriteriene må vedlikehold gjennomføres når bygningens funksjon / tilstand har sunket til det aktuelle nivået. Hvis vedlikehold ikke gjøres vil funksjonen / tilstanden for bygningen fortsette å synke, mest sannsynlig med akselererende hastighet, til lavere nivåer og til slutt til 0-nivået der bygningen vurderes som ikke funksjonerende / ødelagt. En "restaurering" fra dette nivået er i prinsippet det samme som nybygging. I gjeldende Norsk Standard, "Livssyklus kostnader for byggverk – Prinsipper og struktur" (NS 3454:2000) blir nivåene over beskrevet som "tilstandsgrader" fra 0, "ingen symptomer og ingen tiltak nødvendig" til 3, "kraftige symptomer og store utbedringer nødvendig". Ved gjennomføring av tilstandsanalyse i henhold til standarden, for bygningselementer og for hele bygninger, kan tilstandsgrad fastlegges og en vurdering av vedlikeholdsbehov skal gjøres. Tilstandsgradering og vedlikehold skal skje i forhold til et referansenivå som beskriver ønsket tilstand for kulturarvbygninger, Dette referansenivået er gitt ved: 1. "Ordinært vedlikeholdsnivå basert på hovedprinsipper for vedlikehold av fredede og verneverdige bygninger" og: 2. "Forskriftskrav (brannsikkerhet, innemiljø, o.l.) for eksisterende bygninger". Hovedprinsippet for vedlikehold av fredede og verneverdige bygninger er ifølge NS 3452 "å bevare bygningsdelene så langt mulig".¹ De samme prinsipper kan brukes for kulturminner generelt og for

¹ For en systematisk og punktvis gjennomgang av tilstandsanalyse for fredede og verneverdige bygninger se Norsk Standard, NS 3423.

kulturmiljøer. I Figur 27 vil referansenivået være det ytelsesnivået kulturminnet/-miljøet bringes opp til ved vedlikehold.



Figur 28: Regelmessig vedlikehold av kulturminner og miljøer kreves for å bevare dem på et akseptabelt "ytelsesnivå" som f.eks. beskrevet i Norsk Standard NS 3452. Vedlikehold er, særlig for større kulturarvbygninger, en kontinuerlig prosess. Bildet viser ytre vedlikehold på Uvdal stavkirke, våren 2004. (Kilde: <http://www.numedal.net/>).

Årsakene til et senket ytelsesnivå for bygninger over tid deles etter ISO standardene inn i tre hovedgrupper: 1: Faktorer som har å gjøre med kvaliteten til bygget / materialene, slik som materialtyper og kvalitet på design og arbeid. 2: Miljø, og 3: Bruk. Klima og klimaendringer er en del av det naturlige miljøet kulturminner og miljøer utsettes for. Klimaet har stor betydning for nedbrytning av kulturminner og miljøer over tid og deres bevaringstilstand og vedlikeholdsbehov. For kulturmiljøer kan klimaendring også få andre konsekvenser f. eks ved at naturtyper endres. Det er allikevel viktig å se på klimaet og andre miljøfaktorer i sammenheng med de andre forholdene som

bestemmer bevaringstilstanden. Kulturminner, f.eks. bygningsstrukturer med forskjellig konstruksjon og kvalitet, vil være ulikt utsatt for virkninger av både miljø / klima og bruk. Klima- og bruksforhold kan også vekselvirke. F.eks. kan bruken av en bygning være med på å forme mikroklimaet i bygningen og endre samspillet med det ytre klimaet som igjen har betydning for hvordan en bygning brukes. Når klimaendringer endrer nedbrytningshastigheten for bygninger kan dette beskrives som en endring av kurvaturen i ytelse over tid funksjon i Figur 27, slik at de reduserte ytelsesnivåene (1-3) nås tidligere (eller senere) og nødvendig vedlikeholdsinnsats og kostnader da også endres. Like eller mer viktig kan det være at sannsynligheten for katastrofale hendelser som kan føre til betydelig ødeleggelse eller tap av kulturminnet / miljøet endrer seg (stiplet linje i Figur 27). I Kapittel 2, ” Typiske skademekanismer og skadetyper for kulturminner”, er det gitt en oversikt over de typiske biologiske, kjemiske og fysiske/mekaniske skader, feil og endringer på kulturminner og miljøer som kan forårsakes av klima og klimaendringer. Årsakene er beskrevet i Kapittel 1, ”Vær og naturkatastrofer som årsak til skade på kulturminner og miljøer.”

DEL 2

Terje Grøntoft (forf.)

5 Forventede effekter av klimaendringer på norsk kulturarv.

Menneskeskapte klimaendringer observeres nå direkte og forventes å bli sterkere utover i dette århundret. Klimaendringene kan forventes å påvirke nedbrytningen av den norske bygde kulturarven. For å kunne iverksette tiltak for å senke samfunnets sårbarhet bør sannsynlige effekter beskrives.

I løpet av det siste tiåret har stadig flere reagert på det de oppfatter som uvanlig vær. I Norge har særlig de gjentatte milde vintrene med dårlig skiføre fått oppmerksomhet. Den dominerende oppfatningen blant forskere er at klimaendringene er menneskeskapte. Mer fokus har etter hvert blitt rettet mot effekter på natur og samfunn, inkludert den bygde kulturarven, og mot hvordan samfunnet best kan håndtere effektene.

5.1 Klimaendringene

Studier viser med stor grad av sikkerhet at det globale klimaet er i endring på grunn av menneskeskapte utslipp av klimagasser (IPCC, Fourth Assessment Report 2007). Global temperaturøkning kan nå observeres. Globale klimamodeller forutsier videre økning i gjennomsnitts- temperaturer og nedbør. Regionale forskjeller forventes å øke slik at noen områder og sesonger blir våtere andre tørrere. Både kraftige regnepisoder og tørkeperioder vil sannsynligvis bli vanligere. Vindhastigheter forventes å øke, men prediksjonene er mindre entydige enn for temperatur og nedbør. Generelt er det forventet at en varmere atmosfære vil inneholde mer vann og lagre mer energi, noe som vil resultere i mer ekstremvær, ofte som forsterking av allerede eksisterende værmønstre.

Dette kapittelet er i hovedsak basert på arbeid gjort i EU prosjektet NOAHs ARK (2008a og b), og informasjon tilgjengelig fra seNorge.no (2008) og NVE (2008). Et klimaeffekt – kulturarvatlas for Europa er under utgivelse fra NOAHs ARK prosjektet (Noah's Ark, 2008a) Det er usikkerhet om hvor store klimaendringene vil bli avhengig av hvilke fremtidsscenarioer for klimagassutslipp og samfunnsutvikling som brukes.

5.2 Forventede effekter av klimaendringer på norsk bygd kulturarv.

Effektene av klimaendringer på norsk bygd kulturarv kan forventes å bli dels plutselige, forårsaket av ekstreme hendelser, og mer langsiktige, forårsaket av gradvis endring. Blant effekter av ekstreme hendelser er skader forårsaket av flom, ras, vind og snølast. Blant gradvise endringer er et økende havnivå og en rekke andre mindre dramatiske fysiske, kjemiske og biologiske effekter. Viktige nedbrytningsmekanismer er erosjon forårsaket av frosthendelser, saltkristallisering og væte-tørke sykler i stein, mur og betong, og soloppvarming av overflater, kjemisk oppløsning av stein og historisk glass og korrosjon av metaller, og biologiske effekter som råte i treverk og øket vekstlighet på bygninger.

5.2.1 Stigende havnivå

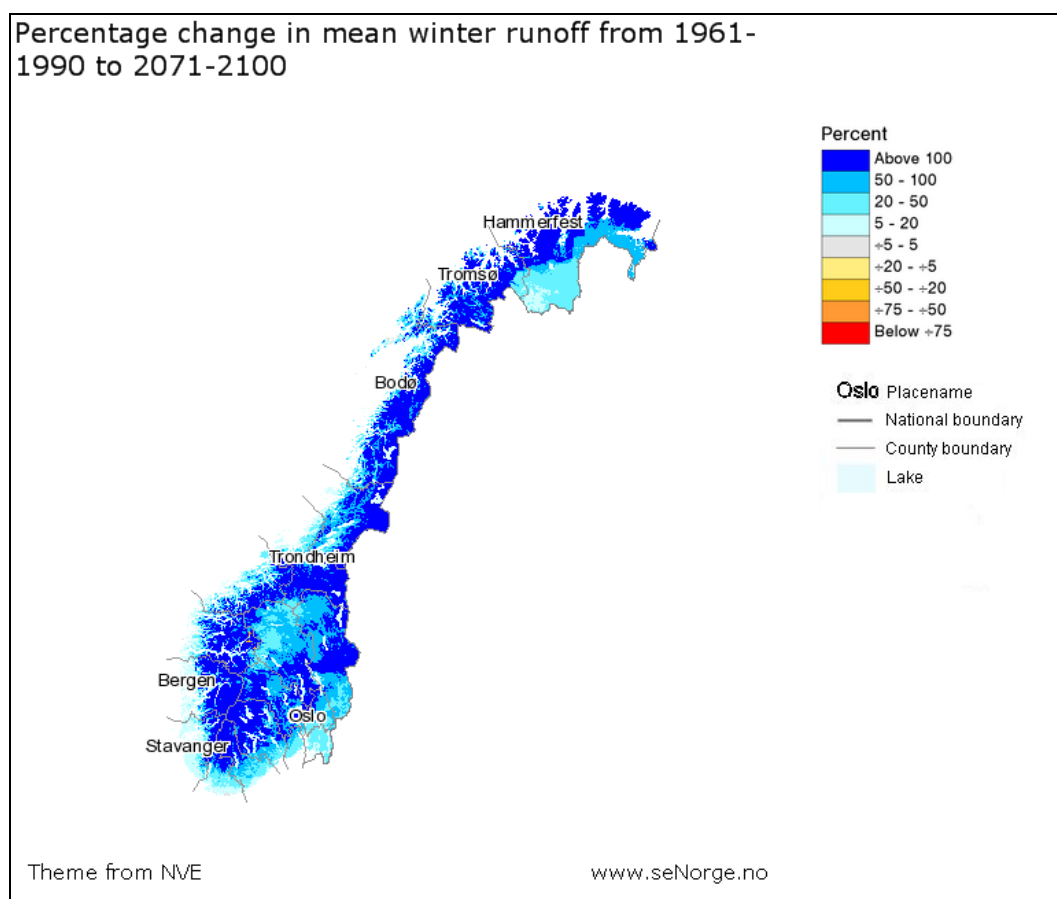
I løpet av dette hundreåret forutsies en gjennomsnittlig stigning av havnivået langs Norskekysten på mellom 40 og 80 cm, med de laveste verdiene for Oslo og Trondheim. (Drange et. al. 2007) Variasjonen skyldes fortsatt pågående landstigning etter siste istid. Bygninger i denne kystsonen vil sannsynligvis bli oversvømmet, unntatt der spesielle tilpasningstiltak kan iverksettes. Stormfloer vil oftere oversvømme bygninger som allerede i dag er i risikozonen og de vil nå høyere når det gjennomsnittlige havnivået stiger. Økede strukturelle skader og redusert tilgjengelighet til bygninger, inkludert kulturarv bygninger, må forventes både på grunn av katastrofeartede stormfloer og på grunn av et gradvis stigende havnivå.



Figur 29: Stigende havnivå p.g.a. klimaendringer er en trussel mot kulturarv ved kyster og havner. Bildet viser Bryggen i Bergen satt under vann av stormflo under stormen "Inga", 12. januar 2005. (Kilde: <http://met.no>).

5.2.2 Flommer

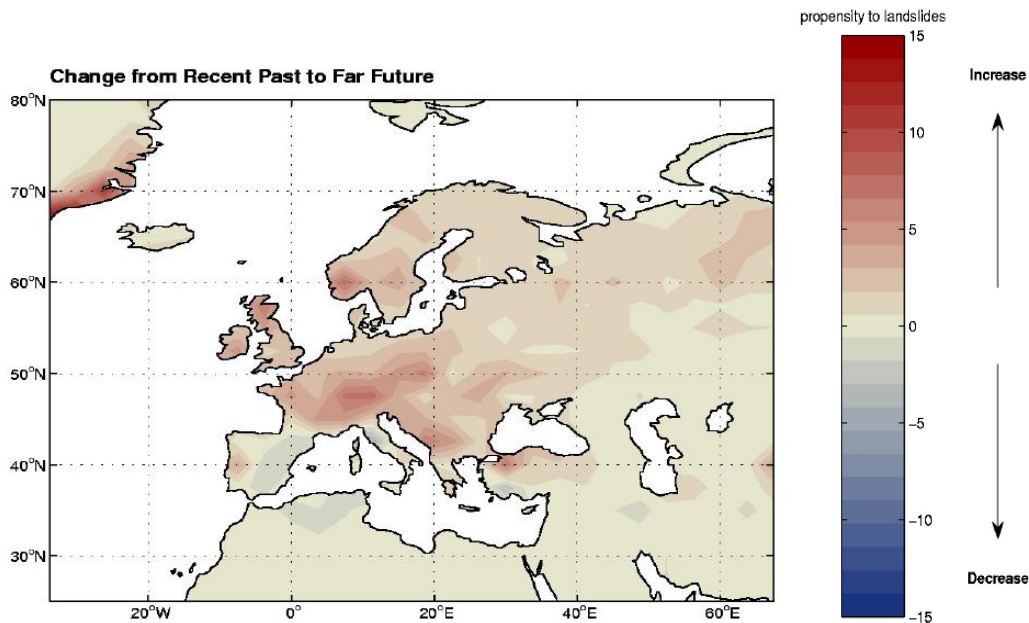
Som en følge av mer vannføring og avrenning i vassdrag vinterstid (SeNorge, 2007) kan det forventes flere flommer ved elveløp langs kysten og i dalstrøkene i løpet av dette århundret. Mindre økningen i avrenningen er forventet vår og høst. Sommeravrenningen er forventet å synke. Det forventes flere flommer som oppstår meget raskt på grunn av kraftige regnepisoder. Det vil bli øket risiko for oversvømmelse av kulturarvbygninger i kjente flomområder og i områder med bekker og elver som ikke tidligere har utgjort noen flomrisiko. Kortvarige flommer kan være katastrofale og fullstendig ødelegge bygninger. Generelt vil flere flommer bety flere strukturelle skader på bygninger. Ofte vanninntrengning i bygninger vil gjøre bygningene ubeboelige eller ubrukbare for lengre tidsperioder. Dette vil også være knyttet til nødvendig rengjøring og til uttørring etter flomepisoder. I tillegg utgjør øket væting av bygningsskall og materialer en øket risiko for råte spesielt i trebygninger, og for korrosjon av metaller.



Figur 30: Forventet endring i vinteravrenning (%) i Norge fra grunnperioden (1961 – 90) til "ffern fremtid" (2071-2100). Indikativt for endring i bl.a. flom- og ras-risiko. (Kilde: www.senorge.no).

5.2.3 Ras

Risikoen for ras forventes å øke med øket nedbør, økning i avrenning og flere flommer. Frekvensen av ras avhenger av topografi, geologi og jordbunnsegenskaper. Generelt korrelerer frekvensen av ras med varigheten og intensiteten av regn. Fra en vurdering av kun regneeffekten på rasrisiko er det forventet at frekvensen av ras vil øke over hele Norge, men spesielt i Sør Norge, i dette århundret. Dette vil sannsynligvis forårsake mer strukturell skade på kulturarvbygninger lokalisert i rasutsatte områder.



Figur 31: Forventet endring i rasrisiko, målt som hendelser pr år, gitt fra endringer i nedbør fra grunnperioden (1961 – 90) til "fjern fremtid" (2070-2099) for Europa. Den britiske Hadley (HadCM3) klimamodellen og fremtidsscenarioet A2 (IPCC) er brukt. Topografi er ikke tatt i betraktning. (Kilde: EU prosjektet NOAHs ARK).

5.2.4 Vind og vindrevet regn

Modellering gir ikke et entydig bilde for endring i vindforhold. IPCC (2007a) rapporterer imidlertid, som en direkte observasjon, at "vestavinder på midlere breddegrader har øket i styrke på begge halvkluler siden 1960 tallet" og også at "stormbaner utenfor tropene er beregnet å bevege seg i retning mot polene, med følgende endringer i vind-, nedbør- og temperaturmønstre, og slik fortsette det brede mønsteret observert over det siste århundret". Effekten av klimaendring på ekstreme vindepisoder som stormer og orkaner er fremdeles usikker, men en sannsynlig økning i slike episoder vil føre til flere strukturelle skader på eksponerte kulturarvbygninger, særlig langs kysten. Sterke og sannsynligvis sterkere vinder enn tidligere erfart, kombinert med mer forventet eksponering for regn særlig om vinteren, men også om våren og høsten, vil forårsake mer nedbrytning av overflatebehandlinger og materialer. Vindrevet regn trenger dypere inn i materialer og bygningsstrukturer enn regn i rolig vær og det kan væte flere deler av bygninger, slik som områder under takskjegg og gavler. Øket våttid

og dypere vanninntrengning vil forårsake mer råte og generell vekstlighet og mer korrosjon av metaller.

5.2.5 Snø

Snøfallet, og dermed snølasten på bygninger, forventes å synke i Norge i løpet av dette århundret. Reduksjonen i snøfall forutsies å bli fra 60 – 80 % for områder nær kyst i vest og nord, fra 30 – 60 % langs kysten og i lavereliggende områder i øst og fra 10 – 20 % i innlandet og fjellområder (se Norge 2007). Dette skulle generelt gi mindre risiko for strukturelle skader.

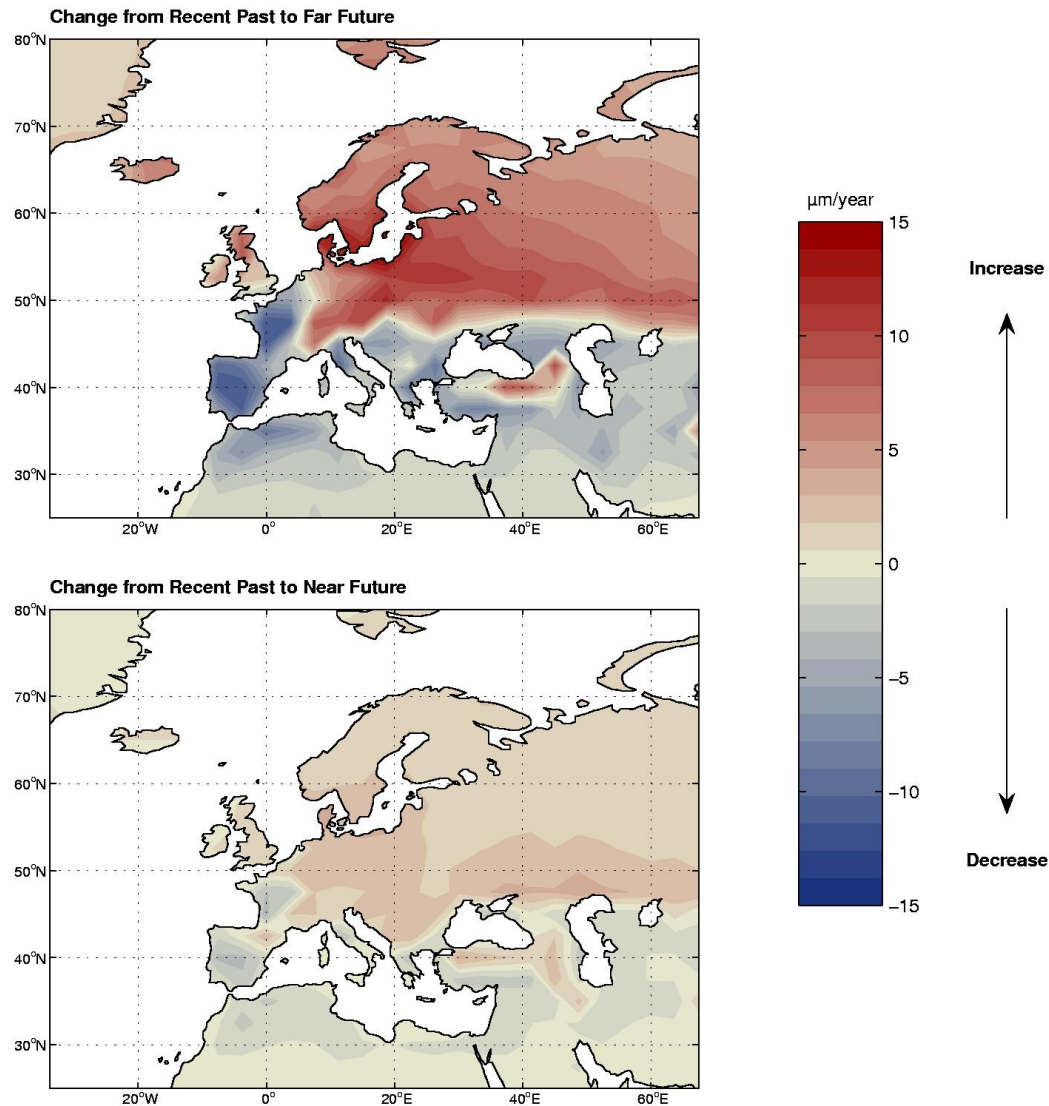
5.2.6 Fysiske nedbrytningsprosesser

Hastigheten på mange relativt langsomme fysiske nedbrytningsmekanismer forventes å øke på grunn av klimaendringene. Flere fryse-tine hendelser kan forventes i Sør Norge, flere væte-tørke episoder i Sør Norge og langs kysten og flere saltkrystalliserings-episoder (natriumklorid) i de østlige delene av Sør Norge. Modelleringen viser imidlertid mindre frost umiddelbart etter regn i Sør Norge og færre saltkrystalliseringsepisoder (natriumklorid) langs kysten i nord. Natriumklorid i sjøsalt avsettes typisk langs kysten. Andre salter med andre krystalliseringsfuktigheter finnes i stein, og klimaendringene kan ha en annen effekt på disse. Avskalling av steinoverflater på grunn av soloppvarming og følgende ekspansjon, såkalt termoklastisisme, er ikke noe stort problem i det norske klimaet og klimamodellen forutsier at denne effekten blir enda mindre i fremtiden på grunn av mindre forskjeller mellom natt og dag temperaturer.

Dette er prosesser som særlig kan ha betydning for bygninger og andre konstruksjoner i stein, mur og betong. For eksempel gamle steinkirker, men også nye betongbroer er utsatt.

5.2.7 Kjemisk nedbrytning

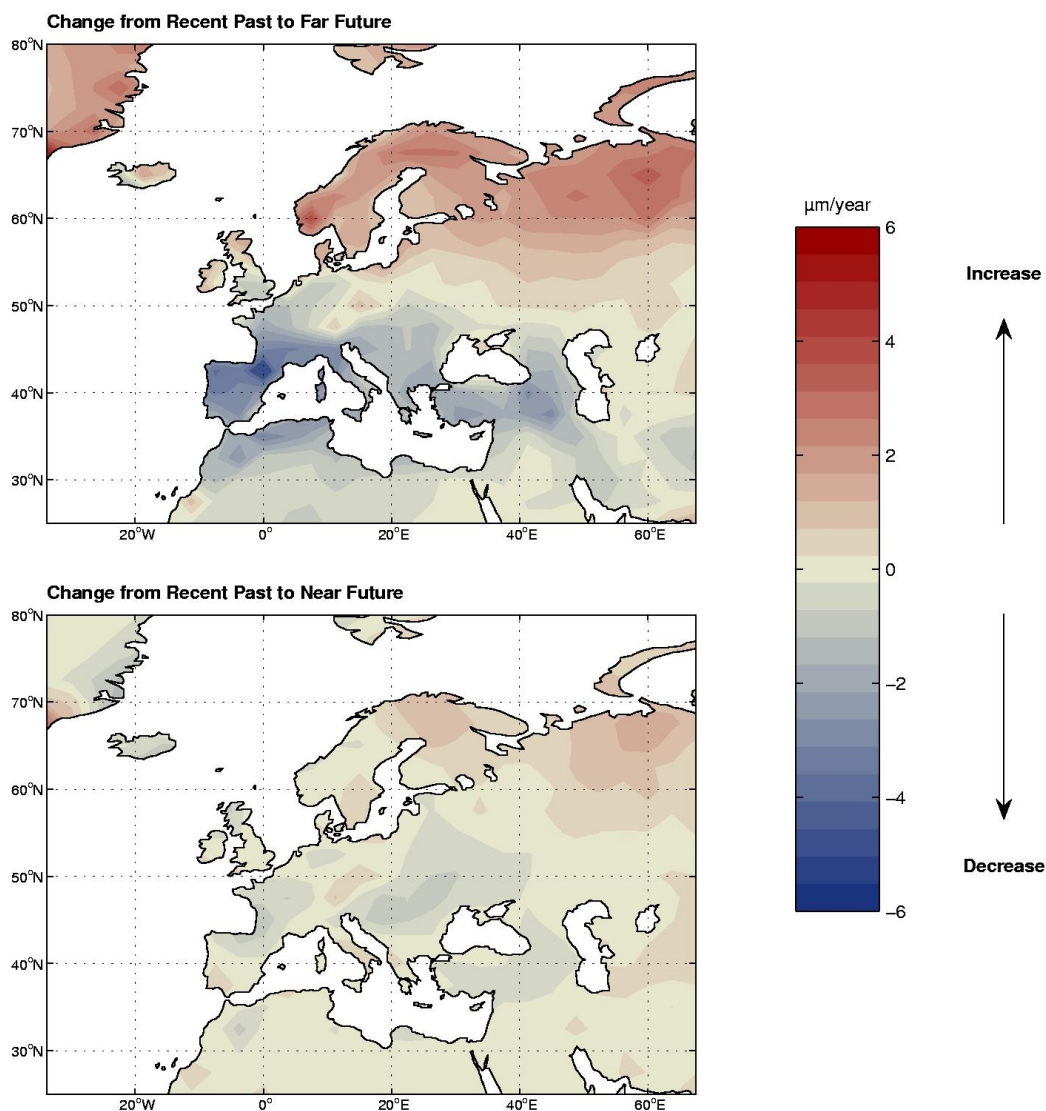
Hastigheten for kjemisk korrosjon av metaller kan forventes å øke i hele landet og oppløsning av steinmaterialer særlig i Sør Norge.



Figur 32: Forventet endring i første års korrosjon av karbonstål fra grunnperioden (1961 – 90) til periodene "nær fremtid" (2010 – 2030) og "fjern fremtid" (2070-2099) i en typisk "bysituasjon" med midlere europeisk SO_2 konsentrasjon. Topografi er ikke tatt i betraktning. Mønster indikativt også for bronse. Den britiske Hadley (HadCM3) klimamodellen og fremtidsscenarioet A2 (IPCC) er brukt. (Kilde: EU prosjektet NOAHs ARK).

Korrosjon av gammelt "middelalder" glass, som inneholder mye kalium, forventes å synke over hele landet, men det er lite slikt materiale i Norge. Korrosjon av metaller avhenger av både våttid for overflater og av temperatur. Ettersom, begge disse faktorene forventes å øke vil korrosjonen øke. Oppløsningen av steinmaterialer vil, med forventede lave SO_2 konsentrasjoner,

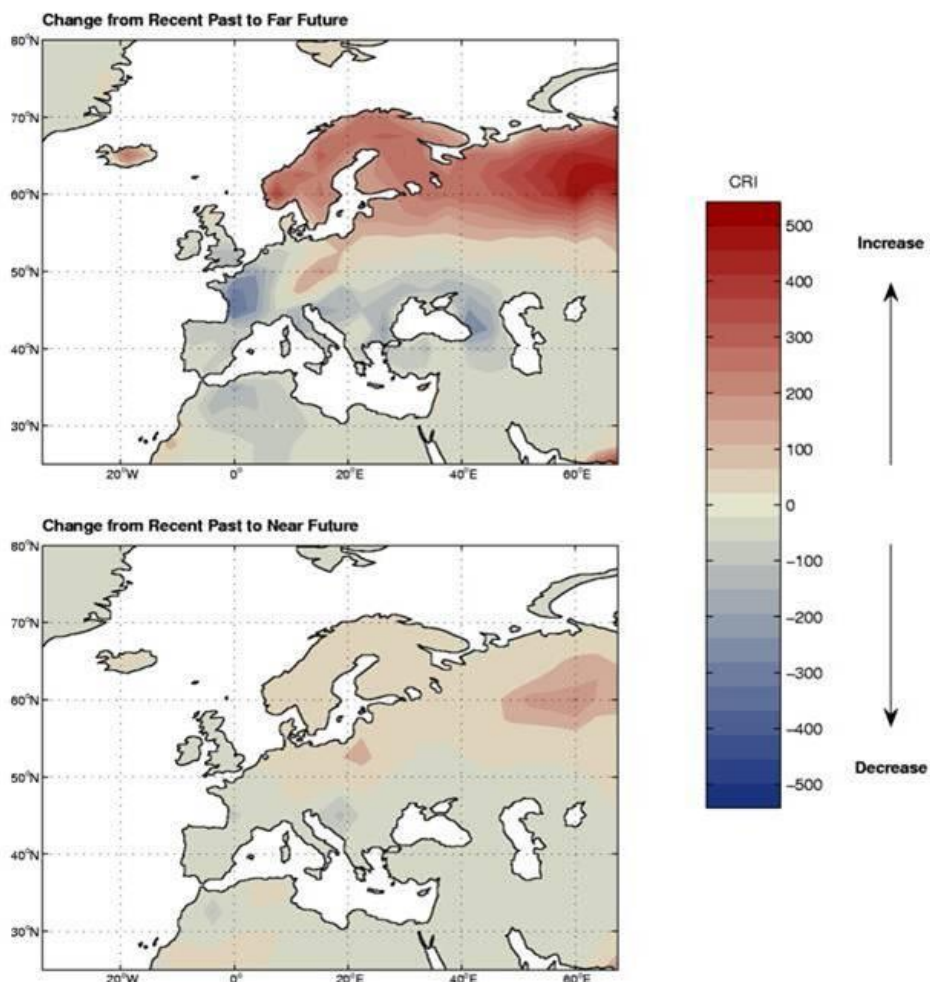
hovedsakelig avhenge av nedbørmengden, slik at økende nedbør vil gi økende oppløsningshastighet. Porøs og alkalisk stein slik som kalkholdig sandstein, kalkstein og marmor vil være mer utsatt for nedbrytning enn tett silikatholding stein som granitt, som sannsynligvis vil bli lite påvirket. Eksperimentelle eksponeringer har vist en negativ avhengighet mellom korrosjon av gammelt ”middelalder” glass og temperatur.



Figur 33: Forventet endring i oppløsning av steinoverflater eksemplifisert ved marmor fra grunnperioden (1961 – 90) til periodene ”nær fremtid” (2010 – 2030) og ”fjern fremtid” (2070-2099). Effekt av endring i nedbørmengde. Den britiske Hadley (HadCM3) klimamodellen og fremtidsscenarioet A2 (IPCC) er brukt. (Kilde: EU prosjektet NOAHs ARK).

5.2.8 Biologisk nedbrytning

Av biologiske effekter er kanskje råte i treverk den som forårsaker mest skade og høyest vedlikeholdskostnader. Risikoen for råte i tre forventes generelt å øke med 50 % over hele landet i dette århundret. Regn og væting av treoverflater, ved temperaturer over 2°C når råtesopp kan vokse, forventes å øke mest langs kysten i vest og nord. I innlandet forventes også øket råterisiko på grunn av høyere temperaturer og mer nedbør om våren og høsten. I innlandet forventes mindre sommerregn. Forekomst av råte i tre begrenses av beskyttende byggeteknikker og overflatebehandlinger. De mest sårbare lokalitetene for øket råte kan være på grensen mot områder med mye nedbør, der betydelig mer nedbør kan forventes utover i dette århundret, men der mindre avanserte beskyttelsesteknikker har blitt brukt. Den biologiske vekstligheten på bygninger og strukturer kan også forventes å øke med stigende nedbør og temperatur. Følgen kan bli øket nedbrytning, men også muligens beskyttelse i noen situasjoner, slik lav kan beskytte steinoverflater.



Figur 34: Klimarisiko indeks for forekomst av råte i tre. Endring fra grunnperioden (1961 – 90) til periodene ”nær fremtid” (2010 – 2030) og ”fjern fremtid” (2070-2099). Indeksen er basert på våttid for treverk eksponert for regn og råtesannsynlighet gitt ved vanninntrengning og lufttemperatur. Den britiske Hadley (HadCM3) klimamodellen og fremtidsscenarioet A2 (IPCC) er brukt. (Kilde EU prosjektet NOAHs ARK).

5.2.9 Eksponering, følsomhet, tilpasning og sårbarhet.

Samfunnets klimasårbarhet for ødeleggelse eller nedbrytning av kulturarv kan beskrives som de kostnadene, i vid forstand, dette påfører samfunnet. Kostnadene vil avhenge av det faktiske fremtidige eksponeringsnivået for klimafaktorene, følsomheten til kulturarven og samfunnets evne til å iverksette tilpasningstiltak. Tilpasningstiltakene kan være generelle administrative tiltak og tekniske og praktiske tiltak for å redusere virkningene av de forskjellige effektene diskutert over. Gode tilpasningsplaner og tiltak kan redusere risikoen og følsomheten, og dermed senke sårbarheten og kostnadene for samfunnet ved både potensielt katastrofale hendelser og gradvise klimaeffekter på kulturarven. Målet om redusert sårbarhet for klimaendringer bør integreres i alle planer og all administrasjon som har virkninger på kulturarven.



Figur 35: Klimaendringer er forventet å gi mer råte i og større renoveringskostnader for trebygninger. Bildet viser utbedring av råteskader på Tøyen Hovedgård, Oslo, sommeren 2006. (Foto: Terje Grøntoft).

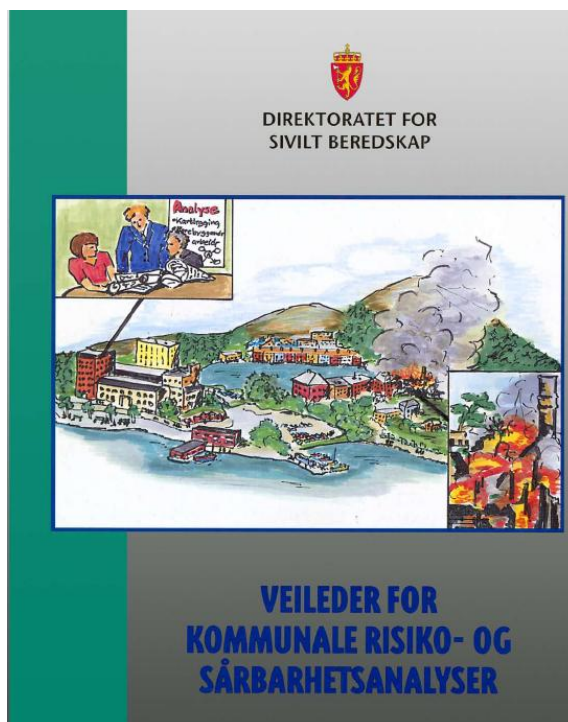
6 Kulturminner og miljøer. Risiko, sårbarhet og tilpasning til klimaendringer

Klimaforskerne regner det som så godt som sikkert at kloden er inne i en periode med menneskeskapt klimaendring. De klimatiske hovedendringene vil sannsynligvis være høyere temperatur og mer vann / nedbør / fuktighet og endring i vindhastigheter og mønstre. Disse endringene vil føre til økende og endret risiko for nedbrytning av og skade på kulturminner og kulturmiljøer i Norge. Vi vil både oppleve endringer i hastigheten på gradvise nedbrytningsprosesser og i risikoen for katastrofale hendelser. Dette ble beskrevet i Kapittel 5, "Forventede effekter av klimaendringer på norsk kulturarv". En grov oppsummering av forventede effekter er:

1. **Mer strukturskader på kulturminner og miljøer p.g.a øket havnivå, flommer og ras.**
2. **Raskere nedbrytning av bygningsmaterialer og overflater. Tre, stein og metaller.**
3. **Mer / annerledes tilsmussing / misfarging av strukturer og bygningsoverflater.**
 Prosessene under punkt 2. og 3. vil også avhenge av fremtidig luftforurensningssituasjon / utslipp.
4. **Færre snølastskader. Langsommere nedbrytning av historisk glass. Øket biovekst kan gi øket nedbrytning, men også bio-beskyttelse. Øket tilgroing.**

Punktene 1 til 3, og delvis 4, over er utfordringer som de teknisk og administrativt ansvarlige for kulturminner og kulturmiljøer i norske kommuner må hankses med i kommende tiår.

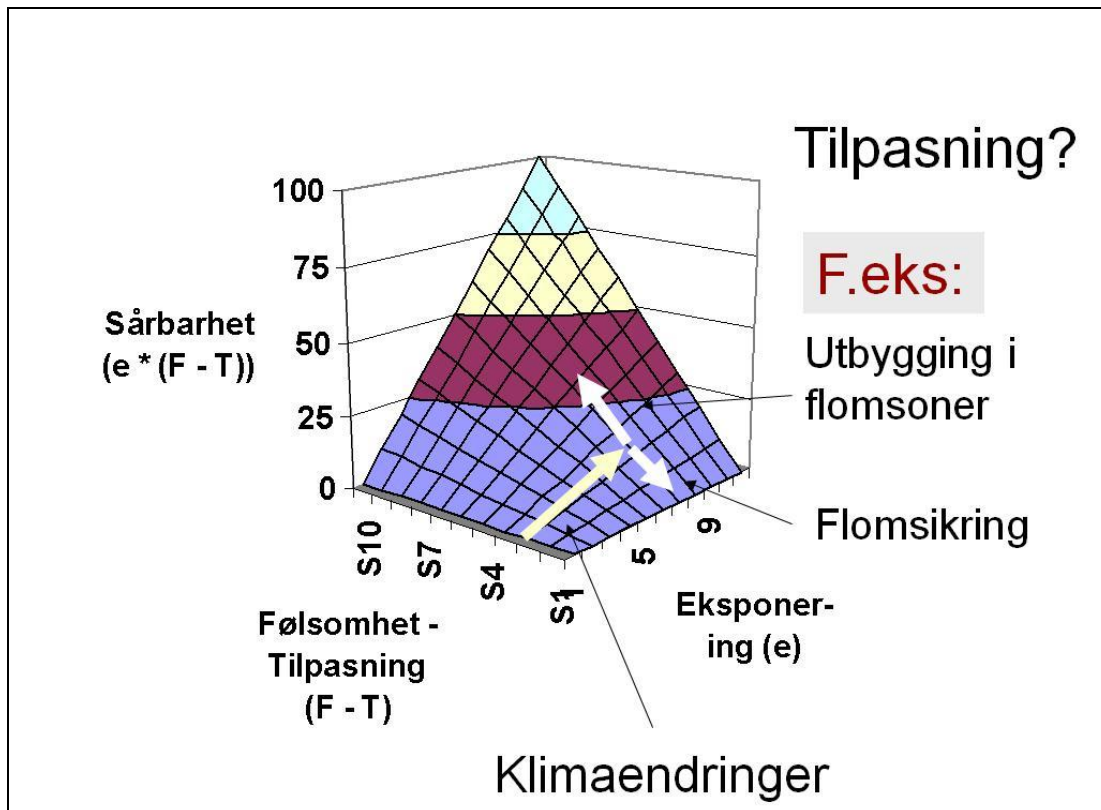
For å kunne gjøre dette vil det være nyttig for kommunene å gjennomføre en risiko og sårbarhetsanalyse, en såkalt ROS analyse, med hensyn til effektene av klimaendringer generelt og effekten på kulturminner og kulturmiljøer som en del av dette. Direktoratet for Sivilt Beredskap har gitt ut en "Veileder for kommunale Risiko og Sårbarhetsanalyser" (Figur 36) (DSB, 1994) som vil være til god hjelp i dette arbeidet.



Figur 36: Veileder for kommunale risiko og sårbarhetsanalyser (Kilde: <http://www.dsb.no>).

Denne veilederen går trinn for trinn gjennom hvordan ROS arbeidet kan organiseres i kommunen, hvilke elementer en analyse av f.eks. "klimarisiko" bør inneholde, og videre hvordan en analyse bør følges opp i kommunen i en styringsgruppe og politisk på forskjellige områder.

For å gjennomføre spesielt ROS analysedelen for kulturminner og miljøer vil det være nyttig å kjenne til begrepene som kan brukes i en sårbarhetsanalyse knyttet til klimaendringer, slik disse defineres i det internasjonale klimapanelet (IPCC) sine rapporter om effekter av globale klimaendringer (IPCC, 2001 og 2007b). Samfunnets sårbarhet beskrives her ved tre faktorer. For det første eksponering for klimaet, for det andre samfunnets følsomhet for klimaendringene, og for det tredje samfunnets evne til å tilpasse seg klimaendringene. Figur 37 viser sammenhengen mellom sårbarhet, tilpasning (tiltak), følsomhet og eksponering.



Figur 37: Sammenhengen mellom sårbarhet, tilpasning (tilak), følsomhet og eksponering for f.eks. flom. Klimaendringer fører til øket klimaeksponering for kulturminner. Dette øker i seg selv sårbarheten, men den endelige sårbarheten avhenger av i hvilken grad samfunnet evner å tilpasse seg. (IPCC, 2001 og 2007b).

Klimaendringene antas å føre til både øket (f.eks. mer regn), i noen tilfeller mindre (f.eks. tørrere somre) og endret (f.eks. større variasjoner i nedbør) klimaeksponering for samfunnet med hensyn til mange klimavariabler. Når en snakker om øket "risiko for eksponering" er det derfor viktig å spesifisere hva slags eksponering det er snakk om. Det er en stor utfordring for klimaforskerne å beskrive klimaendringene på en måte som gir en best mulig forståelse av klimarisikoen. Avhengig av hva slags effekter en er interessert i å studere kan det være nødvendig å beskrive klimaendringene forskjellig. I noen sammenhenger er det plutselige og kraftige klimaepisoder som er det avgjørende, f.eks. ved katastrofale hendelser. I andre sammenhenger kan endringer i gjennomsnittsverdier være viktig, f.eks. ved gradvis nedbrytning av materialer. I mange tilfeller er det kombinasjoner av klimafaktorer og / eller spesielle egenskaper ved en klimaparameter som har betydning. Skadeomfanget p.g.a. klima og klimahendelser er imidlertid ikke bare avhengig av klimaet i seg selv, men også av samfunnets infrastruktur og organisering og hvordan dette påvirkes av klimaet. Samfunnet har alltid tilpasset seg sine naturlige omgivelser og med dem klimaet. Så lenge klimaet har skiftet langsomt eller innenfor grensene av erfaringen og det historiske minnet har enkeltmennesker og samfunnet kunnet ordne seg ut fra forventningen om dette klimaet. Langsomme endringer kan gradvis bli en del av erfaringen uten å medføre særlig mistilpasning. Klima-katstrofer og ekstreme hendelser er imidlertid ikke noe nytt og har forekommet til alle tider. Folk har i

forskjellig grad kunnet hanskes med dette. Forsjellen idag fra tidligere historisk tid er at endringene sannsynligvis vil gå fortere, at sannsynligheten for uventede og ekstreme episoder er større, men også at vi her mye mer kunnskap om klimasystemet og mulige effekter av klimaendringer, og at Norge er et mye mer velstående land, slik at vi på mange måter er bedre rustet til å tilpasse oss.



Figur 38: Tradisjonell byggekunst tok hensyn til det historiske minnet om klimaet og erfaringer om hvor og hvordan man bygget for å tåle klimaet. Bygninger ble lagt i le for vind og vær. Bildet er fra havnen i Fredrikstad. (Foto Terje Grøntoft, 2005).

Man kan snakke om "risiko for eksponering", men man kan også snakke om "risiko for skade". "Risiko" er en kombinasjon av styrken på et fenomen, f.eks. en storm, og sannsynligheten for at fenomenet skal inntreffe. Når man snakker om "risiko for skade" er man ikke bare opptatt av sannsynligheten for at klimafenomenet (stormen) skal inntreffe, men også av sannsynligheten for at stormen skal føre til skade på deler av samfunnet, f.eks. på kulturminner eller miljøer. Graden av skade avhenger av kulturminnenes eller miljøenes følsomhet for klimaet og klimaendringene. For å kunne bestemme trusselen klimaendringen utgjør er det nødvendig å vite mest mulig om samfunnets følsomhet. Følsomheten kan uttrykkes som kostnader, f.eks. forsikringsubetalinger, knyttet til klima og klimahendelser. Mange uønskede effekter av klimaendringer vil det imidlertid være vanskelig å tallfeste på en enkel måte, og kvalitative vurderinger og beskrivelser av følsomhet vil også være nødvendig.



Figur 39: Kostnader ved klimaskader på kulturminner og miljøer kan til en viss grad kvantifiseres utfra istandsettingskostnader og forsikringsutbetalinger, men er i stor grad ikke kvantifiserbare. Hva er f.eks pengeverdien av de originale Alta-ristningne som står på UNESCOs verdensarvliste? (Kilde: <http://whc.unesco.org>).

Mennesker og samfunnet kan i større eller mindre grad forutse fremtidige hendelser og situasjoner, og tilpasse seg disse for å klare seg best mulig. Samfunnets sårbarhet for klimaendringer bestemmes av klimaeksponeringen og følsomheten for denne, men også av vår tilpasningsevne. Sårbarheten avgjør hvor godt et samfunn eller deler av et samfunn vil klare seg når det møter utfordringer. Det er derfor viktig å analysere hvilke utfordringer samfunnet står overfor, og hvor sårbart det er. Et mål med en sårbarhetsanalyse vil som regel være å finne frem til best mulig tilpasningstiltak som kan redusere samfunnets følsomhet og dermed sårbarhet for f.eks. klimaendringer.



Figur 40: Hvor sårbare er våre kulturminner? I løpet av år 2008 startes restaurering av Urnes stavkirke for å gi den et stabilt fundament. Tele om vinteren fører til bevegelse, slitasje og dårlig oppstøtting av grunnstokkene. Klimaendringer vil sannsynligvis føre til endringer i bl.a. utbredelse og varighet for tele i grunnen. Hvordan vil klimaendringer påvirke kostnader til vedlikehold og restaurering og tilpasning som reduserer skadeomfang og skadekostnader for kulturminner? (Kilde: <http://www.bt.no>, foto: Lillebø, J.M.).

I de fleste sammenhenger er det minst like viktig å vurdere og finne avvergende tiltak som å finne best mulige tilpasnings-tiltak. Det gjelder også for klimaendringer. Klimaendringene er imidlertid et fenomen med stor "treghet". De har utviklet seg over lang tid og er allerede godt igang og vil forsterkes i vårt århundre selv om vi idag setter iverk de mest besluttsomme og virkningsfulle tiltak mot dem, - noe vi sannsynligvis burde gjøre. Det foregår en stor og viktig debatt om avvergende tiltak. Dette er også et felt der norske myndigheter (Miljøverndepartementet, 2008a) har rettet informasjon mot kommunene med oppfordring om at de bør iverksette klimaplaner. Et lignende arbeid gjøres fra sentralt hold for å få kommunene til å bruke ressurser på vurdering av tilpasning til effekter av klimaendringer (Miljøverndepartementet, 2008b). Den nasjonale satsingen på klimatilpasning ledes av Miljøverndepartementet. Et sekretariat, som skal bidra til koordineringsarbeidet, er lagt til Direktoratet for Samfunnsikkerhet og Beredskap, DSB.

a)



b)



Figur 41: Reduksjon av utslipp av drivhusgasser bl.a. CO₂ til atmosfæren, f.eks. ved å øke bruken av alternative energikilder som solenergi, er det viktigste tiltaket for å avverge klimaendringer (a). Klimaendringene er imidlertid igang og vil komme i større eller mindre grad. Vi kan beskytte våre kulturminner mot klimaendringene ved fornuftig tilpasning. Dette kan være mindre tiltak som f.eks større kapasitet i takrenner og nedløp eller større tiltak som vernebygg for utsatte kulturminner (b). Vernebygget på domkirkeodden i Hamar skjerner mot klimaeffekter. (Kilder: a. <http://www.bt.no/>, b. Foto : Terje Grøntoft).

6.1 Sårbarhetsanalyse

Nedenfor gis to eksempler på sårbarhetsanalyse for kulturminner og evt. miljøer. Det ene gjelder en katastrofeflom, det andre den gradvise effekten av råte i trebygninger.

6.1.1 Katastrofeflom

Det er ventet at klimaendringene vil føre til mer avrenning i norske elver, særlig om vinteren, men også vår og høst, og gi endret flommønster gjennom året (se Norge 2008, Førland et al, 2007). Norske kommuner bør ta høyde for at flommer kan bli større og komme på andre steder og andre tider av året. For å vurdere sin sårbarhet for flom må en kommune først vurdere sannsynlig flomeksposering. En slik vurdering kan ta utgangspunkt i historisk flomeksposering og risiko, slik dette f.eks. er kartlagt av NVE (NVE flomsonekart, 2008) og så vurdere hvilke nye områder som kan få risiko for flomeksposering som en konsekvens av klimaendringene.

Flomeksposering er typisk avhengig av et mål på avrenning per tidsenhet i et vassdrag, f.eks som avrenning over en viss mengde innenfor et visst tidsom.

Dette kan uttrykkes mer presist med en riskikofaktor, r (eksposering / avrenningsmål), som kan variere mellom 0 og 1, slik at:

$$\text{Flomeksposering} = r * \text{avrenning}$$

(1)

Sammenhengen mellom avrenning og flom kan være godt kjent ved at avrenning over en viss mengde nødvendigvis fører til flom for en viss lokalitet ($r = 0$ el. 1) eller mindre godt kjent, f.eks. fordi man mangler data for nedbørs og avrenningsmønster eller andre karakteristika ved et flomforløp. Man kan da uttrykke en viss sannsynlighet for flom ($0 \geq r < 1$) ved et visst mål for avrenningen.

Hvis flommønsteret er godt kjent vet man, når man vet hvor stor avrenningen er, nøyaktig hvor høyt vannet vil stå for ulike lokaliteter i kommunen, og det vil være en grenseverdi for avrenningen der r går fra å være 0 (ingen oversvømmelse) til 1 (oversvømmelse) for hver lokalitet. Ved usikkerhet om sammenhengen mellom målene for avrenningen og flomnivået vil $r < 1$ for lokaliteter som ligger nær det antatte flomnivået, men det vil også være en mindre sannsynlighet for oversvømmelse på lokaliteten for lavere avrenninger (som ville gi $r = 0$ for lokaliteten hvis sammenhengen mellom flom og avrenning var godt kjent). Klimaendringer antas å føre til at flere lokaliteter blir flomutsatt ($r > 0$) for en gitt avrenning. Hvis flommønsteret er godt kjent kan man lage sikre prediksjoner for størrelsen på arealet som vil oversvømmes ved en viss vannføring.

For å vurdere kommunens totale sårbarhet med hensyn til flomskade på kulturminnene, må en så også vurdere de aktuelle kulturminnenes følsomhet for flom og mulige tilpasningstiltak kommunen kan iverksette for å forhindre flom eller minske effektene av en flom. Kulturminnenes følsomheten for flom kan beskrives som det økonomiske tapet, f.eks. i form av kostnader til nødvendig

renovering og restaurering av kulturminnet, tap av besøksinnteketer o.s.v, som vil påføres kommunen ved flom. Det kan være vanskelig å bestemme denne kostnaden for kulturminnene som også kan ha stor ikke målbar verdi f.eks. knyttet til bevaringen av originale byggematerialer og strukturer som vanskelig lar seg erstatte hvis de ødelegges. Et alternativ til en kvantifisering i kroner og øre kan være en semi-kvantitativ rangering av følsomhet på trinn langs en skale fra mindre verdifull til uerstattelig, og så vurdere hvordan en flom vil påvirke tilstanden til kulturminnet langs denne skalaen og eventuelt i hvilken grad en restaurering kan føre det tilbake til den opprinnelige verdien på skalaen. For å vurdere kommunenes total sårbarhet når det gjelder kulturminnene er det til slutt nødvendig å vurdere hvilke tilpasningstiltak kommunen kan gjennomføre for å forebygge skade, hvor mye disse tiltakene vil koste og i hvilken grad de vil senke sannsynligheten for flomskade. For å være lønnsomme tiltak må tilpasninger koste mindre enn sannsynlige skadekostnader, d.v.s. tilpasningskostnaden må være mindre enn følsomheten for skade veid med risikoen for skade. – Bare da reduseres sårbarheten. Sårbarheten til kommunen med hensyn til skade på et kulturminne kan på denne måten beregnes / vurderes som (se også Fig. 37):

$$\text{Sårbarhet} = (F_n - T_n) * \text{Flomeksponering}$$

(2)

Der: $\text{Flomeksponering} = r * \text{avrenning (Eq. 1) uttrykt som f.eks. flommer / år.}$

$F_n = \text{Følsomheten til det } n^{\text{te}} \text{ kulturminnet, uttrykt som f.eks. kr / flom.}$

$T_n = \text{Tilpasningsevnen (kostnaden) for det } n^{\text{te}} \text{ kulturminnet, uttrykt som f.eks. kr / flom.}$

Uttrykket $(F_n - T_n)$ kan byttes ut med et mer komplisert uttrykk som summerer skadekostnader for flommer med ulik grad av oversvømmelse.

For et antal kulturminner fra $n = 1$ til $n = q$, der kulturminnene m til q er objekter som ikke tidligere har vært, men som med klimaendringer vil komme i riskikozonen for flom, vil den totale sårbarheten til kommunen være:

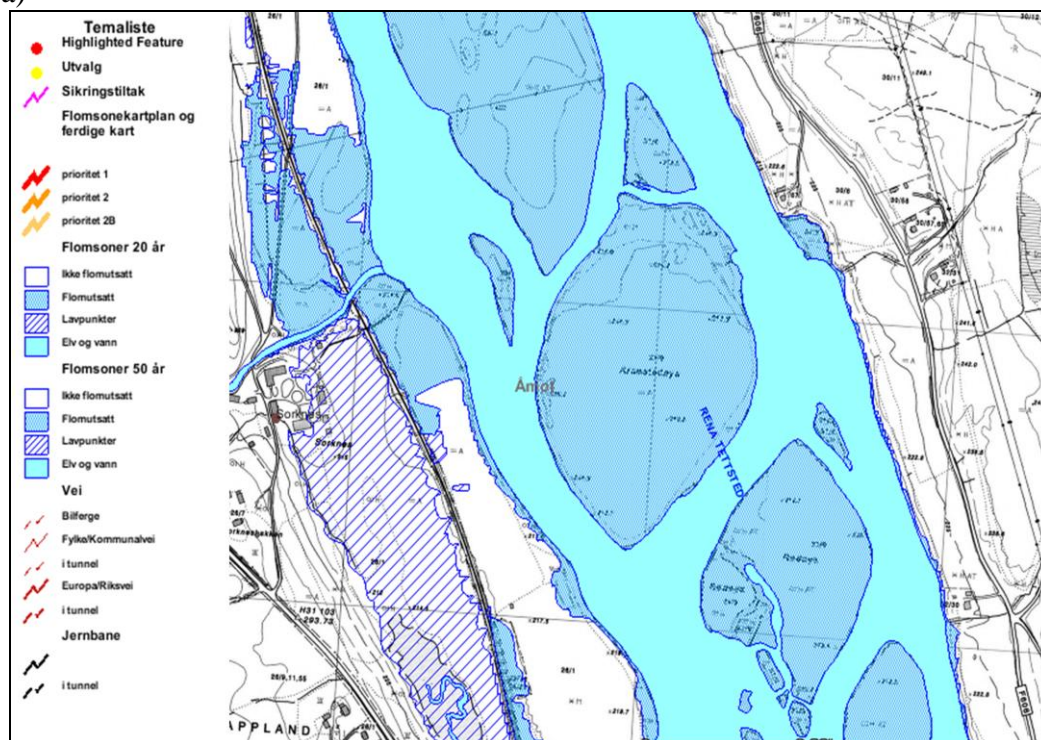
$$\text{Total sårbarhet for } q \text{ kulturminner} = \sum_{(r1-rm)} \text{Sårbarhet} + \sum_{(rm-rq)} \text{Sårbarhet} \quad (3)$$

Det vil slik være mulig å komme frem til en begrunnet total beregning eller vurdering av kommunens sårbarhet for flomskade på kulturminner og miljøer på grunn av klimaendringer og forventet endring i avrenning. Uavhengig av eksakt kunnskap om sammenhengene i likning (1) – (4) kan en fra statistiske data bestemme flomeksponering for ulike lokaliteter beskrevet som 10 års, 20 års, 50 års flom o.s.v. slik de gjøres på NVEs flomsonekart. Dette vil være et alternativt og mer tilgjengelig utgangspunkt for praktiske sårbarhetsanalyser med hensyn til flomskade. Total klimasårbarhet for flom for alle bygningene på for eksempel Sorknes gård, eller eventuelt for alle kulturminner i Åmot kommune (Fig. 23 og nedenfor), kan beregnes som differansen mellom den total sårbarheten før og etter klimaendringer:

$$\text{Total sårbarhet for klima(flom)endringer} = \sum_{(r1-rm)} \text{Sårbarhet}_{\text{etter klimaendr.}} - \sum_{(r1-rm)} \text{Sårbarhet}_{\text{før klimaendr.}} + \sum_{(rm-rq)} \text{Sårbarhet} \quad (4)$$

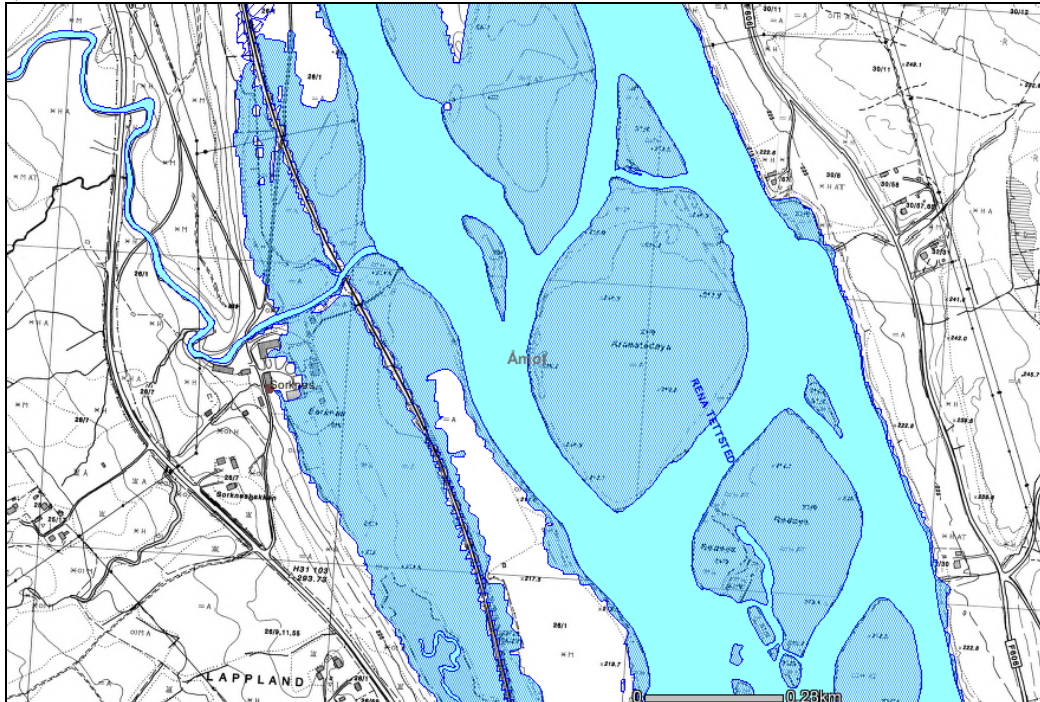
Figur 42 viser 20 og 50 års flomsonekart for kulturminnet Sorknes gård ved Glomma i Åmot kommune i Østerdalen, Hedemark. 100, 200 og 500 års flomsonekartene viser en vidre gradvis oversvømmelse av alle bygningene på gården. Hvis klimaendringer fører til at 20 års flommer blir 10 års-flommer, 200 års flommene blir 100 års-flommer o.s.v. vil gården oppleve delvis (eller hel) oversvømmelse dobbelt så ofte (flere av bygningene vil ved flommer få tilordnet risikofaktorer, $r > 0$). Dette vil være en stor belastning og en direkte trussel mot de mest utsatte bygningene.

a)



Figur 42: Total sårbarhet for klimaendringer for en samling kulturminner/miljøer i en kommune er summen av sårbarheten til de enkelte utsatte kulturminnene/miljøene. Figuren viser 20 og 50 års flomsonekart a) og b) for Sorknes gård c) i Åmot kommune i Østerdalen, Hedemark. (Kilder: a og b: <http://arcus.nve.no/webseite/flomsonekart>, c: Foto: Terje Grøntoft, 2008).

b)



c)



Figur 42: forts.

6.1.2 Råte i treverk

Risikoen for og / eller hastigheten på mer gradvise nedbrytningsprosesser, som f.eks. råte i treverk kan også endres når klimaet endrer deg. Vurderingen av sårbarhet kan i disse tilfellene gjøres med en liknende fremgangsmåte som beskrevet over for flom. For gradvise nedbrytningsprosesser finnes ofte kvantitative og kontinuerlige dose-respons likninger som kan brukes til å vurdere skade-risiko. Analysen av sårbarhet for råteskader i vernede trebygninger p.g.a. klimaendringer kan gjøres i fem trinn:

1. Vurdering av risiko for klimaeksponering.
2. Vurdering av følsomheten til bygninger og materialer.
3. Vurdering av muligheten for tilpasninger til klimaendringer ved forvaltningen av bygningene.
4. Vurdering av bygningenes sårbarhet for klimaendringer.
5. Vurdering av beste handlingsstrategi for å minimere sårbarhet.

Et eksempel på en slik punktvis analyse kan være:

1. Mer råteskader i vernede trebygninger er forventet i kommunen (f.eks. Røros) p.g.a. et våtere og varmere klima.
- 2a. Råte-funksjoner viser at en kombinasjon av fuktighet / nedbør og temperatur er bestemmende for råteangrep.
- 2b. Kartlegging av råte-risiko for Europa (Noahs Ark, 2008-2) viser en forventet økning i råte-risiko for østlige deler av Sør Norge, fra 1975 til 2025 på omtrent 12.5 %, $r * dose = 1,13$, og fra 1975 til 2075 på omtrent 50 %, $r * dose = 1,5$, når man antar $r * dose = 1$ i dagens situasjon.
3. Med dagens overflatebehandling / beskyttelse av bygningene kan forventet levetid for materialene være f.eks. 100 år for overflatematerialer og 200 år for strukturelle materialer.
4. Fremtidig levetid for materialene i bygningene kan da beregnes å være gitt ved:

$$\begin{aligned}
 \text{Fremtidig levetid} &= \text{Dagens levetid} * (\text{Dagens råterisiko} / \text{Fremtidig råterisiko}) \\
 &= \text{Dagens levetid} * (1 / r * dose) \qquad (5)
 \end{aligned}$$

Levtiden for materialene vil, med disse betingelsene, reduseres slik at overflatematerialer vil ha en levetid på 90 år i 2025 og 70 år i 2075. Strukturelle materialer vil ha en levetid på 180 år i 2025 og 130 år i 2075.

5. Spørsmålet er så om sårbarheten kan minimeres ved tilpasningstiltak og i tilfelle hvilke tiltak som er mest regningssvarende. Kanskje vil man vurdere det som best (mest lønnsomt) å akseptere nedbrytningen og heller skifte ut materialer i bygningen oftere. I så tilfelle aksepteres sårbarheten som følger den økende følsomheten. Alternativet er å finne nye kostnadseffektive behandlings eller beskyttelsesmetoder. Dette kan senke følsomheten og dermed sårbarheten, men størrelsen på tilpasningskostnadene må vurderes.

Betydningen av dette eksempelet illustreres ved meldingen i NRKs nettnyheter 26.10.2006 om råte i Røros kirke:

“Det er råte i gulv og i golvkonstruksjoner, det er prekært, sier kirkeverge Bjørg Helene Skjerdingsstad til NRK. Etter flere års arbeid foreligger det en rapport om hva som må gjøres med bygningen. Kirken har fortsatt store deler av det originale byggverket og forslaget er å prøve å beholde mest mulig, selv om det innebærer mye arbeid. Den over 200 år gamle kirken dominerer i Røros sentrum og ordfører John Helge Andersen, legger vekt på hvor viktig den er for kommunen. - Kirken er det viktigste symbolet vi har som et ledd av verdensarven, det er viktig at vi sørger for at den vedlikeholdes bedre enn det har vært gjort tidligere, sier Andersen. Arbeidet er antatt å koste 72 millioner kroner. Både kirkevergen og ordføreren håper at de kan få plass i statsbudsjettet for neste år.”

a)



b)



Figur 43: Råte i treverk. Mer nedbør og høyere temperatur vil gi mer råte i treverk og øket sårbarhet eller økede tilpasningskostnader knyttet til vedlikehold. Bildene viser a) Røros kirke, og b) Råte i treverk i eldre bygning i Maridalsveien i Oslo (Kilder: a. <http://www.nrk.no>, b Foto: Terje Grøntoft, 2007).

6.1.3 *Generell fremgangsmåte for sårbarhetsanalyse for kulturminner i kommunene*

Som en generell fremgangsmåte for sårbarhetsanalyse for kulturminner i kommunene kan følgende punkter settes opp:

1. Spesifiser utsatt kulturarv (eller annet) i kommunen med hensyn til den gitte hendelsen / effekten.
2. Bestem avgjørende (tilgjengelige) klimaparametere og anslå forventet klimaendring og eksponeringsrisiko for kulturarv-objektene.
3. Bestem følsomheten til de aktuelle kulturarvobjektene og finn total følsomhet ved å addere følsomheter.
4. Iverksett beredskaps og / eller tilpasningstiltak tilpasset følsomhetsnivået:

Målet med analysen og tiltak er da å **minimere sårbarhet**. Dette oppnås når nytten ved redusert følsomhet minus kostnadene ved beredskaps / tilpasningstiltak maksimeres.

Forventede konsekvenser av klimaendringene for kommunenes forvaltning av kulturminner og miljøer vil innebære at nye hensyn må tas med i forvaltningens tekniske og administrative prosedyrer og at nye prosedyrer må etableres der det er nødvendig for å sikre seg best mulig. Dette vil være tiltak som fokusert overvåking og inspeksjon, hyppigere planlagt vedlikehold, tekniske tilpasninger, ekstra beskyttende tiltak særlig mot ekstremhendelser og beredskap mot ekstremhendelser. Samtidig må kommunene regne med økte generelle driftsutgifter til vedlikehold av kulturminner og miljøer. Spesielle tiltak for å beskytte kulturminner og miljøer vil avhenge både av type eksponering og følsomhet / effekt. Etter at en følsomhetsanalyse er gjort kan konkrete tiltak være f.eks.:

- **Forbud mot bygging** på spesielt utsatte steder (strandsonen, rasutsatte områder etc.)
- **Teknisk sikring** mot flom (diker, voller etc.), ras (bolting, planting av trær etc.), vind (skjerming med levegger, trær etc).
- **Forsterking** av bygde konstruksjoner og overflater ("Vestlands-bygging på Østlandet", bedre grunning / forbehandling av trematerialer etc.)
- **Bruk av mer bestandige materialer / konstruksjoner.**
- **Økende frekvens av vedlikehold** av overflater (e.g. maling, vasking, rustbeskyttelse).

Tilgjengelig informasjon og forskning tyder på at klimabelastningen på kulturminner og miljøer i norske kommuner kommer til å øke i dette århundret. Akkurat hvordan og hvor store endringene vil bli er usikkert, men forskningen kan gjøre noen informerte antakelser (Kapittel 5). Kommuner som forbereder seg

på at klimaendringene kan få betydning for bevaringen av deres kulturminner og miljøer, ved å gjøre noen analyser av sannsynlige konsekvenser og inkludere klimaeffektene i sine bevaringsplaner vil sannsynligvis oppnå en både bedre og billigere bevaring av sin kulturarv.

7 Referanser

Drdácký, M., Bláha, J., Bryscejn, J., Herle, I., Mašin, D., Pospíšil, S. and Sližková, Z. (2006) Scientific reference on mechanical damage and failures of historic structures due to weather effects and related natural disasters and their mitigation strategies and measures. Deliverable 7 in the EU project Noah's Ark.

URL: <http://noahsark.isac.cnr.it/deliverables/D07.html>

Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A., og Sorteberg, A. (2007) Opptil en meters havnivåstigning langs Norskekysten innen år 2100. *Cicerone*, 16, nr. 2, 29-31.

DSB (1994) Veileder for kommunale risiko- og sårbarhetsanalyser.

URL: http://www.dsb.no/File.asp?File=Publikasjoner/risiko_saarb-analyse_150.pdf

Førland E., Amundsen, H. og Hovelsrud, G.K. (2007) Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer. Utredning på oppdrag fra Statens Landbruksforvaltning. Oslo (CICERO Report 2007:03).

Haagenrud, S., Veit, J., Eriksson, B. og Henriksen, J. F. (1998). EU project ENV4-CT95-0110 Wood Assess. Project Deliverable no. 5 – Final report. NILU report, OR 40/98.

IPCC (2001) Climate change 2001. Impacts, adaptation and vulnerability. Ed. By McCarthy, J.J., Canziani, O.F., Leary, N.A., Dokken, D.J. and White, K.S. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (2007a) Climate change 2007. The physical science basis. Ed. By Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignnor, M. M. B., Miller Jr, H. L. and Chen, Z. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC (2007b) Climate Change 2007. Impacts, adaptation and vulnerability. Ed. By Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., van der Linden, P. and Hanson, C. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University Press.

Miljøverndepartementet (2008a) Klima.

URL: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/tema/klima.html?id=1307>

Miljøverndepartementet (2008b) Klimatilpasning.

URL: <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/tema/klima/Klimatilpasning.html>

Noah's Ark (2008a) The Noahs's Ark project. Atlas and guidelines. Project no. SSPI-CT-2003-501837. ISBN 9788890302800. Under arbeid

Noah's Ark (2008b) Global climate change impact on built heritage and cultural landscapes. URL: <http://noahsark.isac.cnr.it/>

NVE (2008) Norges vassdrags- og energidirektorat. URL: www.nve.no

NVE (2008) NVE Atlas flomsonekart.

URL: <http://arcus.nve.no/website/flomsonekart/viewer.htm>

seNorge.no (2008) Snø, vær, vann og klima i Norge. URL: <http://www.senorge.no>

Standard Norge (1995) Tilstandsanalyse for byggverk - innhold og gjennomføring. Oslo (NS 3424:1995).

Standard Norge (2000) Livssyklus kostnader for byggverk - prinsipper og struktur. Oslo (NS 3454:2000).

Standard Norge (2003) Automatisk fredede kulturminner - registrering av tap og skade. (NS 9450:2003).

Standard Norge (2004) Tilstandsanalyse for fredede og verneverdige bygninger. Oslo (NS 3423:2004).

Storemyr, P (1997) The Stones of Nidaros. An Applied Weathering Study of Europe's Northernmost Medieval Cathedral. Doktor Ingeniøravhandling 1997:92. Institutt for arkitekturhistorie. NTNU, Trondheim.



Norwegian Institute for Air Research (NILU)

P.O. Box 100, N-2027 Kjeller, Norway

Associated with CIENS and the Environmental Research Alliance of Norway

ISO certified according to NS-EN ISO 9001

RAPPORTTYPE OPPDRAKS RAPPORT	RAPPORT NO. OR 48/2008	ISBN 978-82-425-2007-4 (trykt) 978-82-425-2008-1 (elektronisk) ISSN 0807-7207	
DATO	SIGN.	ANT. SIDER 61	PRIS NOK 150,-
TITTEL Effekter av klima og klimaendringer på den bygde kulturarven Nedbrytningsmekanismer og sårbarhet		PROSJEKTLEDER Terje Grøntoft	
		NILU PROSJEKT NR. B-106033	
FORFATTER(E) Terje Grøntoft og Miloš Drdácý		TILGJENGELIGHET * A	
		OPPDRAKSGIVERS REF.	
OPPDRAKSGIVER Norsk institutt for luftforskning/Norwegian Institute for Air Research			
REREFAT Menneskeskapte klimaendringer forventes å bli større utover i dette århundret og føre til effekter på natur og samfunn. I et varmere, våtere og mer skiftende klima vil nedbrytningen av infrastruktur, bygninger og også kulturarv og kulturminner gå raskere. Del 1 av denne rapporten beskriver værelementene, tilknyttede skademekanismer og grunnlaget for en skadebeskrivelse for kulturarv og kulturminner. Del 2 beskriver forventede virkninger av klimaendringer på nedbrytningen og bevaringstilstanden for kulturarven i Norge og de grunnleggende ideene i en sårbarhetsanalyse for kulturarv slik den kan gjennomføres i Norske kommuner.			
TITTEL Effects of climate and climate change on built cultural heritage. Degradation mechanisms and vulnerability.			
STIKKORD Climate change	Cultural heritage, degradation	Adaptation, vulnerability	
ABSTRACT (in Norwegian) Climate change resulting from green house gas emissions are expected to become larger during this century and to have effects on nature and society. In a warmer, wetter and more changing climate the degradation of infrastructure, buildings and also cultural heritage will be faster. Part 1 of this report describes the weather, related damage mechanisms and the basis for a damage description for cultural heritage. Part 2 describes expected effects of climate change on the degradation and conservation state of Norwegian cultural heritage and the basic ideas in a vulnerability analysis for cultural heritage that can be performed in Norwegian municipalities.			

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