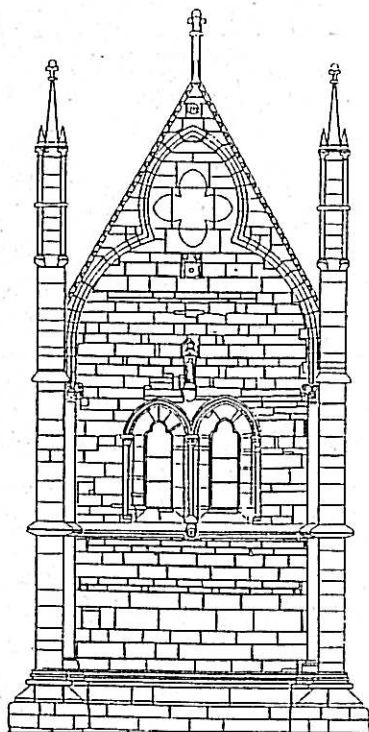


Tore Kvande og Alf M. Waldum

Analyse av gamle kalkmørtler



Samling av
prøveresultater

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Tore Kvande og Alf M. Waldum

Analyse av gamle kalkmørtler

Samling av prøveresultater

Prosjektrapport 239 – 1998

Prosjektrapport 239
Tore Kvande og Alf M. Waldum
Analyse av gamle kalkmørtler
Samling av prøveresultater

ISSN 0801-6461

ISBN ~~82-536-0622-2~~ 0621-4

150 eks. trykt av

S. E. Thoresen as

Resirkulert papir:

omslag Cyclus 200 g

innmat Fortuna 100 g

© Norges byggforskningsinstitutt 1998

Adr.: Forskningsveien 3B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 00

Faks: 22 69 94 38

22 96 55 08 (salg)

Emneord:

Mørtel

Bestandighet

Materialstruktur

Styrke

FORORD

Denne rapporten oppsummerer arbeid som er gjort i EURO CARE-prosjektet EUROLIME. EUROLIME-prosjektet har vært støttet økonomisk av Norges forskningsråd. Deltakere har sammen med Norges byggforskningsinstitutt vært Franzefoss Bruk A/S, Riksantikvaren, Norsk institutt for luftforskning og Institutt for bygg- og anleggsteknikk ved Norges Teknisk Naturvitenskapelige Universitet. Prosjektet pågikk i perioden 1993 - 95.

Trondheim september 1998

Tore Kvande

Alf M. Waldum

INNHOOLD

FORORD	2
1. SAMMENDRAG	5
2. MÅL MED ARBEIDET	6
3. PRESENTASJON AV UNDERSØKTE BYGGVERK	7
3.1 Valg av prøveobjekt	7
3.2 Selje kloster/Albanuskirken på Selja	8
3.3 Nidarosdomen	8
3.4 Hamar domkirkeruin	10
3.5 Kristiansten festning	11
3.6 Det kongelige slott	12
4. PRØVETAKING	14
5. PRØVDE MATERIALEGENSKAPER	18
6. PRØVERESULTATER	19
6.1 Selje kloster	19
6.2 Nidarosdomen	21
6.3 Hamar domkirkeruin	22
6.4 Kristiansten festning	26
6.5 Det kongelige slott	28
7. LITTERATURLISTE	29
VEDLEGG 1 – 3	

1. SAMMENDRAG

Rapporten samler materialdata fra undersøkte gamle kalkmørtler. Hensikten har vært å finne tilbake til de gamle kalkmørtlene og undersøke hvordan de er satt sammen, materialeegenskaper og bestandighet.

Prøveresultatene viser at de gode kalkmørtlene som ble brukt tidligere, var bindemiddelrike. Kalsium utgjør som oftest mellom 30 og 40 % av mørtelens vekt. Som regel finner en også noe hydraulisk materiale i eldre kalkmørtler (brent leire, aske, knust tegl o.a.). Mikroskopanalyse (tynnslip) har vist at pastamengden utgjør 45 - 50 volumprosent. De samme analysene viser at mørtlene ofte har irregulære porer og ganger. Videre er tilslagskornene runde og uten den graderingen som tilstrebes i dag (partikkelsprang og innslag av grove korn)

I enkelte eldre mørtelprøver fins noe organisk materiale (dyrerester o.a.). Slike tilsetninger kan gi luftporer i mørtel og dermed ha positiv effekt på bearbeidbarhet og frostmotstandsevne.

Eldre kalkmørtler har normalt trykkfasthet i området 2 - 5 N/mm², men det fins eksempler på målte fastheter opp mot 20 N/mm². Porestrukturen gjør at mørtlene tar opp og avgir fuktighet raskt. En meget sentral egenskap er kalkmørtelens betydelige deformerbarhet. Det betyr at murverk med kalkmørtel har helt andre bevegelser ved last- og fuktendringer enn for eksempel murverk med sementrike mørtler.

Den grunnleggende målsetningen i EUROLIME-prosjektet var å utvikle materialer velegnet for reparasjon og vedlikehold av eldre murte konstruksjoner. Prøveresultatene i denne rapporten har vært av avgjørende betydning i utviklingen av reparasjonsmørtler med kalk som bindemiddel.

2. MÅL MED ARBEIDET

Kalk var enerådende som bindemiddel i både mur- og pussmørtel fra middelalderen og et godt stykke inn i vårt århundre. Sement ble tatt i bruk sammen med kalk i perioden 1905 - 1925, først i de mer værharde strøkene på Vestlandet. Fra Portlandssementens inntreden på markedet og til ca. 1970 var ulike blandinger av kalk og sement bindemidlet i all mørtel. Senere har mursement og blandinger av sement og ulike tilsetninger (silika o.a.) dominert bindemiddelmarkedet for mørtel. I en periode på ca. 20 år (fra 1970 til 1990) var kalk nærmest helt ute av markedet, hvis vi ser bort fra enkelte antikvariske arbeider. Mye av kunnskapen om sammensetning og arbeidstegninger for rene kalkmørtler gikk tapt i denne perioden. En viktig del av EUROLIME-prosjektet har derfor vært å samle erfaringsdata i håp om å finne tilbake til noe av kunnskapen bak de eldre kalkmørtlene.

Mørtler fra fem historiske byggverk i Norge av ulik alder er samlet inn, og ulike typer laboratorieundersøkelser er foretatt. I denne rapporten er materialdata fra undersøkelsene samlet. Resultatene gir et godt grunnlag for vurdering av sammensetning og egenskaper for eldre kalkmørtler.

3. PRESENTASJON AV UNDERSØKTE BYGGVERK

3.1 Valg av prøveobjekt

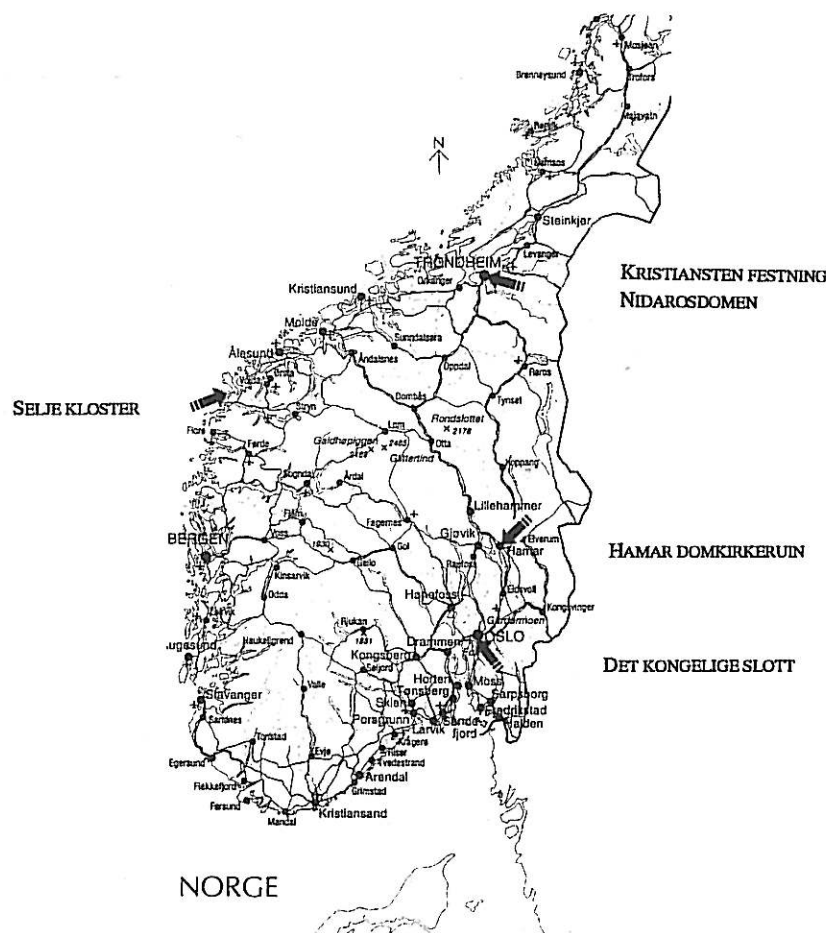
Prosjektet tar for seg kalkmørtler brukt i fem historiske byggverk i Norge. Det kongelige slott, Hamar domkirkeruin, Kristiansten festning, Nidarosdomen og Selje kloster inngår alle som en viktig del av vår kulturarv. Geografisk plassering er vist i figur 3.1.

Vi ønsket å velge prøveobjekter med kalkmørtler som har vist seg å ha god bestandighet. Samtidig ønsket vi en relativt bred aldersmessig spredning på mørtlene. De valgte byggverkene representerer bygningsmessige arbeider fra tidlig på 1100-tallet og frem til i dag (se tabell 3.1).

Tabell 3.1:

Oversikt over hvilke byggverk de undersøkte kalkmørtlene er hentet fra og i hvilken periode byggverkene er oppført i.

BYGGVERK	BYGGEPERIODE
Selje kloster	Tidlig 1100-tallet - 1300-tallet
Nidarosdomen	1130 - 1969
Hamar domkirkeruin	1152 - midten av 1300-tallet
Kristiansten festning	1681 - midten av 1700-tallet
Det kongelige slott	1825 - 1849



Figur 3.1: Geografisk plassering av undersøkte byggverk.

3.2 Selje kloster/Albanuskirken på Selja

Selje kloster på øya Selja like sør for Stad er det eldste kirkelige sentrum på Vestlandet. Etter sagaen bygde Olav Tryggvason en trekirke ved hulen der likene av Sunniva og "Seljemennene" ble funnet, og kort etter 1100 anla benediktermunkene her et kloster innviet til den engelske helgen Albanus, som legenden gjorde til en bror og ledsager av Sunniva. Anlegget består av to deler. Høyt oppe under det utoverhengende fjellet ligger "Sunnivahulen" og "Salen" samt Selje-kirken med terrasser. Nede på sletta nær sjøen finner vi selve klosteret, dominert av den treskipete Albanuskirkens massive romanske tårn. Klosteret, som neppe har vært fullt utbygd før på 1300-tallet, ble restaurert i 1913 og 1935-40. Selje kloster var det første vestnorske bispesete inntil Sunniva-relikviene ble overført til Bergen i 1170.¹¹



Figur 3.2: Selje kloster med Albanuskirken lengst borte. (Foto: Tore Kvande)

3.3 Nidarosdomen

Nidarosdomen i Trondheim er Norges og et av Nordens største kirkebygg fra middelalderen. Kirkens dimensjoner vises blant annet ved en grunnflate på 2930 m² og ved at tårnets høyde med spir er 91 m. Arkitekturen er i hovedsak engelsk med dokumenterbare forbindelser til blant annet katedralen i Lincoln. Kirken er i hovedsak bygd av kleberstein.

Den eldste delen av det stående byggverket er tverrskipet, 1130-80 A.D. De nedre delene er oppført i angloromansk stil, de øvre i overgangen mot gotikk. Oktogonen, det åttekantede kapellet mot øst, og koret er bygd i 1183-1225 i unggotisk stil. Skipet mot vestfronten, som ble oppført ca. 1225-80, er i utviklet høygotikk. Med mulig unntak av vesttårnene må kirken ha stått ferdig om lag år 1300.

I 1328 brant kirken. Nye branner fulgte i 1432 og 1531. Den siste var særdeles ødeleggende, og bygningens vestre del ble nå prisgitt forfallet. Medvirkende til dette var reformasjonsordningen, som omgjorde katedralen til sognekirke. Den østre delen ble istandsatt, men mistet det meste av sitt opprinnelige preg. Ved reparasjoner etter nye branner i 1708 og 1719 fjernet man seg ytterligere fra dette.

På 1800-tallet oppstod tanken om å gjenreise kirken i dens "fordums prakt". Arbeidet tok til i 1869, og er i dag på det nærmeste fullført. Ved restaureringen har man kunnet basere seg dels på profiler og ledd i det gjenstående murverket, dels på profilstein funnet i sekundære støttemurer. Slik kirken nå fremstår, må det antas at tverrskip, skrudhus, oktagon og kor er tilbakeført nokså nært utformingen før 1531. Skipet må også i alt vesentlig ha stått slik det er gjennomført. I detaljene finnes likevel en del fri rekonstruksjon. Holdepunkt for vestfrontens utforming over 3. bilderekke eksisterer ikke, og for den øvre del har man vært henvist til å gjenskape på fritt grunnlag. Dette har gitt rom for flere ulike utkast, og meninger har stått steilt mot hverandre. Store uenigheter hersker også omkring hovedtårnet. De vedtatte planene forutsetter at dette skal forhøyes og spiret fjernes.¹²⁷ Om planene vil bli realisert, er tvilsomt.

Gjennom den siste restaureringsperioden ble det brukt kleberstein med dårligere kvalitet enn den originale. Sammen med bruk av sementmørtler og konstruksjonsløsninger som ikke tar tilstrekkelig hensyn til drenering av regnvann, har dette gitt store skader på restaurerte parti med dårlig stein.



Figur 3.3: Vestfronten av Nidarosdomen. (Foto: Tore Kvande)

3.4 Hamar domkirkeruin

Ruinene av Hamar domkirke ligger ytterst på Domkirkeodden ved Mjøsa. Byggingen av kirken må ha startet kort tid etter at bispesetet ble opprettet i 1152. Bygningen er reist i romansk stil og må antagelig ha stått ferdig på begynnelsen av 1200-tallet. Kirken er oppført av fint tilhugde kalksteinsblokker.^{/3/}

I første halvdel av 1300-tallet foregikk det store byggearbeider på domkirken. Koret og sidekapellene ble utvidet mot øst, og tårnet ble gjort høyere. Alt i alt fikk kirken nå en lengde på 56,8 m, og tårnet, med spir kan ha kommet opp i ca. 50 m.^{/3/}

Ved reformasjonen mistet Hamar domkirke sin rang. Gjennom oppløsning av de kirkelige institusjoner som var knyttet til bispesetet, og Hamarkaupangens tilbakegang ble det ikke lenger bruk for bygningen, og forfallet satte inn. Allerede i 1529 var kirken så forfallen at man ønsket å rive den, men i 1551 bestemmer kongen, etter anbefaling fra lensherren, Christen Munk, at kirken skal istandsettes. Ved svenskenes herjinger i 1567 tok det fyr i domkirken, takene brant og kalksteinen ble sterkt skadet. Også etter dette ble det gjort forsøk på å sette kirken i stand, men i 1584 heter det endelig at kirken "ikke står til å redde og holde ved makt uten stor bekostning". I 1670 falt vestgavlen ned og det store tårnet gikk over ende i 1692. Kirken ble nå brukt som steinbrudd for oppføring av andre bygg i området.^{/3/}

De nasjonalromantiske strømningene som gjorde seg gjeldene i forrige århundre førte med seg en våknende interesse for våre monumenter fra middelalderen. I perioden 1846-48 foretok Foreningen til norske fortidsminnesmerkers bevaring en opprydning i ruinen for å frigjøre den for nedraste murmasser. En mer systematisk utgraving og istandsetting foregikk i 1884-85. I 1903 foretok arkitekt Olaf Nordhaugen en omfattende bygningsarkeologisk undersøkelse og oppmåling. Senere er ruinene blitt konservert flere ganger.^{/3/} Også i dag foregår det store konserveringsarbeider for å redde de gjenstående bygningsrester. Som et viktig ledd i denne bevaringen er det montert ett glassoverbygg over bygningsrestene. Glassoverbygget ble åpnet våren 1998.



Figur 3.4: Parti fra Hamar domkirkeruin. (Foto: Tore Kvande)

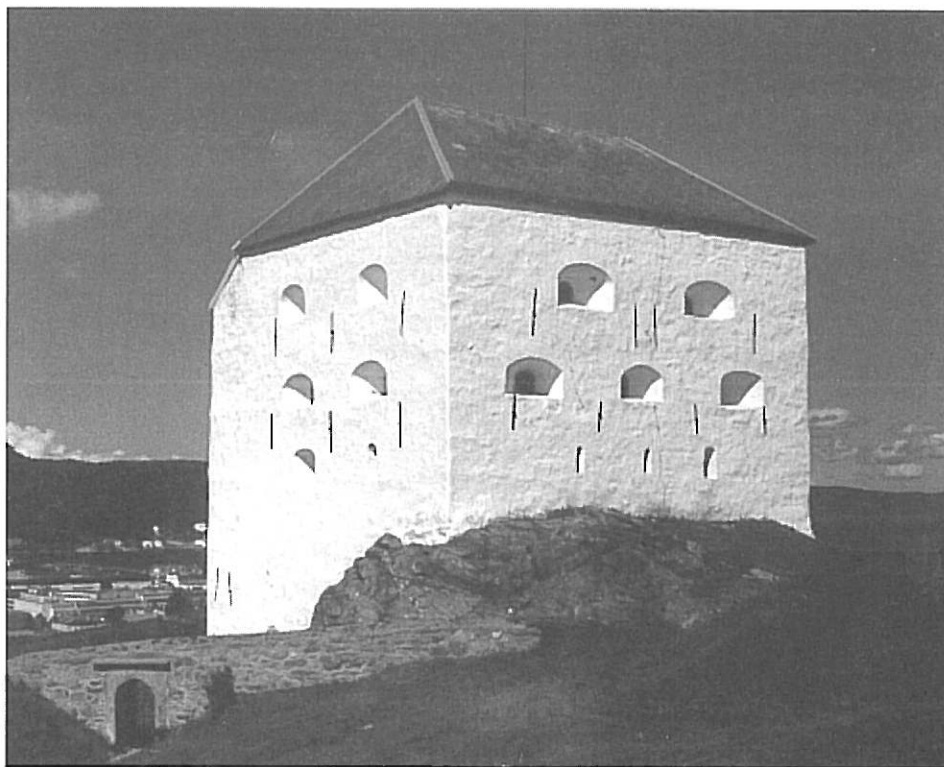
3.5 Kristiansten festning

Kristiansten festning ved Trondheim ble anlagt i tiåret mellom 1675 og -84 av generalmajor Johan Casper von Cicignon. Festningen inngikk sammen med Munkholmen og Skansen ved Ila, et effektivt forsvar av byen. Festningen bestod av et tårn (donjon) og omkransende murer. Selve tårnet fikk en grunnflate på 17 x 15 m² og inneholdt kruttkjeller og husrom for kommandanten. Tårnet var forsynt med skyteskår. Arbeidene med byggingen av Kristiansten hadde høy prioritet og tårnet ble oppført i tiden 1682-1684. I 1695 ble Møllenberg skanse anlagt nedenfor Kristiansten festning som del av Cicignons byplan.^{/4/}

Festningen ble satt på sin eneste prøve høsten i 1718 da svenskens general Armfelt kom med 7 000 mann for å ta Trondheim. Trondheims forsvar bestod av ca. 5 000 mann, og av disse var 1 000 plassert på Kristiansten. Armfelt hadde ordre fra svenskekongen, Karl 12., om å storme byen straks, men blant annet Kristianstens 76 kanoner gjorde at angrepet ikke kunne gjennomføres som en storming. Da svenskene ikke var forberedt på å beleire byen, trakk de seg tilbake til Klæbu for å vente på forsterkninger. Noe senere fikk de beskjed om at kong Karl 12. var død, og at de måtte vende tilbake til Sverige med uforrettet sak.^{/4/}

På midten av 1700-tallet gjennomgikk festningen store utbedringsarbeider. Muren på Kristiansten ble forsterket og utvidet, en kommandantbolig ble bygget, og tårnet ble forsterket med tilbygging på fasaden som vender mot byen. Denne tilbyggingen ble nok gjort for å minske engstelsen blant byens innbyggere for at kruttkammeret skulle ligge utsatt til ved et eventuelt angrep. Kruttkammeret ligger i tårnets kjeller og har inngang fra vestfasaden som vender mot byen.^{/4/}

En ny plan for hæren i Danmark-Norge ble utarbeidet i 1763, der antallet og kvaliteten på festningene ble vurdert. Her gikk det frem at Kristiansten, sammen med festningene i Fredrikstad og på Kongsvinger, var festninger av første klasse og skulle holdes i topp stand. Det medførte at store summer ble tilført festningen for å opprettholde standarden på festningsverkene.^{/4/}



Figur 3.5: Tårnet ved Kristiansten festning. (Foto: Tore Kvande)

Etter inngåelsen av den svensk-norske union bestemte så kong Karl Johan i 1816 at festningsverkene i Trondheim, med unntak av Munkholmen, skulle nedlegges. Det skulle ikke lenger utøves vedlikehold, og byggverkene skulle overlates til tidens ødeleggelser. Brannposten som var etablert på Kristiansten ble likevel beholdt, og takket være denne gikk ikke festningen helt til grunne. Et stort og meget sentralt verk i Cicignons byplan var altså nær ved å bli utslettet.¹²⁷ I dag håper en at festningen vil bli stående i ennå 300 år og glede og opplyse oss om vår nære og fjerne historie. I løpet av sommeren -93 og -94 ble det derfor gjennomført en omfattende fasaderehabilitering av donjonen (tårnet). Her er det brukt rene kalkmørtler utviklet gjennom EUROLIME-prosjektet.

3.6 Det kongelige slott

Det kongelige slott i Oslo ble oppført som kongebolig av arkitekt H. D. F. Linstow 1825-48. Veggene er i murt og pusset tegl. Hoveddelene av murverket skal ut fra tilgjengelige kilder vært ført opp i løpet av 1830-årene. Slottet har en U-form. Hovedblokkens lengde er 100,3 m, bredde 25,0 m og høyden 23,5 m, mens de tilsvarende målene for de to vinger er 72,4 m, 14,2 m og 16,0 m. Samlet fasadeareal er angitt til ca. 8 500 m². Bygningen er ved siden av Universitetet i Oslo Norges mest representative klassisistiske bygning.¹²⁷

Linstows forslag med H-formet grunnplan ble først lagt til grunn for oppførelsen av Slottet. Men allerede to år etter de første spadestikene i 1825 stanset byggearbeidene på grunn av manglende ressurser. Etter at Linstow hadde lagt fram et forenklet og rimeligere prosjekt med U-formet grunnplan, ble bygningsarbeidene gjenopptatt i 1833 og fullført i 1849. Fasadens søylekledde gavlparti og fint proporsjonerte bygningsdetaljer er viktige elementer i Slottets fornemme klassisistiske bygningsstil.¹²⁷

Av storslått virkning er Slottets høye beliggenhet som endepunkt for Karl Johans gate. Denne sammenknytting mellom by og slott via byens hovedgate viser Linstows mesterskap som byplanlegger.¹²⁷



Figur 3.6: Det kongelige norske slott. (Foto: Tore Kvande)

Fra fullførelsen i 1848 fram til i dag er det foretatt relativt få og beskjedne ytre forandringer/ombygginger på Slottet. Største fasadeforandringen synes å være utført på 1870-tallet hvor blant annet dører i frontens ender ble fjernet og inngangspartiet ombygd. Kunnskapene om hva som er gjort med selve pussflatene er mangelfulle. Reparasjoner av skadet puss, ommalinger og liknende er helt klart foretatt flere ganger opp gjennom årene, men skriftlig dokumentasjon på slike arbeider skal ikke foreligge.

I perioden 1993 - 94 er det foretatt en omfattende fasaderehabilitering. Også innvendig er det de siste årene gjennomført betydelige arbeider som ledd i moderniseringen av Det kongelige slott.

4. PRØVETAKING

Å ta gode og representative prøver i felt er vanskelig. I dette prosjektet ble det derfor tatt svært mange prøver fra hvert byggverk. Totalt er det gjennomført nærmere 100 prøveuttak og 250 analyser.

Til prøveuttakene er det stort sett benyttet hammer og meisel og enkelte steder en slipeskive. Tabell 4 a - e gir oversikt over prøveuttakene fra de enkelte byggverkene.

Tabell 4 a:
Beliggenhet og kommentarer til prøveuttakene fra Selje kloster.

PRØVE NR.	BELIGGENHET	DATERING	KOMMENTARER
A	Fra nordmur, indre murliv	1100-tallet	God fasthet
B	Fra sørmur, indre murliv	"	Bra fasthet
C	Fra østmur, indre murliv	"	Bra fasthet
D	Fra østmur, indre murliv	"	Liten prøve
E	Fra østmur, ytre murliv	"	God faset
F	Fra sakristiets vestmur, indre murliv	"	God faset
1	Fra nordmur, indre murliv	"	God faset
2	Fra sørmur, indre murliv	"	God faset
3	Fra vestmur, indre murliv, søndre del	"	God faset
4	Fra vestmur, indre murliv, nordre del	"	God faset
5	Fra avdekket felt i nordvestre hjørne	"	Oppsmuldra prøve
6	Fra hellefundament	"	Helt oppsmuldra
7	Fra skipets vestmur, ytre murliv/tårnets østmur	"	Oppsmuldra
8	Fra skipets vestmur, ytre murliv/tårnets østmur, merket z	"	God faset
9	Fra tårnets sørmur, indre murliv	"	God faset
10	Fra tårnets sørmur, ytre murliv	"	God faset

Tabell 4 b:

Beliggenhet og kommentarer til prøveuttakene fra Nidarosdomen ^{15/}. En nøyaktig markering av prøveuttakene fra oktogonen er vist i vedlegg 1.

PRØVE NR.	BELIGGENHET	KOMMENTARER
1	Oktogonen over venstre vindu	Relativt god fasthet, flere kvaliteter i prøven
2	" over høyre vindu	Lav fasthet, hard ytre hud
3	" restaurert tårnspir	Hard mørtel, saltutfelling i området
4	" topp tynn søyle	Bra fasthet, gammel kalkmørtel
5	" søyle kapitèl	Bra fasthet, ny mørtel
6	" sokkel hjørne syd	Bra fasthet, spekket over gammel kalkmørtel
7	" midt under vinduer	Svak kalkmørtel, sterkere ytre sjikt
8	" hjørne syd	God fasthet, sementrik, ikke heft
9	Kor nordside, strebebue u/topp	God fasthet, lav alder, lateks?
10	" " " "	God fasthet, lav alder, lateks?
11	" " tak tårn	God fasthet, relativt lav alder
12	" " tårn vegg vest	Bra fasthet, gammel, mye salter i området
13	" " tårn vegg øst	Tynn spekkmørtel over gammel. mørtel
13a	" " " " " , indre del	Kalkmørtel m/bra fasthet
14	Kor nordside, nedre del streber	Relativt lav fasthet, kalkmørtel
15	" " miljøstasjon	Gammel. forvitret mørtel
16	" " pilaster v/15	Svak kalkmørtel
17	" sørside, strebebue	Bra kalkmørtel, hard overflate, lav heft
18	Kor sørside, tak tårn	Nyere mørtel
19	" " vegg tårn øst	Gammel. mørtel, høy fasthet
20	Nordre oktogontårn	

Tabell 4 c:

Beliggenhet og kommentarer til prøveuttakene fra Hamar domkirkeruin. Prøveuttakene er markert på skisse i vedlegg 2.

PRØVE NR.	BELIGGENHET	DATERING	KOMMENTARER
1	Østre del av midtskipsvegg	Romansk byggeperiode	Dårlig fasthet
2	Grunnmuren under vestveggen	"	Dårlig fasthet
3	Jordlag inntil fundament på vestsiden	" eller senere rep.	Forvitra prøve
4	Mørtelstripe DL 21	"	Dårlig fasthet
5	Jordlag inntil fundament på vestsiden	Romansk byggeperiode	Helt oppsmuldra
6	Fundament under nordre tverrskip	Tidlig gotisk	Bra fasthet
7	Fundament, nordveggen av Kapitelhuset	Gotisk byggeperiode	God fasthet
8	Nordvestre tårnfundament, tilbygd del	"	God fasthet
9	Mørtelkake MK 9	Middelalder ?	Forvitra prøve
10	Rektangulært fundament ved MK 9	Middelalder el. nyere tid	Svært dårlig fasthet
11	Konstruksjon MK 11	Trolig middelalder	Sterkt oppsmuldra
12	Fundament for "bispens gang"	Trolig yngre enn 1250	Bra fasthet
13	Fundament for "bispens gang"	"	Bra fasthet
14	1 m sør for søndre strebepille	Gotisk byggeperiode	Dårlig fasthet
15	Mørtelkonsentrasjon EK 2	Trolig gotisk	Bra fasthet
16	Mørtelkonsentrasjon EK 3	"	God fasthet
17	Fundament for koret, nordside av søndre strebepille	Gotisk byggeperiode	Dårlig fasthet
18	Overgang fundament/mur i nordveggen av søndre strebepille	"	Dårlig fasthet
19	Kormuren, mellom sørøstre hjørne og søndre strebepille	"	Oppsmuldra
20	Korets nordre strebepilar	"	God fasthet
21	Mørtelstripe BL 12	"	Bra fasthet
22	Mørtelstripe BL 17	"	Svært dårlig fasthet
23	Kjerne i sørvestligste søyle	Romansk byggeperiode	Svært dårlig fasthet

Tabell 4 d:

Beliggenhet og kommentarer til prøveuttakene fra Kristiansten festning.

PRØVE NR.	BELIGGENHET	PRØVE NR.	BELIGGENHET	PRØVE NR.	BELIGGENHET
N.2.1	Nordfasade	S.1.1	Sørfasade	Ø.1.1	Østfasade
N.2.2	Nordfasade	S.1.2	Sørfasade	Ø.3.1	Østfasade
N.5.1	Nordfasade	S.4.1	Sørfasade	Ø.3.2	Østfasade
N.8.1	Nordfasade	S.4.2	Sørfasade	Ø.3.3	Østfasade
N.9.1	Nordfasade	V.7.1	Vestfasade	Ø.3.4	Østfasade
N.13.1	Nordfasade	V.8.1	Vestfasade	Ø.4.1	Østfasade
		V.8.2	Vestfasade		

Tabell 4 e

Beliggenhet og kommentarer til prøveuttakene fra Det kongelige slott.

PRØVE NR.	BELIGGENHET	KOMMENTARER
1.1	Sydfasade	God puss
1.2	Sydfasade	God puss
1.3	Sydfasade	Svak puss
1.4	Sydfasade	Svak puss
2.1	Østfasade, vindusomramming	
2.2	Østfasade, over tredje vindu fra nordfasade	
2.3	Østfasade, v/nedløpsrør	Fast puss
3.1	Nordfasade, hjørne mot vestfasade, 2.etg	Sterkt skadet parti
4.1	Vestfasade, mot sydfasade, over beslag	Parti med bom
4.2	Vestgavl, mot sydfasade, mot sokkel	
5.1	Nordfasade, mot gårdsrom, kvaderpuss	Parti med bom
6.1	Vestfasade, hjørne mot sydfasade	Grov puss
S1	Sydfasade	God puss
S2	Sydfasade	God puss
S3	Sydfasade	God puss

5. PRØVDE MATERIALEGENSKAPER

Det er lagt vekt på å undersøke ulike forhold og egenskaper for hvert enkelt av de undersøkte byggverkene. Hovedårsaken er at prøvingen til dels har inngått i andre prosjekter. Det har da heller aldri vært meningen i dette prosjektet å gjennomføre en fullstendig sammenligning av alle mørtlene. CaO-innhold har imidlertid vært sentralt for prøver fra samtlige undersøkte byggverk. I tillegg inneholder rapporten analyseresultater av en rekke andre materialeegenskaper. Tabell 5 viser hvilke egenskaper som er undersøkt og hvilke metoder som er benyttet. Vedlegg 3 viser hvilke analyser som er gjennomført på de ulike prøveuttakene.

Tabell 5:

Oversikt over undersøkte materialeegenskaper og hvilke prøvemetoder som er benyttet.

MATERIALKARRAKTERISTIKK	PRØVEMETODE
Densitet	Prinsipp i NS 3000
Vannabsorpsjon	Prinsipp i NS 3000
Porefyllingstall	
Frostmotstandsevne	NBI-metode 134/93
Trykkfasthet	NT BUILD 440
Syreløselig CaO *)	Nordtest-remiss nr. 983-91
Syreløselig SiO ₂ **)	Nordtest-remiss nr. 983-91
Vannløselig SO ₄ ***)	
Syreløselig rest ***)	
Proteininnhold	
Forurensning/salter:	
- surhetsgrad	Indikatorpapir
- klorider	Felling i surt miljø med sølvnitrat (AgNO ₃)
- sulfater	Felling i surt miljø med bariumklorid (BaCl ₂)
- nitrater	Ionekromatografi
Mikroskopi	Tynnslipanalyse

*) Utgjør ca. 0,7 * kalkinnholdet i mørtelen ^{16/}.

***) Gir en indikasjon på eventuell sementmengde i mørtelen.

****) Gir et mål på tilslagsmengde.

6. PRØVERESULTATER

6.1 Selje kloster

De fleste prøveresultatene fra Selje kloster er samlet i tabell 6.1 a. I tillegg er resultatene fra tynnslipanalysene vist i tabell 6.1 b og 6.1 c.

Tabell 6.1 a:
Analyseresultater av mørtelprøver fra Selje kloster.

PRØVE NR.	DENSITET [kg/m ³]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	PROTEININNHOLD [ppm]	KOMMENTARER
A	2490	39,2	10	God fasthet
B	2240	34,2	4	Bra fasthet
C	2500	6,4		Bra fasthet
D		6,7		Liten prøve
E	2530			God fasthet
F	2130	33,6		God fasthet
1	2170			God fasthet
2	2270			God fasthet
3	2450			God fasthet
4	2430			God fasthet
5	1810			Oppsmuldra prøve
6	2350			Heilt oppsmuldra
7	2580			Oppsmuldra
8	2540		6	God fasthet
9	2260	33,6		God fasthet
10	2380		20	God fasthet

Tabell 6.1 b:

Resultater fra tynnslipanalyse av mørtelprøve A fra Selje kloster. Slipet har for små pussbiter til å få noen sammenhengende prøve. Undersøkelse gir kun indikasjoner på tilstanden.

BESTANDDEL	PARAMETER	VURDERING
Bindemiddel	v/b-tall	Muligens noe lavere enn 0,7
	Homogenitet	Noe ujevn
	Karbonatisering	Jevnt i hele slipet
	Ca(OH) ₂ -innhold	Nei, alt er omdannet til karbonat.
	Heft tilslag/pasta	God
	Sprekker/riss	Lite
Luft	Form	Irregulære porer og ganger perforerer hele slipet
	Porefyllinger	Ikke mulig å påvise
Tilslag	Form	Mye kantede, avrundede fragmenter
	Fordeling	Bra

Tabell 6.1 c:
Resultater fra tynnslianalyse av mørtelprøve B fra Selje kloster.

BESTANDEL	PARAMETER	VURDERING
Bindemiddel	Pastamengde	48,7 volum-%
	v/b-tall	Indikerer v/b > 0,7
	Homogenitet	Ujevn. Klakklumper sees tydelig
	Karbonatisering	Stort sett jevnt i hele slipet
	Ca(OH) ₂ -innhold	Nei, alt er omdannet til karbonat.
	Heft tilslag/pasta	God
	Sprekker/riss	Lite
Luft	Mengde	12,2 volum-%
	Form/størrelse	Ganger perforerer bindemiddelfasen i hele slipet. Irregulære porer og ganger
	Fordeling	OK
	Porefyllinger	Kan ikke observeres
Tilslag	Mengde	38,9 volum-%
	Form	Mye kantede, avrundede fragmenter
	Fordeling	God

6.2 Nidarosdomen

I tabell 6.2 a er de fleste prøveresultatene fra Nidarosdomen samlet. Analyse av forurensninger/salter er vist i egen tabell 6.2 b.

Tabell 6.2 a:

Analyseresultater av mørtelprøver fra Nidarosdomen ^{15/}.

PRØVE NR.	VANN- ABSORPSJON [Vekt-%]	PORE- FYLINGSTALL [%]	FROST- MOTSTANDSEVNE	LØSELIG CaO [Vekt-%]	LØSELIG SiO ₂ [Vekt-%]	KOMMENTARER
1	4,8	83				Relativt god fasthet
2	5,8	79	Minimal			Lav fasthet, hard ytre hud
3	-	-				Hard mørtel, saltutfelling
4	18,8	91	God			Bra fasthet, gml. kalkmørtel
5	13,8	-				Bra fasthet, ny mørtel
6	10,7	-	God			Bra fasthet, spekket over gml. kalkmørtel
7	5,1	97	Minimal	24,6	2,1	Svak kalkmørtel, sterkere ytre sjikt
8	12,0	94	Meget god	37,2	8,2	God fasthet, sementrik
9	10,6	78	God	28,1	7,2	God fasthet, lav alder,
10	8,5	79	Meget god			God fasthet, lav alder,
11	12,0	-	God			God fasthet, relativt lav alder
12	11,5	69				Bra fasthet, gml., mye salter
13	13,0	88	Middels	22,0	5,9	Tynn spekkmørtel
14	5,3	-	Lav	37,4	1,9	Kalkmørtel m/bra fasthet
15	4,8	90				Relativt lav fasthet,
16	10,1	94				Gasmel forvitret mørtel
17	9,6	92				Svak kalkmørtel
18	10,6	83				Bra kalkmørtel, hard overflate, lav heft
19	19,4	-				Nyere mørtel
20	18,2	93				Gammel mørtel, høy fasthet

Tabell 6.2 b:

Innhold av forurensninger/salter i prøver fra Nidarosdomen ^{15/}.

PRØVE NR.	PH	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
7	6-5	+	+	+
8	10	+	+	+
9	10	+	-	+
13	10	+	+	+
14	5-6	+++	+++	+

- = ikke påvist

+ = påvist

+++ = påvist i større mengder enn for de andre prøvene

6.3 Hamar domkirkeruin

For mørtelprøvene fra Hamar domkirkeruin er det lagt stor vekt på visuelle observasjoner ved hjelp av sterk lupe. Observasjoner og prøveresultater er vist i tabell 6.3 a. Resultater fra tynnslipanalyse er vist i tabell 6.3 b og 6.3 c.

Tabell 6.3 a:
Analyseresultater av mørtelprøver fra Hamar domkirkeruin.

NR.	VANN- ABSORPSJON [%]	DENSITET [kg/m ³]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	LØSELIG SiO ₂ [Vekt-%]	KOMMENTARER
1	-	-	26,9		<i>Romansk byggeperiode.</i> Ser ut til å være ujevn korngradering. (Litt for lite fint og middels tilslag.) Hvit farge. Dårlig fasthet.
2	28,7	2450	18,5	0,65	<i>Romansk byggeperiode.</i> Mere tilslag, mindre kalk og gulere farge enn i nr 1. Dårlig fasthet. Proteininnhold: 3 ppm
3	-	-	24,7		<i>Romansk byggeperiode eller senere reparasjon/ ombygging.</i> Svært porøs/forvitra prøve. Dvs. liten kontakt mellom bindemiddel og tilslag. Same gulfarge som nr. 2. Om nr. 2 og 3 er samme mørtelen er vanskelig å si. Til det er prøve 3 for liten. Mørtel nr 2 inneholder mindre kalk.
4	51,8	2040	40,4	1,06	<i>Romansk byggeperiode eller senere reparasjon/ ombygging.</i> Svært lite tilslag. Gul farge. Mesta bare kalk. Mørtelen skiller seg klart fra nr 2 og 3 gjennom farge og ikke minst kalkinnhold. Dårlig fasthet.
5	-	-	35,9		<i>Romansk byggeperiode</i> Helt oppsmuldra. Inneholder lite tilslag og da som grus/stein. Tilslag-samansetninga minner ikke om nr. 2, 3 og 4 fordi det er mindre flisig. Kalken har omlag samme gulfarge som nr. 2 og 3. Nr. 4 er en god del gulere. Kalkinnholdet er for høyt til at det kan være den same mørtelen som nr. 2 og 3. Mørtelen minner heller ikke om nr. 4.
6	22,3	2370	27,5		<i>Utvidelse i tidleg gotisk byggeperiode.</i> Bra fasthet. En god del tilslag, også knust tegl.
7	24,5	2540	30,8		<i>Gotisk byggeperiode.</i> Flere store "kalkpropper". God fasthet. Noen større steiner/gruskorn og også små teglbiter. Mørtelen er ikke ulik nr. 6.
8	41,8	2380	24,7	2,27	<i>Gotisk byggeperiode.</i> Kalken er hvit. Myke tilslag. God fasthet.
9	6,5	2640	38,7		<i>Middelalder?</i> Forvitra. Lite tilslag. Gul/brunaktig farge. Fant ingen som liknet. Vanskelig å si så myke siden prøven var oppsmuldra. Inneholdt for øvrig noen store steiner.
10	19,6	2330	7,9		<i>Middelalder eller nyere tid?</i> Myke sand i tilslaget. "Kalkpropper". Smuldrer lett i stykker. Kalkinnholdet er svært lavt, men inneholder trolig også sement. Svært dårlig fasthet.

Tabell 6.3 a forts.

NR.	VANN- ABSORPSJON [%]	DENSITET [kg/m ³]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	LØSELIG SiO ₂ [Vekt-%]	KOMMENTARER
11	-	-	44,9		<i>Trolig middelalder</i> Svært myke kalk, men også tilslag. Knust tegl i tilslaget. Sterkt oppsmuldra. Gulaktig farge.
12	50,1	2420	20,8		<i>Trolig yngre enn ca 1250.</i> Gulere enn nr. 13. Minner om nr. 6, men 6 er en tanke lysere. Hadde ventet litt høyere kalk-innhold i denne prøva. Knust tegl i tilslaget. Bra fasthet.
13	22,0	2470	38,7		<i>Trolig yngre enn ca 1250.</i> Målingene viser overraskende høyt kalkinnhold. Prøven ser nemlig ut til å inneholde myke tilslag. Hvitaktig farge. Mer knust tegl enn nr. 12, men fargen på teglet er lik. Mørtlene 12 og 13 har for ulikt kalkinnhold til at det kan være den same mørtelen. Bra fasthet.
14	-	-	29,2		<i>Gotisk byggeperiode.</i> Oppsmuldra prøve. Fint tilslag med finknust tegl. Kalken har gulaktig/mørkere farge, gulere enn nr. 19, og mørtelen er i det hele tatt mørkere enn nr. 19. Også kalkinnholdet er noe høyere enn nr. 19. Begge inneholder derimot litt finknust tegl. Dårlig fasthet.
15	14,8	2300	16,8		<i>Trolig gotisk byggeperiode.</i> Bra fasthet. Myke sand i tilslaget. Litt finknust tegl her og. "Kalkpropper". Minner litt om nr 17. men kalkinnholdet er for ulikt.
16	22,8	2600	38,7	0,34	<i>Trolig gotisk byggeperiode.</i> God fasthet. Fargen minner om nr. 12. Kan også minne litt om nr. 13. Det største mørtelstykket av nr. 13 skiller seg imidlertid en del ut. Teglet i tilslaget har en litt annet farge enn nr. 12 og 13.
17	21,1	2270	29,2		<i>Gotisk byggeperiode.</i> Knust tegl i tilslaget. (Stort teglstykker) Myke sand i tilslaget, og skiller seg med det ut fra 14, 19 21, og 22. Også kalkinnholdet er høyere enn 19, 21 og 22. Minner om nr. 15 pga. sandinnholdet, men nr. 15 er hvitare og inneholder mindre kalk. Dårlig fasthet.
18	37,6	2270	13,2	1,22	<i>Gotisk byggeperiode.</i> Noen parti'er gule, andre er hvite. Mørtelen inneholder knust tegl. Dårlig fasthet.
19	-	-	24,7	1,87	<i>Gotisk byggeperiode.</i> Det er vanskelig å si noe særlig om denne prøva siden den er så oppsmuldra. Finknust tegl som tilslag.
20	21,3	2580	26,3		<i>Gotisk byggeperiode.</i> Både større teglbiter og litt mørkere mørtel enn nr. 19. Kalkinnholdet er derimot likt og en kan ikke se bort fra at mørtlene er fra samme periode. Prøva minner likevel mest om nr. 14 (farge og kalkinnhold). God fasthet.

Tabell 6.3 a forts.

NR.	VANN- ABSORPSJON [%]	DENSITET [kg/m ³]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	LØSELIG SiO ₂ [Vekt-%]	KOMMENTARER
21	30,9	2300	25,1	1,14	<i>Gotisk byggeperiode.</i> Gulbrun farge. Finknust tegl i tilslaget. Ikke ulik nr. 20 og heller ikke nr. 14. Bra fasthet. Proteininnhold: 2 ppm
22	33,6	2390	23,0		<i>Gotisk byggeperiode.</i> Porøs. Det finknuste teglet og tilslaget ellers minner om nr. 14, 19 og 21. Nr. 17 skiller seg ut med mer sand. Hvitere kalk enn 14, 20, 21 og også nr. 19. Nr. 19 kommer nærmest i farge. Svært dårlig fasthet.
23	17,8	2530	21,3		<i>Romansk byggeperiode.</i> Mye tilslag. Hvit farge. Strukturen og kalkinnholdet minner litt om nr. 3, men nr. 3 er gulere. Ulik nr. 2. Svært dårlig fasthet.

Tabell 6.3 b

Resultater fra tynnslipanalyse av mørtelprøve 2 fra Hamar domkirkeruin. Slipet har for små pussbiter til å få noen sammenhengende prøve for punkttelling. Undersøkelse gir kun indikasjoner på tilstanden.

BESTANDDEL	PARAMETER	VURDERING
Bindemiddel	Pastamengde	46,1 volum-%
	v/b-tall	Indikerer v/b > 0,7
	Homogenitet	Noe ujevn
	Karbonatisering	Hele prøven velkarbonatisert
	Ca(OH) ₂ -innhold	Nei, alt er omdannet til karbonat.
	Heft tilslag/pasta	God
Luft	Sprekker/riss	Lite
	Fordeling	Hele bindemiddefasen i slipet er perforert med luftganger.
	Porefyllinger	Ikke mulig å påvise
Tilslag	Form	Mye kantede, antagelig naturlig løsmasser

Tabell 6.3 c

Resultater fra tynnslipanalyse av mørtelprøve 8 fra Hamar domkirkeruin.

BESTANDEL	PARAMETER	VURDERING
Bindemiddel	Pastamengde	46,1 volum-%
	v/b-tall	Indikerer v/b > 0,7
	Homogenitet	Svært jevn
	Karbonatisering	Hele slipet er karbonatisert, men noe ujevnt
	Ca(OH) ₂ -innhold	Noe, men ujevnt i hele slipet. Mesteparten er omdannet til karbonat.
	Heft tilslag/pasta	God
Luft	Sprekker/riss	Mange. De fleste antagelig induisert ved prøveuttak
	Mengde	3,9 volum-%
	Størrelse	0 til 1 mm. Hovedsakelig små runde porer < 350 µm, men også større irregulære porer er til stede.
	Fordeling	OK
Tilslag	Porefyllinger	Dette kan ikke fastslås sikkert
	Mengde	49,8 volum-%
	Form	Mye kantede, antagelig naturlig løsmasser
	Fordeling	Bra

6.4 Kristiansten festning

De aller fleste av resultatene fra mørtelanalysene fra Kristiansten festning er samlet i tabell 6.4 a. For prøve nummer N.8.1 er det dessuten gjennomført tynnslipanalyse. Resultatene fra denne analysen er vist i tabell 6.4 b.

Tabell 6.4 a:
Analyseresultater av mørtelprøver fra Kristiansten festning ^{/M/}.

PRØVE NR.	VANNABSORPSJON [Vekt-%]	DENSITET [kg/m ³]	TRYKKFASTHET [N/mm ²]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	PROTEIN- INNHALD [ppm]
N.2.1	23,4	2500			
N.2.2	25,7	2470			
N.3				12,3	
N.5.1	22,6	2480			
N.6				22,4	
N.8.1	22,7	2570			10
N.9.1	20,5	2590		18,5	
N.12				26,9	
N.13.1	21,6	2500	5,1		
S.1.1	21,1	2520		24,7	
S.1.2	22,9	2470			
S.3				23,0	
S.4.1	24,9	2340	0,2	32,5	
S.4.2	9,9	2340			
S.5			0,4		
V.4				14,6	
V.6				26,9	
V.7.1	16,8	2510			
V.8.1	16,8	2370		14,0	
V.8.2	17,9	2470			
Ø.1.1	22,9	2470			
Ø.2				32,5	
Ø.3.1	22,3	2470			
Ø.3.2	22,3	2500			
Ø.3.3	23,0	2480			
Ø.3.4	21,6	2520			
Ø.4.1	23,9	2480		26,3	

Tabell 6.4 b:
Resultater fra tynnslipanalyse av mørtelprøve N.8:1 fra Kristiansten festning.

BESTANDDEL	PARAMETER	VURDERING
Bindemiddel	Pastamengde	49,4 volum-%
	v/b-tall	Indikerer v/b > 0,7
	Homogenitet	Svært jevn
	Karbonatisering	Hele slipet er jevnt karbonatisert
	Ca(OH) ₂ -innhold	Finnes ikke - dette er omdannet til karbonat i hele slipet.
	Heft tilslag/pasta	God
	Sprekker/riss	Noe har oppstått ved uttak, mens noe er opprinnelig. Mange "ujevne" ganger i pastaen.
Luft	Mengde	3,8 volum-%
	Størrelse	Fra 0 opp til 1 mm. Hovedsakelig små runde porer < 350 µm, men også større irregulære porer er til stede.
	Fordeling	Bra i hele slipet
	Porefyllinger	Kan ikke observeres av noe slag
Tilslag	Mengde	46,7 volum-%
	Form	Avrundede, mykt kantede fragmenter, naturlige forekomster. Også spor etter marine masser.
	Fordeling	Muligens noe ujevn, men stort sett bra.

6.5 Det kongelige slott

Resultatene frå analysene på mørtelprøvene fra Det kongelige slott er samlet i tabell 6.5.

Tabell 6.5:

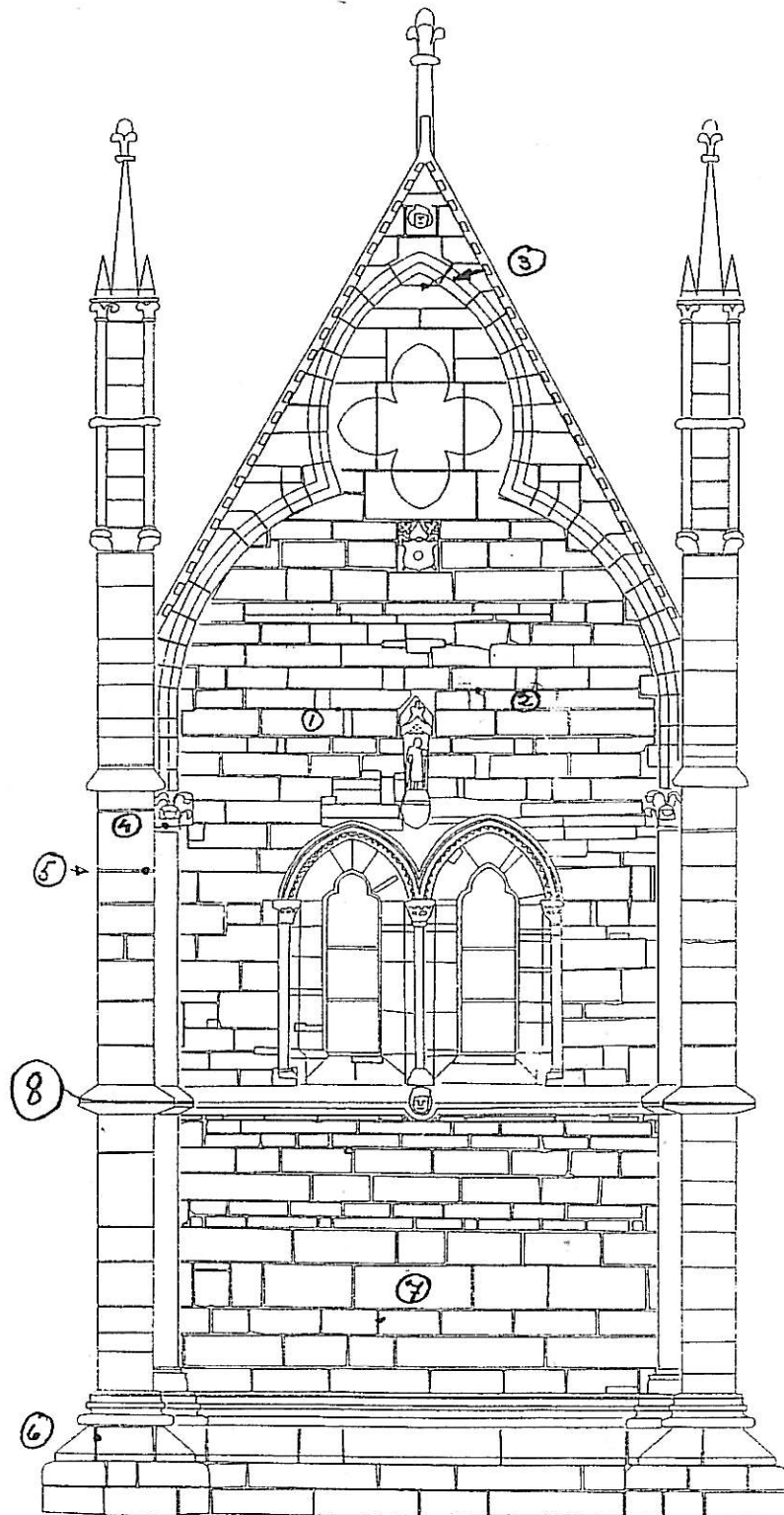
Analyseresultatene av mørtelprøvene fra Det kongelige slott.

PRØVE NR.	DENSITET [kg/m ³]	VANNLØSELIG SO ₄ [Vekt-%]	LØSELIG CaO [Vekt-%]	SYREULØSELIG REST [Vekt-%]	KOMMENTARER
1.1		0,05	9,69	75,1	God puss
1.2		0,10	9,44	76,2	God puss
1.3		0,94	10,10	74,1	Svak puss
1.4		0,32	8,66	78,6	Svak puss
2.1		5,95	9,63	69,5	
2.2		0,26	9,04	74,9	
2.3		0,18	10,20	72,7	Fast puss
3.1		0,06	6,78	81,6	Sterkt skadet parti
4.1		0,15	8,39	76,4	Parti med bom
4.2		0,18	10,12	73,4	
5.1		0,14	9,69	73,2	Parti med bom
6.1		0,63	10,36	70,4	Grov puss
S1	2400				God puss
S2	2550				God puss
S3	2450				God puss

7. LITTERATURLISTE

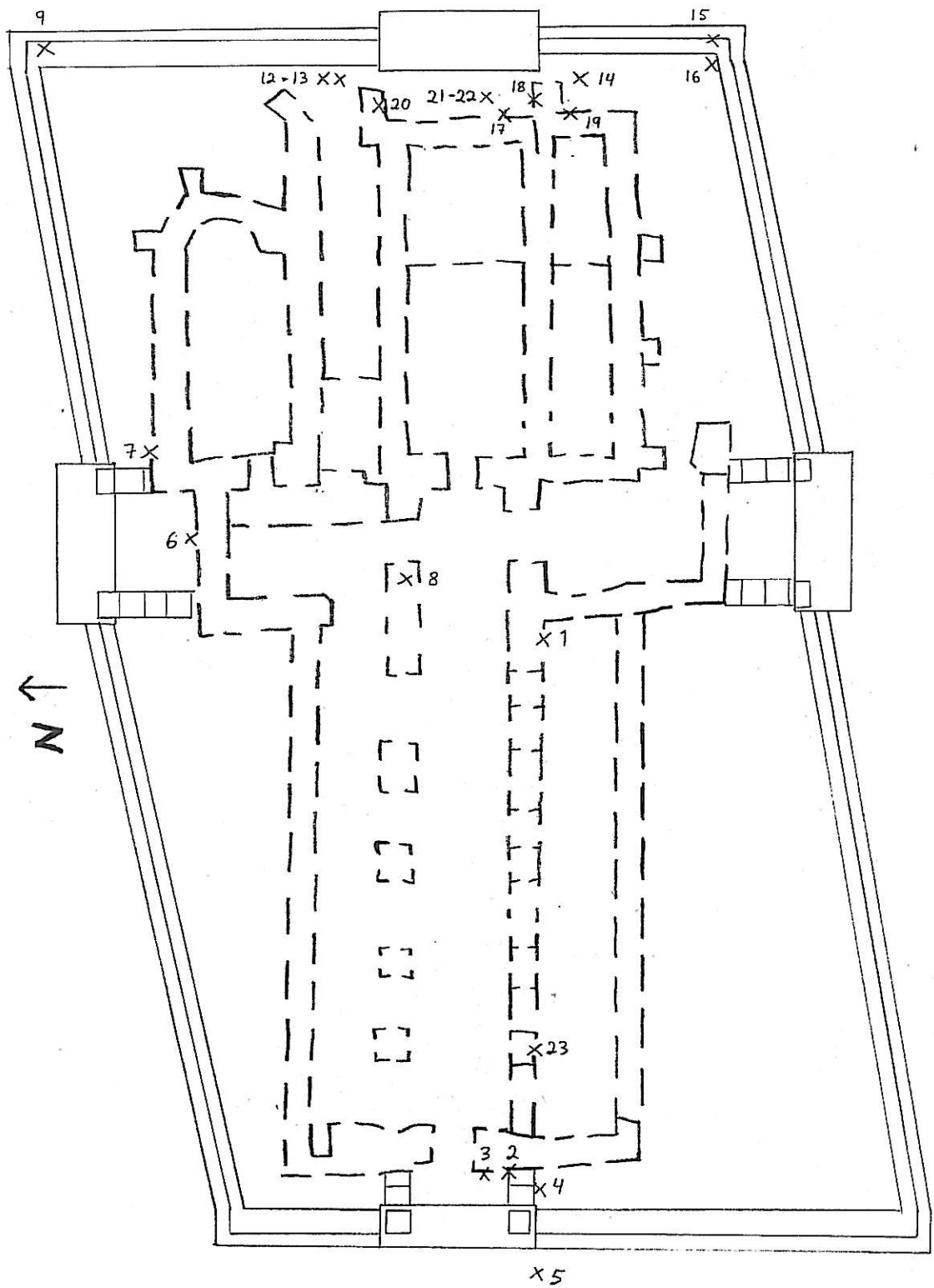
1. *Ashehougs konversasjonsleksikon*, Det Mallingske Boktrykkeri, Oslo 1971
2. *Cappelens Leksikon*, J. W. Cappelens Forlag A.S, Oslo 1989.
3. Sæther, T: *Hamar i middelalderen*, Chr. Morbech - mediaFalch, Hamar 1986.
4. Haug, H. C.: *Utbedring av eldre murbygninger. Kristiansten fesning*, hovedoppgave NTH, 1993.
5. Waldum, A. M: *Nidarosdomen, fugemørtel, egenskaper og sammensetning*. O3586, Norges byggforskningsinstitutt, Trondheim 1992.
6. Lindkvist, J-E. med flere: *Gammal kalkputs med god bestandighet – analys och utvärdering*. Delrapport 1 (1992-93), SP Byggnadsteknik, Borås 1993.





Parti fra oktogonalen på Nidarosdomen

Hamar domkirkeruin



ANALYSER UTFØRT PÅ DE ULIKE MØRTELPRØVENE

Seije kloster

PRØVE NR.	DENSITET	LØSELIG CaO	LØSELIG SiO ₂	PROTEININNHOLD	MIKROSKOPI
A	x	x	x	x	x
B	x	x	x	x	x
C	x	x			
D		x			
E	x				
F	x				
1	x				
2	x				
3	x				
4	x				
5	x				
6	x				
7	x				
8	x			x	
9	x	x			
10	x			x	

Nidarosdomen

PRØVE NR.	VANN-ABSORPSJON	PORE-FYLLINGSTALL	FROST-MOTSTANDSEVNE	LØSELIG CaO	LØSELIG SiO ₂	FORURENSNING/SALTER
1	x	x				
2	x	x	x			
3	x					
4	x	x	x			
5	x					
6	x		x			
7	x	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x
9	x	x	x	x	x	x
10	x	x	x			
11	x		x			
12	x	x				
13	x	x	x	x	x	x
14	x		x	x	x	x
15	x	x				
16	x	x				
17	x	x				
18	x	x				
19	x					
20	x	x				

Hamar domkirkeruin

PRØVE NR.	VANNABSORPSJON	DENSITET	LØSELIG CAO	LØSELIG SiO ₂	PROTEININNHOLD	MIKROSKOPI
1			X			
2	X	X	X	X	X	X
3			X			
4	X	X	X	X		
5			X			
6	X	X	X			
7	X	X	X	X		
8	X	X	X	X		X
9	X	X	X			
10	X	X	X			
11			X			
12	X	X	X			
13	X	X	X			
14			X			
15	X	X	X			
16	X	X	X	X		
17	X	X	X			
18	X	X	X	X		
19			X	X		
20	X	X	X			
21	X	X	X	X	X	
22	X	X	X			
23	X	X	X			

Kristiansten festning

PRØVE NR.	VANNABSORPSJON	DENSITET	TRYKKFASTHET	LØSELIG CaO	PROTEIN- INNHold	MIKROSKOPI
N.2.1	x	x				
N.2.2	x	x				
N.3				x		
N.5.1	x	x				
N.6				x		
N.8.1	x	x			x	x
N.9.1	x	x		x		
N.12				x		
N.13.1	x	x	x			
S.1.1	x	x		x		
S.1.2	x	x				
S.3				x		
S.4.1	x	x	x	x		
S.4.2	x	x				
S.5			x			
V.4				x		
V.6				x		
V.7.1	x	x				
V.8.1	x	x		x		
V.8.2	x	x				
Ø.1.1	x	x				
Ø.2				x		
Ø.3.1	x	x				
Ø.3.2	x	x				
Ø.3.3	x	x				
Ø.3.4	x	x				
Ø.4.1	x	x		x		

Det kongelige slott

PRØVE NR.	DENSITET	VANNLØSELIG SO ₄	LØSELIG CaO	SYREULØSELIG REST
1.1		x	x	x
1.2		x	x	x
1.3		x	x	x
1.4		x	x	x
2.1		x	x	x
2.2		x	x	x
2.3		x	x	x
3.1		x	x	x
4.1		x	x	x
4.2		x	x	x
5.1		x	x	x
6.1		x	x	x
S1	x			
S2	x			
S3	x			

