

Fra "Luftangrep" til klimaendring:

Forvitring på Nidarosdomen i historisk og politisk kontekst

Innledning

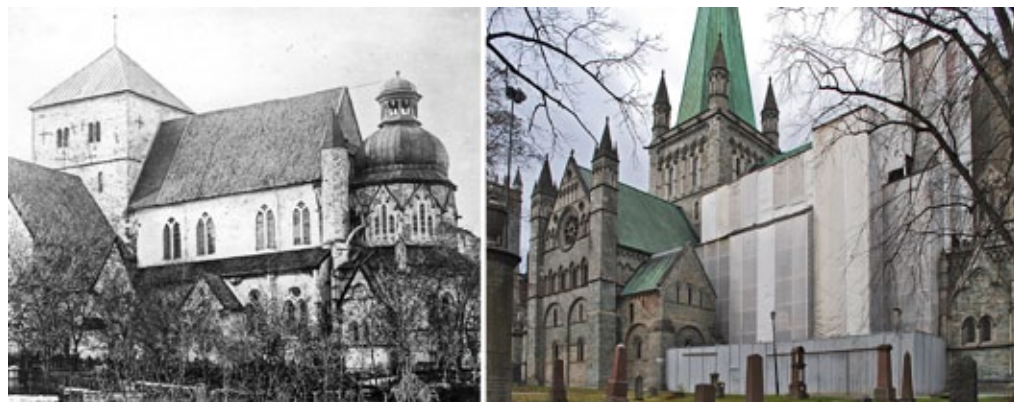
... Men lige saa fortreffelig som denne Steen er, i Henseende til sin styrke imod Ildens Kraft [...], saa slet er den derimod at bruge i Luften [...]. Det største Beviis paa dette have vi fra Norge selv, hvor nemlig Thrundhiems Domkirke af dette slags Steen [...] er oppført, men som af Luften, Solen, Slud og Regn, er saa ille tilreede, at dersom Blokkene [...] ikke var desstørre og førere, det heele Værk længe siden var gaaet til Grunde.¹

Den danske arkitekten Lauritz de Thura hadde ikke mye godt å si om bestandigheten til Nidarosdomens kleberstein i sitt verk *Den Danske Vitruvius* som ble utgitt i 1746-49. Men det dreier seg ofte om hvilke øyne som ser og bare et tiår senere kom Gerhard Schøning med en mer edruelig beskrivelse av forholdene:

Paa den Side, som vender ud ad, ere de alle, saa mange som ei af Ælde eller andre Tilfælde har taget Skade, og af Luften tildeels ere fortærede, heel jevne, at man intet Tegn kan see dertil, at de med Jern ere hugne, men saa glatte, som de vare savede og siden høvlede.²

Begeistret for klebersteinens egenskaper var også den tyske friherren Alexander von Minutoli da han besøkte Trondheim på midten av 1800-tallet:

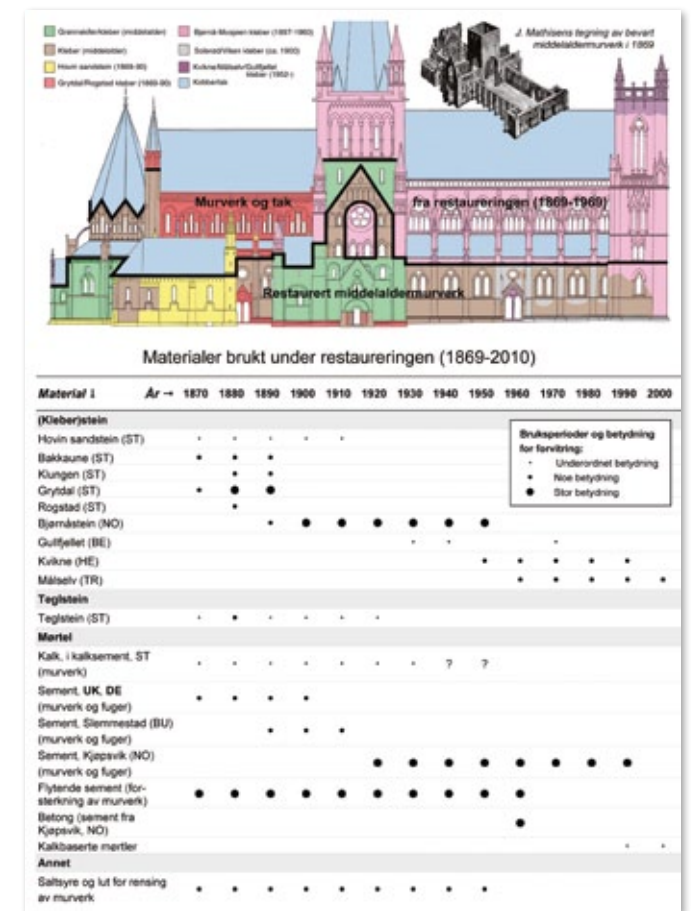
Nærmere undersøkelser av de svært godt bevarte skulpturene viste at de var hugget av kleberstein. Dette berettiget til formodningen om at denne steinen ikke bare er bestandig under de vekslende temperaturforholdene i nord, men at den også har en betydelig motstandskraft mot brann.³



Figur 1. Nidarosdomen fra sørøst før restaureringen startet i 1869, foto: NDR og under restaurering (koret) høsten 2009, foto: P.Storemyr
Nidaros cathedral from SE before the restoration started in 1869 and under restoration in 2009.

de Thura, Schøning og von Minutoli beskrev Nidarosdomen mens langskipet ennå lå i grus etter brannen i 1531 og mens resten av murverket var preget av datidens stil og århundrer med manglende vedlikehold (fig. 1). Dessuten holdt "Den lille istid", perioden fra senmiddelalderen til slutten av 1800-tallet, fortsatt sin frostkalde hånd over restene av det middelalderske verk. Beskrivelsene kunne ha passet for en rekke middelalderske bygninger med murverk eller dekor av kleberstein før bevaringstanken slo gjennom midt på 1800-tallet. Gjenoppbygging, reparasjon og vedlikehold i en moderne og klimatisk noe mer behagelig tid endret naturligvis risikoen for skader. Nesten slutt var det på brannskader, tårn som deiset i bakken under sterke stormer, vann som uhindret kunne renne ned og fryse i murene og viltert buskas på murkronene. Men det var likevel ikke slutt på forvitringen; den fikk bare et annerledes mønster etter hvert som nye murer møysommelig ble oppført, tak ble lagt, mange dårlige kleberstein ble tatt i bruk, kalkmørtel ble en saga blott, hard Portlandsement tok over (fig. 2) – og luftforurensning økte i byene.⁴

Hvordan ser dette "nye" forvitrimønsteret ut? Hva er årsakene til at det fortsatt forvitrer? Som på herrerne de Thura, Schøning og von Minutolis tid er svarene avhengig av øynene som ser. Men de er også avhengig av kunnskap og samfunnsmessige og politiske forhold. Forvitring var et daglig tema for håndverkerne, byggmestrene og arkitektene som sørget for gjenoppbyggingen av Nidarosdomen fra 1869 til 1969. Selv om de naturvitenskapelige årsakene sjelden var kjent, hadde de fleste et velfundert, praktisk forhold til hver enkelt steins gode og dårlige egenskaper. På 1970-tallet og spesielt fra midten av 1980-tallet ble det vanskeligere. Da nådde det alarmerende budskapet fra Europa om "akselererende skader av luftforurensning" også Trondheim og forvitring ble for første gang gjenstand for offentlig debatt. Og da var ikke lenger den enkelte håndverkens forståelse av forvitring god nok; naturvitenskapelig forskning ble tatt i bruk for å få et grep på det hele. Debatten toppet seg under og etter utstillingen "Luftangrep – en fare for våre kulturminner" i 1989 – i en tid hvor miljøbevegelse og "bærekraftig utvikling" hadde sine glansdager. Selv om trusselen fra luften ganske raskt ble tonet ned, markerte utstillingen starten på



Figur 2. Oversikt over de viktigste materialene brukt under restaureringen av Nidarosdomen 1869-1969 (2009) med angivelse av deres (negative) betydning for forvitring. Oppsummering på grunnlag av Storemyr (1997). / Overview of the most important materials used for the restoration of Nidaros cathedral 1869-2009.

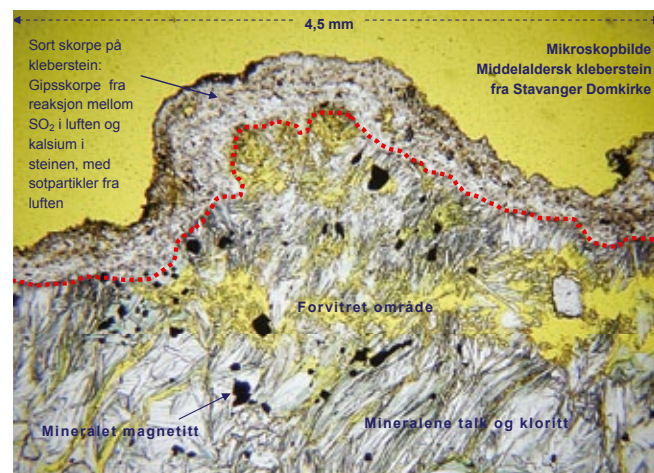
en betydelig forskningsinnsats om forvitring av steinbygninger i Norge. "Luftangrep" danner utgangspunktet for denne artikkelen som vil følge debatten om forvitrings årsaker frem til dagens restaurering av koret på Nidarosdomen – og inn i fremtiden: Nå snakkes det ikke lenger om luftforurensning, men om klimaendring. Hvor viktig var luftforurensning og, selv om det er vanskelig å spå, hvor viktig vil klimaendring bli?⁵

Luftforurensning og steinskader – et kort tilbakeblikk

Nidarosdomen smuldrer gradvis opp! Dette mektige arkitektoniske fjell [...] er i dag sterkt angrepet av noe man populært kaller forvitring. Det kan skyldes luftforurensninger, forsmurning av nedbøren, sjoovelregn, kulde og issprengning, parret med stenens dårlige kvalitet. Man vet ikke sikkert. Det er ikke undersøkt.



Figur 3. Aftenpostens førstesideoppslag 11. november 1971. / Article on weathering of Nidaros cathedral at the front page of "Aftenposten" 11 November 1971.



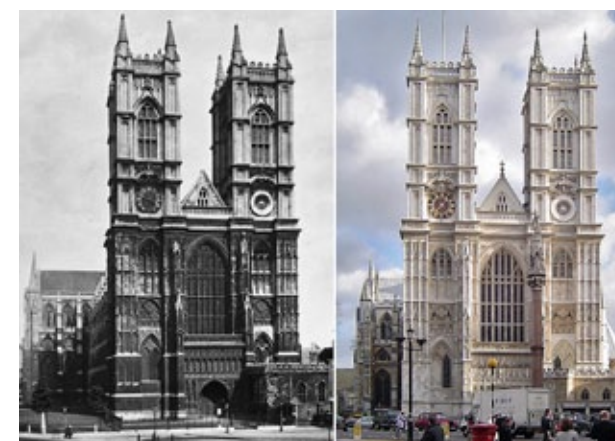
Figur 4. De verst tenkelige luftforurensningsskadene på kleberstein sett gjennom mikroskopet: Dannelse av sorte skorper ved reaksjon mellom svoveldioksid i luften og kalsium i steinen og oppsmuldring av steinen like under skorpen. Oppsmuldringen skjer bl.a. ved krystallisering av gips. De fleste klebersteiner er for tette (for lite porøse) til at det kan dannes et oppsmuldring område under skorpen. Den sorte fargen på skorpen kommer fra sotpartikler i luften og delvis mikroorganismer. Disse kan ses som sorte prikker på bildet. Prøve fra Stavanger Domkirke. Foto: P.Storemyr. / The worst possible damage of soapstone due to weathering caused by air pollution as seen through the microscope: Development of a black crusts on the surface and disaggregation below the crust.

Ved siden av et dramatisk bilde av en forvitret vannsperer sto dette å lese torsdag 11. november 1971 øverst på Aftenpostens førsteside (fig. 3). Inne i avisen ble oppslaget fulgt opp med en detaljert beskrivelse av forvitringsproblemene og en invitasjon til landets forskningsmiljøer om samarbeide for å finne årsakene. Norsk Institutt for Luftforskning (NILU) tok utfordringen og i 1973 kom den korte rapporten "Steinforvitring Nidarosdomen".⁶ Undersøkelsen gav ikke noe tydelig svar på om luftforurensning⁷ bidro til økt forvitring, men utdypet kunnskapen om den notoriske Grytdalsteinen som ble tatt i bruk fra starten av restaureringen omkring 1870 (fig. 2). Allerede fra 1916 og utover måtte man skifte ut store mengder av denne steinen;⁸ den rustet (og ruster fortsatt) praktisk talt i stykker på grunn av det store innholdet av magnetkis – et mineral som også fører til dannelse av det samme skadelige saltet som luftforurensning gjør, nemlig gips (fig. 4).

Oppslaget i Aftenposten var etter alt å dømme et av de første bidragene til folkeopplysning om luftforurensningenes mulige skadevirkninger på kulturminner i Norge. Kunnskap om slike virkninger kan daværende domkirkearkitekt Helge Thiis ha fått

fra sine kolleger ved andre katedraler i Europa. Flere steder, f.eks. i London (fig. 5, 6 og 7), hadde luftforurensning og nedsoing av bygninger som følge av kullfyring vært et tema siden middelalderen, i noen tilfeller helt fra Romertiden,⁹ og fra det senere 1800-tallet og utover ble det utgitt flere vitenskapelige verk om årsaker og virkninger.¹⁰ Norges store geolog Johan H. L. Vogt beskrev temaet inngående i sin bok om norsk marmor fra 1896.¹¹ Faktisk var luftforurensningskader på stein i store byer og industristrøk så velkjent for over 100 år siden at det siden den gang ikke har blitt utført forskning som har rökket ved vår grunnleggende forståelse av emnet.¹²

Etter den andre verdenskrig, og mange steder vesentlig tidligere, var det ikke lenger bare de store metropolene som ble utsatt for sterk luftforurensning. Kull- og oljefyring og et stort antall industrier spredte seg i alle land og regioner og utslippene av forurensende gasser, spesielt svoveldioksid, nådde de fleste steder toppen mellom 1960 og 1980,¹³ før miljøtanken slo gjennom og utslipp generelt ble regulert. Helseproblemer og dødelighet hos mennesker på grunn av smog hadde et omfang i etterkrigstiden det nesten er vanskelig å forestille seg i dag, bare 40-50 år senere (hvis man da ikke befinner seg i Kairo eller Beijing!). Det var imidlertid

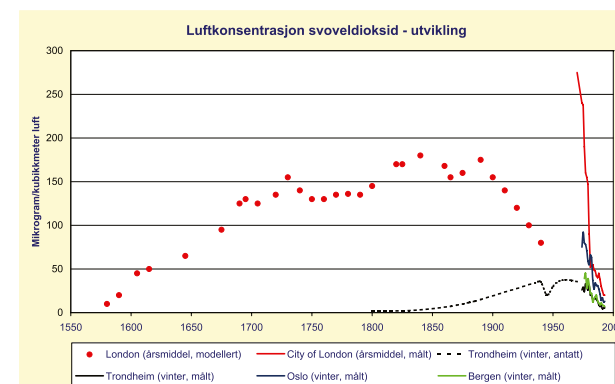


Figur 5. Westminster Abbey i London med store deler av vestfasaden dekket av sorte skorper i 1913 (foto: Library of Congress, <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3c07039>) og i 2005 etter rengjøring og delvis kalking på 1990-tallet (foto: Gordon Joly, Wikipedia, http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Westminster_Abbey_London_900px.jpg). / Westminster Abbey in London with the west façade covered by black crusts in 1913 and after cleaning and partial whitewashing in 2005.



Figur 6. Notre Dame i Paris. Vestfasaden dekket av sorte skorper i 1901 (foto: Library of Congress, <http://hdl.loc.gov/loc.pnp/cph.3b17261>) og etter rengjøring i 2004 (foto: P.Storemyr). Notre Dame in Paris with the west façade covered by black crusts in 1901 and after cleaning in 2004.

Figur 7. Utvikling av luftkonsentrasjonen av svoveldioksid. Kilder: Modellerte verdier for London i Brimblecombe (2000: 33); målte verdier for London etter websiden til City of London (http://www.cityoflondon.gov.uk/Corporation/LGNL_Services/Environment_and_planning/Pollution/air+quality.htm); Målte verdier for Trondheim, Bergen og Oslo etter Hagen (1994); antatt utvikling i Trondheim etter Storemyr (1997: 135-143). Legg merke til at de norske verdiene er middelverdier for vintermånedene, da svoveldioksidkonsentrasjonen var høyest, mens verdiene fra London er årlige middelverdier. / Historical development of air concentration of sulphur dioxide in London, Trondheim, Oslo and Bergen.



enorme regionale forskjeller. Mens de store byene og industristrøkene ble kvalt i den dårlige luften og Sør-Norge dusjet i sur nedbør fra Kontinentet og Storbritannia, var f.eks. Trøndelag forskånet fra de verste virkningene av industrialderen; sur nedbør har f.eks. knapt vært et tema i landsdelen. I Trondheim var det bare de begrensede, lokale utslippene i og omkring byen som påvirket mennesker, natur og bygninger – fra den første importen av engelsk svovelrik kull omkring 1820.¹⁴ Likevel var det tidvis sterke protester fra naboer som ble berørt av utslippene til en industribedrift som Lilleby Smelteverk (senere Ila og Lilleby Smelteverker, nå Fesil), tidligere en av de største forurenserne i Trondheim.¹⁵

De reduserte utslippene av svoveldioksid og sot fra industri og fyring førte i løpet av 1980-tallet til drastiske forbedringer av luftkvaliteten. I Trondheim sank luftkonsentrasjonen av svoveldioksid om vinteren fra gjennomsnittlig 30 µg/m³ i 1970-årene til rundt 5 µg/m³ ved overgangen til 1990-tallet (fig. 7).¹⁶ Disse verdiene er lavere enn i Oslo og Bergen og svært lave i forhold til hva som ble målt i Europas storbyer, dog var daglige konsentrasjoner ofte en del høyere (opp til 100 µg/m³), spesielt i kalde perioder med inversjon og lite vind.¹⁷ Men dette er naturligvis neglisjerbart mot de flere tusen µg/m³ folk i f.eks. London gjennom hundreårene ofte måtte tåle – eller døde av.¹⁸ Siden den gang er det støvskyene og dels nitrogenoksider fra trafikken som har opptatt trondhjemmere; svoveldioksid og sot var en saga blott for over 20 år siden.

Oppslaget om Nidarosdomen i Aftenposten i 1971 og den etterfølgende undersøkelsen hadde liten varig innflytelse. Den offentlige bevissthet om luftforurensningens innvirkninger på kulturminner generelt og Nidarosdomen spesielt fikk først et oppsving i Norge i årene rett før 1990. Oppsvinget henger sammen med en dramatisk økning av den internasjonale forskningsinnsatsen på feltet og store medieoppslag om hva man trodde var akselererende skader på bl.a. Kølnerdomen og Akropolis,¹⁹ men naturligvis også med miljøtankens generelle framgang i løpet av 1980-tallet, symbolisert ved Brundtland-kommisjonens rapport "Vår felles fremtid" (1987). Paradoksalt nok fant oppsvinget sted da de mest skadelige utslippene (svoveldioksid) var på full fart nedover i mesteparten av Vest-Europa og mange steder, som i Trondheim, allerede var redusert til et minimum. Men det må legges til at "forurenset", svart stein vanligvis ikke kan "helbrede" seg selv og derfor må den nærmest paniske innsatsen også ses i lys av et følt behov for rengjøring og konservering.

"Luftangrep – en fare for våre kulturminner"

Sverige var et av landene som på 1980-tallet startet et stort forskningsprogram om luftforurensningens innvirkning på kulturminner.²⁰ Hånd i hånd med oppbygging av forskningsprogrammet gikk offentlige, opinionsdannende tiltak, hvorav et de viktigste var utstillingen "Luftangrep" som ble vist på Historiska Museet i Stockholm høsten 1987 og senere i Göteborg, Visby og Helsinki. Utstillingen var kraftig kost! Kunstnerne Peter Tillberg og Roj Friberg tok i bruk sterke visuelle virkemidler og koblet luftforurensning og steinforvitring til det moderne samfunnets ødeleggelse av natur, til forfall og død. Drivhuseffekt og klimaendring ble også tatt opp – et tidlig eksempel på det som nå er en del av debatten i hverdagen. De sterke virkemidlene gav garantien for suksess: I løpet av 3 sommermånedene ble utstillingen sett av 90.000 mennesker i Visby, det er 1000 pr. dag – et overveldende antall til tross for at det var midt i ferietiden.²¹

Nordiske politikere hadde tidlig uttrykt ønske om at utstillingen skulle være konsipert som en nordisk/internasjonal vandretutstilling. Elin Dahlin, som ble hyret inn for å arbeide med den skadde steinsamlingen til Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR) etter brannen i Erkebispegården i 1983, gikk sterkt inn for at den også burde vises i Trondheim. I samarbeid med flere andre institusjoner (bl.a. Riksantikvaren og Vitenskapsmuseet) lyktes det NDR å reservere utstillingen fra mai til august 1989. Det ble satt i gang et stort arbeid for å tilpasse utstillingen til

Nidarosdomen og norske forhold – og det ble inngått et samarbeid med SINTEF Bergteknikk som fikk i oppgave å forske på årsakene til at stein forvitret.

Utstillingens tyngde ble understreket av at Kronprins Harald sto for den offisielle åpningen 27. april 1989. Som i Sverige ble den norske versjonen en dundrende suksess. Det kom 25.000 mennesker, med andre ord 250 hver dag. Viktigere var kanskje de svært mange oppslagene i landets storaviser, i radio og i særdeleshet i Adresseavisen. Vi hører bl.a. om *Luftangrep på Vestfronten* (Adressa 7.3.89), *Trussel fra luften* (Adressa 22.4.89), *Mord på katedralen* (Dagbladet 12.5.89) (fig. 8) og *Nifse greier fra luften* (Adressa 10.6.89). Det lå tydeligvis noe dypt symbolsk i at Norges viktigste kulturminne, metaforen for landets historie, angivelig ble ødelagt av vår lettvinde omgang med ressurser, natur og miljø. Utstillingen høstet etter suksessen i Erkebispegården nye laurbær i Tallinn, Bergen, Haag, London, Krakow og Riga og hadde også æresrunder i Stockholm og Göteborg.

Sett fra dagens perspektiv gav utstillingen et svært ensidig bilde av årsakene til forvitring av steinbygninger. Kunnskapen på feltet var lav i Norge for 20 år siden og dette var jo også et av hovedargumentene for utstillingen; å generere ny kunnskap for å bidra til både bedre miljø og konserveringsmetoder. Symbolet for utstillingen, en forvitret vannspyer av Wilhelm Rasmussen fra 1910, fortvilt ropende om hjelp (fig. 9), kan stå som symbol på den manglende kunnskapen: Vannspyeren er hugget i kleberstein fra Bjørnådalen ved Mosjøen, NDRs viktigste steinbrudd for Domkirken gjenoppbygging fra 1897 til 1958. Det kan ikke utelukkes at luftforurensning bidro til forvitring av denne steintypen, men kun i ytterst begrenset grad. Forvitringen er nemlig like sterk i steinbruddet selv, på gravmonumenter og på restaurerte deler i flere middelalderkirker på landsbygda der det knapt har forekommet luftforurensning, f.eks. på Stiklestad. Den sterke forvitringen er altså et helt naturlig fenomen.²²



Mord på katedralen

TRONDHEIM (Dagbladet): «Dråpen uthuler stelen» var en gang et optimistisk bilde — en metafor på de positive kreftenes evne til å overvinne makt. Utstillingen «Luftangrep» i Trondheim kunne ha brukt samme utsagn som tittel, men da lest som en direkte beskrivelse.

For så bokstaveilig kan det gå til når den sure nedbøren angriper våre kulturminner. Det får vi syn for i møtet med en nærmest forvitret vannspyer, som har blitt «pensjonert» fra sin gamle plass på Nidarosdomen og erstattet med en kopi. Den skrikende munnlingen er såvisst ikke den eneste figuren som har lidt steindøden på nasjonalhelligdommen, som ligger et steinsøst fra Erkebispegården der utstillingen vises. Det er altså ikke vankeelig å føre bevis for det som tidligere ble karakterisert som «dønnedagsprofetier» fra «ansvarlig hold».

Ord og handling
Derfor opptrer både ordforer Berge og miljøvernminister Ranbeck med bekymrte bidrag i katalogen, samtidig som de med sin utstrakte politikk for nittitåra legger op til mer luftforurensning innen en endring kan skje. Samtidig skriver konservator Elin Dahlin at om Nidarosdomen i framtida ikke skal bli en kopi av seg selv, så må vi løse problemene med forurensningen nå. Kanskje må hun som sine venezianske kolleger på syttitallet sette opp skilt med «Se opp for fallende engler!»

«Luftangrep» ble produsert av Historiska Museet i Stockholm for to år siden, og der ses av 120 tusen mennesker. Dens styrke ligger like mye i

den kunstneriske iscenesetningen som i dens dokumentariske dybde besjeler. På det siste området har for øvrig en rad lokale arbeidsgrupper gjort et kjempesøst med å framskaffe relevant og supplerende materiale, og ikke minst produsert ein tankevekkende utstillingsavis.

Sterkt
De to kjente svenske billedskaperne Roj Friberg og Peter Tillberg er hovedansvarlige for den suggestive utformingen. De griper til dels til sterke virkemidler, og tematikken gir ingenting grunn i det dempende leiet. Akomsten gjennom stadig mer forvitret kirkeportaler signert Friberg er ingen lystlig opplyst. Deretter avsluttes han med all tydelighet hvordan «Luftangrep» virker på kultur og natur, for endelig å konfrontere oss med en katedral-liknende installasjon der dødens representanter står. Et attack på sunnene med teatralit trøkk.

I denne sammenheng dreies også betydningen i Fribergs bilder av forvitrende maktsymboler som katedraler og triumfbuer fra det metaforiske og mot det faktiske beskrivende. Tillbergs «titelskap» uttyder alternativene mellom likeyldighet, halvhetethet og innsløttfullt konsesvent politikk, der desverre aneglefar ten i alternativt to fortsatt er den, i beste fall, råddende. Likevel gir også Tillberg oss et håpefullt bilde, og det i form av en bladformet, grønne firkant over et blyhav. Dagens økologiske faresignaler har global effekt, og selv om ansvar for å styre utenom dem kan fordies — så er vi alle i samme båt.

Harald Flor

Figur 8. Dagbladets kommentar til utstillingen "Luftangrep" 12. mai 1989. / "Murdering the cathedral" - comment by "Dagbladet" (12 May 1989) on the exhibition "Air Attack" in Trondheim 1989.

Figur 9. Logo til utstillingen "Luftangrep", en forvitret, forvitret vannspyer av Wilhelm Rasmussen fra 1910 (etter Dahlin og Kjeldsberg 1990). Forvitringen av steinen, en kleber fra Bjørnådalen ved Mosjøen er imidlertid naturlig. I dag er denne og de fleste andre vannspyere på skipet skiftet ut med kopier. Bakgrunnsbilde fra skipets nordside. Foto: P. Storemyr 2009. / The logo of the exhibition "Air Attack", a desperate gargoyle from 1910 at Nidaros cathedral. Weathering due to natural causes, gargoyles made from this particular stone have now been replaced by copies.

Forvittringsforskning etter "Luftangrep"

Umiddelbart etter "Luftangrep" bevilget det daværende Norges Allmennvitenskapelige Forskningsråd (NAVF, nå del av Norges Forskningsråd, NFR) støtte til prosjektet "Konservering av kleberstein i Nidaros domkirke" (1990-91), et samarbeid mellom NDR, NILU, Riksantikvaren og SINTEF Bergteknikk, med sistnevnte som prosjektleder. Prosjektet rettet seg i all hovedsak mot forståelse av forvittrings fenomener og utviklet seg omgående til et uformelt paraplyprogram der flere av de deltakende institusjonene trakk inn ytterligere nasjonale og internasjonale samarbeidspartnere og prosjekter. Spesielt må det nevnes at Lisbeth Alnæs i sin doktoravhandling om bestandighet av naturstein (1995) viet stor plass til klebersteinsforvitring på grunnlag av materiale innsamlet i NAVF-prosjektet. Prosjektet inkluderte fem diplomarbeider ved NTH (senere NTNU) og det ble utgitt en rekke rapporter og artikler om temaer som spente fra bevaringsideologi til steinforvittringsanalyser, miljømålinger, ikke-destruktiv testing, mørtelproblematikk og dokumentasjon.²³

| Prosess | Typiske fenomener | Typiske mekanismer | Typisk utseende |
|---|--|--|---|
| Oppsprekking av murverk | Åpning av fuger, sjeldnere riss og sprekker tvers gjennom stein | Bevegelser i bygningen (trykk og spenninger, setninger, vindlast). Frostforvitring; forekommer ofte ved bruk av harde, ufeleksible sementmørtler | Fugesprekker på korets sandre tårn (ulike kleber, sementfuger) |
| Frostforvitring | Tap av fragmenter, spesielt langs kløv i steinen, sjelden oppsmuldring av overflater | Volumøkning, vann til is i porer og mikrosprekker, og dermed sprenning. Steinen/murverket må være nær mettet med fuktighet. Forekommer ved sterk eksponering for regn og snø | Istapper under sprukket dekkstein, sandre tverrskip (Bjørnåstein) |
| Saltforvitring (eller saltkrystallisasjon) | Oppsmuldring og flaking av steinoverflater, sjelden tap av større fragmenter. Fulgt av av hvite utblomstringer | Volumøkning av salt ved krystallisasjon i porer og mikrosprekker, og dermed sprenning. Forekommer oftest ved lekkasjer (inne og ute) | Inne i korets klerestorium, sørsiden (Grytdalstein) |
| Oppbløtning | Tap av steinfragmenter, spesielt på Bjørnåstein, ellers ukjent (forekommer på samme steder som frostforvitring) | Opptak av vann i porer og i mineraler i steinen, tap av fasthet, dannelse av spenninger ved samtidig temperaturløst. Forekommer ved sterk eksponering for regn | Sokkel, skipets sørside (Bjørnåstein) |
| Brannskader | Brunfarging, ofte fulgt av oppsprekking og avflating. Mange ikke-aktive skader fra branner. Sårbare områder overfor frost og salt. | Oksidasjon av jernholdige mineraler og karbonatmineraler, temperatursjokk. | Brent murverk med saltforvitring over Mariaportalen, sørsiden (Trondheimskleber, middelalder) |
| Kjemisk forvitring | Fargeendringer (brunt, rødt, gult), dannelse av relieff i steinen (langs årer av kalkspat og dolomitt) | Oppløsning av vannløselige mineraler (spesielt kalkspat), oksidasjon av jernholdige mineraler | Strebepill på skipets sørside (Trondheimskleber, middelalder) |
| Dannelse av hvite skorper | Faste skorper av hvit kalkspat på overflaten av murverket ("stalagitter") | Oppløsning av kalsiumhydroksid i (ennå) ikke herdede sementmørtler; god indikator på lekkasjer | Tårn på nordre tverrskip (Bjørnåstein) |
| Biologisk forvitring | Mose og lav, svært sjelden røtter fra busker og små trær | Mulig bidrag til oppsmuldring av eksponerte steinoverflater. | Dekkstein på parapet, skipets nordre side, klerestriet (Bjørnåstein) |
| Spesielt for skader forårsaket av luftforurensning | | | |
| Dannelse av sorte skorper | Faste, mm-tykke sorte skorper på stein, ofte "knudrete" i overflaten | Dannelse av gips ved reaksjon mellom svoveldioksid i luften og kalsium i steinen, sot fra luften gjør skorperne sorte. Ingen inntrengning av gips i lite porøse stein | Strebeue, skipets sørside (Bjørnåstein) |
| Saltforvitring | Sorte skorper og oppflising eller oppsmuldring av stein under skorperne (som da kan falle av) | Dannelse av gips ved reaksjon mellom svoveldioksid i luften og kalsium i steinen, inntrengning av gips i steinen, volumøkning og sprenning av steinoverflaten | Middelalderkonsoll på nordside av oktogonen (Trondheimskleber) |

Figur 10. Oversikt over forvittrings fenomener på Nidarosdomen. Fotos: P.Storemyr. Overview of weathering phenomena at Nidaros cathedral.

Etter hvert ble det klart at selv om luftforurensningenes innflytelse kunne spores en rekke steder, så var virkningene av underordnet betydning i forhold til skader som følge av dårlig vedlikehold (lekkasjer), bruk av uegnede, moderne materialer (spesielt Portlandsement) og dårlig stein (f.eks. Grytdal- og Bjørnåstein som nevnt over) (fig. 10 og 11). Dette ble også kommentert i media – under prosjektets gang var overskriftene ofte av samme karakter som under "Luftangrep": VG 3.5.90: *Luftangrep! Historien smuldrer bort foran øynene våre* (fig. 12). Aftenposten 2.7.90: *Selv stein er ikke for evigheten*. Klassekampen 25.4.91: *Steinskulpturen – T-fordens ofre*. Senere var det naturligvis en sensasjon at luftforurensning ikke var så viktig: VG 1.6.92: *Nidarosdomen er ikke miljøskadd – "Luftangrep" falsk alarm* (fig. 13).

Etter at prosjektet var avsluttet gikk de samarbeidende forskningsinstitusjonene egne veier. På bakgrunn av det utførte arbeidet fikk imidlertid undertegnede doktorgradsstipend fra NFR med

prosjektet "Integrert konservering av kulturminner i stein" ved NTNUs Institutt for Arkitekturhistorie (1992-94). Dette sørget for kontinuitet i forskningen, ikke minst fordi Nidarosdomen forble det sentrale forskningsobjektet. Men forskningsmetodene endret seg fra å ha et naturvitenskapelig fokus til vekt på forståelse av forvitring i et historisk perspektiv. Dette innebar en bevegelse mot bygningshistorisk forskning og studier av de rike kilder til katedralens restaureringshistorie. NDRs arkiv inneholder bl.a. byggeledernes dagbøker, tusenvis av håndskrevne sider om daglig restaurering og øyeblikk av glede.²⁴ Dessuten finnes det tusenvis av fotografier (det første tatt i 1857) som gir en unik mulighet til å følge restaureringens og ikke minst forvitringens gang.

Resultatet – i avhandlingen "The Stones of Nidaros" (1997) – er en tolkning av de mangfoldige og komplekse, langsiktige forvittringstrusler Nidarosdomen var (og er) utsatt for og et bidrag til realistiske bevaringsmetoder for en stor katedral. Disse ble sett i lys av moderne bevaringsprinsipper; det er en dårlig bevart hemmelighet at tradisjonsrike NDR ennå på 1990-tallet ikke riktig hadde fått fotfeste i den nye virkeligheten, nemlig at katedralen i praksis var ferdig gjenreist i 1969, hvilket betydde at videre arbeid i mye større grad enn tidligere måtte handle om konservering og forebyggende vedlikehold.²⁵ Den voldsomme oppmerksomheten om "Luftangrep" og forskningen i de første årene etter utstillingen kan også ha bidratt til at fokus ganske sent ble rettet mot mye mer sentrale temaer enn luftforurensning.

"The Stones of Nidaros" dannet en av pilarene for restaureringsplanen for Nidarosdomen for perioden 1999-2019 som ble forelagt i 1998.²⁶ Igjen er det et viktig å understreke at en rekke andre emner er av vel så stor betydning som forvitring av stein når det gjelder bevaring av en stor katedral. Restaureringsplanen inneholder da også temaer som sikring av konstruksjonens stabilitet, brannsikring, inneklima og oppvarming, restaurering

| Salt ↓ | Ar → | 1100 | 1200 | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 | 1700 | 1800 | 1900 | 2000 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Sulfater | | | | | | | | | | | |
| Gips | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Epsomitt/hexahydratt | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Mirabilitt/thenarditt | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Aphthitalitt | | | | | | | | | • | • | • |
| Bloeditt | | | | | | | | | • | • | • |
| Karbonater | | | | | | | | | | | |
| Kalkspat | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Natritt/thermonatritt | | | | | | | | | • | • | • |
| Trona | | | | | | | | | • | • | • |
| Klorider | | | | | | | | | | | |
| Halitt | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Antararcicitt | | | | | | | | | | • | |
| Nitrater | | | | | | | | | | | |
| Nitratitt | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |
| Oksalater | | | | | | | | | | | |
| Weddelitt/whewelitt | | • | • | • | • | • | • | • | • | • | • |

• Underordnet betydning for forvitring
 • Noe betydning for forvitring
 • Stor betydning for forvitring
 • Prognose

| Salt | Hovedkilder |
|-----------------------|---|
| Sulfater | |
| Gips | Stein (spesielt Grytdalstein), svoveldioksid i luften |
| Epsomitt/Hexahydratt | Stein (spesielt Grytdalstein) |
| Mirabilitt/thenarditt | Reaksjon mellom salt fra Portlandsement (PC) og salt fra stein og svoveldioksid i luften, også stein alene (spesielt grønnskiffer fra Øysanden) |
| Aphthitalitt | Reaksjon mellom salt fra PC og salt fra stein og svoveldioksid i luften, også PC alene |
| Bloeditt | Ukjent, trolig sekundære reaksjoner |
| Karbonater | |
| Kalkspat | PC, enten som sementmørtel eller som kalksementmørtel, sjelden kalkmørtel |
| Natritt/thermonatritt | PC, enten som sementmørtel eller som kalksementmørtel |
| Trona | PC, enten som sementmørtel eller som kalksementmørtel |
| Klorider | |
| Halitt | Sjøsalt ført med vind, vasking med saltsyre |
| Antararcicitt | Strøsalt |
| Nitrater | |
| Nitratitt | Biologiske prosesser, trolig spesielt fugleskit |
| Oksalater | |
| Weddelitt/whewelitt | Biologiske prosesser, spesielt lav |

Figur 11. Historisk oversikt over salt og saltkilder på Nidarosdomen. Salt er en av de viktigste årsaker til forvitringen. Etter Storemyr (1997). Historical overview of salt and its sources at Nidaros cathedral. Salt weathering is a main cause of weathering at the cathedral.



Figur 12. VGs oppslag om luftforurensningers innvirkning på kulturminner 3. mai 1990. / "Air Attack"; a comprehensive report on the destruction of cultural heritage due to air pollution in "VG" 3 May 1990.



Figur 13. VGs kommentar til utstillingen "Luftangrep" 1. juni 1992. / "Air Attack false alarm" writes "VG" 1 June 1992.

av glassmalerier og orgler, reparasjon av tak og vannavrenningsystemer, oppmåling og dokumentasjon, steinleveranser og kommentarer til den store logistiske, vitenskapelige og håndverksmessige utfordringen det er å restaurere en katedral. Igjen var pressen interessert; luftforurensningsspøkelset viste seg ikke og – endelig – sto det konstruktive perspektivet i forgrunnen: *På tide med et løft for Domkirken* mente Adressa 3.3.98 (fig. 14), *Nidarosdomen trenger et krafttak* var Aftenpostens oppslag 24.8.98, mens Adressa fulgte opp med at *Nidarosdomen pakkes inn i årevis* (6.2.99, fig. 15) under henvisning til de store stillasarbeidene som sto for døren Disse startet vinteren 2000 på korets sørside, tidlig identifisert som i svært

dårlig tilstand. Samtidig var NDR midt inne i et stort EU-støttet forskningsprosjekt (Raphael-prosjektet, 1999-2001) der eksperter fra inn- og utland bidro til oppfølgingen av restaureringsplanen.²⁷ Prosjektet brakte lite nytt på forvitringsfronten, da det nå var det videre arbeidet med sikring og vedlikehold, konservering og restaurering som sto i fokus. Mye er senere ferdigstilt og for tiden nærmer også restaureringen av korets sørside seg sin avslutning. Siden 2001 er det utført lite forvitringsforskning på Domkirken.

Forvitringskomplekse årsaker: Korets søndre klerestorievegg

Da forvitringsforskningen startet i 1989-90 svevde den, bokstavelig talt, i luften. De senere arbeidene, som kulminerte med Raphael-prosjektet, bidro som vi har sett til å se steinskadene i nær sammenheng med alle de andre problemer og oppgaver som står i kø på en katedral. Dels dreier det seg om kausale sammenhenger, dels om prioriteringer i bevaringsarbeidet. Korets søndre klerestorievegg kan stå som et godt eksempel:

Klerestorieveggen ble rekonstruert (gjenoppbygget) mellom 1878 og 1890 (fig. 16), mens sideskipsveggene ble restaurert og således i stor grad fortsatt er middelalderiske. Det spesielle med denne delen av kirken har alltid vært store statiske problemer på grunn av en for svak bygningskonstruksjon.²⁸ Sideskipsveggene helte sterkt utover da restaureringen startet og de ble "skrudd" tilbake på plass gjennom en spektakulær redningsoperasjon av arkitekt Christie før klerestoret kunne bygges. Da det dreide seg om en rekonstruksjon ble de

gamle svakhetene bygget inn i den nye konstruksjonen, spesielt ble det bygget svake strebebuer som ikke helt klarer å ta opp vindlast og kreftene fra det tunge hvelvet. Klerestorieveggen ble oppført av teglstein, men "kledd" med kleberstein fra bruddene Grytdal og Rogstad i Gauldalen (fig. 17). For teglmurene ble det benyttet kalksementmørtel, mens kleberkvadrene ble murt opp med sterkt sementholdige mørtler. På murkronen ble det bygget en parapet, hvis gesims ble utstyrt med kopierte og originale konsollhoder. Bak parapeten løper en lang vannrenne som ble tettet med en tidlig form for betong og sement. Vannavrenning og nedløp var trolig fra starten av underdimensjonerte.²⁹

Det måtte bli problemer med en slik konstruksjon (fig. 18-20). For det første startet utskyvningen av veggene på ny, bevegelser som førte til oppsprekking langs fuger i store deler av veggene. For det andre er dette en sterkt eksponert del av katedralen som er utsatt for store temperatursvingninger, spesielt om vinteren og våren når solen steiker om dagen og temperaturen kryper langt under null om natten, noe som fører til isdannelse og frostsprenging og dermed ytterligere oppsprekking. For det tredje samler det seg snø og vann i parapeten som ikke overraskende finner veien ned i sprekker og åpne fuger. Vannet trenger gjennom teglkonstruksjonen og kommer ut dels i hvelvene inne i koret, dels ute på klerestorieveggen. Her dreier det seg ikke om "normalt" vann, men om sterke alkaliske løsninger som har tatt opp kalsiumhydroksid fra ennå ikke herdede mørtler dypt inne i murverket. Dessuten inneholder vannet masse salt (natriumkarbonat) fra all sementen og fra Grytdalstein (gips, magnesiumsulfater).³⁰

Tilstanden slik den kunne observeres på 1990-tallet (fig. 18-20)³¹ var preget av oppsprekking av praktisk talt alle fuger i de øvre deler av murverket og i strebebuene, tykke kalkskorper der saltholdig vann rant ut av fugene, store



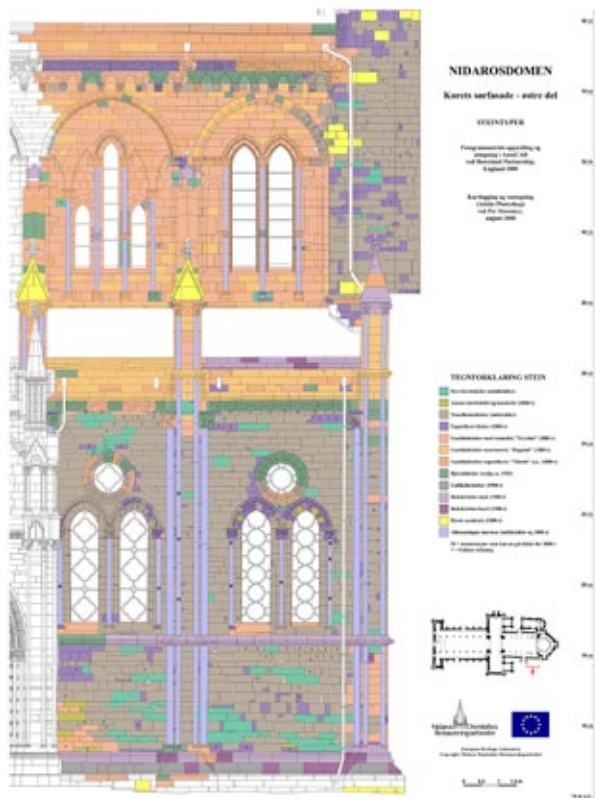
Figur 14. Adressavisens mening om videre restaurering av Nidarosdomen 3. mars 1998. "Nidaros cathedral needs repair" writes "Adressavisen" 3 March 1998.



Figur 15. Adressavisens beskrivelse av den forestående restaureringen 6. februar 1999. "Wrapped in scaffolding for years" writes "Adressavisen" about the forthcoming restoration of Nidaros cathedral 6 February 1999.



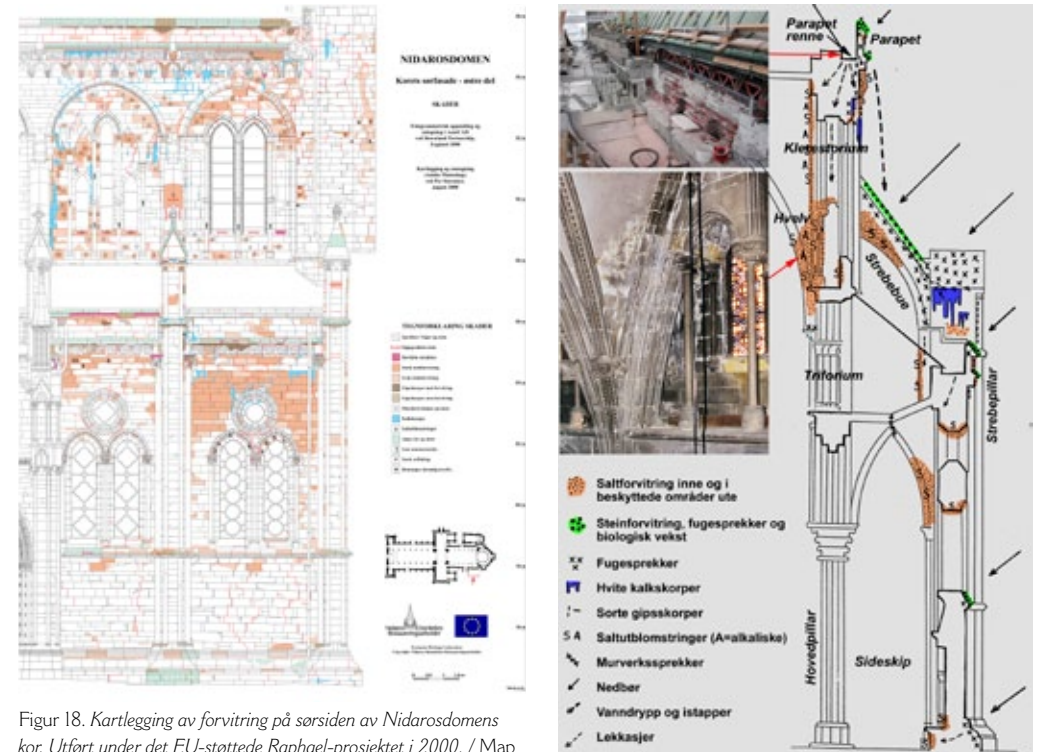
Figur 16. Sørsiden av Nidarosdomens kor med 100 års mellomrom. Til venstre: Like før restaureringen var ferdig i 1890 (Foto: NDR). Til høyre: Etter 100 år med vannlekkasjer, dårlig Grytdalstein og salt (hvitt på bildet). Foto: P.Storemøy 1994. The south wall of the choir at Nidaros cathedral in 1890 and 1994.



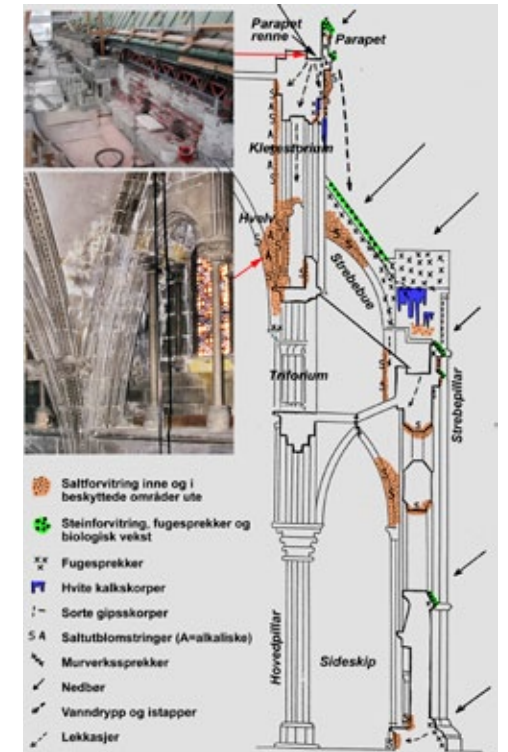
Figur 17. Kartlegging av steintyper på sørsiden av Nidarosdomens kor. Utført under det EU-støttede Raphael-prosjektet i 2000. / Map of weathering phenomena at the south wall of the choir at Nidaros cathedral.

områder med saltutblomstringer som tæret på steinene både ute og inne, hundrevis av ødelagte Grytdalstein og sterk forvitring av konsollhodene i gesimsen. Konsollhodene var for en stor del også hugget i Grytdalstein og her kunne det observeres et interessant fenomen (som også kan ses i steinbruddet): Praktisk talt alle hodene hadde tykke sorte til gråhvite skorper av gips (kalsiumsulfat) på overflaten av ellers totalt oppsmuldrede stein (fig. 20). Fenomenet kan (forenklet) forklares med oksidasjon av magnetkisen (jernsulfid) i steinen, noe som frigjør svovel(syre). Dette svovelet reagerer med kalsium fra kalkspat i steinen og det dannes gips. Gipsen dannes enten inne i mikrosprekker og porer i steinen, noe som fører til volumøkning og oppsprekking, eller som skorper på overflaten. Renner det vann over en slik stein tas noe av den løselige gipsen med og kan dermed avsettes andre steder på murverket. Et sentralt punkt er at gipsskorperne har store likheter med skorper som avsettes på grunn av svoveldioksid i forurenset luft. Dannelsesprosessen er den samme som over: Svoveldioksidet som avsettes forbinder seg med kalsium fra stein eller mørtelfuger og det dannes gipsskorper. De fleste gipsskorper som dannes på denne måten er sorte fra opptak av sot i luften. Som i tilfellet Grytdalstein kan dannelsen bare skjje på stein som er helt eller delvis beskyttet mot direkte nedbør; sterk utsettelse for regn vil føre til at gipsen vaskes bort.

Det er åpenbart at gipsskorper fra Grytdalstein i slike tilfeller kan forveksles med tilsvarende dannet fra luftforurensning, spesielt når de er sorte eller mørke etter å ha tatt opp sot og støv fra luften. En beregning viser at de mest magnetkisholdige Grytdalstein³² lett kan "produsere" like store mengder gips som det ville tatt hundre år eller mer å danne i et miljø som er langt mer forurenset enn tilfellet har vært rundt



Figur 18. Kartlegging av forvitring på sørsiden av Nidarosdomens kor. Utført under det EU-støttede Raphael-prosjektet i 2000. / Map of stone at the south wall of the choir at Nidaros cathedral.



Figur 19. Snitt av korets sørvegg med typisk lokalisering av ulike skader. Det øvre bildet viser parapeten under restaurering i 2004, mens det nedre viser store skader innvendig i klerestoriet. Fotos: P.Storemøy. Section of the choir at Nidaros cathedral with location of damages.

Nidarosdomen.³³ Observasjoner fra mange steder på kirken viser da også at der det finnes mye Grytdalstein, er mørke gipsskorper mest utbredt (fig. 21). I flere tilfeller kan kilden til skorpene dels være tidligere luftforurensning, men siden slike skorper er lite utbredt der det ikke finnes Grytdalstein, kan vi fastslå at den relative betydningen er liten. Her må det legges til at flere andre kleberstein inneholder mindre mengder magnetkis og således også kan være en kilde til gips. Forvitret Grytdalstein kjennetegnes ellers ved den sterke gule fargen, noe som skyldes jernforbindelser og mineralet jarositt som dannes i forvitningsprosessen.

De originale konsollhodene på klerestoriegesimsen led også av forvitring som følge av salt fra sement og Grytdalstein. Steinene var hugget i kleber enten fra steinbruddet i Klungen ved Øysanden eller Bakkaunet i Trondheim – stein som har en tendens til å sprekke opp langs kløvretningen, men som ellers er gode og bestandige. Mange konsoller viste tegn på slik oppsprekking, men i tillegg var de delvis oppsmuldret der salt hadde angrepet, spesielt langs fugene (fig. 20).

De fleste av skadene nevnt over viste seg kort tid etter at Christies restaurering var avsluttet i 1890. Store reparasjonsarbeider ble utført i 1921-22, da man måtte skifte ut mengder med dårlig Grytdalstein, spesielt i gesimsen.³⁴ Det fulgte en lang rekke utbedringer, spesielt etter de nesten 20 periodene med sterke lekkasjer som



Figur 20. Konsoller på korets søndre hovedgesims før den nåværende restaureringen. Til venstre: Middelaldersk konsoll som har mistet hakepartiet langs kløven i steinen og ellers er preget av saltforvitring. Til høyre: Fullstendig ødelagt konsoll fra 1880-tallet i Grytdalstein. Den grå og delvis sorte skorpen som dekker hele ansiktet består av gips fra steinen. Fotos: P.Storemyr. Weathered corbels at the choir of Nidaros cathedral.

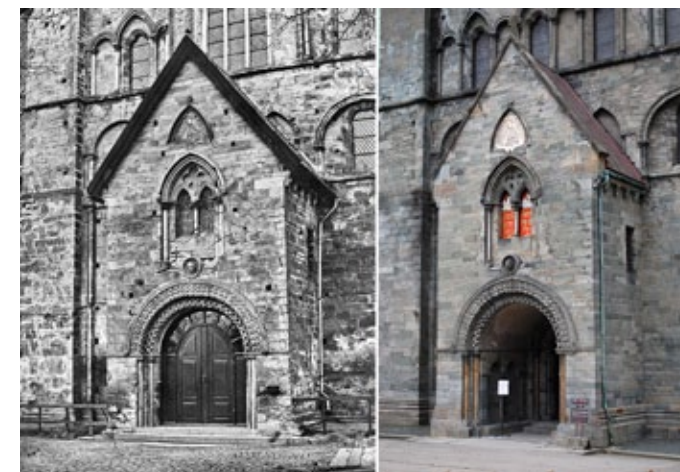
er dokumentert i dagbøker og rapporter mellom 1920 og 1996.³⁵ De underliggende årsakene ble imidlertid ikke berørt før på 1980-tallet da det ble klart at selve konstruksjonen måtte styrkes med et stabiliserende fagverk som ble bygget inn over hvelvene.³⁶ Den nåværende restaureringen har sikret mot å ta hånd om ytterligere underliggende årsaker (f.eks. sørge for at rennen bak parapeten er tett), i tillegg til storstilt reparasjon av murverk og dekorative detaljer.³⁷



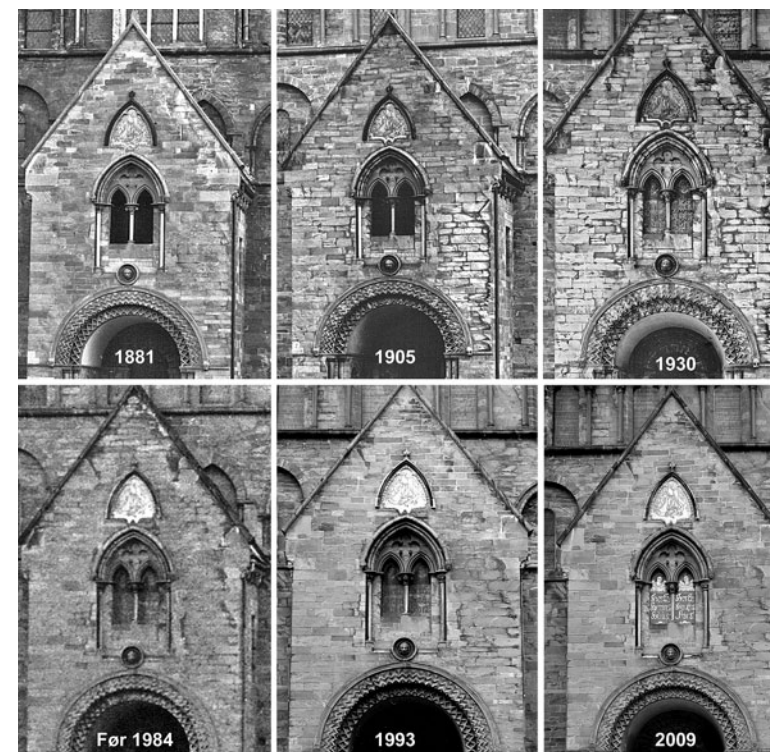
Figur 21. Sorte skorper under gesimsbånd på vestsiden av nordre tverskip. Rett under en naturlig forvitrende Grytdalstein (gul) har det dannet seg et felt med sorte skorper og salt. Disse kommer for en stor del fra steinen. Fotos: P.Storemyr. / Black crusts partially caused by natural weathering at the north transept of Nidaros cathedral.

Sorte skorper og forvitring på Mikaelsskapellet

Som det har blitt hintet til ovenfor, ble Nidarosdomen til en viss grad "angrepet" av dårlig luft. Det startet allerede mot slutten av 1800-tallet og nådde en topp for omkring 50 år siden, noe som kan følges eksemplarisk på kirkens nordinngang (med Mikaelsskapellet) (fig. 22). Stikkordet er igjen sorte gipsskorper og deres utbredelse på en bygningsdel hvor den notoriske Grytdalsteinen nok er benyttet, men (heldigvis) ikke de aller dårligste varianter av steinen.



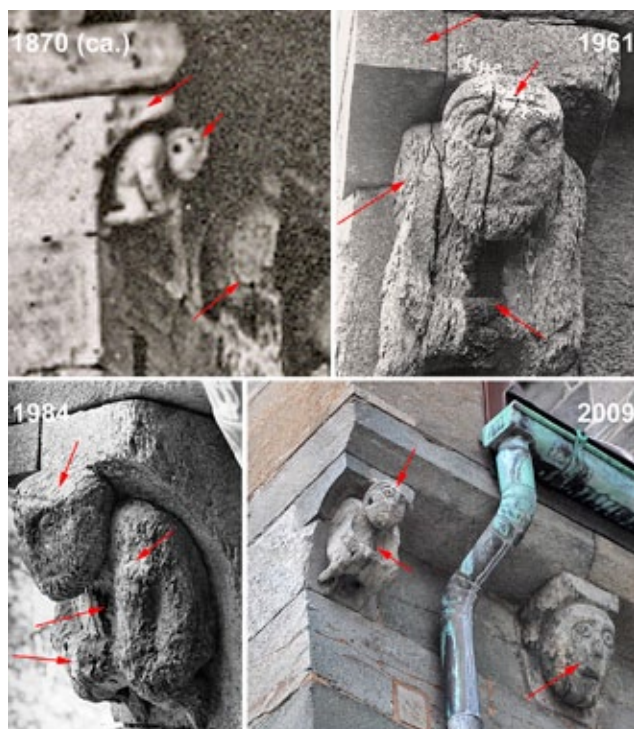
Figur 22. Nordinngangen til Nidarosdomen med Mikaelsskapellet omkring 1870 (foto: NDR) og i 2009 (foto: P.Storemyr). Den største forandringen var omleggingen taket i 1880-81. Det kan ses at det nygotiske taket i mindre grad beskytter konsollene i gesimsen mot nedbør. The north porch at Nidaros cathedral in 1870 and 2009.



Figur 23. Utviklingen av sorte skorper på nordinngangen med Mikaelsskapellet fra 1881 til 2009. Se forklaring i teksten. Fotos: NDR (1881-1984) og P.Storemyr (1993 og 2009). Development of black crusts at the north porch of Nidaros cathedral from 1881 to 2009.

At nordinngangen må ha vært utsatt for brann kan ses av brunfarget stein på østveggen, der gapestokken en gang var anbrakt. Treverket har tydeligvis brent lystig og det må vel antas at også taket ble flammens rov en eller flere ganger. Murverket og skulpturene klarte seg imidlertid forbausende bra gjennom århundrene; bilder tatt før restaureringen i 1880-81 viser at kun sokkelpartiet var i temmelig dårlig forfatning.

Fra regnskap, rapporter og dagbøker er det kjent hva som ble utført under restaureringen: Totalt gikk det med



Figur 24. Middelalderske konsoller på Mikaelkapellet. 1870: Delvis forvitret (foto: NDR). 1961: Sterkt forvitret (foto: Torgeir Suull). 1984: Delvis reparert i forbindelse med gipavstøpninger (foto: Torgeir Suull). 2009: Få endringer siden 1984 (foto: P. Storemyr). Pilene angir områder hvor større forandringer har funnet sted. Weathering of medieval corbels at the north porch of Nidaros cathedral between 1870 and 2009.

at det gamle takskjegget ble overflødig (fig. 22). Dermed ble de middelalderske gesimskonsollene ikke lenger godt beskyttet mot nedbør. Dette fikk konsekvenser og på et bilde fra 1961 kan det ses at den ytterste konsollen på vestsiden er i håpløst dårlig forfatning (fig. 24).³⁹ Siden den gang er denne konsollen og flere andre nødtørftig reparert, noe som trolig fant sted i forbindelse med gipavstøpninger i 1984, da også skadde dekkstein i gavlen måtte skiftes ut. Visstnok samtidig fikk taket ny kobbertekning.

Allerede før nordinngangen ble restaurert kan det på bilder (ca. 1870) ses tynne sorte striper på murverket som vender mot nord (fig. 23). Etter at arbeidene var ferdige i 1881 kommer stripene umiddelbart tilbake. Da akkurat disse stripene "vokser" utover 1900-tallet, er det klart at det dreier seg om sorte gipsskorper. Under regnvær kan det ses at de er dannet i overgangen mellom våte og tørre deler av murverket, noe som er typisk for gipsskorper. I 1905 er skorpene svært tydelige og frem mot 1930 brer de seg ut også rett under gavlens dekkplater som nå er i så dårlig stand at det lekker vann gjennom fugene og nedover veggene. Mellom 1930 og 1984 finnes det bare uklare oversiktsbilder, men det kan se ut som om skorpene ikke utbrer seg etter 1950-60 tallet. Under reparasjonen i 1984 må murverket ha blitt delvis rensset, men bare under dekksteinene i gavlen. I 1993 er det klart at utbredelsen generelt er mye mindre enn tidligere, noe som må tilskrives regnvasking: Når det ikke lenger dannes sorte skorper vil selv litt regn langsomt vaske de gamle bort. Siden 1993 har tilstanden imidlertid vært relativt stabil (fig. 23). Det er verd å merke seg at skorpene har ført til litt avflaking og oppsmuldring av stein, men skadene er

1552 arbeidstimer og det ble hugget 7,4 kubikkmeter ny stein (mest relativt god Grytdalstein). De store mengdene mørtel som er oppgitt; hele 155 tønner kalk blandet med sand (20 kubikkmeter!) og 54 tønner Portlandsement må etter alt å dømme også ha vært beregnet på andre arbeider. Deler av murverket ble etterhugget og gammel maling og kalk ble hugget og rensset bort (trolig med saltsyre og lut), mens mange skulpturer og ornamenter ble reparert ved å felle inn ny stein der det var nødvendig.³⁸ Restaureringen kostet 5871 kroner (omtrent 350.000 i dagens pengeverdi) og alt i alt ble den utført omtrent på samme måte som på oktagonen og korets sideskipsvegger.

Den store forandringen var omleggingen av taket. Før restaureringen hadde nordinngangen et tradisjonelt tak tekket med tegl, etter alt å dømme oppført etter den siste brannen i 1719. Som ellers på kirken bygget arkitekt Christie en ny, hevet gavl med dekkstein og tekket det nye taket med blyplater, noe som medførte

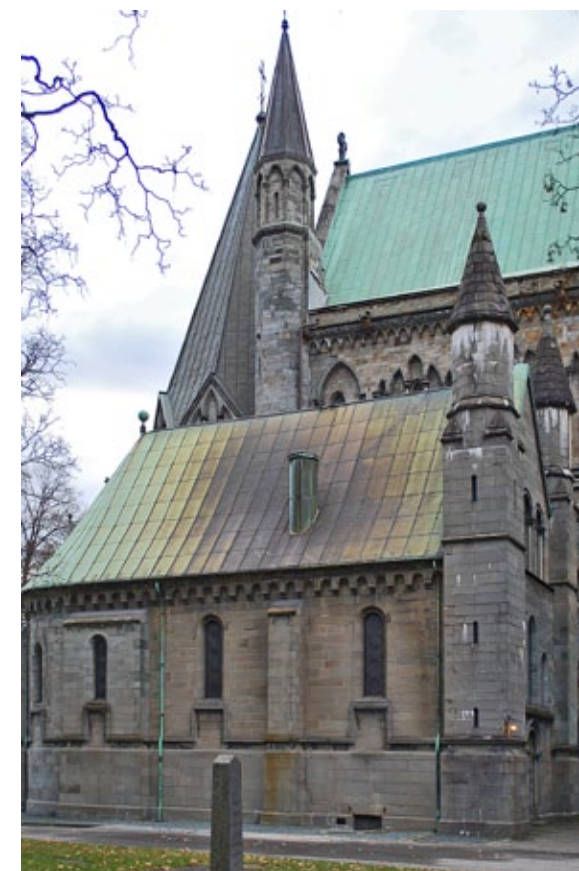
ikke graverende annet enn på konsollhodene og må ses i nær sammenheng med økt eksponering for frost etter at taket ble omlagt i 1880-81 og lekkasjer før utbedringene i 1984.

At den største utbredelsen til de sorte skorpene inntraff allerede lenge før det var noen offentlig debatt om luftforurensningsskader på steinbygninger er ikke forbausende. Faktisk kan utslipp av svoveldioksid og sot fra Nidarosdomens eget fyringsanlegg gi et godt bilde av den generelle trondhjemske utslippshistorie: Fyringsanlegget ble installert i ny kjeller under Kapittelhuset (fig. 25) i 1870 og ble senere utvidet og reparert ved et utall anledninger. Mellom 1870 og 1933 ble det fyrst med kull, frem til 1979 med tungolje og deretter med en kombinasjon av lettolje og elektrisitet.⁴⁰ Fra 2005 er oppvarmingen knyttet til fjernvarmenettet.

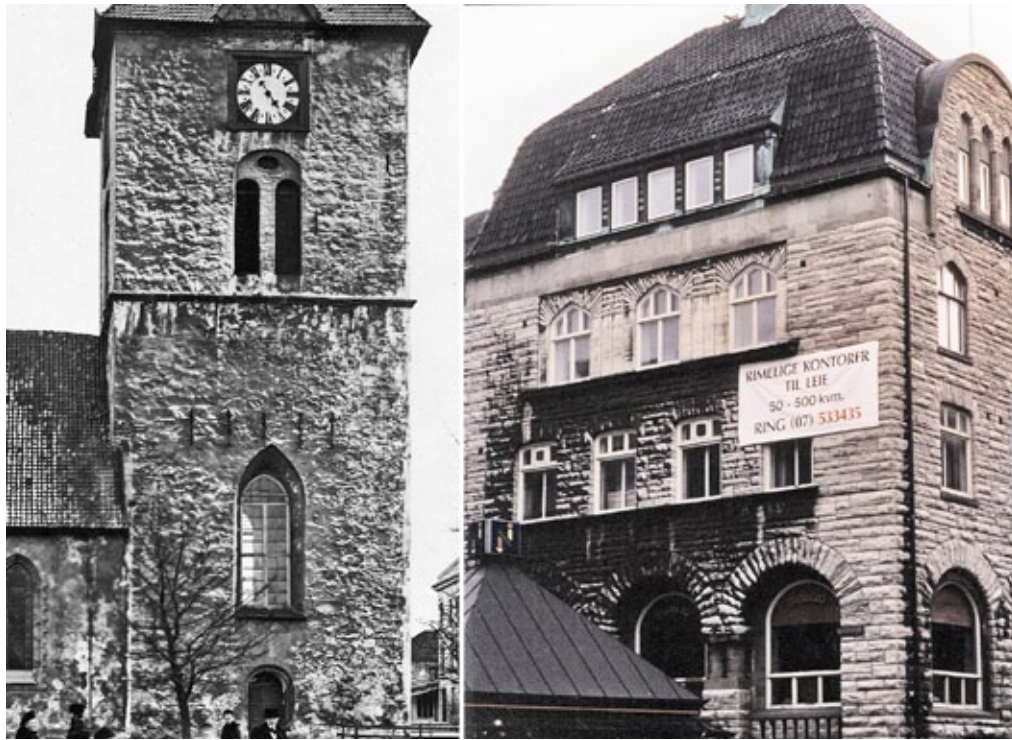
Ved hjelp av fyringsstatistikk og kjennskap til svovelinnholdet i kull og olje er det beregnet at anlegget slapp ut gjennomsnittelig 3,5 tonn svoveldioksid årlig frem til 1933; utslippene steg til ca. 5 tonn årlig frem til 1979 for så å falle dramatisk til ca. 0,13 tonn.⁴¹ Det er ennå ikke gjort beregninger for betydningen av disse utslippene i forhold den generelle luftforurensningen i Trondheim, men det er mulig bidraget til sorte skorper på kirken var betydelig. Ser en videre på befolknings- og industriutvikling og sammenholder dette med utvikling av sorte skorper, kan det være liten tvil om at luftforurensningen (svoveldioksid) var verre rundt Nidarosdomen før 1900 enn den var da "Luftangrep"-utstillingen ble vist 100 år senere.

Fra Trondheim til Bergen og Stavanger

Nordinngangen er ganske representativ for forholdene på den nordøstre siden av Nidarosdomen der sorte skorper har en langt større utbredelse enn på andre deler av kirken. Utbredelsen er likevel mye mindre enn hva den var på historiske bygninger i Europas byer, noe som naturligvis har sammenheng med deres langt alvorligere utslippshistorie, men også med steintypene som vanligvis er brukt: Kalkstein, marmor og mange sandsteinstyper har lettere for å få sorte skorper enn kleberstein, noe som også kan observeres i Trondheim: De største sammenhengende feltene med sorte skorper i byen befinner seg på veggene til Johann Osness' råkoppygning (Forretningsbanken, nå Fokus Bank) i Søndre gate, oppført i marmor i 1906-07 (fig. 26). Bortsett fra delvis avvasking, har det ikke skjedd forandringer med skorpene siden



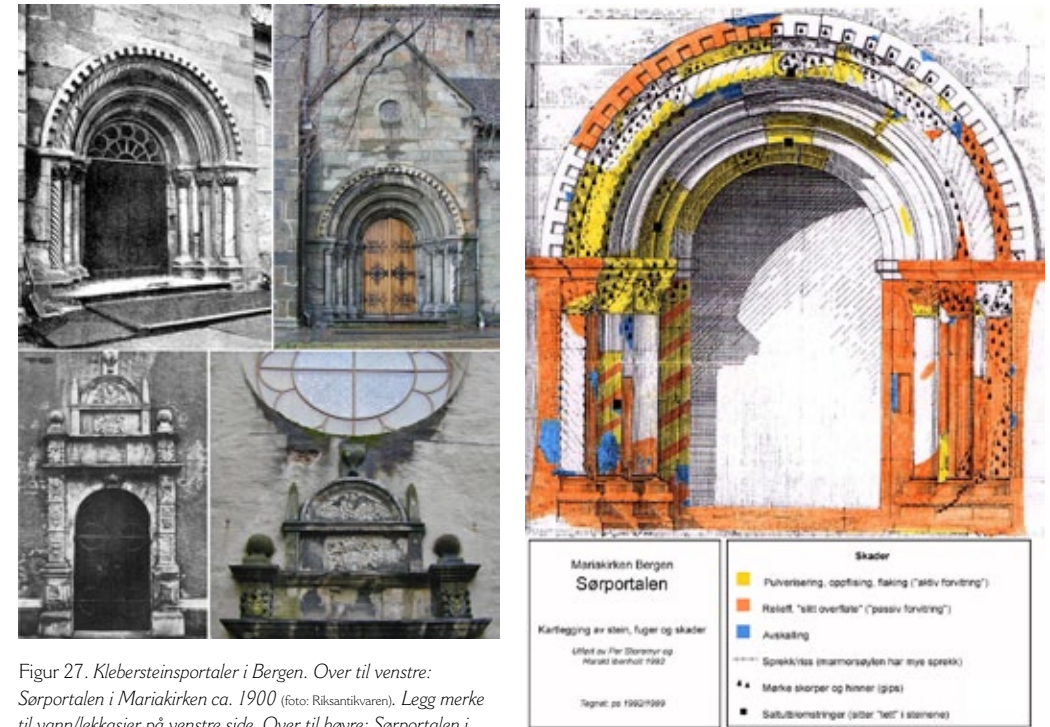
Figur 25. Kapittelhuset med pipe. Sentralvarmeanlegget i kjelleren slapp i over hundre år ut ikke ubetydelige mengder svoveldioksid. Legg merke til den brune fargen på murverk og tak som ble påvirket av utslippene. Foto: P. Storemyr 2009. The chapter house with its chimney, which emissions of sulphur dioxide from 1870 to the 1970s may have been a significant source of air pollution by Nidaros cathedral.



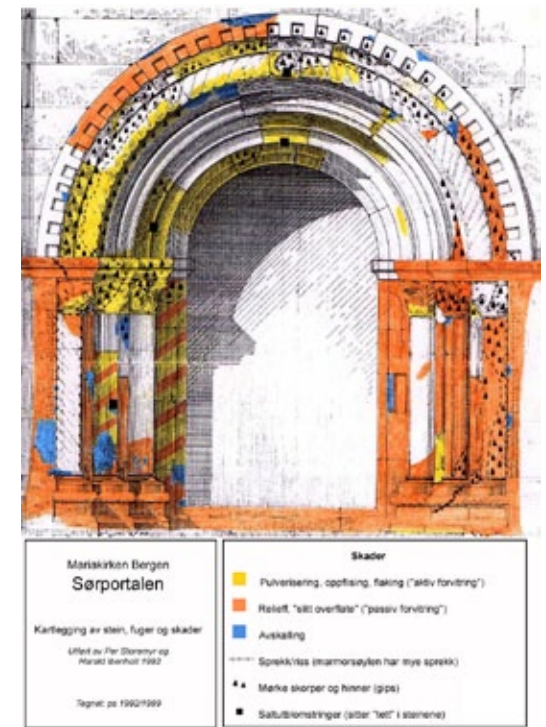
Figur 26. Sorte skorper på bygninger i Trondheim. Til venstre nordsiden av tårnet på Vår Frue kirke før restaureringen i 1905-06 med skorper spesielt under gesimsbåndet (foto: Trondheim Byarkiv, www.flickr.com/photos/trondheim_byarkiv/4146067169/). Til høyre nordsiden av Forretningsbanken (nå Fokus Bank) med velutviklede sorte skorper i 1994 (foto: P.Storemyr). Black crusts in Trondheim: at St. Mary's church (1905) and a marble building in "Søndre gate" (1994).

slutten av 1970-tallet.⁴² Flere andre bygninger i Trondheim har blitt restaurert og rengjort for sorte skorper; det gjelder også Vår Frue kirke. Rett før istandsettingen i 1905-06 var kirken fortsatt kalkpusset og i delvis beskyttede områder, f.eks. på tårnets nordside, er det tydelige skorper (og lekkasjer) (fig. 26). Under de siste restaureringsarbeidene som nylig ble avsluttet er også mange sorte skorper dannet etter 1906 fjernet, og i så måte følges den internasjonale trenden også i Trondheim: I London, Paris og de fleste byer i Vest-Europa skinner nå fasadene som nye (fig. 5-6); til tross for at rensing av bygninger har en lang historie, er sot, skitt og gips tatt av den nye rengjøringsbesettelsen som slo til fra slutten av 1980-tallet. I mange tilfeller skal det ikke ses bort fra at hardhendt rengjøring har bidratt til et større tap av kulturverdier, ved fjerning av de ytterste lagene av steinoverflatene, enn gips og sot noensinne klarte.

Men i Bergen vitner nedsoting og gips fortsatt om fordums tider, spesielt på Mariakirkens sørportal og Korskirkens nordportal. Begge klebersteinsportalene har vært gjenstand for diskusjon om bevaring siden 1970-tallet, da en engelsk ekspert mente at sørportalen var "angrepet av tærende stoffer i atmosfæren".⁴³ På gamle bilder kan vi, som i Trondheim, følge utviklingen av de sorte skorperne gjennom mer enn 100 år (fig. 27-28). Bortsett fra tilstandsundersøkelser er imidlertid ingen bevaringstiltak satt i verk og portalene forvitret fortsatt friskt, da de viktigste årsakene til forvitringen kan knyttes til et hundreår eller mer med heftige vannlekkasjer og kompleks vannavrenning langs murverket. Dessuten spiller allmenn saltforvitring og sprengning fra rustende jernkramper (Korskirken) viktige roller.⁴⁴ Dette er med andre ord to tragiske tilfeller av mangel på vedlikehold.⁴⁵



Figur 27. Klebersteinsportalene i Bergen. Over til venstre: Sørportalen i Mariakirken ca. 1900 (foto: Riksantikvaren). Legg merke til vann/lekkasjer på venstre side. Over til høyre: Sørportalen i 1999 med de samme lekkasjer som 100 år tidligere (foto: P.Storemyr). Under til venstre: Korskirkens nordportal med begynnende sorte skorper i 1908 (foto: Neupert, Riksantikvaren). Under til høyre: Tilstanden i 1999 med sorte skorper og vann fra rundvinduet. Dette har skapt lekkasjer siden det ble innsatt omkring 1866 (foto: P.Storemyr). Weathering of soapstone portals in Bergen due to water leakage and air pollution (c. 1900-1999).



Figur 28. Kart over skadene på Mariakirkens sørportal. Legg merke til at de mest aktive skadene finnes på venstre side der lekkasjer har hatt størst innflytelse. / Map of weathering phenomena at the south portal of St. Mary's church in Bergen.

Ved Stavanger Domkirke var mangel på vedlikehold og konservering også et tema på 1990-tallet. Heldigvis ble det her satt i verk et storstilt arbeid med koret, gjennomført av NDR i årene 1997 til 1999.⁴⁶ De rikt dekorerte og temmelig forvitrede nisjene på østveggen ble imidlertid utelatt fra konserveringsprogrammet, da det for 10-12 år siden ikke fantes nok kunnskap om konservering av forvitret kleberstein med sorte skorper. Som portalene i Bergen er nisjene, som ennå ikke er behandlet, preget av tidligere lekkasjer, kompleks vannavrenning, rustende jerndybler, sorte skorper og salt. Her kan luftforurensningens innflytelse spores noe kortere enn i Bergen og Trondheim, mellom 70 og 120 år tilbake (fig. 29).

Eksemplene fra Bergen og Stavanger gir et perspektiv til forståelsen av forvitringen på Nidarosdomen. I alle tilfellene er utbredelsen av sorte skorper mest omfattende i delvis regnbeskyttede områder med kompleks arkitektur, der lekkasjer og vannavrenning gir et fuktig, men ikke klissvåt murverk. Det var nettopp i slike situasjoner lokal luftforurensning spilte den største rollen fordi fuktigheten forsterker avsetningen av svoveldioksid – som etter omvandlingen til gips i begrenset grad kan fraktes bort med regnvann. Men et vel så viktig perspektiv er at luftforurensning



Figur 29. Østveggen på Stavanger Domkirke. Kart over skader og utvikling av sorte skorper. Litografi 1836: Schiertz/Müller. Foto: 1890 C. Jacobsen, 1940 G. Fischer (1964), 1996 P. Storemyr. Legg merke til at vann ble drenert rett ned på nisjene tidligere. Map of weathering phenomena at the east façade of Stavanger cathedral.

krystallisasjon og rekrystallisasjon, men i langt mindre grad enn da vann uhindret kunne trenge ned fra den åpne murkronen. Situasjonen er i dag altså ikke ulik hva vi finner på f.eks. Mariakirkens sørportal i Bergen.

Vestportalen på Utstein er også interessant i et annet perspektiv. Som et stort antall nedbørseksponeerte klebersteinsobjekter over det ganske land er vangene på portalen preget av en "slitt", men stabil overflate der større og mindre fragmenter er forsvunnet. For en stor del kan dette skyldes direkte menneskelig påvirkning som vandalisme og skader ved fjerning av tidligere kalklag. Men dette kan trolig ikke forklare alle de tidligere skadene. En teori er at de kan skyldes frost i Den lille istid – en kaldere periode enn i dag da portaler og andre dekorelementer i mange tilfeller var våtere fordi murverket omkring, som på Utstein, ofte var i en ruinlignende tilstand.⁴⁹

i slike situasjoner bare er en del av ofte svært komplekse forvitningsårsaker.

Et eksempel på forvitring i en tilsvarende situasjon, men uten lokal forurensning, finnes på vestportalen til Utstein klosterkirke, ikke langt fra Stavanger. Her sto skipet som ruin, åpent for vær og vind i mer enn 400 år, før murene ble dekket med skiferplater i 1865 og nytt tak endelig lagt i 1957-58 (fig. 30-31). Portalen er en av de mest autentiske i sitt slag i Norge, men det lange oppholdet i det fri har satt sine spor:⁴⁷ Kleberstein og klorittskifer i den regnbeskyttede buen er sterkt skadet, noe som åpenbart skyldes vanninntrengning fra oven og påfølgende saltforvitring, kanskje også frost. Saltene er i dette tilfellet mest gips, etter alt å dømme fra bygningsmaterialene selv,⁴⁸ i tillegg til noe klorid som sannsynligvis kommer fra sjøsprøyt i dette kyststrøket. Dertil kommer det alkaliske salter fra sement brukt under restaureringen på 1950-tallet. Inne i buen kan ingen av disse saltene vaskes bort av regnvann og de forblir aktive ved

Varmere, våtere, villere!

Sett på bakgrunn av luftforurensningsdebatten og den nå kolossale oppmerksomheten om klimaendringer, er det litt merkelig at Nidarosdomen overhode ikke har spilt noen rolle som eksempel på et kulturminne som også kan bli påvirket av et "varmere, villere og våtere" klima. Klimaendringer på bygningsmassen generelt har vært et stort forskningstema i mange år og etter hvert er det også startet prosjekter om kulturminnenes mulige skjebne i fremtiden, som innen programmet "Tilpasning til ekstremvær i norske kommuner"⁵⁰ og det nordiske samarbeidet "Effekter av klimaendringer på kulturminner og kulturmiljø".⁵¹ Kanskje grunnen til at Nidarosdomen har sluppet unna er at det er mye enklere å visualisere og formidle hva som har skjedd (en traurig, forvitret vannspyer) enn å fremme komplekse fremtidsscenarioer som alle nå forstår er ekstremt usikre. Vi skal ikke her ta stilling til om klimaendringene er menneskeskapt eller gjengi noen av de mange prognoser som finnes for fremtidens trønderklima,⁵² men heller se på utvalgte fenomener og vurdere om en endring av disse kan komme til å ha innvirkninger på forvitringen av Nidarosdomen.

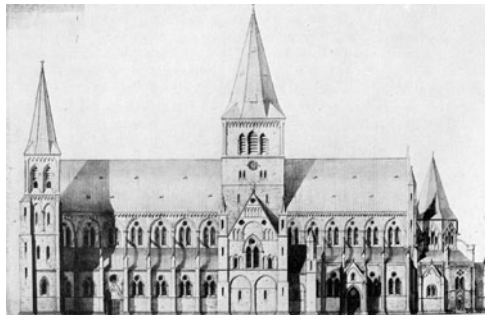
Først og fremst gjelder det naturligvis temperatur. Annika Haugen (Norsk Institutt for Luftforskning, NILU) mener en 2-3 graders høyere temperatur vil gi økt risiko for frostsprengning i praktisk talt hele Norge, med unntak av kystdistriktene på Sør- og Vestlandet.⁵³ Dette er fordi det ventes flere frysepunktpasseringer i områder der det tidligere var stabilt, kaldt vinterklima. Også for Trondheim, som har en kombinasjon av kyst- og innlandsklima, kan nok dette ha noe for seg, men det er kanskje vel så sannsynlig at vinteren blir vesentlig kortere, med andre ord at det kan bli flere frysepunktpasseringer midtvinters, men et lavere antall året sett under ett. Her er det også verd å merke seg at frostsprengning bare kan forekomme hvis materialene er nær mettet med fuktighet. Risikoen for frostsprengning er dermed sterkt avhengig av nedbørmønsteret i kalde perioder. Dessverre finnes det ennå ikke historiske data som kan være til hjelp for



Figur 30. Vestportalen på Utstein kloster og det ruinerte skipet som ble reparert på 1800-tallet og lagt under tak i 1957. Portalen er preget av saltforvitring på grunn av tidligere lekkasjer. 1822: Maleri av Dreier. Fotos: 1900 og 1957 fra Fischer (1965), 2001 og 2005 P. Storemyr. The history of the west portal of the nave at the monastery of Utstein near Stavanger.



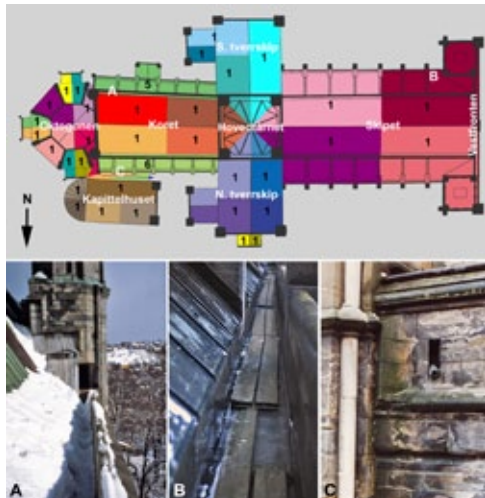
Figur 31. Kart over skadene på skipets vestportal på Utstein kloster. Map of weathering phenomena at the west portal of the nave at the monastery of Utstein near Stavanger.



Figur 32. Arkitekt Schirmers plan for restaurering av Nidarosdomen av 1851. Legg merke til at det ikke foreslås parapeter og flate tak som er spesielt sårbare overfor lekkasjer. / Architect Schirmer's plan for restoration of Nidaros cathedral of 1851. Schirmer refrained from the use of parapets due to Trondheim's harsh climate, but his plan was not accomplished.

videre prognoser,⁵⁴ som i England, der det er beregnet at antall frysepunktpasseringer generelt ble halvert fra den kaldeste perioden i "Den lille istid" frem til i dag.⁵⁵

Frostsprenning er også avhengig av helt lokale forhold som høyde over havet, skygge og solinnstråling, og som Harald Ibenholt (Riksantikvaren) er inne på; hvordan bygninger blir varmet opp og isolert.⁵⁶ God oppvarming vil generelt senke risikoen for frost fordi bygningsmaterialene da er varmere, motsatt vil mer isolering øke risikoen. På en så kompleks bygning som Nidarosdomen er det vanskelig å komme med spådommer. Observasjoner har imidlertid vist at den sterke oppvarmingen av kirken mange steder har ført og fører til snøsmelting og dermed isdannelse og problemer med lekkasjer når utetemperaturer synker, f.eks. om natten. For å bøte på dette installerte NDR varmekabler i de utsatte parapetrennene på slutten av 1960-tallet, et eksperiment som raskt ble avblåst da det førte til mer isdannelse! Senere har det vært eksperimentert med alt fra god snømåking til salting(!), men lite har hjulpet;⁵⁷ det er vel bare gode tekkingsmaterialer kan gi varige forbedringer og under den nåværende restaurering av koret har NDR gått tilbake til en tradisjonell løsning – tykke blyplater som den primære beskyttelsen. Generelt høyere utetemperatur kan i slike komplekse tilfeller redusere faren for isdannelse og lekkasjer. I dette "klimaregnskapet" er det også viktig å legge til at et varmt og dermed tørt innklima fører til mye større fare for saltkrystallisering innendørs.



Figur 33. Takplan av Nidarosdomen (etter Storemyr & Jacobsen 2000). De fargete feltene angir dreneringsmønster og tallene viser antall nedløpsrenner, til dels svært få, som på skipet. Fotoene gir en innblikk i noen de aller viktigste årsakene til forvitring: Smeltende snø (A) og regnvann (B) i parapetrenner og utilstrekkelige nedløp (C). Fotos: P Storemyr. Plan of the roofs and water discharge systems at Nidaros cathedral. Efficient water discharge has been a main theme in the past and may become even more important in a possibly wetter future.

samtidig kjøles ned.⁵⁸ Ellers er naturligvis en mulig større hyppighet av sterke regnvær en utfordring når det gjelder å hindre lekkasjer, enten det dreier seg om murverk høyt oppe på katedralen eller kjellere som kan oversvømmes.

Som vi har sett ovenfor er lekkasjer den viktigste faktoren som fremmer saltforvitring (saltkrystallisering), enten saltet kommer fra stein, mørtel eller andre kilder. Blir det mer lekkasjer er det temmelig sikkert at det også blir mer saltforvitring både innendørs og utendørs; det siste fordi lekkasjer bidrar til mer uønsket vannavrenning i spesielle soner på ytterveggene.

Saltforvitring er i tillegg sterkt avhengig av relativ luftfuktighet; hvis denne i perioder blir lavere vil det generelt bety mer saltforvitring (som ved oppvarming og uttørring innendørs). Det finnes ennå ikke pålitelige data i Norge om dette fenomenet, men i Canada har det i de siste 50 år vært en trend mot betydelig lavere relativ luftfuktighet om vinteren og våren, noe som bl.a. skyldes de høyere temperaturene.⁵⁹ Våren er historisk sett den klart tørreste årstiden i Trondheim og observasjoner de siste 20 år viser da også at det er i denne perioden det finner sted mest saltkrystallisering utendørs; store deler av katedralens murverk er "hvitt" om våren. Et enda tørrere vårklima vil med andre ord kunne føre til økt saltforvitring.

Til sist har vi vinden, som i den prognostiserte "villere" fremtiden ikke nødvendigvis blir sterkere, dog kan stormer og orkaner komme til å bli hyppigere. Ved siden av brann forårsaket av lynnedslag (og selvfølgelig jordskjelv, der slike kan forekomme) er vind historisk sett en av de viktigste naturlige årsaker til sjeldne, men massive skader på katedraler og andre høyreiste bygninger. Orkanen 12. desember 1689 er i så måte en sentral begivenhet, da deiset domkirkens høyeste spir noensinne i bakken – og med det 25 andre kirkespir i Trøndelag.⁶⁰ Siden det går ut fra at sterk vindlast er en betydelig fare for bl.a. korets konstruksjon skulle det være klart at hyppigere orkaner er uønsket!

Konklusjon

Orkaner og alle andre klimafenomener nevnt over har forekommet tidligere; det har vært kulde- og hetebølger, knusktørre og klissvåte tider, vintre med slaps og regn og vintre med mer snø enn i manns minne. Det lunefulle trønderværet har dessuten ved flere anledninger vært et sentralt tema ved restaureringen av Domkirken. Arkitekt Schirmer ville f.eks. ikke bygge parapeter og parapetrenner i sin første plan fra 1851 da han anså disse som altfor sårbare overfor regn og frost (fig. 32);⁶¹ Nidarosdomen er tross alt verdens nordligste middelalderkatedral. At Christie rekonstruerte etter "europæiske" prinsipper uten å ta Schirmers bekymringer ad notam har ført, som vi har sett over, til 140 år med kontinuerlig kamp mot is og vannlekkasjer. At Christie i tillegg fjernet godt beskyttende "trønderetak" og rekonstruerte etter gotiske idealer har likeledes ført til at gjenværende middelaldergesimser med konsoller og annen skulptur har vansmektet i like lang tid.

Å bevare verdens nordligste middelalderkatedral med alle dens innbygde svake punkter overfor et hardt klima er med andre ord en ekstrem situasjon – med eller uten klimaendring. Men kanskje kan de prognostiserte endringene hjelpe til i arbeidet med å dimensjonere romslig når det gjelder tak- og vannavrenningssystemer og når det gjelder systematisk vedlikehold. Det er f.eks. åpenbart at underdimensjonering av løsninger for å raskt og effektivt få vekk vann og snø har vært og er et problem på Nidarosdomen (fig. 33). En beregning som tok hensyn til "100 års-regnværet" (jfr. 100 års-flommen) har vist at dimensjonene på kirkens nedløp må dobles for å ta unna vannet.⁶² En god bevaringsløsning er altså å sette av penger til kobberrør med større diameter!⁶³

Når en kjenner kirkens svake punkter gjennom erfaringene til NDR og det fenomenalt rike arkivet fra 140 år med restaurering, så kan vedlikehold og konservering i den mulige varmere, våtere og villere fremtiden møtes uten de altfor store bekymringer. Hadde et tilsvarende, historisk perspektiv blitt tatt i bruk før utstillingen "Luftangrep" i 1989 ville en formodentlig kommet til den konklusjon at utstillingen egentlig burde vært arrangert omkring 1900 eller senest like etter krigen. Det hadde bare vært å kaste et blikk på historiske bilder og sammenlignet med situasjonen i 1989. Dessuten kunne man ha sjekket NILUs forurensningsstatistikker litt nærmere (fig. 7) – de viste jo allerede i 1989 at det knapt kunne være snakk om akselererende skader på grunn av luftens svoveldioksid. Men at historiske arkiver og statistikker er relevante i forvitningsforskning er jo en kunnskap man først må tilegne seg.

Noter

- ¹ de Thurah 1749, s. 104
- ² Schöning 1762, s. 27
- ³ von Minutoli 1853, min oversettelse
- ⁴ Se f.eks. Storemyr 2004
- ⁵ Artikkelen er skrevet for et allment interessert publikum; for vitenskapelige detaljer, se Storemyr 1997
- ⁶ Haagenrud 1973
- ⁷ Når det snakkes om luftforurensing er det i første rekke svoveldioksid og svovelsurt regnvann det henvises til
- ⁸ Fra NDRs årsrapporter, se oversikt i Storemyr 1995, s. 20f.; se også Fischer 1969, s. 101
- ⁹ Se f.eks. Brimblecombe 1987, Brimblecombe & Rohde 1988, Brimblecombe & Bowler 1992 og Brimblecombe & Grossi 2009.
- ¹⁰ Sammenstilt i f.eks. Kieslinger 1932 og Schaffer 1932.
- ¹¹ Vogt 1896, s. 89ff.
- ¹² Se moderne oversikt i f.eks. Brimblecombe 2003. En av de nyere erkjennelsene er at nitrogenoksider fra forurensning spiller en rolle som katalysator ved dannelse av gipsskorper.
- ¹³ Mylona 1993
- ¹⁴ Se oversikt over luftforurensningshistorien i Trondheim i Storemyr 1997, s. 135-143
- ¹⁵ Protester f.eks. i 1910 og 1957, *ibid.*
- ¹⁶ µg/m³ betyr "mikrogram pr. kubikkmeter luft"
- ¹⁷ Hagen 1994
- ¹⁸ Brimblecombe 1987
- ¹⁹ Den internasjonale konferanseserien "Deterioration and Conservation of Stone" som første gang ble arrangert i La Rochelle i Frankrike i 1972 har hatt stor betydning. Spesielt i Tyskland var forskningsinnsatsen enorm gjennom programmet "Steinzerfall – Steinkonservierung" på 1980- og 90-tallet. Se også Price 1996
- ²⁰ Se f.eks. Rosvall & Aleby 1988, Gullmann 1992 og Österlund 1996
- ²¹ Opplysningene her og nedenfor er hentet fra den forbilligede rapporten "100 dager med luftangrep", redigert av Elin Dahlin og Peter Andreas Kjeldsberg, 1990
- ²² Storemyr 1997, s. 177ff.
- ²³ Noen av de viktigste publikasjonene: Jacobsen 1990, Alnæs & Storemyr 1992, Anda & Henriksen 1992, Storemyr et al. 1992, Holt et al. 1993. Her finnes referanser til en rekke andre publikasjoner
- ²⁴ Se utdrag i Storemyr 1995
- ²⁵ Viktige innlegg i debatten om Domkirkens restaurering ga bl.a. Lidén 1972 og Myklebust 1984
- ²⁶ Storemyr & Lunde 1998
- ²⁷ Se de to rapportene fra prosjektet: NDR 2000 og Lunde & Gunnarsjaa 2001
- ²⁸ Fischer 1969, s. 27-34, Solem 1988, Ekroll & Storemyr 1998 og Jespersen 2005
- ²⁹ Storemyr 1997, s. 207-17, von Konow 2001
- ³⁰ Storemyr 1997, s. 207-17, supplert med senere observasjoner
- ³¹ *ibid.*
- ³² Disse har opp til 10% magnetkis
- ³³ Storemyr 1997, s. 324-7
- ³⁴ Se Byggeledernes dagbøker og NDRs årsrapporter, utdrag i Storemyr 1995
- ³⁵ *ibid.*, kommentaren til August Albertsen 8.7.1932 er typisk (min oppsummering):
Forferdelig regnvær med storflom og store ødeleggelse. Man fikk anledning til å konstatere at parapetbunnen i koret var i orden etter reparasjonen med sement for ca. 10 år siden. Når det likevel trenger inn vann må dette tilskrives at det om vinteren eller i vårløsningen blir liggende snø som ikke blir regelmessig fjernet. Å fjerne snø er menighetens ansvar, derfor blir det ikke gjort regelmessig. Restaureringen har tilbudt seg å gjøre snømåkingen, men menigheten ville greie det selv. "Vi kan derfor fremdeles faa oppleve, at vann kommer til å trenge inn."
- ³⁶ Jespersen 2005

- ³⁷ Se andre bidrag i denne publikasjonen
- ³⁸ Regnskapsbok fra regnskapsfører Lundemo, NDRs arkiv.
- ³⁹ Storemyr 1997, s. 305-7
- ⁴⁰ Jacobsen 1990, s. 51-2, Storemyr 1997, s. 138
- ⁴¹ *ibid.*
- ⁴² Sammenlign dagens tilstand med foto nr. 179 i Ringbom 1987
- ⁴³ Se innhold i brev fra Robert Kloster til Riksantikvaren, 18.9.1972 (Riksantikvarens arkiv)
- ⁴⁴ Moe 1998 og Storemyr 1999
- ⁴⁵ Her må det legges til at det har vært store diskusjoner om hvem som er ansvarlig for finansiering av vedlikeholdet på middelalderkirkene i Bergen. Se f.eks. "Bergens eldste forfaller" i Bergens Tidende 15.5.2007
- ⁴⁶ Storemyr 2001a
- ⁴⁷ Storemyr 2001b
- ⁴⁸ Teoretisk kan også sur nedbør (svovelsyre) ha bidratt til gipsdannelsen
- ⁴⁹ Storemyr 2004
- ⁵⁰ Se www.klimakommune.no
- ⁵¹ Se www.riksantikvaren.no/Norsk/Prosjekter/Klima_og_Kulturarv
- ⁵² Se f.eks. www.klimakommune.no
- ⁵³ Se databladet "Frostsprengning av bygningsmaterialer i kulturminner" forfattet av Annika Haugen (http://www.klimakommune.no/kulturarv/Frostsprengning_av_bygningsmaterialer_i_kulturminner). Se også Brimblecombe et al. 2006 og Grossi et al. 2007
- ⁵⁴ Men det finnes naturligvis historiske klimadata for Trøndelag, se f.eks. Nordli 2004
- ⁵⁵ Brimblecombe 2000
- ⁵⁶ Se foredraget "Bygningsvern og klimaendringer" holdt på konferansen *Klima og kulturarv - fortid møter fremtid*, Oslo, 12.11.2009 (www.riksantikvaren.no/Norsk/Prosjekter/Klima_og_Kulturarv/Konferanse)
- ⁵⁷ Se oversikt på grunnlag av Byggeledernes dagbøker etc. i Storemyr 1997, s. 208, 220
- ⁵⁸ Storemyr 1997, s. 202. Forvitringer er kommentert i Byggeledernes dagbøker av Wilhelm Swensen 16.7.1955 (min oppsummering): I dag falt det ned et ganske stort stykke av en vingefra en figur på skipets søndre side. Det er vanskelig å konstatere feil og sprekker i slike stein (Bjørnå-stein), men de absorberer fuktighet og "råtner opp" slik at de kan smuldres med hånden. Egner seg overhode ikke til sterkt utoverhengende figurer. Også på parapetene er oppsmuldringen betydelig
- ⁵⁹ van Winjgaarden & Vincent 2004, se også Brimblecombe et al. 2006
- ⁶⁰ Lysaker 1973, s. 122-23
- ⁶¹ *ibid.*, s. 305
- ⁶² Storemyr & Jacobsen 2000
- ⁶³ Ved den pågående restaureringen av koret blir et benyttet nedløpsrør med større dimensjoner enn tidligere

Litteraturliste

Alnæs, L. 1995: *Kvalitet og bestandighet av naturstein. Påvirkningsfaktorer og prøvemeter.* Dr. ing. avhandling, 1995:5, NTH, Trondheim

Alnæs, L. & Storemyr, P. 1992: An introduction to the diagnosis for integrated conservation of the Nidaros Cathedral, Trondheim, Norway. *Arkeologiske Skrifter fra Historisk Museum*, Universitetet i Bergen, 6, s. 67-77

Anda, O. & Henriksen, J. F. 1992: Miljømålinger på Nidaros domkirke. *NILU rapport*, nr. OR 34/92

Brimblecombe, P. 1987: *The Big Smoke*, London

Brimblecombe, P. 2000: Air Pollution and Architecture: Past, Present and Future. *Journal of Architectural Conservation*, 6, 2, s. 30-46

Brimblecombe, P. (red.) 2003: The Effects of Air Pollution on the Built Environment. *Air Pollution Reviews*, 2, London

Brimblecombe, P. & Bowler, C. 1992: The History of Air Pollution in York, England. *J. Air Waste Manage. Assoc.* 42, 12, s. 1562-1566

Brimblecombe, P. & Grossi, C. M. 2009: Millennium-long damage to building materials in London. *Science of the Total Environment*, 407, 4, s. 1354-1361

Brimblecombe, P. & Rodhe, H. 1988: Air Pollution - Historical Trends. *Durability of Building Materials*, 5, s. 291-308

Brimblecombe, P., Grossi, C. M. & Harris, I. 2006: Climate change critical to cultural heritage. I: Fort, R., Alvarez de Buergo, M., Gomez-Heras, M. & Vazquez-Calvo, C. (red.) *Heritage, Weathering and Conservation, Proceedings of the International Heritage, Weathering and Conservation Conference (HWC-2006)*, 21-24 June 2006, Madrid, Spain, London, s. 387-393

Dahlin, E. & Kjeldsberg, P. A. (red.) 1990: *100 dager med luftangrep. Prosjektrapport.* Riksantikvaren, Trondheim
Ekroll, Ø. & Storemyr, P. 1998: The Nidaros Cathedral Choir, Norway: 750 Years of Structural Problems. *Proceedings: First International Congress on Restoration of Gothic Cathedrals*, Vitoria Gasteiz, Spain, 22-25 May 1998

Fischer, G. 1964: *Domkirken i Stavanger*, Oslo

Fischer, G. 1965: *Utstein kloster. Kongsgård-kloster-herregård*, Stavanger

Fischer, G. 1969: *Nidaros domkirke. Gjenreisning i 100 år. 1869-1969.* Oslo

Grossi, C. M., Brimblecombe, P. & Harris, I. 2007: Predicting long term freeze-thaw risks on Europe built heritage and archaeological sites in a changing climate. *Science of the Total Environment*, 77, 2-3, s. 273-281

Gullmann, J. (red.) 1992: Air Pollution and the Swedish Heritage. Progress 1988-1991. *Konserveringstekniska Studier*, Rapport, RIK 6, Riksantikvarieämbetet, Stockholm

Hagen, L. O. 1994: Rutineovervåking av luftforurensning. April 1993-mars 1994. *NILU rapport*, nr. 46/94

Holt, R., Skjærstein, A. & Storemyr, P. 1993: Acoustic anisotropy of deteriorated soapstone from the Nidaros Cathedral, Trondheim, Norway. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 29, 1, s. 266-275

Haagenrud, S. 1973: Steinforvitring Nidarosdomen. *NILU-rapport*, nr. OR 57/73

Jacobsen, M. 1990: *Forurensningssituasjonen rundt Nidaros domkirke.* Hovedoppgave, NTH

Jespersen, T. 2005: The Nidaros Cathedral in Trondheim. The Norwegian National Symbol. Stabilization of the Choir. I: Modena, C., Lourenço, P. B. & Roca, P. *Structural analysis of historical constructions: possibilities of numerical and experimental techniques*, 2, London, s. 1341-8.

Kieslinger, A. 1932: *Zerstörungen an Steinbauten. Ihre Ursachen und ihre Abwehr.* Leipzig and Wien

von Konow, T. 2001: Investigation of Old Mortars at Nidaros Cathedral and Development of Restoration Mortars. I: Lunde, Ø. & Gunnarsjaa, A. (red.) 2001: Report Raphael II. Nidaros Cathedral Restoration Trondheim Norway. *NDR-rapport* nr. 2/2001, Trondheim, s. 5-17.

Lidén, H.-E. 1972: Trondheim domkirke og norsk restaureringshistorie. En oversikt. *Kirke og kultur*, 2, s. 86-95.

Lunde, Ø. & Gunnarsjaa, A. (red.) 2001: Report Raphael II. Nidaros Cathedral Restoration Trondheim Norway. *NDR-rapport* nr. 2/2001, Trondheim

Lysaker, T. 1973: *Domkirken i Trondheim*, 3, Oslo

von Minutoli, A. 1853: *Der Dom von Drontheim und die mittelalterliche Kunst der skandinavischen Normannen*, Berlin

Moe, M. 1998: Korskirkens Nordportal. Avgangssoppgave, Konservatorskolen, Det Kongelige Danske Kunstakademi, København

Myklebust, D. 1984: Domkjærka no igjen! *Fortidsminneforeningens Årbok*, s. 25-43

Mylona, S. 1993: Trends of sulphur dioxide emissions, air concentrations and depositions of sulphur in Europe since 1880. *EMEP/MSC-W Report 2.* The Norwegian Meteorological Institute, Oslo

NDR 2000: The Raphael Programme, Nidaros Cathedral Restoration. Report Raphael I (to the European Commission). NDR, Trondheim

Nordli, P. Ø. 2004: Spring and summer temperatures in Trøndelag 1701-2003. *Rapport*, nr. 05/2004, Norwegian Meteorological Institute, Oslo

Price, C. 1996: *Stone Conservation – An Overview of Current Research.* The Getty Conservation Institute, Los Angeles

Ringbom, S. 1987: Stone, style and truth. The vogue for natural stone in Nordic architecture 1880-1910. *Finska fornminnesföreningens tidskrift*, 91

Rosvall, J., Aleby, S. (red.) 1988. *Air Pollution and Conservation - Safeguarding our Architectural Heritage*, Amsterdam

Schaffer, R. J. 1932: *The weathering of natural building stones.* Department of Scientific and Industrial Research, Building research, *Special Report* no. 18, London

Schöning, G. 1762: *Beskrivelse over den tilforn meget prægtige og vidtberømte Dom-Kirke i Thronhjem, egentligen kaldet Krist-Kirken*, Faksimile-utgave 1959, Trondheim

Solem, A. J. 1988: Forsterkning av strebesystemet i østskipet, *Byggekunst*, s. 555

Storemyr, P. 1995: Tekniske undersøkelser, sikringstiltak og vedlikehold av Nidarosdomen 1904-1995. Utdrag av byggeledernes dagbøker, årsrapporter og andre rapporter. *NDR-rapport* nr. 9503, Trondheim

Storemyr, P. 1997: *The Stones of Nidaros. An Applied Weathering Study of Europe's Northernmost Medieval Cathedral.* Dr. ing. avhandling, 1997:92, NTNU, Trondheim. Kan lastes ned fra: www.conservation-science.ch/files/1997_storemyr_the_stones_of_nidaros.pdf

Storemyr, P. 1999: Forvitring av klebersteinsportaler i Bergen. *NDR-rapport*, nr. 9902, Trondheim

Storemyr, P. 2001a: Restaurering av koret i Stavanger domkirke. De ytre fasadene 1997-1999. *Fortidsminneforeningens Årbok*, s. 63-74

Storemyr, P. 2001b: Dokumentasjon av skipets vestportal på Utstein klosterkirke. Med vedlagt tilstandsrapport for korets glassmalerier (bidrag fra Bård Sagfjæra og Øystein Ekroll), *NDR-rapport*, nr. 3/2001, Trondheim

Storemyr, P. 2004: Weathering of soapstone in a historical perspective. *Materials Characterization*, 53, 2-4, 191-207

Storemyr, P. & Jacobsen, T. 2000: Water discharge systems and modelling of rain water discharge at Nidaros Cathedral, Trondheim, Norway. In: NDR (ed.), The Raphael Programme, Nidaros Cathedral Restoration. Report Raphael I (to the European Commission), Trondheim, s. 34-48

Storemyr, P. & Lunde, Ø. 1998: Restaureringsplan for Nidarosdomen 1999-2019. *NDR-rapport*, nr. 9801, Trondheim

Storemyr, P., Alnæs, L., Henriksen, J., Anda, O. & Waldum, A. 1992: Diagnosis for integrated conservation of the Nidaros Cathedral, Trondheim, Norway. I: Delgado Rodrigues, J., Henriques, F. & Telmo Jeremias, F., 7th *Int. Congr. on Deterioration and Conservation of Stone, Proceedings*, Lisboa, 3, 1489-1498

de Thurah, L. 1749: Den Danske *Vitruvius*, Bd. II, København

Vogt, J. H. L. 1897: Norsk marmor. NGU, 22

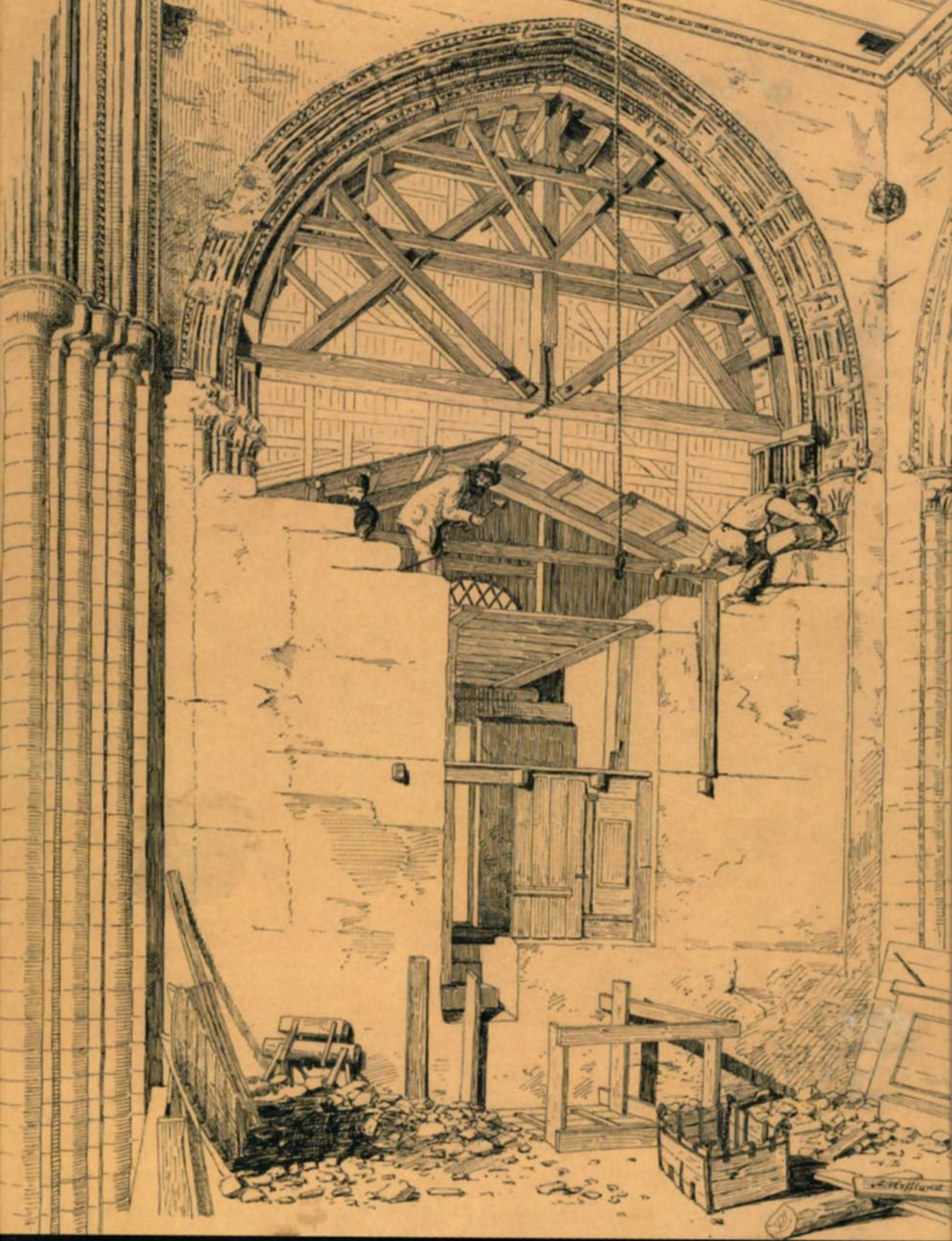
van Wijngaarden, W.A. & Vincent, L.A. 2004: Trends in relative humidity in Canada from 1953-2003. 84th *AMS Annual Meeting*, Seattle, 10-16 January, American Meteorological Society (Extended Abstract). Kan lastes ned fra: [www.yorku.ca/wlaser/publications/Papers \(PDF Format\)/2004/2004_5.pdf](http://www.yorku.ca/wlaser/publications/Papers%20(PDF%20Format)/2004/2004_5.pdf)

Österlund, E. (red.) 1996: Degradation of Materials and the Swedish Heritage. A report from the Air Pollution and Heritage Programme. *Konserveringstekniska Studier, Rapport*, RIK 11, Riksantikvarieämbetet, Stockholm

Summary

From air pollution to climate change: Weathering at Nidaros cathedral in a historical and political perspective

In 1989, paradoxically at a time when clean air acts began to show their positive effects, an adapted version of the Swedish travelling exhibition "Air Attack" was launched in Trondheim. The exhibition painted a depressing picture of the results of air pollution in general and at Nidaros cathedral in particular. Although the exhibition grossly exaggerated the implications of air pollution at the cathedral, it became a great success and laid the foundations for more than 10 years of research into the complex causes of weathering of the building. This paper reviews the results of this research and also outlines the next alleged global threat, climate change. As compared to other weathering agents and the situation in major European cities and industrial regions, the cathedral has been only moderately influenced by air pollution. Poor stone quality and Portland cement used during restoration work, causing massive salt weathering, as well as major problems with water discharge and cracking due to structural instability can account for the vast majority of weathering problems. However, the research also showed, like at many places in Europe, that the impact of air pollution (locally derived sulphur dioxide) had a long history; in Trondheim it started in the early 19th century and air concentrations probably reached levels around 1900 that were almost as high as in the 1960s and 70s. But the levels, up to mean values of 35-40 µg/m³ in the winter season, were only a fraction of what was recorded in a city like London. As for climate change, it is argued that there is yet no need to panic; as the world's northernmost medieval cathedral, Nidaros is "used" to extreme climatic events. However, it is also argued that proposals generally put forward as a means to tackle extreme climatic events, summarised in the notion of "risk preparedness", should definitely be implemented at the cathedral, whether the climate will drastically change or not.



Nidarosdomen – ny forskning på gammel kirke



NIDAROS DOMKIRKES
RESTAURERINGSARBEIDER

©Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeiders forlag

Redaksjon: Kristin Bjørlykke, Øystein Ekroll og Birgitta Syrstad Gran

Grafisk design: Guri Jermstad AS

Trykk: GRØSET™

ISBN 978-82-990773-3-0

www.nidarosdomen.no

Trondheim 2010

Foto forside: Riving av gjenmuringen av vestre tårnbue under hovedtårnet og avdekking av 1200-tallets tårnbue. Muren var satt opp etter brannen i 1531 og ble revet i 1891. Tegning av Alf Hofflund 1891. Nr. 1220 i NDRs tegningsarkiv. / Front cover: *Dismantling of the post-1531 wall blocking the western arch of the central tower, exposing the late 13th C arch. Drawing by Alf Hofflund 1891.*

Foto bakside: Den første arbeidsstokken fotografert utenfor nordre tverrskip i 1871. Øverst t.v. byggmester Knud Guttormsen, t.h. for ham i hvit jakke billedhugger Ole Laulo. Steinarbeidere: Ole Furunæs, Nikolai Moe, Petter Krabbye, Hans Fredriksen, Johan Iversen, Christoffer Olsen, Zakarias Stenstad, Nils Myhren, John Solem, Jacob Laulo, Richard Guttormsen, Johan Olsen, Paul Rise, Jens Nergaard.

Murere: Eysten Pedersen, Johannes Øien, Christian Caspersen. Modellsnekker: Kristian Strand. Fotograf: Hans Krum. Foto nr. 2446 i NDRs arkiv
Back cover: *The first group of restoration workers photographed in 1871 by Hans Krum.*

Vestfronten under gjenoppbygging i 1963. Foto 5442b i NDRs arkiv / *The West Front during rebuilding in 1963.*

Innhold

| | |
|--|-----|
| Øivind Lunde Nidaros Domkirkes Restaureringsarbeider (NDR), 140 års historie og nye utfordringer | 8 |
| Øystein Ekroll <i>Lapidarium Nidrosiense</i> - Nidarosdomens steinsamling | 20 |
| Kjartan Hauglid Oktogonens konsollhoder | 40 |
| Andreas Wenk Takkonstruksjoner av stål på Nidarosdomen | 76 |
| Siri Adorsen Elefanttronen fra Nidaros | 98 |
| Dag-Øyvind Engtrø Hvem ristet runer på Nidarosdomen? | 120 |
| Rune Langås Korets søndre fasade | 138 |
| Per Storemyr Fra "Luftangrep" til klimaendring: Forvitring på Nidarosdomen i historisk og politisk kontekst | 164 |
| Marit Hofstad Middelalder og modernitet i Oddmund Kristiansens glassmalerier i Nidaros Domkirke | 192 |
| Tonny Jespersen Stabilisering af koret | 214 |
| Per Storemyr, Nina Lundberg, Bodil Østerås og Tom Heldal Arkeologien til Nidarosdomens middelaldersteinbrudd | 238 |
| Kristin Bjørlykke Den digitale domen. Utvikling og bruk av nye oppmålingsmetoder | 268 |
| Karl Vincent Høiseith Kongeinngangen - laserskanning og statiske analyser | 282 |
| Margrete Syrstad Andås Relikviekapell og kongelig mausoleum? | 296 |
| Kjersti Kristoffersen Steinhuggermerkene i Nidarosdomen som kilde til kunnskap | 318 |
| Øystein Ekroll Olavsskrinet og Oktogonen | 332 |
| Planskisser | 352 |