

KRISTIANSTEN FESTNING

Sluttrapport
2009 — 2013

Ekstraordinært vedlikehold

SLUTTRAPPORT

Ekstraordinært vedlikehold på Kristiansten festning

Forsvarsbygg nasjonale festningsverk gjennomførte i 2007 en komplett tilstandsanalyse av bygninger og fortifikasjoner på 14 nasjonale festninger. En rekke inventarer ble vurdert til å utgjøre en sikkerhetsrisiko for brukere og publikum. I desember 2008 fremla Forsvarsbygg et løsningsdokument og en plan for utbedring av inventarer som utgjorde en sikkerhetsrisiko. Et forprosjekt for arbeidene på Kristiansten festning ble godkjent av Forsvarsdepartementet og nødvendig finansiering av arbeidene ble stilt til rådighet over post 46 ekstraordinært vedlikehold. I 2013 ble avsluttende arbeider finansiert med ordinære vedlikeholdsmidler.

Arbeidene som er dokumentert i denne sluttrapporten ble gjennomført i perioden 2009 – 2013.

Sluttdokumentasjonen er utarbeidet av

Forsvarsbygg nasjonale festningsverk i samarbeid med Forsvarsbygg Utvikling

Tekstbidrag og foto fra Geir Magnussen, Bakken & Magnussen AS

Oslo, desember 2014

INNHOLD

160101 Kristiansten festning

Faktaark s. 5

Sluttdokumentasjon s. 9

1001 Den dobbelte tenalje
1002 Dronningens bastion
1003 Kurtinen
1004 Kongens bastion
1006 Den lavereliggende tenalje
1007 Kronprinsessens batteri
1009 Kronprinsens bastion
1010 Arnolds batteri
1012 Portkurtinen
1016 Mur og port (Traversen)

Vedlegg s. 15

August 2013

KRISTIANSTEN FESTNING REHABILITERT FOR OVER 60 MILLIONER KRONER



Kristiansten festning. Foto Forsvarsbygg nasjonale festningsverk.

I 2009 igangsatte Forsvarsbygg en rekke omfattende og svært krevende vedlikehold- og sikrings-tiltak. I juli 2013 ble de siste gjenværende arbeidene endelig avsluttet. Den 330 år gamle festningen er blitt varsomt rehabilitert for over 60 millioner kroner og Kristiansten festning er nå klar for nye vandringer, gode måltider og folkefester.

Arbeidet omfatter store murarbeider – hele 1500 kvm mur er sikret og vedlikeholdt slik at personsikkerheten ivaretas og kulturminneverdiene bevares. Vollene har fått tilbake historisk korrekt vollprofil. Ut over murarbeidene er det gjennomført et omfattende, utvendig vedlikehold av Haubitzmagasinet, Kasernebygningen og Kommandantboligen, samt etablering av heis i Kasernebygningen for å tilfredsstille offentlige krav.

Sikkerhet og faglig forsvarlige metoder

Utfordringen ved murarbeidene har vært å ivareta sikkerheten og samtidig tilbakeføre murene med historisk korrekte materialer og metoder. Kalkmørtel er anvendt i nært samråd med Riksantikvaren. De utsatte murkronene, som sammen med feil bruk av hard og tett sementmørtel har bidratt til store fuktansamlinger i murene, er nå istandsatt med mer historisk korrekte og miljøvennlige materialer.

FAKTAARK

Kristiansten festning forvaltes av Forsvarsbygg nasjonale festningsverk som har ansvaret for forvaltning, utleie, drift og vedlikehold på festningen. Vedlikeholdsarbeidene er utført av Forsvarsbygg utvikling med finansiering over både ordinære vedlikeholdsbudsjetter og ekstraordinære bevilgninger fra Forsvarsdepartementet.

Spesialkompetanse innen kulturminnevern

Forsvarsbygg nasjonale festningsverk har med sin spesialkompetanse innen kulturminnevern hatt en sentral rådgiverfunksjon gjennom hele byggefasen.

På Kristiansten festning er det gjort omfattende murarbeider. Hele 1500 kvm mur er rehabilitert. Arbeidene inngår i en ekstraordinær vedlikeholdsinnsett finansiert av Forsvarsdepartementet for å sikre kulturminneverdier og personsikkerheten på festningene. I perioden 2009-2015 vil det totalt være rehabilitert nær 19000 kvm mur samlet på alle festningene.

Å sørge for velholdte, sikre, åpne og tilgjengelig festninger er et viktig oppdrag for Forsvarsbygg. At Forsvarsdepartementet som eier gjør nødvendige priorite-

ringer for at kulturminner skal ivaretas, betyr mye.

Kristiansten festning er i aktiv bruk som rekreasjonsområde, til historiefremføring og restaurant- og skolevirksomhet. Utleievirksomheten bidrar til finansiering av ivaretagelsen av festningen. Vedlikeholdsarbeidene sikrer fortsatt bruk av festningen og legger grunnlaget for at festningen kan videreutvikles til en attraktiv arena i samarbeid med leietakerne.

Kasernebygningen som benyttes av Thomasskolen, har fått ny heis for å sikre kravene til skolevirksomhet i bygget. I tillegg er det utført utvendig vedlikehold for å unngå at murpuss faller ned i skolegården. I Elevforlegningen, som benyttes av Trondheim international school, er våtrommene utbedret.

På **Haubitzmagasinet** er det gjennomført en omfattende utvendig rehabilitering på tak og fasader. Skader på takstein, undertak, vinduer, murpuss, grunnmur og råtteskder i konstruksjon er utbedret. Innvendig har leietaker i første etasje for egen regning tilpasset lokalet til ny bruk som selskapslokale.



Haubitzmagasinet. Forsvarsbygg arbeider nå med å tilpasse annen etasje for utstillinger i regi av FAKT. (Forsvarets avdeling for kultur og tradisjon)

Ny kasmatt funnet i forbindelse med rehabiliteringsarbeidene.





Foto: Kronprinsens batteri (mot vest) august 2012. Siste finpuss på kalkfugene.

Foto til høyre:

Utside av den dobbelte tenalje. Deler av muren måtte plukkes ned og mures opp igjen. Bildet er tatt i juli 2010 rett før oppstart av arbeidene på denne muren.

Velholdte murer

Flere av de høye festningsmurene måtte tas delvis ned på grunn av skader. Murveggene måtte også fuges på nytt. Murkroner og voll er nå dekket med tettende leirmembran som skal hindre ny fuktinntrenging. På toppen er de gamle vollprofilene tilbakeført og byr besøkende fri – og sikker – utsikt over byen.

Murspesialister innen kulturminnevern i Forsvarsbygg nasjonale festningsverk har hatt en sentral rådgiverfunksjon gjennom hele prosessen.

Ny kasematt (foto til venstre)

Rehabiliteringsarbeidene bød også på noen overraskelser. En helt ny kasematt ble funnet, som mest sannsynlig stammer fra perioden 1940-45. Denne er nå gravd helt frem og er sikret og dokumentert. Kasematten ble oppdaget ifm terrengbearbeiding, og et tidligere søkk i terrenget viste seg å være inngangen. Kasematten ligger innenfor 'den dobbelte tenalje' med inngang mot Dronningens bastion.





Donjonen åpnet nylig en ny utstilling som viser festningens utvikling gjennom kart, bilder og gjenstander. I tillegg huser Donjonen utstillingen om general Armfeldts angrep på Trondheim i 1718.

60 millioner kroner

Prosjektene ved Kristiansten har en total kostnadsramme på over 60 millioner kroner. Arbeidene er finansiert gjennom ordinær drift og ekstraordinære bevilgninger fra Forsvarsdepartementet. Forsvarsbygg utvikling har vært ansvarlig byggherre.

Ivaretar kulturarven

- Vi er veldig glade for at disse prosjektene er blitt gjennomført. På denne måten ivaretar vi kulturarven på en god måte. Vi er opptatt av at Kristiansten festning, i likhet med alle de andre festningene, skal være trygge, sikre og hyggelige steder for publikum, sier distriktssjef Hilde Herberg.

Unik kulturarena med stort potensiale

Festningene landet rundt har befestet sin posisjon som attraktive kulturarenaer. Formannskapet i Trondheim vedtok som kjent nylig at Kristiansten skal ha en prøveperiode som

For mer informasjon vennligst kontakt:

Hilde Herberg mob 91 68 85 58 eller Håvard Christiansen mob 99 08 44 45

Forsvarsbygg | Postboks 405 Sentrum, 0103 OSLO
Telefon: 815 70 400 | Telefaks: 23 09 78 03 | e-post: post@forsvarsbygg.no

**SLUTTDOKUMENTASJON
FOR
SIKRINGS- OG Istandsettingsprosjekter**

**Kristiansten festning
2009-2013**

Prosjektnr
2435042
DocuLivenr og Ephortenr
2009/222 og 2012/3209

Inventarnr	Inventarnavn
1001	Den dobbelte tenalje
1002	Dronningens bastion
1003	Kurtinen
1004	Kongens bastion
1006	Den lavereliggende tenaljen
1007	Kronprinsessens batteri
1009	Kronprinsens bastion
1010	Arnolds batteri
1012	Portkurtinen
1016	Mur og port (Traversen)

INNLEDNING

Bakgrunn for arbeidene

Nasjonale Festningsverk gjennomførte i 2007 en komplett tilstandsanalyse av bygninger og fortifikasjoner på de 14 nasjonale festningsverkene. En rekke inventarer ble vurdert til å utgjøre en sikkerhetsrisiko for brukere og publikum. I desember 2008 fremla Forsvarsbygg et løsningsdokument og en plan for utbedring av inventarer som utgjorde en sikkerhetsrisiko. Et forprosjekt for arbeidene på Kristiansten festning ble godkjent av Forsvarsdepartementet og nødvendig finansiering av arbeidene ble stilt til rådighet over post 46 ekstraordinært vedlikehold. Mur 13, 14 og 15 er finansiert med ordinære vedlikeholdsmidler.

Kort relevant historikk for berørte inventarer

Voller, murer og tårn på Kristiansten festning ble bygget i 1682-1684 som et forsterket, fremskutt fort til støtte for byfestningen Trondheim.

I 1745 ble den nordlige delen av festningen omformet til Kronprinsens bastion og batteriene Arnold og Kronprinsessen.

Rundt 1748 ble kasematter bygget inn i Kronprinsens bastion og Arnolds batteri. Portkurtingen ble forlenget og hovedporten endret.

1807 Nordvestre del av festningen og kasemattene ble reparert

1923 En eksplosjon gjorde stor skade på vestlige flanke/fase på Kronprinsens bastion, men senere reparert

1937 Jordvollene på festningsmurene ble midlertidig fjernet, murkronen blottlagt, avrettet og fikk asfaltdekke før jordmassene ble tilbakeført.

1940-45 Luftvernstilling på spissen Kronprinsens batteri.

2000-tallet Kasemattene istandsatt, og lagt ny membran og skiferkant på murkronene.

Dreneringsgrøfter gjenåpnet.

Godkjenninger og dispensasjoner fra myndigheter

Riksantikvaren

Festningsmurene er satt i verneklasse 1 iht verneplanen for Kristiansten festning (fredet 25.9.2014). Tiltakene kan klassifiseres som vanlig vedlikehold iht møtereferat fra møte mellom Riksantikvaren og Forsvarsbygg 2.4.2009, og er dermed ikke søknadspliktige.

I forbindelse med at mur 5 i den dobbelte tenalje ble demontert i et større omfang enn planlagt ble saken drøftet med Riksantikvaren i møte 25.11.2009, og det ble konkludert med at ommuring av et parti er å anse som vedlikehold.

Tidligere har Riksantikvaren i møte 4.6.2008 godkjent fjerning av tørrmurte kontreforter fra 1920-tallet og gjenoppmuring av indre murer som spekket murverk.

Plan- og bygningsetat (PBL)
Arbeidene var ikke søknadspliktige.
Oversikt over bakgrunnsdokumenter (forprosjekt, prosjekteringsgrunnlag osv)
Tilstandsanalyse av nasjonale festningsverk 2007, datert 20.5.2008 Løsningsdokument (felles for alle festningene), datert 15.12.2008 Forprosjekt 2435042 Kristiansten festning – sikringstiltak murer, datert 3.3.2009 Notat om begrensninger og justeringer i omfang av sikringstiltak, datert 8.1.2010

BESKRIVELSE AV ARBEIDENE

HVA
Hvilke typer arbeider er gjennomført? Beskrives på bygningsdelsnivå
Generelt omspekking og ommuring av festningsmurer og etablering av bentonitt (leire) som tetting på murkronene. Oppbygging av nye mer presise valler på murkronen. Det vises til vedlegg for mer detaljert beskrivelse for hver mur.
Tilstand før tiltak
Generelt mye utfallen semetfuging, enkelte utbulinger og ustabil murverk. Det vises til vedlegg for detaljert beskrivelse for hver mur.
Tilstand som avdekkes under arbeidene
Det vises til vedlegg for mer detaljert beskrivelse av hver mur.
HVOR
Hvor på inventaret er arbeidene gjennomført /hvilke områder er det utført arbeid på? Henvis til skisser/foto med markering
Det er gjort arbeider helhetlig på alle inventarer. Det vises til vedlegg for mer detaljert beskrivelse for hver mur.

NÅR	
Gjennomføringsperiode, spesielt <u>når</u> de ulike arbeidene er gjennomført (for eks mørtelarbeid), tildekkingsperiode osv	
	2009-2013. Det vises til vedlegg for mer detaljert beskrivelse for hver mur.
HVEM	
Hvem har utført de ulike arbeidene (navn på firma)?	
	Frost Entreprenør (mur 1,2,8 og 9) Murarbeid AS (øvrige murer)
HVORDAN	
Hvilke metoder er anvendt?	
	Det vises til vedlegg for mer detaljert beskrivelse for hver mur.
Hvilke materialer er brukt?	
	<ul style="list-style-type: none"> - St.astier NHL 3,5 0-4 mm 1:2,5, blandet på stedet. Sand fra Ramlo sandtak 20 km sør for Trondheim. - Skandinavisk jurakalk NHL5, 1:2. Ferdigmørtel levert av Maxit Trondheim/Smith Trondheim - Bentonit fra Dantonit. Dantogram 0-15 mm, blandet med sand fra Kneppet, 1:4 - Steinlim fra Industribehov Molde. To-komponent polyesterbasert tilsatt kalksteinsmel. - Enkeltsteiner sikret med syrefast dybel. - Gress fra Nordre Gjølstad gård, Brandval.
Spesielle riggforhold?	
	Demontering av mur 17 krevde spesielle riggforhold, se beskrivelse i vedlegg.
HVORFOR	
Begrunnelse for løsninger	
Evaluering av prosessen og resultatet	
	Se vedlegg – rapport fra Geir Magnussen. Vurderinger etter 1 og 3 år er inkl. i rapporten.

ANDRE FORHOLD

Spesielle forhold eller funn gjort underveis

I forbindelse med arrondering av terreng på indre festning på den dobbelte tenalje, ble det oppdaget en kasematt, hvor åpningen var gjenfylt med jordmasser.

Konklusjoner fra analyser av historisk materialbruk

SEIR-materialanalyse, rapport 13.10.2009 av murkjerne, mur nr. 5, 1001 Den dobbelte tenalje
 Konklusjoner: Den undersøkte mørtelen har følgende sammensetning:

Mørtel: Kalkmørtel
 Bindemiddel: Kalk (luftherdende)
 Tilslag: Grovkornet, fillerfattig sand (grus) med kornstørrelse opp til 5 mm, andelen av korn mindre end 0,25 mm er lav
 Blandingsforhold: Som 2 rommål kalk til 1 rommål sand (tilslag)
 Luftinnhold: 1 vol%

Bindemiddelet er fremstilt av en forholdsvis ren kalkstein med dannelse av relativt få hydrauliske mineralfaser, grunnet brenning ved relativ lav temperatur (omkring 900°C). Prøven synes å ha hatt en opprinnelig styrke svarende til ren luftherdet kalk. I dag vurderes styrken å svare til kalk type NHL 3,5.

VEDLEGG I FORSVARSBYGGS ARKIVSYSTEM

Vedlegg	Beskrivelse	Sider
1	Bakken & Magnussen: Dokumentasjon av utførte sikringstiltak på festningsmurer 2009-2013, Kristiansten festning i Trondheim	26
2	Notat: Funn av kasematt/dekningsrom ved Den dobbelte tenalje på Kristiansten festning, Nasjonale Festningsverk, 5.juli 20110	4
3	Bakken & Magnussen: Nyoppdaget kasematt	3
4	Bakken & Magnussen: Kristiansten festning i Trondheim, dokumentasjon av mur nummer 5	2
5	Bakken & Magnussen: 1009 Kronprinsens bastion, vurdering av deformasjoner i fase (mur 18 og 19)	2
6	E2 (mur 1,2, 8 og 9) notat	8
7	Seir materialanalyse: RAPPORT Kristiansten festning i Trondheim Mørtelprøve fra murkjerne i mur nr. 5, 13. oktober 2009	8

Sluttdokumentasjon av utførte sikringstiltak på festningsmurer 2009-2013, Kristiansten festning i Trondheim

Prosjektnummer/oppdrag 2435042

Prosjektet er delt i to entrepriser, E1 og E2. E1 omfatter murene 3, 4, 5, 6, 7, 11, 13 (kun deler av muren mot nord), 14, 15, 16, 17, 18, 19 (kun deler av muren), 20 (kun toppen av muren), 24, 25, 26 (kun deler av muren), 28 og 29. Samtlige nummererte murer og inventarnummer 1015 er fuktsikret med bentonittleire blandet med sand. Arbeidet er utført av Murarbeid A/S.

Entreprise E2 omfatter murene 1,2,8 og 9. Arbeidet er utført av Frost Entreprenør A/S.



Inventar- og eiendomskart er hentet fra Verneplan Kristiansten Festning, side 226.

Forord

Verneplan Kristiansten Festning (2006) er brukt aktivt som bakgrunnsdokumentasjon under sikringsarbeidet som ble utført i perioden 2009-2013. Verneplanen er brukt som oppslagsverk for datering av murer, bygningsmessige detaljer og foto/kart. Verneplanen vil også i ettertiden kunne brukes som en situasjon før inngrepene i 2009-2013.

Bakgrunnsmateriale (konkurransgrunnlag/tilbudsforespørsel) for utførende firma beskriver i detalj det arbeidet som skal utføres, materialene som skal brukes i gjennomføringen, hvordan de skal brukes og forventet resultat av det utførte arbeidet. Dette materiale lå til grunn for det arbeidet utførende firma regnet pris ut i fra og ga tilbud på. Det var stilt særlige krav til utførende og den utførende håndverker med murerkompetanse relatert til lignende tiltak.

Under utførelse er det benyttet konsulentbistand fra firma Bakken & Magnussen A/S i perioden 2009-2012, samt to befaringer i 2013. Konsulentbistand ble gitt med bakgrunn i beskrivelser i konkurransegrunnlag (oppdrag 2435042 tilbudsnummer 430175), hvor utførelse er beskrevet i detalj. Kursing og opplæring skulle gis den enkelte, i utgangspunktet, godt kompetente håndverker.

Fotodokumentasjon før, under og etter utførelse skulle utføres av utførende firma, men også en rekke foto er tatt under konsulentbistanden fra Bakken & Magnussen A/S. Om ikke annet er nevnt er foto tatt av Bakken & Magnussen as.



Flyfoto(gule sider kart) over Kristiansten festning i Trondheim, deler av inventar nr 1009, Kronprinsens bastion, er under arbeid.

Sammendrag

Sikringsarbeidet med festningsmurene på Kristiansten festning er utført med bakgrunn i tidligere tilstandsvurdering i verneplan. Tiltakene er fortløpende korrigert etter nye vurderinger under arbeidets gang. Hovedtyngden av det utførte arbeidet på festningsmurene, har vært utmeisling av sementbaserte fuger fra tidligere tiltak på 1900-tallet. Det er også utført demontering av større murflater i festningsmurer og mindre deformasjoner i murverket. Alle sementbaserte fuger som er meislet ut er erstattet med naturlig hydraulisk kalkmørtel (NHL). NHL mørtel har blitt benyttet i to varianter, NHL 3,5 (plassblandet) og NHL 5 (tørrmørtel).

Til fuktsikring av murkroner er det benyttet bentonitt blandet med sand som ligger på murkrona og under de nye gresslagte vollprofilene.

Restaureringen og konserveringen av festningsmurer stiller store krav til utførende firma. I og med at murene er satt opp med ren kalkmørtel, ønsket Forsvarsbygg å benytte tilnærmet lik mørtel. På grunn av at man mangler tilstrekkelig kompetanse på bruk av ren kalkmørtel (våtlesket hydratkalk) til utvendig spekking, ble det besluttet å benytte en naturlig hydraulisk kalk. Den naturlige hydrauliske kalken har en del fellestrekk med den kalken som er benyttet ved oppbyggingen av festningsmurene, men også sine ulikheter. Naturlig hydraulisk kalk har også en del likheter med moderne mørtel (sementbaserte) og igjen sine ulikheter.

Hovedtyngden av arbeidet med festningsmurene har vært å fjerne sementbaserte fuger som ble tilført murverket på 1900-tallet. Årsaken til at man ønsket å fjerne disse fugene er at de fungerer dårlig i murverket. Fugene slipper lite fukt ut av muren, er særdeles harde og derfor lite føyelige i murverket ved bevegelse i muren. De sementbaserte fugene ble i all hovedsak meislet ut med elektriske meiselmaskiner, men også luftdrevne meiselmaskiner kjøpt hos Biltema. Sementfugene var i all hovedsak enkle å fjerne og sjeldent dypere enn 10-15 cm.

Deler av murene og hele murer er blitt merket, demontert og murt tilbake med gravemaskin med steinklype. Gravemaskin er også benyttet til oppbygging av nye vollprofiler etter at murkronene er blitt fuktsikret med bentonitt. De nye vollprofilene har blitt dekket med ferdigplen. Under arbeidet med vollprofiler og terrengjustering ble det avdekket en mindre, til da, ukjent kasematt på 1001 den dobbelte tenaljen. Kasematten er trolig fra siste verdenskrig på grunn av materialbruk og byggemåte.

Det store restaurering og konserveringsarbeidet med naturlig hydraulisk kalkmørtel utløste en del utfordringer for de utførende firma. Det var en forutsetning at utførende satte seg meget godt inn i beskrivelsene som er nøyaktig gitt i tilbudsforespørsel. I tilbudsforespørselen er det gitt dybde for utmeisling av fuger, behandling av pinningsstein, rengjøring av fuger, forarbeid før spekking og oppbygging av fuger til beskrevet ferdig resultat. I tillegg hadde utførende løpende mulighet til faglig rådgivning. De spesifikke inngrepene blir omtalt fortløpende etter gitt nummerering av murene relatert til inventarnummer i verneplan.

Mørteltyper, oversikt over hvor de er benyttet

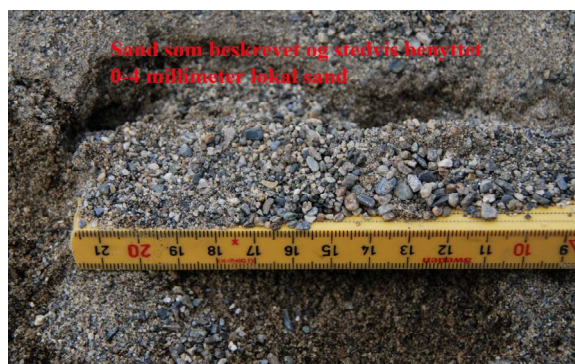
Under sikringsarbeidet er det benyttet to forskjellige bindemiddel fra to forskjellige leverandører, Skandinavisk jura-kalk A/S har levert ferdigmørtel i kvalitet NHL 5. Firma Einar Stange har levert rent bindemiddel (produsert av St. Astier) i kvalitet NHL 3,5. Ferdigmørtel som er levert er kun tilsatt vann. Bindemiddel som er levert på byggeplass er blandet med lokal sand i forholdet 1-2,5. Blandeprosedyrer er gitt utførende firma i tilbudsforespørsel. I ettertid kan de to forskjellige mørteltypene skilles fra hverandre ved at ferdigprodusert tørrmørtel fra Skandinavisk jura-kalk har en tydelig rødlig farge. Den rødlige fargen skyldes tilslaget i mørtelen. Den sees som røde korn i overflaten av fugene. Mørtel som er blandet på stedet med NHL 3,5 og lokal sand er klarere grå i fargen.

Oversikt over hvor de forskjellige mørteltypene er brukt:

Inventar nummer:	Benevnelse	Mur nummer	Mørteltype
1012	Portkurtinen	1	Tørrmørtel NHL 5
1001	Den dobbelte tenaljen	2	Tørrmørtel NHL 5
1001	Den dobbelte tenaljen	3	Tørrmørtel NHL 5
1001	Den dobbelte tenaljen	4	Tørrmørtel NHL 5
1001	Den dobbelte tenaljen	5	Tørrmørtel NHL 5 og NHL 3,5
1002	Dronningens bastion	6	Tørrmørtel NHL 5
1002	Dronningens bastion	7	Tørrmørtel NHL 5
1002	Dronningens bastion	8	Tørrmørtel NHL 5
1003	Kurtinen	9	Tørrmørtel NHL 5
1004	Kongens bastion	11	NHL 3,5 plassblandet
1007	Kronprinsessens batteri	13	NHL 3,5 plassblandet
1016	Traversen	14	NHL 3,5 plassblandet
1016	Traversen	15	NHL 3,5 plassblandet
1007	Kronprinsessens batteri	16	NHL 3,5 plassblandet
1009	Kronprinsens bastion	17	NHL 3,5 plassblandet
1009	Kronprinsens bastion	18	NHL 3,5 plassblandet
1009	Kronprinsens bastion	19	NHL 3,5 plassblandet
1009	Kronprinsens bastion	20	NHL 3,5 plassblandet
1006	Den lavereliggende tenaljen	24	NHL 3,5 plassblandet
1006	Den lavereliggende tenaljen	25	NHL 3,5 plassblandet
1006	Den lavereliggende tenaljen	26	NHL 3,5 plassblandet
1009	Kronprinsens bastion	28	Tørrmørtel NHL 5
1009	Kronprinsens bastion	29	Tørrmørtel NHL 5
1009	Kronprinsens bastion	30	Tørrmørtel NHL 5
1008	Mur ved sortieport vest		NHL 3,5 plassblandet

Sand til blanding av mørtel på stedet er som nevnt av lokal art og benyttet igjennom flere hundre år til murarbeid i regionen. I tilbudsforespørsel er det beskrevet en D- Max på 4 millimeter. Det vil si en siktekurve hvor alle fraksjoner er representert opp til maksimum størrelse på 4 millimeter. Leverandør av sand har vært Ramlo sandtak og uttaket av sand er gjort omkring 20 kilometer sør for Trondheim. Samme leverandør av sand er benyttet på en rekke mur konserveringsprosjekter de siste 8 årene med godt resultat. All mørtel er blandet med tvangsblender og etter blandeprosedyrer beskrevet i tilbudsforespørsel.

Materialer



NHL 3,5 blandet på stedet med lokal sand i blandingsforhold 1 del kalk til 2,5 deler lokal sand med d-max 4. Ferdig herdet mørtel er grå, i variabel nyanse.

Bilde under:
Skandinavisk jura-kalk A/S sin ferdigmørtel i kvalitet NHL 5, i blandingsforholdet 1 del kalk til 2 deler sand. Ferdig herdet mørtel er gul/brun i fargen og med tydelige innslag av Røde fragmenter i tilslagsmaterialet.



Til liming av stein er det benyttet steinlim fra firma industribehov Molde. Limet er to komponent, polyesterbasert steinlim som er tilsatt kalksteinsmel for å oppnå en pastakonsistens som igjen ble tilsatt herder. Steinflater er godt rengjorte før flak av stein presses sammen. Herder ved vanlig sommertemperatur på omkring 5 minutter. Enkeltsteiner er i tillegg sikret med syrefast dybel.

Tiltak utført på den enkelte mur og fuktsikring/ny vollprofil

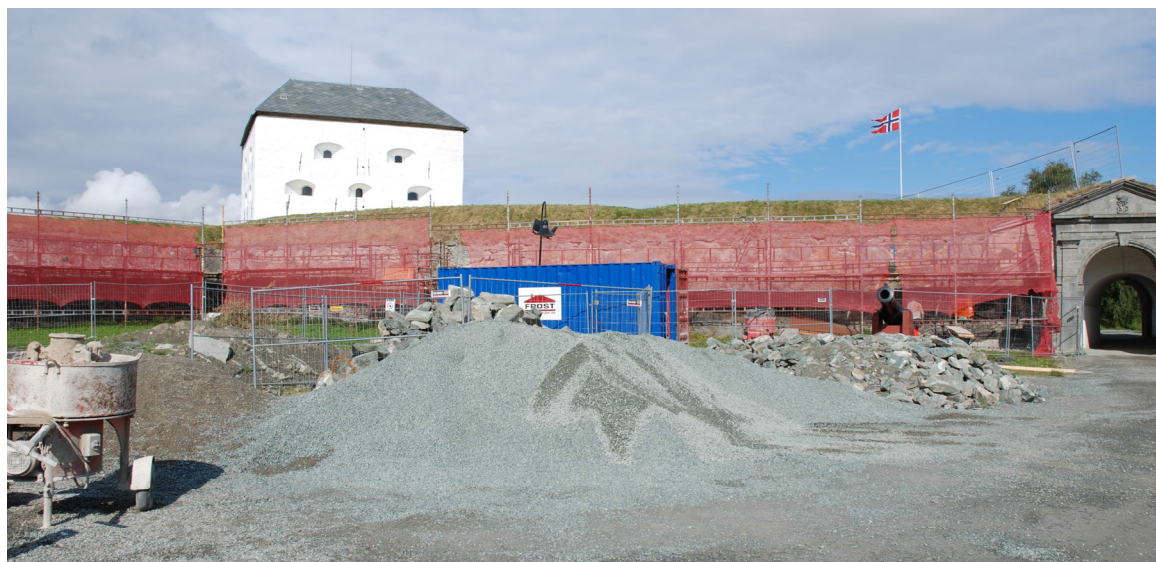
Inventar nummer	Benevnelse	Mur nummer	demont ering	Meisling og spekking	Fuktsikring og ny vollprofil
1012	Portkurtinen	1	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1001	Den dobbelte tenaljen	2	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1001	Den dobbelte tenaljen	3	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1001	Den dobbelte tenaljen	4	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1001	Den dobbelte tenaljen	5	Større del+def.	ja	Ja, på murkrone
1002	Dronningens bastion	6	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1002	Dronningens bastion	7	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1002	Dronningens bastion	8	Toppsteiner	ja	Ja, delvis på betongplate
1003	Kurtinen	9	Toppsteiner	ja	Ja, delvis på betongplate
1004	Kongens bastion	11	Større del	ja	Ja, på betongplate
1007	Kronprinsessens batteri	13	Toppsteiner	ja, delvis	Ja, på betongplate
1016	Traversen	14	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1016	Traversen	15	Toppsteiner	ja	Ja, på murkrone
1007	Kronprinsessens batteri	16	Toppsteiner	ja	Ja, delvis på murkrone
1009	Kronprinsens bastion	17	Toppsteiner	Ja, delvis	Ja på betongplate
1009	Kronprinsens bastion	18	Større del	ja	Ja, på murkrone
1009	Kronprinsens bastion	19	Lokal def.	Ja, delvis	Ja, på betongplate
1009	Kronprinsens bastion	20	Nei	Ja, delvis	Nei
1006	Den lavereliggende tenaljen	24	Toppsteiner	ja	Ja, delvis på murkrone
1006	Den lavereliggende tenaljen	25	Toppsteiner	ja	Ja, delvis på murkrone
1006	Den lavereliggende tenaljen	26	Toppsteiner	Ja, delvis	Ja, på betongplate
1009	Kronprinsens bastion	28	nei	ja	Ja, på skifer
1009	Kronprinsens bastion	29	Nybygg	spekking	Ja, på skifer

1009	Kronprinsens bastion	30	nei	påbygd	Ja, på skifer
1008	Mur ved sortieport vest		nei	ja	Ja, betongpl.
1015	Vollanlegg		Nei	Nei	Ja, betongpl.

Beskrivelse av tiltak

- 1012 Portkurtinen (mur 1)
- 1001 Den dobbelte tenaljen (mur 2)
- 1002 Dronningens bastion (mur 8)
- 1003 Kurtinen (mur 9)

Tiltakene er i helhet utført av Frost entreprenør as i 2009 og 2010. Alt fugearbeidet er utført i sommerklima, men med vintertildekking første vinter og oppvarming av fuget murverk til minimum 8 plussgrader ved behov i 3 måneder etter endt utførelse. Frost entreprenør benyttet seg kun av ferdigblandet tørrmørtel i kvalitet NHL 5. Med bakgrunn i tilstandsvurdering (verneplan) ble samtlige sementbaserte fuger meislet ut. I tillegg ble betongdekke på toppen meislet helt bort (mur 1 og 2), og delvis bort (mur 8 og 9). Alle toppsteiner (steiner i murveggen som danner avslutningen på toppen) ble murt på nytt. Grunnen til at de ble murt på nytt var at de i utgangspunktet var løse. Som et ledd i opplæringen og forståelsen av arbeidet med spekking og pinning ble det satt opp et referansefelt på mur 2 og mur 9. Tildekking og ettervanning ble terpet.



1012 Portkurtinen (mur 1) og 1001 Den dobbelte tenaljen (mur 2) under arbeid.

Som nevnt ble sementbaserte fuger meislet ut (lot seg lett fjerne) og murverket rensset. Stedvis ble større pinningsstein tatt ut av murverket før rensing. Gjennomgående dybde inn til fast original kalkmørtel var 40-80 cm. Under arbeidets gang ble det gitt en rekke tilbakemeldinger på feil bruk av pinningsstein hvor den var benyttet som en vertikal flat stein i fugen og ikke inn horisontalt i murverket. Dårlig rengjøring i murverk før spekking var også en gjenganger. Dette ble rettet opp

fortløpende. Tildekking, vanning og komprimering av fuger ble terpet. Utover dette var de enkelte murene ens i tilstand og opprinnelig utførelse. Et mindre parti i mur nummer 9, ble demontert og murt tilbake (helt mot mur nummer 10). Det demonterte murverket var utført i betong med enkeltsteiner i mellom. Dette murverket var murt rett på sterkt skrånende fjell og hadde sklidd ut. Betong ble fjernet og ny mur satt opp. Ny mur er forankret i fjell med syrefaste 6 millimeter kamstål som ble boret ned i fjell.

Beskrivelse under og etter utførelse, 2013

Inventar nummer 1012 Portkurtinen(mur 1), 1001 Den dobbelte tenaljen(mur 2), 1002 Dronningens bastion(mur 8) og 1003 Kurtinen(mur 9) ble vurdert på 3 års befaring.

Vurderingene er basert på befaringer utført i september og oktober 2013.

Vurderingene som ble gjort er at jobben ser grei ut. Det var steder hvor det ble påpekt at jobben kunne vært bedre utført. Det var bemerket punkter som enkelte sprekker/riss mellom fuge og stein. Enkelte pinningssteiner som er satt feil inn i murverket har falt ut og en del fuger var grunne i forhold til beskrivelse. Det er satt opp en referanse på mur nummer 9, etter beskrivelse i tilbudsforespørsel, som murverket ble vurdert opp i mot. Enkelte steder ble også kommentert på grunn av dannelse av grønske i fuger. På disse steder er det trolig dårlig rengjort murverk før spekking.



Vurdering av det ferdigstilte arbeidet

Etter 3 års befaring ble konklusjonen at resultatet ikke var optimalt, men kunne aksepteres. Det var i hovedsak slutføring av fugene som var ankepunktet. Ikke alle fuger har et utseende som ønsket, litt rufsete, grunne og ujevne. Må følges opp!

Beskrivelse av tiltak

- 1001 Den dobbelte tenaljen (mur 3, 4 og 5)
- 1002 Dronningens bastion (6 og 7)
- 1004 Kongens bastion (mur 11)
- 1007 Kronprinsessens batteri (mur 13 og 16)
- 1016 Traversen (mur 14 og 15)
- 1009 Kronprinsens bastion (mur 17, 18, 19 og 20) og (mur 28, 29 og 30)
- 1006 Den lavereliggende tenaljen (mur 24, 25 og 26)
- 1008 Mur ved sortieport vest
- 1015 Vollanlegg
- 1001 Den dobbelte tenaljen, ny oppdaget kasse matt

Tiltakene er i sin helhet utført av firma Murarbeid as i perioden 2009-2013. Arbeidet har vært omfattende. I tillegg til fjerning av sementbaserte fuger og tilbakeføring av fuger med hydraulisk kalkmørtel og pinning i fuger, er en rekke tiltak utført. De andre tiltakene har vært muring og fuktsikring av murkroner, demontering av hele murpartier, demontering av ytre vanger, nybygging av murer, fremrensing av murer, etablere nye vollprofiler og ferdigplen. Murarbeid benyttet ferdigmørtel av kvalitet NHL 5 og plassblandet mørtel. Arbeid er utført sommer og vinter, med tildekking og oppvarming.

Bakgrunnen for de påkrevde tiltakene på festningsmurene:

- Sementbaserte fuger som sprekker opp og faller ut av murverket
- Deformasjoner (lokale) i murverket som er vurdert som ustabile
- Deformasjoner (mur 5 i hele sin tykkelse) i murverket som er vurdert som ustabile
- Deformasjoner i ytre vange i murverket som er vurdert som ustabile
- Muring av ny mur (mur 29), var kun en tørrmur med strebepilarer
- Manglende fuktsikring av murkrone og andre arealer

1001 Den dobbelte tenaljen (mur 3, 4 og 5)



Bilde tatt høsten 2013, etter utførelse

Tiltakene på Den dobbelte tenaljen er utført 2009-2011 og omfatter fjerning av sementfuger, demontering av deler av vegg i hele sin tykkelse (mur 5), demontering av lokal deformasjon, spekking og fuktsikring av topp med ny vollprofil. Hovedtyngden av muring og spekking er utført med NHL 5 ferdigmørtel. Utbedring av lokal deformasjon i mur 5 er utført med NHL 3,5 blandet på stedet. Det ble etablert drenering bak mur 5 med avrenning under mur 5. Lokal deformasjon, merket med rødt på foto, ble demontert og murt tilbake etter at mur 5 ble murt opp. Grunnen til at dette først ble utført etter tilbakemuring av mur 5, var ønske om å ikke svekke stabiliteten til hele muren ytterligere. Alt murarbeid ble utført i sesong, men med tildekking over første vinter. Det ble også etablert varmeanlegg for mulig tilføring av varme i de første 3 måneder etter utførelse.



Festningsmurene på Kristiansten festning skal delvis ha vært bygget opp med gjenbruk av stein fra Steinvikholm. Kleberstein med steinhuggermerke, som er en typisk middelalder fenomen, kan derfor være gjenbrukt stein fra Steinvikholm.

Beskrivelse under og etter utførelse

Inventar nummer 1001 Den dobbelte tenaljen (mur 3, 4 og 5) var det utførende firma sin første store oppgave på Kristiansten festnings festningsmurer med meisling, rengjøring og spekking.

Bemerkninger under arbeidets gang

Det er gitt en rekke korrigeringer under arbeidets gang. Korrigeringene har i hovedsak vært knyttet til beskrivelser av det utførende arbeidet i tilbudsforespørsel som ikke har blitt fulgt av utførende. Gjengangere har vært:

- **Meisling og rengjøring av fugene**

Det er en rekke ganger påpekt at rengjøring av murverket ikke er god nok. Dette er påpekt en hel rekke ganger muntlig og skriftlig (eks befaringsnotat 22.08.09 for mur 3, 4 og 5). På tross av dette er dette en gjenganger i hele perioden 2009-2013. Mangelfull fjerning av sement i fuger er også påpekt igjennom hele prosjektet. Dokumentert på foto.



- **Utfylling av fuger**

Under arbeidet med utfylling av nye fuger er det også en rekke ganger påpekt avvik i henhold til beskrivelser av utførelse. Avvikene har vært feil konsistens på mørtel, mangelfull utfylling i dybden, store konsentrasjoner av mørtel uten pinningsstein, grunne fuger og dårlig komprimering. Det er også påpekt store tomrom bak fuger i ferdigstilte festningsmurer.



- **Bruk av pinningsstein**

Feil bruk av pinningsstein hvor steiner er lagt på "flasken", flata av steinen er lagt mot fuger. Resultat er at steinene faller ut av fuga etter kort tid, gjerne etter at mørtel er herdet eller etter første vinter. Ofte var også pinningssteinene dårlig rengjorte og ikke gysset (grunnet) for å oppnå tilfredsstillende heft.



- **Komprimering av fugene**

Mangelfull komprimering av fuger er kommentert ved flere anledninger. Resultat er riss mellom fuger og stein. Konsekvens er at vann trekker inn i festningsmurene. Hvor fuger ikke hefter godt til steinene vil det relativt fort avsettes kalkutfelling på murverket, kalkmørtel vil over tid oppløses ved frysing og tining.



- **Tildekking**

Mangelfull tildekking er også påpekt en rekke ganger i hele prosjektet. Dette gjelder for beskyttelse av fuger mot regn og direkte sollys under arbeidets gang. Eksempelet er hentet fra under utførelse på inventar 1001 Den dobbelte tenaljen. Konsekvensene av mangelfull tildekking er utvasking av bindemiddel i fuger som ikke er herdet.



Vurdering av det ferdige arbeidet

Det ferdige resultatet har en del ikke tilfredsstillende utførelser, men det generelle resultatet er tilsynelatende ok. Mur nummer 5, som ble revet i hele murens tykkelse, er tilbakeført noe ute av retning. Dette har trolig lite å si for stabiliteten til muren.

1002 Dronningens bastion (6 og 7)

Tiltakene utført på inventar 1002 Dronningens bastion, er i hovedsak knyttet til dårlige sementbaserte fuger i festningsmur. Samtlige fuger er meislet ut og erstattet med NHL 5 hydraulisk kalkmørtel. Det var ingen registrerte deformasjoner knyttet til inventaret. Arbeidet er utført i 2010-2012. Det ble lagt ny fuktsikring og vollprofiler på toppen av murkronene.



Beskrivelse under og etter utførelse

Arbeidet ble utført fortløpende etter mur nummer 3, 4 og 5 og utført med kun mindre korreksjoner. I front av mur nummer 7 er det et støpt fundament i betong. Dette er et tidligere sikringstiltak for stabilisering av muren. Det ble under arbeidets gang diskutert å prikkhugge det støpte fundamentet for å nøytralisere tiltaket. Dette ble ikke utført.

Vurdering av det ferdige arbeidet

Spekkingen av murverket ser tilsynelatende bra ut.

1004 Kongens bastion (mur 11)

Tiltakene er utført i tidsrommet 2010-2012 og over to perioder. All spekking og muring er utført med NHL 3,5 blandet på stedet. Tiltakene på Kongens bastion omfattet spekking av murverk, demontering av parti og tilbakemuring av det demonterte partiet. Det ble utført en del forundersøkelser av muren, med blant annet framgraving av bakvegg på toppen av muren. Arbeidet ble utført for å avdekke kvaliteten på bakvegg. Bakvegg var utført som en klart definert murt vegg. Tykkelsen på muren var 145 cm i toppen.

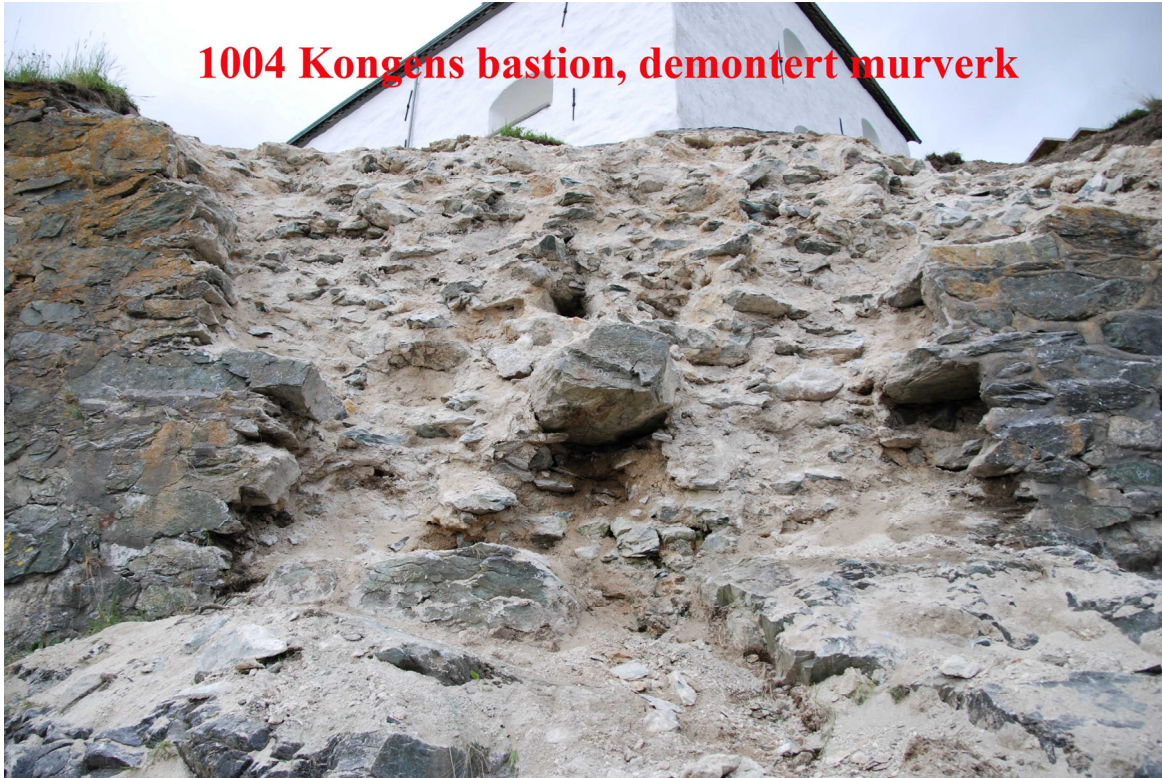


Beskrivelse under og etter utførelse

Det ble under arbeidet i juni 2010 skrevet et notat som uttrykte bekymring for det arbeidet som ble utført. Bekymringen gikk ut på at murverket ble meislet ren for sementfuger på en hensynløs måte. Enkeltsteiner i murverket ble meislet i filler og steiner fra muren lå strødd utover et stort område, uten mulighet til at disse kunne tilbakeføres på sin opprinnelige plass. Skadene i murverket var så omfattende at arbeidet ble anbefalt stoppet. Arbeidet på mur nummer 11 ble utført etter anbefalinger i etapper, hvor nedre del av muren ble sikret først (omkring 1,5 meter fra bakkenivå og opp). Muren i nedre deler ble spekket, pinnset og limt før det videre arbeidet fortsatte. Deler av murverkets ytre fasade ble demontert og murt tilbake med gravemaskin, omfanget var ca 5 kvadratmeter. Til slutt ble resterende vegg meislet ren for sementfuger og spekket på nytt.



1004 Kongens bastion, demontert murverk



Vedlegg
1

Under arbeidets gang ble det også gitt en hel rekke instruksjoner på grunn av hva som ble oppsvert på stedet. Det var manglende tildekning, dårlig renhold på stillaser, tomrom bak nye fuger, dårlig utført arbeid med innsetting av pinningsstein og lite utfylte fuger.

Mangelfull tildekning under arbeid



Vurdering av det ferdige arbeidet

Fugarbeidet ser tilfredsstillende ut, med unntak av enkelte partier som er grunne og en del av det tilbakeførte murverket er rast ut igjen. Stedvis kommer det vann ut av veggene og avsetter kalkskorper på veggene.



1007 Kronprinsessens batteri (mur 13 og 16)

Tiltakene er utført i tidsrommet 2010-2013. All spekking og muring er utført med NHL 3,5 blandet på stedet med lokal sand. Til spekking av mur 13 er det benyttet veldig fin sand. Mur nummer 13 er kun deler av muren mot nord restaurert og resterende mur står med eldre sementbaserte fuger. Spekkingen ble ikke befart under arbeidets gang. Mur nummer 16 ble delvis utført som vinterarbeid. Hele muren ble dekket til og varmet opp. Riggplass ble også tildekket under vinterarbeidet.



Mur nummer 16 ferdig spekket.

Beskrivelse under og etter utførelse

Mur nummer 16 ble som nevnt spekket i vinterhalvåret som den eneste mur på Kristiansten. Det er en del mangler og tegn på skader i veggen som ikke direkte kan relateres til vinterarbeid. Nede langs bakken er det fremdeles igjen mye rester etter sementbaserte fuger som ikke er hugget ut og erstattet med NHL 3,5 kalkmørtel. Stedvis er det grønskedannelser i fugene og det tyder på at det er dårlige rengjorte fuger.



Vurdering av det ferdige arbeidet

Det er mye som tyder på at murverket er for dårlig rengjort på enkelte steder hvor det vokser mose og alger i fugene. Rester av sementfuger i bunn av murverket vil også påvirke tilstanden negativt på grunn av at sementfugene slipper lite fukt ut av murverket. Stedvis er det registrert fuger som går i oppløsning på grunn av fukt og dårlig forarbeid.

1016 Traversen (mur 14 og 15)

Traversen er en frittstående mur med to synlige sider. Traversen ble spekket i 2012-2013, med NHL 3,5 og svært fint tilslag. Tilslaget er dokumentert sammen med kapittel om materialer. Det ble under arbeidets gang diskutert alternativer for fuktsikring av toppen. Fuktsikring som er benyttet er bentonitt, med gress på toppen.



Beskrivelse under og etter utførelse

Vurderingen av det utførte arbeidet (befaring 2013) står i sterk kontrast til det arbeidet som er utført i henhold til rapport fra utførende firma. Arbeidet som ble befart var svært avvikende fra tidligere utførelser. Fuger var dårlig rengjorte, tomrom bak fuger, store konsentrasjoner av bløt mørtel uten pinning og trerot i murverket var fuget inn. Viser dette med foto.



Vurdering av det ferdige arbeidet

Det ferdige arbeidet ser meget bra ut med meget fine glatte fuger. Med bakgrunn i vurderinger under arbeidets gang og hva som ble registrert da, må en forvente at svakheter i det utførte arbeidet vil melde seg forholdsmessig tidlig.

1009 Kronprinsens bastion (mur 17, 18, 19 og 20)

Det er utført omfattende arbeid på inventaret. Arbeidet omfatter nybygging av hel mur (mur 29), demontering og tilbakemuring av ytre fasade i stort omfang (mur 18), demontering og tilbakemuring av deformasjoner (mur 19). I tillegg er store partier spekket på ny. Inventaret er fuktsikret på murkroner med bentonitt (mur 17, 18 og 19) og med skiferheller og bentonitt (mur 28 og 29). I forkant av tiltakene ble det utført en del undersøkelser blant annet på mur 18. Baksiden av muren ble undersøkt, likeså tidligere sikringstiltak i spissen av muren mellom mur nummer 18 og 19. I hjørnet mellom murene er det støpt en stor betongkloss som mur 18 og 19 er forankret til. Utvendig hjørnet mellom mur 18 og 17 ble sterkt skadet ved en sprengningsulykke i 1923 ble den gang murt tilbake med sementmørtel. Murverket i mur nummer 17, 18 og 19 er restaurert/bygget med NHL 3,5 mens mur 28 og 29 er restaurert/bygget med NHL 5.





Beskrivelse under og etter utførelse (mur 17, 18, 19 og 20)

Mur nummer 17 er i sin helhet spekket på ny, med unntak av de deler som er bygget og spekket med sementbasert mørtel. Arbeidet gikk stort sett som forutsett. Muren hadde tilfredsstillende tildekning under arbeidet. Det gjenstår noe fugearbeid i bunn av muren. Toppen er fuktsikret med bentonitt. Ny vollprofil og belagt med gress.

I mur nummer 18 er det gjort store inngrep. Store deler av murens ytre vange mellom hjørnene ble demontert. Store deler av bakmuren ble også blottlagt for å undersøke tilstanden. Tilstanden til bakmuren var tilfredsstillende. Murens fasade ble demontert med gravemaskin ned til to skift over bakken. Alle "hovedsteiner" i murverket ble merket og murt tilbake på sin opprinnelige plass. Under arbeidet ble murkjernen sikret med kraftig netting som var forankret igjennom muren. Sikringen var med hensikten å hindre skader på personell om løse steiner skulle falle ned.



Mur 18 under arbeid med demontering

Omkring halve mur nummer 19 er spekket på ny fra topp til bunn. Nordre del, mot mur 18 er enkeltfuger reparert med NHL 3,5 kalkmørtel for å hindre vanninntrengning. En mindre deformasjon i muren ble demontert og murt tilbake. Alt murarbeid ble utført med god tildekking. På mur nummer 20 er det kun løse steiner i toppen av murverket som er festet ved noe muring og spekking.



Vurdering av det ferdige arbeidet (mur 17, 18, 19 og 20)

Arbeidet ser i det store og hele bra ut. Det er noen nye kalkutfellinger på mur 17 og 18 som tyder på at fukt kommer ut av vegg. Nede ved bakken er fugene ikke ferdige, det er fremdeles sementfuger og dårlige fuger nede ved bakken.

1009 Kronprinsens bastion (mur 28, 29 og 30)

Murverket i mur nummer 28 og 29 var i utgangspunktet en tørrmur med påmurte strebepilarer. Murverket i mur 28 var delvis dekket av jord og ble gravd frem. Mur nummer 30 var så godt som bygget opp igjen, kun avslutning på toppen og mindre parti mot mur 29 manglet. Mur 29 ble bygget opp etter anvisning fra Alf Valdum. Muren er bygget med en murt ytre og indre vange med singel i mellom. Drenering er lagt midt i muren, mellom indre og ytre vange. Dreneringen er tilkoblet oppsamlings komme. På toppen av murkrona ble murverket rettet av og belagt med skifer. Over skifer er det lagt fuktsikring med bentonitt under ferdigplen.

Beskrivelse under og etter utførelse (mur 28, 29 og 30)



Murverket i mur nummer 28 er kun spekket mur. Mur 29 er murt helt på ny. Murerarbeidet er utført i 2009 og 2010. Den noe spesielle måten å mure en kistemur på må følges opp. Det er usikkert om det er god binding mellom ytre og indre vange. Mur nummer 29 fremstår i dag med en rekke skader. Lange sprekker i muren kan følges over hele muren fra bakken og opp til toppen. Fuger oppe under skifer er skadd. Dette arbeidet ble utført i september måned og ikke dekket til for vinteren. Stedvis flaker de nye fugene unormalt mye. Muren er både spekket og murt med NHL 5

Vurdering av det ferdige arbeidet (mur 28, 29 og 30)

Mur 28 ser ut til å være som forventet, med lite synlige skader. Mur 29 har skader som må følges opp. En bør fortløpende vurdere stabiliteten til muren ved å ha oversikt over tilstandens utvikling. Mur nummer 30 står fint uten synlige skader.

1006 Den lavereliggende tenaljen (mur 24, 25 og 26)



Det er utført tiltak på hele mur 24, hele mur 25, omkring $\frac{3}{4}$ deler av mur 26 og ingen tiltak på mur 27. Arbeidet er utført i 2010-2011.

Arbeidet ble utført med dårlig tildekning under arbeidets gang. Betongdekke på toppen av murene ble delvis fjernet før arbeidet ble stanset. Løse toppsteiner ble murt tilbake. Veggene er spekket med NHL 3,5 blandet på stedet. Hele inventaret har fått ny fuktsikring, nye vollprofiler og ferdigplen på toppen



Vurdering av det ferdige arbeidet (mur 24, 25 og 26)

Det ferdige resultatet ser bra ut, men under befaring høsten 2013 ble det registrert skader som en absolutt ikke skulle forvente. Et avgrenset område på mur nummer 25 (omkring 2 kvadratmeter) har fått store skader. Fugene løses opp, det er store tomrom bak steinene og murverket virker ustabil. Dette er skader en ikke skulle forvente. Årsaken kan være dårlig utfylte fuger og dårlig forarbeid. Fuktsikringen kan også være utført på en måte som leder større mengder vann inn på baksiden av murene. Dette må følges opp.

1001 Den dobbelte tenaljen, Ny kasematt

Under arbeidet med overflater og vollprofiler innenfor festningsmurene på den dobbelte tenaljen, ble det oppdaget en hittil ukjent kasematt. Kasematten har et murt murverk som inngangsparti. Murverket besto av bruddstein og brostein. Selve kasematten er utført i bruddstein og betong. Taket er også utført i armert betong, støpt på jernskinner. I tak var det to lysåpninger for lufting. Svært mye tyder på at dette er utført under 2. Verdenskrig. Den ”nye” kasematt ligger i nærheten av et betongfundament for lyskaster som også ble etablert i krigsårene.

Beskrivelse under og etter utførelse (ny kasematt)

Inngangspartiet til kasematten ble murt på nytt på grunn av den dårlige tilstanden. Murverket ble demontert og murt tilbake med NHL 3,5 som ble blandet på stedet. Toppen av kasematt ble fuktsikret med bentonitt og nytt gress lagt over. Over inngangsparti er det satt opp fallsikring eller markering med stolper og med kjetting i mellom.

Vurdering av det ferdige arbeidet

Kun mindre skader i de nye murte vangene.



”ny” kasematt. Bildet over viser inngangen til kasematt, nede til venstre innvendige vegger og nede til høyre taket til kasematt.

Mur ved 1008 Sortiport ved Kongens bastion

Mur danner innvendig festningsmur i mellom mur 12 og 13. Ved oppstart av prosjektet i 2009 var kun mindre deler av murverket synlig. Den synlige muren var spekket med sementbasert mørtel. Under arbeidet med vollprofiler og helhetlig plan for området ble det besluttet å avdekke murverket. Murverket som ble avdekket var ikke spekket med sementmørtel, kun originale kalkfuger. Fugene var rimelig godt bevarte. Muren ble spekket på nytt med NHL 3,5. Det ble lagt ny fuktsikring med bentonitt, ny vollprofil og ferdigplen på toppen.



Sortiport ved Kongens bastion.

Fuktsikring og vollprofiler

Fuktsikring av murkroner og terreng (Kronprinsens bastion) er utført med en blanding av bentonitt granulat 0-15 millimeter og sand i gradering 0-4 millimeter. Dette ble blandet i forholdet 1 del Bentonitt og 3 deler sand. Materialene ble blandet i tvangsblender og tilsatt litt fukt. Tilsettingen av fukt er gjort for å kunne komprimere massen på murkrona og at den holder seg på plass, kleber til underlaget. Stedvis er bentonittblandingen lagt på toppen av murverket og andre ganger på betongplate som stedvis ligger igjen på murkrona. Leverandør av bentonitt er firma Dantonit A/S i Danmark.

Vedlegg

Alle vedlegg er lagt ved rapporten på en minnepinne. Der finner du det du måtte ønske av foto, materialer som er benyttet, notater sendt under arbeidets gang osv. Det er i tillegg en egen mappe med foto som er benyttet i rapporten og foto med tekst under arbeidets gang. Alle foto er tatt av firma Bakken & Magnussen AS

Med vennlig hilsen

Geir Magnussen
Bakken & Magnussen AS

NOTAT

Oslo, 05.07.2010

Til: Leif Johnny Johannessen(LJJ)

Kopi: Hilde Herberg (HH), Johnny Gylland(JG), Janne Wilberg(JW), Nina Eidem

Fra: Christian Borhaven

Vedlegg
2

Funn av kasematt / dekningsrom ved Den dobbelte tenalje på Kristiansten festning

Etter anmodning fra HH og JG og forutgående drøfting med JW og LJJ foretok jeg en befaring på Kristiansten fredag 02.07 sammen med JG.

Beskrivelse:

Kasematten ved Den dobbelte tenalje ble oppdaget under arbeidet med vollene i forbindelse med pågående sikringsarbeider. Åpningen til kasematten er nå frigjort og det er mulig å gå inn. Kasematten består av et rektangulært rom med alle yttervegger av naturstein, spekket med sementmørtel. Rommet ligger omtrent langs med festningsmuren og langveggen nærmest festningsmuren er muligens festningsmurens indre vange. Dette må kontrolleres med oppmåling. Inngangen er på midten med to utvendige natursteinvanger inn mot døråpningen. Innvendig er det to tverrvegger av spekket teglstein på hver side av inngangen. Takkonstruksjonen er av ca. 25 cm betong som hviler på H-bjelker av stål med mellomliggende 2"x8" treplank. Det er uvisst om betongen er armert med armeringsjern/nett. Det er sannsynlig, med bjelkene og planken som forskaling og tilleggsforsterkning. Gulvet har teglsteinsgulv satt i sand. Det har antagelig vært tredør (labankdør) som inngangsdør. Døren er borte, men rester av hengsler og dørskårer ble funnet på gulvet. Det ser ut til å ha vært to dører innenfor hverandre. Rommet ligger med overkant betongtak ca. en halv meter under vollnivå og med gulvnivå omtrent i nivå med det nederste nivået i bastionen.



Den nye tenalje, kasematten i bakgrunnen



Inngang til kasematt

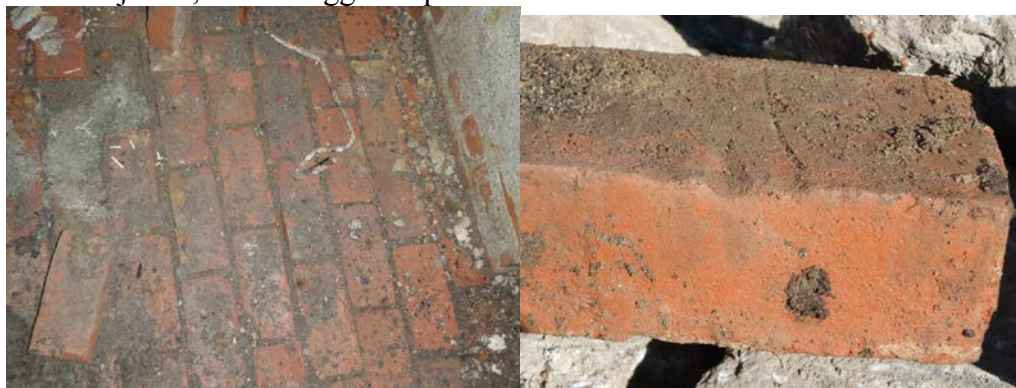


Vegger av spekket naturstein, teglsteinsgulv Himling med stålbjelker og plank



Rustne bjelker, mellomliggende plank

årstall 1951



Teglsteinsgulv

håndbanket teglstein

Tilstand:

Indre naturstein- og teglvegger ser ut til å være i god stand uten synlige skader. Det er ikke tegn til frostsprengning av teglstein eller mørtel, bortsett fra noen skader i inngangspartiet. Utvendige natursteinsvanger (forstøtningsmurer) som flankerer inngangen krever noe reparasjon og supplering av stein. Betongtak har ingen synlige skader på det som er avdekket. H-bjelker er kraftig rustangrepet, men ser ut til å betydelig reststyrke. Mellomliggende plank er fuktig, men virker å være i forholdsvis god stand ("hel" lyd når man banker på dem). Plank som har ligget over døråpning er råtne. Dørramme og dører er borte. Det er ingen tegn til elektriske anlegg.

Historikk:

Kasematten er sannsynligvis et dekningsrom i forbindelse med en nærliggende lyskasterstilling fra 2. verdenskrig. Takkonstruksjonen og tverrvegger av tegl, samt bruken av sementmørtel er gode indisier på det. I teglveggen er det innrisset årstallet 1951, som kan være det året kasemattens inngang ble gjenfylt. Det uvanlige til å være tysk byggeri er at veggene er utført i naturstein og at

gulvet er teglstein satt i sand. Teglsteinen er åpenbart håndlaget, men det er i seg selv ikke en klar indikasjon på å være eldre enn 2. verdenskrig, siden teglproduksjonen var svært håndverksmessig til godt ut på 1900-tallet. Det er foreslått at kasematten kan være en eldre kasematt som opprinnelig har hatt et tømmeretak av samme type som i Christiansands bastion. Taket har så blitt fornyet med et betongtak under 2. verdenskrig. Teorien bør testes gjennom litt mer undersøkelse av eldre arkivmateriale, samt bygningsarkeologiske undersøkelser. En sikker indikasjon på alder vil være å undersøke mørtelen i kasemattveggene: Hvis de gjennomgående er av sement er sannsynligheten stor for at hele konstruksjonen er fra 2. verdenskrig, bortsett fra en eventuell mulighet for at en tidligere tørrmurkonstruksjon er blitt spekket. Hvis det derimot finnes bakenforliggende lag av kalkmørtel er sannsynligheten stor for at rommet er av eldre dato enn 2. verdenskrig.

Antikvarisk verdi:

Min vurdering er at kasematten har en betydelig antikvarisk verdi, selv om det konkluderes med at den i si helhet stammer fra 2. verdenskrig. Som de fleste festninger har også Kristiansten sin 2. verdenskrigshistorie, selv om festningen som helhet i hovedsak er et meget godt bevart anlegg fra 16-1700-tallet, med krigshistorien knyttet til Armfeldts beleiring og senere tilbaketog over Tydal i 1718 som et "historisk høydepunkt". Men 2. verdenskrig er tydelig tilstede gjennom retterstedet, luftvernstillingen og enkelte andre elementer. Når det gjelder 2. verdenskrig inngår Kristiansten i en sammenheng med øvrige etterlatenskaper i Trondheim, herunder Persaunet, Charlottenlund bunker, "Dora" m.fl. Skulle det vise seg at kasematten er av eldre dato vil den historiske verdien øke ytterligere.

Uansett vil kasematten kunne ha en betydelig historiefortellende og opplevelsesmessig verdi, som etter mitt skjønn er fullt forenlig med at vollene nå repareres og tilbakesettes til mer opprinnelig vollprofilutforming. (Eksakt dokumentasjon på profilene finnes ikke og prosjektert løsning er valgt ut i fra eksisterende situasjon sammenholdt med eldre tegninger og vår kunnskap om slike profiler, likeledes ren anleggsteknisk vurdering av hva som er praktisk mulig å få til.)

Sikringsalternativer:

Det synes å være tre hovedalternativer for sikring:

1. Fylle kasematten helt igjen med stein / grus og tilbakesette vollskrånningen
2. Kun fylle igjen inngangen (slik det var da den ble funnet)
3. Reparere og sikre kasematten slik at den blir synlig og tilgjengelig

1: Alternativet vil gi en sikker løsning. Ved en slik metode vil sannsynligvis tre- og stålelementer råtne/ruste opp forholdsvis hurtig. En eventuell tilbakeføring på et senere tidspunkt vil bli forholdsvis kostbar samt at takkonstruksjonen må påregnes fornyet. Alternativet vil ikke gi noen historiefortellende/opplevelsesmessig merverdi for publikum. Metoden vurderes av prosjektleder til å være den mest kostbare sikringsmetoden.

2: Alternativet vil gi "status quo" og vil være enkelt å gjennomføre. Det vil imidlertid ikke gi en betryggende sikkerhet siden man ikke kan kontrollere tilstanden til takkonstruksjonen. Alternativet vurderes derfor ikke som aktuell metode.

3: Alternativet vil gi en sikker løsning som samtidig ivaretar kasematten som historisk dokumentasjon med potensial for publikum. Sikringsarbeidene vurderes som moderate og alternativet vurderes av prosjektleder som likeverdig med- eller rimeligere enn alternativ 1. Sikringsiltakene vil bestå av:

1. Frigjøring av jordmasser oppå kasematten, rengjøre taket og legge på bentonittmembran, evt. annen type membran, før gjenfylling med jord.
2. Rustbanking av stålbjelker og behandling med rusthindrende middel på tilgjengelige flater
3. Utskiftning av to (muligens flere) råtne planker i tak i inngangsparti
4. Noe mørtelreparasjoner i inngangsparti

5. Reetablere dørramme og innsette stålitterdør i ytre ramme og innvendig labankdør av tre i indre ramme
6. Reetablering av luftepipe
7. Reparere teglsteinsgulv (5-10 steiner som må resettes)
8. Reparere og supplere utvendige natursteinsvanger (med steinmasser som ligger på stedet)
9. Etablere god avrenning, grus/gressdekke i utvendig inngangsparti inn mot det indre av bastionen

Konklusjon:

Det anbefales sterkt å sikre kasematten som beskrevet i alternativ 3. Ved å gjøre det blir et nytt historisk spor bragt frem i lyset og kan ved siden av den historiske egenverdien ha et potensial for publikum til historiefortelling og opplevelse. Det vurderes at Riksantikvaren må underrettes om funnet og få anledning til å uttale seg om valg av løsning.

Nyoppdaget kasematt

Den nyoppdagede kasematten ligger innenfor inventarnummer 1001 *Den dobbelte tenalje* med inngang mot 1002 *Dronningens bastion*. Kasematten var tidligere tildekket med jord og kom til syne først i sommer under terrengarbeid. Det første som ble avdekket var ventilsjakten deretter toppen og til sist fronten mot inventarnummer 1002. Dekket på toppen måler omkring 3x8meter.



Fotonummer 200911.19_063: Inngangen til kasematten.

Kasematten er bygget av naturstein i de ytre veggene og med tegl i det indre inngangsparti og på gulvet. Dekket over kasematten er utført i betong med asfaltpapp på toppen. Som forskaling for betongen er det brukt I bjelker og treforskaling. Treforskalingen er synlig innenfra. Sidevangene i det ytre inngangsparti er i naturstein som ikke er bearbeidet og store brustein i granitt. Som fugematerialet er det påvist betong.

Bedømmelse av alder

På grunnlag av materialene som er benyttet og byggeteknikk er kasematten svært sannsynlig bygget på 1900-tallet og vi vil vurdere dette til å være omkring 1940. Veggene i naturstein har betong som fugemateriale. Slik vi vurderer det er steinene satt i forskaling og støpt fra baksiden. I inngangsparti ble en del av bakveggen avdekket og dette er med på å støtte denne teorien.





Fotonummer 200911.19_003 Rom til venstre for inngang.



Fotonummer 200911.19_008: I-bjelke i betongdekket.





Fotonummer 200911.19_012 Toppen av kase matt med betongdekke.

Med vennlig hilsen
Geir Magnussen



Kristiansten festning i Trondheim, dokumentasjon av mur nummer 5

Mur nummer 5 er en del av ytre festningsmur til den dobbelte tenaljen (inventarnummer 1001) og muren avsluttes mot dronningens bastion (inventarnummer 1002). Muren ligger i nordvestlig retning. Mur nummer 5 er bygget samtidig som resten av inventar 1001, i 1684. Mur nummer 5 er bygget med naturstein, grønnlig hard, lokal stein og med ren luftherdende kalkmørtel i kjerne og fuger. Mørtelanalyse konstaterer dette. Muren hadde en klart definert ytterside, men ingen klar definert indre vange. Muren er da ikke en kistemur, men har et ytre skall og en murt kjerne inn mot bakenforliggende fylling. Fyllingen bak muren besto av ca 1,5 meter drenerende sandfylling og resten var kompakt blåleire.

Muren ble utbedret omkring 1960 og disse utbedringene ble gjort med sementbasert mørtel. I tillegg til at fugene ble utbedret over det hele ble også deler av muren utbedret nede ved fundamentene. Muren hadde et deformert parti i bunn og denne ble undermurt.

Under demontering ble det registrert at vanntrykket på muren i en høyde av 1,5 meter fra utvendig bakkenivå, og i en horisontal retning har vært stort. Det ble registrert store kalkutfellinger i dette området. Dette samsvarer med delingssjiktet mellom drenerende masser i bunn og blåleirelaget over. Murkrona ble også utbedret med et sjikt betong i 1960 og på toppen av betongen ble det smurt asfalt til tetting før jordmassene som former toppen ble tilbakeført.

Mur nummer 5 var tilstandsvurdert før inngrep som tilstandsgrad 3.



200911.08-003: Venstre del av mur før demontering.



200911.08-001: Høyre del av mur nummer 5 før demontering.

Hovedsteinene i muren, ikke pinningsstein, ble merket før demontering. Demonteringen foregikk med gravemaskin med steinklype. En og en stein ble løsnet fra muren og lagt på bakken. Det ble registrert sementmørtel i ytre del av fugene og ren kalkmørtel i murverket.



Demonteringen av den ytre vangen ble utført etter planlagt skisse. Ytermuren skulle demonteres i en 45 graders vinkel mot tilstøtende mur og murkjernen skulle bevares. Under demontering ble det registrert at fundamentene under murkjernen, i midtre del av muren, var helt vasket ren for kalkmørtel. Dette førte til at muren var helt løs.



200911.07-004: Mur nr 5 etter at den ytre murvangen er demontert. Nedre del av murkjernen i midten var helt vasket ren for bindemiddel.

Murkjernen ble vurdert til å være ustabil på grunn av større løse steiner og murpartier. Av hensyn til sikkerheten til utførende håndverkere ble det besluttet å demontere murkjernen i midtpartiet. Nedre del av fundamentet var fremdeles på sin opprinnelige plass og ble benyttet for den videre muringen.



200911.05-020: Etter demontering av midtre murkjerne på mur nr 5.

1009 Kronprinsens bastion, vurdering av deformasjoner i fase (mur nr 18 og 19)

Det er registrert og undersøkt to deformasjoner, den ene i fase mot nordvest (mur nr 18) og den andre i fase mot nordøst (mur nr 19).

Viktige hendinger på murverket: Murverket ble forhøyet i 1910. En sprengningsulykke i 1923 skadet overgangen mellom flanke og fase i mur nr 17 og 18. Fugearbeid utført på murverket som nødsarbeid i 1938.



Mur nr 18 og 19 på Kronprinsens bastion, utsnitt av illustrasjon fra verneplanen.

I forbindelse med undersøkelsene er det utført to inngrep på hver mur. Det er avdekket et snitt av toppen på muren ved mur nr 18 og 19 og gjort inngrep i murverket i forbindelse med deformasjonene.



Foto 200911.12_010: Tverrsnitt av mur nr 18.



Foto 200911.12_011: Tverrsnitt av mur nr 19.

Avdekningene av murkrona viste en vesentlig forskjell på kvalitet og tykkelse på murene. Det reparerte murverket i overgang flanke/fase etter ulykken i 1923 er vesentlig tynnere og ujevnt utført. Tykkelsen på murverket er omkring 130cm mens de to andre snittene på mur 18 og 19 viser en tykkelse på 245cm. Murverket som ble avdekket har en presis bakvegg og har jevne fine skift. Bakvegg ble avdekket i en dybde på ca 120cm.



Foto 200911.14_009: Snitt ved sprengningsulykke.

Vurdering av deformasjonene i murverket og tiltak mur nr 18

I nordvestre fase (på mur nr 18) er det en større deformasjon, merket med rødt på foto under. Deformasjonen starter først i en høyde på omkring 1 meter, det vil si at fundament og de første skiftene ligger på sin opprinnelige plass. Deformasjonen sees i form av en bul på veggen (markert med rødt på foto under). Deformasjonen er 20-30 cm ute av sin opprinnelige stilling. Veggen ble videre undersøkt ved at en del sementfuger i deformasjonen ble fjernet. Det som kan tolkes ut i fra undersøkelsene er at det er den ytre murvengen som er ute av stilling. Til sammenligning og fra erfaringer med deformasjoner i yttermurer på Kristiansten festning, er det ikke jord og leiremasser i fugene. Undersøkelsene antydte fast murverk i en dybde på omkring 80 cm inn i veggen. Dette tilsvarer tykkelsen på det ytre murskallet. Dette tolker vi til at deformasjonen ikke gjelder hele veggtykkelsen, men bare ytre murvange. På grunnlag av disse undersøkelsene vil vi anbefale å demontere ytre murvange etter markeringen på foto under (oransje farge på foto pluss deformasjonen). Vi har også vurdert lokalt inngrep i eksisterende deformasjon, men faren for utrasing av stein under arbeid med det ytre murskallet er for stor.



Foto 200911.19_023: Deformasjonen merket med rødt i nordvestre fase på mur nr 18 og område som må demonteres for å komme til deformasjonen er merket med oransje.

Vurdering av deformasjonene i murverket og tiltak mur nr 19

I nordøstre fase (på mur nr 19) er deformasjonen mindre i omfang. Tilstanden og problemene er lik for mur nr 18 og 19. Omfanget av deformasjonene er mye mindre og vurderes til at lokalt inngrep kan utføres. På bildet til høyre sees i fullprofilen hvor tverrsnitt er undersøkt



Med vennlig hilsen
Geir Magnussen

Foto200911.19_015: Deformasjonen merket med rødt i nordøstre fase på mur nr 19.

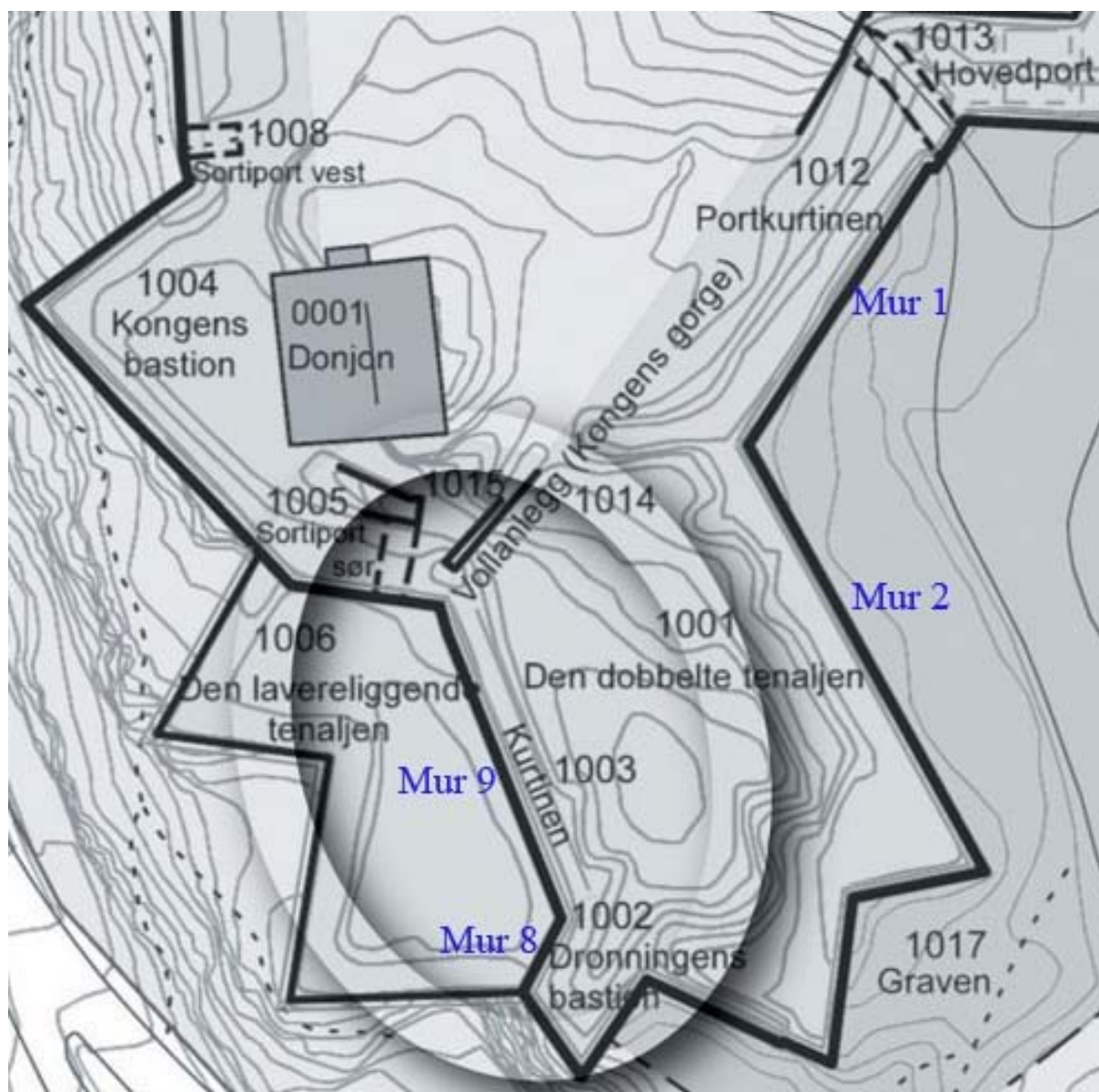
Kristiansten festning

1012 Portkurtinen 1002 Dronningens bastion
1001 Den dobbelte tenaljen 1003 Kurtinen

Entreprise E2- sikringstiltak murer

Prosjektnummer 2435042

Dokumentasjon av utførte sikringstiltak på festningsmurer 2009-10



Kart hentet fra verneplanen

Entreprise E2 utført av Frost entreprenør a/s, Trondheim.

Beskrivelse av murverket

Murverket i mur nummer 1, 2, 8 og 9 er bygget i perioden 1682-84. Mur 1 er senere utvidet mot nord i 1745-48. Foruten utført spekking med sementbasert mørtel omkring 1938 er det ikke dokumentert andre inngrep i murene. Murverket er bygget i naturstein av lokal forekomst og trolig gjennbruchsstein. Murverket er kalkmurt og opprinnelig spekket helt ut til steinens overflate med kalkmørtel. Murverket er bygget som en tilnærmet kistemur, men ikke med en klart definert bakvegg inn mot terreng. Toppen av muren har også opprinnelig hatt en avdekning med stein og kalkmørtel. Det er i senere tid tilført toppen et 5-10cm tykt betonglag.



Foto Eide & Egeland as, viser situasjonen før inngrep i 2009

Vurderinger før inngrep

Murverket var i sin helhet spekket med sementbasert mørtel. Fugene var klint godt utover steinene og pinningsstein delvis helt dekket med sementbasert fugemateriale. Tilstanden var å betegne som dårlig. Det var ingen store deformasjoner eller partier som sto i fare for å rase ut. En del mindre steiner satt løst i murverket og mindre steiner hadde falt ut. Fugene var oppsprukket og tilførselen av uønsket fukt var stor. Mur 1 og 2 er spesielt utsatt for smeltevann i og med at de ligger mot sør og sør øst. Utformingen av vollprofilene gjør tilgangen på fukt ekstra stor. Veggene er i hovedsak spart for slagregn. Det ble også påvist lekkasjer fra topp og bakenforliggende masser. Veggene hadde en del missfarginger på grunn av dette og mindre vegetasjon som gress ble registrert i fugene. Det er ikke lett å se skillet i mur nummer 1 hvor muren er utvidet mot nord.

Vurderinger under inngrep:

Vurderingene som er beskrevet i verneplanen var gjort uten større inngrep og murverket er omtalt som en spekket tørrmur. Dette viser seg å ikke stemme. Murverket er murt med kalkmørtel i sin helhet. Dybden inn til fast kalkmørtel varierte fra 20-70cm. Hovedregelen i murverket kan sies at fast opprinnelig kalkmørtel ligger 30-40cm inn i murverket i dag. Ved fjerning av sementbaserte fuger viste det seg også at det var en del skader i selve hovedsteinene i murverket og noe pinningsstein må ha vært tilført under siste restaurering i 1938.



Foto 20091102_004 Detalj fra mur nummer 1, 1745-48 under arbeid med fjerning av sementbasert fugemateriale.

De øverste skiftene i murverket var vesentlig dårligere enn resterende murverk. Dette kan forklares ved at tilførselen av fukt har vært størst. Det er og var en del kalkutfellinger på steinenes overflate hvor fukt har tatt med seg bindemiddelet ut av kalkmørtelen og dette er avsatt på steinene. Kalkutfellingene forringer ikke kvaliteten på steinene. De bruddskadene som er registrert i steinene ligger i all hovedsak i den ytre delen av steinen. Det er flak eller skall som faller av og flakene er fra 5-20cm. Skadene ligger i steinens naturlige kløvretning og oftest i vertikal flate. Det er ikke registrert aktiv forvitring av steinmateriale.

Under arbeidet med fjerning av sementfuger har det vært et moderat tap av opprinnelig steinmateriale. Murverket skal være renset for all sementholdig mørtel, jord og leire. Til meislingen er det benyttet elektriske meiselmaskiner og murverket er renset med trykkluft. Under arbeidets gang er murverket for det meste dekket til for direkte sol og nedbør.



Foto 20091105_010 De øvre to skiftene ble demontert og murt tilbake, bildet er tatt under arbeidets gang på mur nummer 1.

Spekking og pinning av murverk, mørtel:

Det var utarbeidet beskrivelser av hvordan murverket skulle renses og spekkes på nytt. Utførende har under hele prosessen hatt oppfølging etter behov og flere runder med opplæring. Det var besluttet å benytte en naturlig hydraulisk kalk som bindemiddel. Ønsket styrke var tilsvarende NHL 5. Utførende valgte å benytte Maxit i Trondheim som leverandør. Mørtel som ble levert var tørrmørtel i storekk produsert i Sverige. Leveranse er dokumentert med produkt datablad, se vedlegg.



Foto 20091107_018 Påviste fargeforskjeller i en og samme type mørtel

Forklaringen på fargeforskjellene kan forklares ved forskjellig blandetid. Ved blanding over 20 minutter i tvangsblender begynte mørtelen å endre farge til mørk grå. I tillegg ble det meldt i fra om varmgang i mørtel.

Til å begynne med ble alle steinoverflater som skulle spekkes og pinnes gysset med en våt velling av samme type mørtel. Etter hvert ble det gått over til å kun rengjøre hver enkelt overflate med trykkluft. Kun hvor det var tilbakeføring av demontert toppsteiner i muren ble gysset. Det ble oppnådd god heft mellom steinene uten gysing ved korrekt rengjøring i forkant.

Spekking og pinning av murverk, utførelse:

Hele prosessen ble gjennomgått med arbeidsleder for utførende. Det ble påvist hva som er definert som fast original murkjerne, hvordan fugene skulle fylles, begrensninger i forhold til mengde, bruk av pinningsstein og slutføring av fuge. Rutiner for tildekking og ettervanning ble også gjennomgått. Under hele prosessen er det rettet på feil og mangler etter de råd og beskrivelser som er gitt. Det som har vært mangelfullt under arbeidet har vært, feil bruk av pinningsstein hvor de har vært lagt på flasken inn i fugen, mangelfull rengjøring av bakenforliggende murverk, tilføring av for store mengder mørtel på en gang og uten pinningsstein, manglende etterkomprimering av fugene, mangelfull avslutning mot stein, pinningsstein som stikker ut av veggens naturlige liv og for grunne fuger. Det ble utført et prøvefelt på hva som er forventet resultat på nordre del av mur 2 og søndre del av mur 9.



Foto 20091112_001 Eksempel på utført referansefelt utført under kursing

Det arbeidet som er påpekt som mangelfullt under arbeidets gang:



Foto 20091119_051 og _039 Bildet til venstre viser leire og jord i forbindelse med løs pinningsstein. Bildet til høyre viser gjenstående sement bak stein og tomrom bak fuge



Foto 20091119_044 og _045 Bildet til venstre viser dårlig komprimering mellom fuge og stein. Bildet til høyre viser mangelfull slutføring av fuge.

Arbeidet i 2009 og 2010 ble avsluttet i september. Mur 1 og 2 sto tildekket med oppvarming de første tre månedene. Tildekkingen fikk stå til over vinteren men uten oppvarming. Murene 8 og 9 står tildekket frem til november 2010. Murverket er ikke eksponert for en vinter.

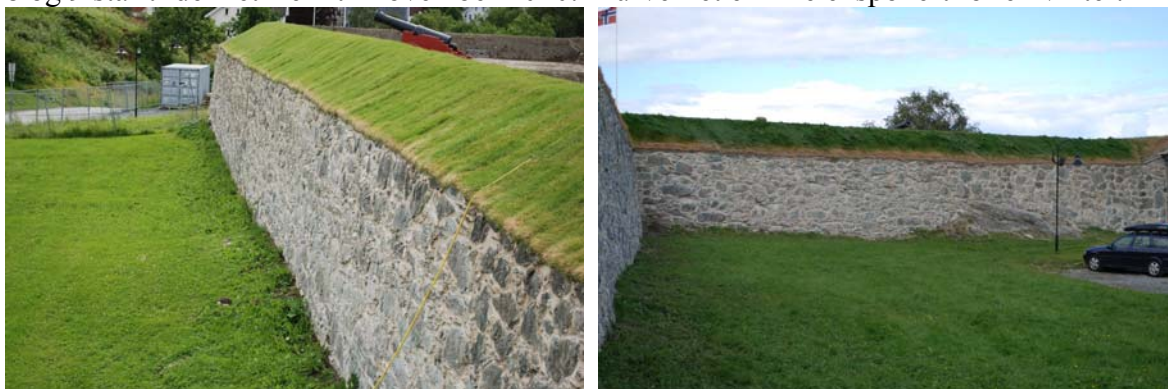


Foto 20091118_022 og 20091119_33 Mur 1 og 2 ferdigstilt med bentonittsikring på toppen av murene med nye vollprofiler og plen. Bildene er tatt 27 august 2010.

Månedstatistikk for Trondheim i anleggsperioden

Måned	Temperatur °C				Nedbør i mm (nedbørsdøgn kl 07 -07)		Vind i m/s	
	Maks	Min	Middel	Normal	Nedbør	Normal	Maks	Middel
Mai 2010	21,7	-1,5	7,4	9,0	47,3	50,0	6,2	2,2
April 2010	13,4	-2,0	4,5	3,0	41,2	45,0	9,4	2,4
Mars 2010	7,9	-12,5	-0,1	0,0	112,6	50,0	8,7	2,4
Februar 2010	3,4	-24,3	-5,7	-2,5	31,4	50,0	6,4	2,3
Januar 2010	3,9	-21,9	-7,0	-3,0	38,2	60,0	11,3	2,4
Desember 2009	6,6	-13,6	-2,3	-2,0	52,5	80,0	9,4	2,4
November 2009	11,6	-6,7	3,2	0,5	22,2	70,0	12,0	2,6
Oktober 2009	10,4	-2,8	3,8	5,5	77,9	100,0	8,4	2,1
September 2009	23,1	2,2	10,6	9,0	203,5	110,0	13,0	2,9
August 2009	27,4	4,3	14,9	12,5	54,4	85,0	9,6	2,3
Juli 2009	25,2	7,9	15,1	13,0	134,4	90,0	7,9	2,4
Juni 2009	27,8	3,9	12,1	12,0	64,7	65,0	8,3	2,4

Målingene tilsier en bløt høst med påfølgende kald vinter og vår 2009/10

Vedlegg:
Produkt datablad på mørtel som er benyttet
Utvalg av foto på CD

6
Vedlegg

Med vennlig hilsen
Geir Magnussen for
Bakken & Magnussen AS, Trondheim

Rekvirent:

Bakken & Magnussen A/S
Mellomila 40
N-7018 Trondheim

Sag: 090907

Dato: 13. oktober 2009

Rapport nr.: R090907

Side 1 af 8

Vedlegg
7

RAPPORT

Bygværk:

Kristiansten festning i Trondheim

Prøve(r):

Mørtelprøve fra murkjerne i mur nr. 5

Undersøgelser:

- Tyndslibsanalyse
- Mørtelanalyse

Oplæg.....	side 2
Sammenfatning og vurdering af resultater.....	side 3
Tyndslibsanalyse.....	side 5
Fotodokumentation	side 7

Torben Seir Hansen
Geolog, Cand. Scient.

SEIR-materialanalyse A/S

H.P. Christensensvej 1, DK-3000, Helsingør

Tlf: +45 49 21 97 16

Fax: +45 49 21 97 28

E-mail: tsh@seir-analyse.dk

Oplæg

Rekvirent

Bakken & Magnussen A/S
Mellomila 40
N-7018 Trondheim

Kontaktperson: Runhild Bakken Magnussen Tlf (mobil): +47 954 47 495
E-mail: post@restaureringsverkstad.no

Prøvemateriale

Prøvematerialet består af følgende prøve modtaget den 10. september 2009:

Prøve nr.	Mærket	Prøvetype/prøvebeskrivelse	Prøvetagningssted (oplyst af rekvirent)	Undersøgelser
P090907-1	Mur nr. 5	Brudstykker (5 stk.) af hvidgrå, bindemiddelrig mørtel (550 g) Dimensioner på brudstykker: op til 70 x 70 x 100 mm	Murkjernen, mur nr. 5	Tyndslibsanalyse

Skema 1: Beskrivelse og registrering af prøvematerialet

Der er sammen med prøven modtaget en oversigtstegning (*grunnriss*) af Kristiansten festning med angivelse af udtagningssted for den analyserede prøve.

Undersøgelser

Der er fremstillet og analyseret et tyndslib omfattende repræsentativt udtagne delprøver af hvert mørtelstykke i prøven. Analysen omfatter:

- Beskrivelse af mørtlens bestanddele
- Bestemmelse af mørtlens sammensætning; det vil sige bestemmelse af mængden af henholdsvis tilslag, bindemiddel og luft. Bestemmelsen er udført ved punkttælling
- Vurdering af bindemiddeltype (mørteltype)
- Vurdering af omdannelses- og nedbrydningstegn

Resultater

Resultatet af undersøgelsen fremgår af afsnittet: *Tyndslibsanalyse*. Resultaterne er endvidere sammenfattet i afsnittet: *Sammenfatning og vurdering*. Et udvalg af fotos fra tyndslibsanalysen er bragt under afsnittet: *Fotodokumentation*.

Forbehold

De anførte resultater er alene baseret på materialet i den undersøgte prøve og gælder kun for den pågældende konstruktion som helhed, i den udstrækning den undersøgte prøve er repræsentativ.

Sammenfatning og vurdering af resultater

Der er undersøgt en mørtelprøve fra murkjerne i mur nr. 5 i Kristiansten festning. Undersøgelsen er udført ved mikroskopisk analyse (tyndslibsanalyse). Resultatet af tyndslibsanalysen fremgår af efterfølgende sider i rapporten. Nedenfor er sammenfattet de væsentligste resultater. Der er endvidere udført en vurdering af blandingsforholdet for den anvendte mørtel. Vurderingen er baseret på resultatet af en udførte punkttælling samt relevante materialeparametre, ligeledes vurderet på baggrund af tyndslibsanalysen.

Vedlegg
7

Prøver mærket: **Murkjerne, mur nr. 5**

Den undersøgte mørtel har følgende sammensætning:

Mørtel	Kalkmørtel
Bindemiddel:	Kalk (lufthærdende)
Tilslag:	Grovkornet, fillerfattigt sand (grus) med kornstørrelse op til 5 mm, andelen af korn mindre end 0,25 mm er lav
Blandingsforhold:	Som 2 rummål kalk til 1 rummål sand (tilslag)
Luftindhold:	1 vol%

Supplerende vurderinger

Bindemidlet (kalken) er fremstillet ved brænding af forholdsvis ren kalksten med kun lavt indhold af urenheder i form af lidt kvarts og glimmer. Kalkstenen vurderes at være af metamorf oprindelse, det vil sige af typen marmor. Brændingen vurderes at være sket ved relativt lav temperatur (omkring 900°C), hvilket har bevirket, at der kun er dannet relativt få hydrauliske mineralfaser, og at en del af kalkstenen har været utilstrækkeligt brændt (underbrændt).

Mørtelens bindemiddel (kalken) er kun delvist carbonatiseret (omdannet til calciumcarbonat). Dette har blandt andet medført, at der siden murenes opførelse er sket en partiel opløsning af det bjergartsdannende mineral feldspat i tilslaget, som følge af det ucarboniserede bindemiddels høje alkalinitet (høje pH). Den ufuldstændige carbonatisering skyldes formentligt en kombination af stor tykkelse på muren og højt fugtindhold. Opløst kisel fra feldspatkornene i tilslaget har bidraget positivt til udviklingen af mørtelens relativt høje styrke. Ved opførelsen af murene har styrken været væsentligt lavere, formentligt svarende til styrken af en mørtel med ren lufthærdende kalk. På nuværende tidspunkt vurderes kalken i mørtlen at have en styrke svarende til en hydraulisk kalk af typen NHL 3,5 efter EN 459-1¹.

¹ EN standard: Bygningskalk – Del 1: Definitioner, specifikationer og overensstemmelseskriterier

Efter opførelsen har muren været udsat for formentligt vedvarende høj fugtpåvirkning, og der er sket en udbredt opløsning af ucarboniseret kalk (kalkhydrat) fra bindemidlet. Den opløste kalk er afsat som kalkudfældninger i revner og luftindeslutninger. Den udfældede kalk bidrager, ligesom den opløste kisel fra tilslaget, positivt til mørtlens styrke og medvirker endvidere til, at mørtlen fortsat er sammenhængende på trods de tilstedeværende revner.

Vedlegg
7
Kalken har på anvendelsestidspunktet haft et højt indhold af udispergerede kalkklumper og andre faste partikler i bindemidlet (udgør 12 vol% af bindemidlet i den undersøgte prøven). Rent mørtel-teknisk bør klumper og korn i bindemidlet betragtes som tilslag. Selv om kalkklumperne regnes som tilslag vil den undersøgte mørtel dog fortsat have en så bindemiddelrig sammensætning, at den med nutidens materialer og håndværksmæssige traditioner vil være urealistiske at efterligne.

Som følge af den lave tilslagsmængde har tilslagets gradering ikke haft nogen betydning for mørtlerne tekniske eller holdbarhedsmæssige egenskaber. Tilslaget har alene fungeret som fyldstof i mørtlen.

Tyndslıbsanalyse

Prøve mærket: **Murkjerne, mur nr. 5** (Lab nr.: P090907-1)

Makroskopisk beskrivelse

Prøven består af brudstykker (5 stk.) af hvidgrå, bindemiddelrig mørtel med op til 5 mm store tilslagskorn og enkelte indlejrede lysebrune fragmenter af træ- eller plantefibre. Mørtlens styrke kan karakteriseres som middel.

Vedlegg
7

Mikroskopisk beskrivelse af mørtelen set i tyndslıbet

Der er fremstillet og analyseret et tyndslıb omfattende repræsentativt udtagne delprøver af hvert mørtelstykke i prøven. Set i tyndslıbet har mørtlen har følgende sammensætning:

Tilslag: 28 vol%¹⁾

Grovkornet sand/grus bestående af gneiss og glimmerskifer samt neddelte fragmenter fra disse. Største kornstørrelse i tyndslıbet er 3,2 mm. Tilslaget indeholder kun lidt materialet tilhørende fraktionerne mindre end 0,25 mm. Kornformen er kantrundet.

Bindemiddel: 71 vol%

Bindemidlet fremstår som en uensartet, finkornet grundmasse af henholdsvis *carboniseret kalk* bestående af mikrokrySTALLIN calcit med krystalstørrelse på 1-3 µm og *ucarboniseret kalk* bestående af en amorf, gel-lignende masse med spredte kalkkrystaller af calciumhydroxid (mineralnavn: portlandit). Ucarboniseret bindemiddel er dominerende. Korn og klumper af kalk med struktur og udseende afvigende fra grundmassen forekommer udbredt og kan inddeles i følgende tre hovedtyper:

Kalk uden urenheder: Hvide, for det meste afrundede kalkklumper på op til 2,5 mm. Klumperne består dels af mikrokrySTALLIN calcit med krystalstørrelse mindre end 2 µm, dels af et amorf gel-lignende materiale med op til 0,1 mm store krystaller af calciumhydroxid (mineralnavn: portlandit). Kalkklumperne udgør i alt 13 vol% af bindemidlet.

Kalk med urenheder: Enkelte irregulære brudstykker af glas/slagge på op til 0,3 mm, stedvis med delvist smeltede sandkorn. Kornene udgør mindre end 1 vol% af bindemidlet.

Korn af ufuldstændigt brændt kalksten: Ubrændte eller delvist brændte, op til 0,3 mm store rester (korn) af den anvendte kalksten. Kalkstenen er relativt grovkrySTALLIN og indeholder enkelte steder delvist smeltede kvartskorn og små flager af glimmerminerale. De underbrændte korn udgør omkring 1 vol% af bindemidlet.

¹⁾ Mængdeangivelsen vol% betegner det rumfang (faststofrumfang + interne porøsiteter) den pågældende bestanddel optager i materialet

Luft: 1 vol%

Mørtelen indeholder kun lidt luft i form af let irregulære luftindeslutninger (bobler) på op til 0,5 mm.

Omdannelses- og nedbrydningstegn

Mørtlen gennemskæres af talrige, op til 0,5 mm brede, langstrakte luftindeslutninger med overgang til egentlige revner. De langstrakte luftindeslutninger bærer præg af at være dannet i den endnu ikke hærdnede mørtel; revnerne er bærer præg af at være dannet på et tidspunkt, hvor mørtlen har erhvervet en vis styrke.

I både langstrakte luftindeslutninger og revner optræder op til 0,2 mm store krystaller af udfældet calciumhydroxid (mineralnavn: portlandit), op til 0,05 mm lange nåleformede krystaller af formentligt hydrerede calcium-aluminat-forbindelser samt i de carbonatiserede dele af bindemidlet op til 0,15 mm store krystaller af calcit.

Tilslaget viser stedvis tegn på omdannelse, hvorved mineralet feldspat er blevet mere eller mindre opløst; dette gælder i særligt grad i randen af kornene.

Fotodokumentation

På efterfølgende side(r) bringes et eller flere mikrofotos optaget i polarisationsmikroskop, hvor følgende filtre og belysningsteknikker kan være anvendt:

Vedlegg
7

Filtre:	- N	Parallelle polarisationsfiltre (svarende til alm. belysning)
	+ N	Krydsede polarisationsfiltre
	+ G	Krydsede polarisationsfiltre samt gipsblad indskudt i strålegangen
	F	Fluorescensmikroskopi
Belysning:	A	Gennemfaldende lys (refraktionsmikroskopi)
	P	Pålys (refleksionsmikroskopi)

Hvilken belysningsteknik og hvilket filter, der er anvendt, fremgår af hvert foto.

Det skal bemærkes, at farverne på billederne ikke er naturtro på grund af de anvendte filtre og belysningsteknikker.

Vedlegg
7

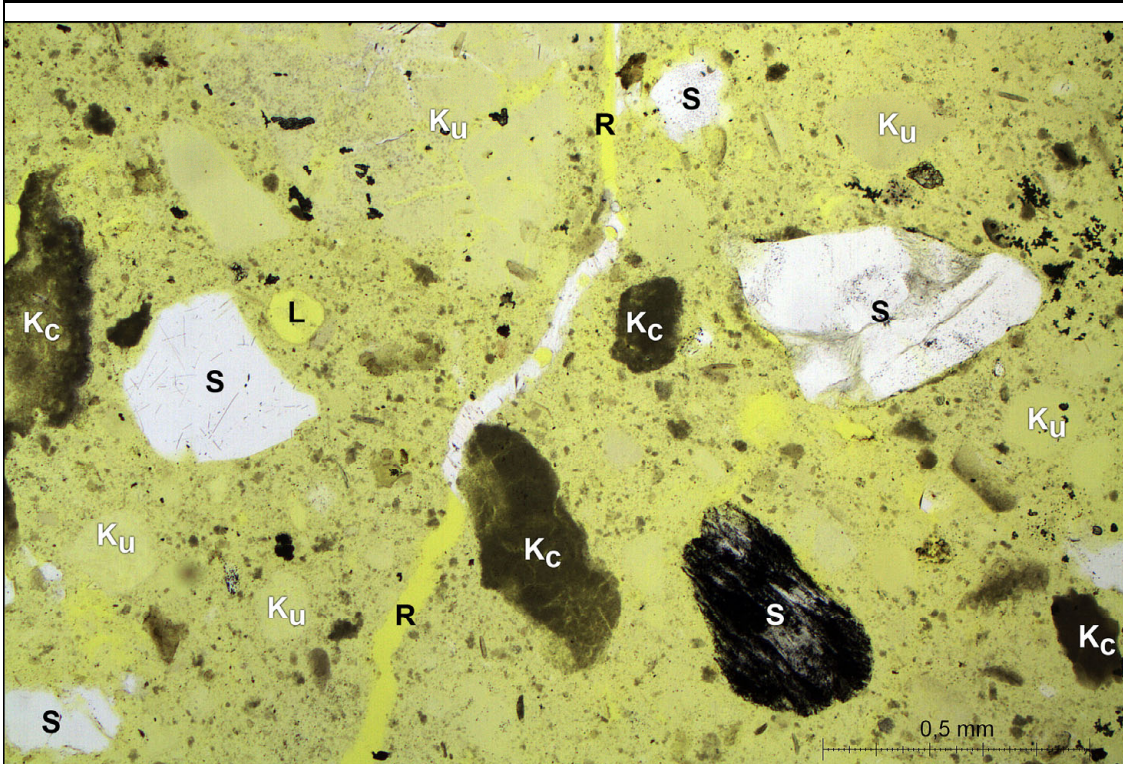


Foto: 1 (F831-1) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P090907-1 **Belysning:** A **Filter:** -N

Prøve mærket: Murkjerne, mur nr. 5. Billedet viser et udsnit af mørtlen set i det analyserede tyndslib. Mørtlen indeholder kun lidt tilslag (S), men meget bindemiddel. I bindemidlet ses carbonatiserede (K_c) og ucarbonatiserede (K_u) kalkklumper. Mørtlen skæres af en revne (R). Luftpore = L

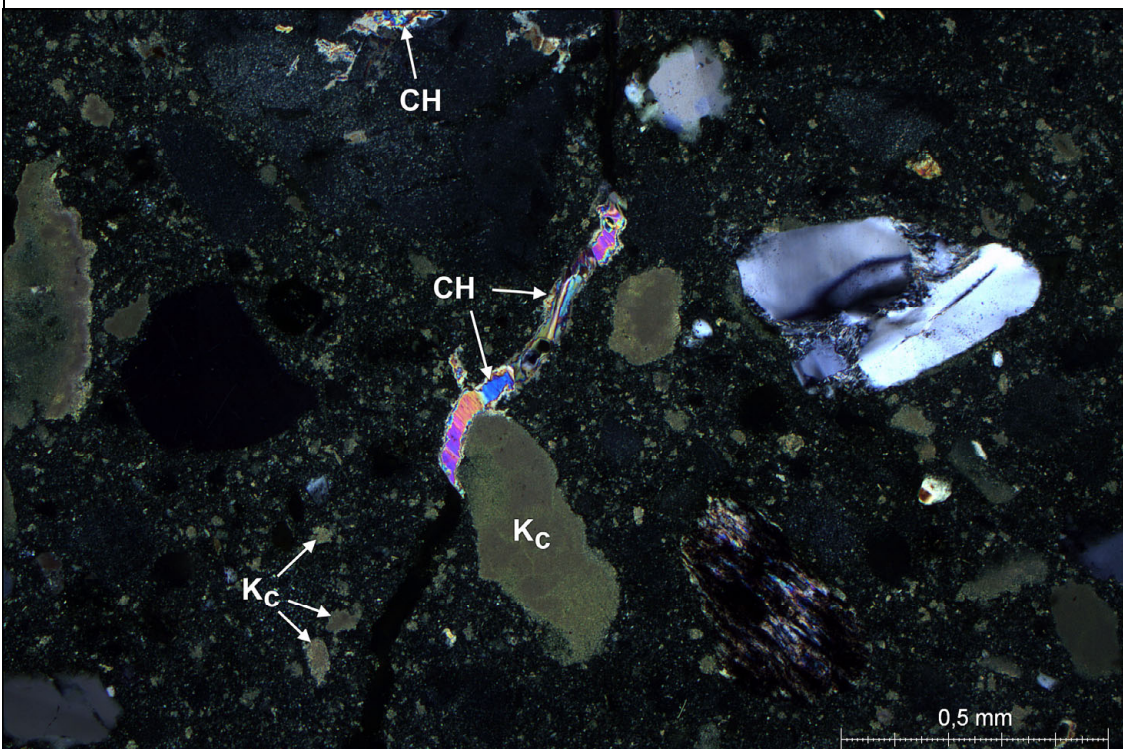


Foto: 2 (F831-2) **Type:** Mikrofoto **Prøve nr.:** P090907-1 **Belysning:** A **Filter:** +N

Prøve mærket: Murkjerne, mur nr. 5. Billedet viser samme udsnit af mørtlen som foto 2, men en anden filterteknik er anvendt, hvorved carbonatiseret kalk (mineralet calcit) får en brunlig kulør og ucarboniseret kalkhydrat en næsten sort kulør. Det ses, at bindemidlet i viste udsnit af mørtlen overvejende består af ucarboniseret kalkhydrat, dog med klumper af carbonatiseret kalk (K_c). I revnen ses store farvede krystaller af udfældet calciumhydroxid (CH) i form af mineralet portlandit. Calciumhydroxiden er udfældet ud fra kalk, som er udludet fra det ucarboniserede bindemiddel. Årsagen er vedvarende fugtpåvirkning

