



BRUK AV RUINER

KULTURARV, KONSTRUKTION, KALKBRUK,
KOMFORT & KALSONGER

Rapport Ruinprojektet – Statik, Mur, Komfort
Red. Kristin Balksten & Ulrika Mebus

BRUK AV RUINER

KULTURARV, KONSTRUKTION, KALKBRUK,
KOMFORT & KALSONGER

Redaktörer

Kristin Balksten & Ulrika Mebus



Omslagsbild: S:t Nikolai ruin, Visby

Foto:Ulrika Mebus

Fornsalens förlag
Gotlands Museum
Strandgatan 14
621 56 Visby

Redaktörer: Kristin Balksten & Ulrika Mebus

Varje författare ansvarar för sin text.

Grafisk form: Kristin Balksten

Tryckeri: ScandinavianBook

ISBN 978-91-88036-84-1

© 2012 Ruinprojektet

I SAMARBETE MED

KK-stiftelsen 

FÖRORD

Under 2010 och 2011 har ett forskningsprojekt om brukande av ruiner pågått vid Högskolan på Gotland i samverkan med Gotlands Museum, Tyréns AB, Byggnadshyttan på Gotland, WSP Environmental och Exners Tegnestue AS. Forskningsprojektet har varit tvärvetenskapligt och inriktat sig på flera olika forskningsfrågor som rör brukande av kulturarv, förståelse för konstruktioner, fördjupning av skadebilder i sten och kalkbruk samt styrning av komfort i ruiner. De ingående studier som har utförts presenteras mer djuplodande i denna populärvetenskapliga skrift med ambitionen att öka förståelsen för ruiners komplexitet och därmed möjliggöra och uppmuntra ett ökat brukande.

Projektet har finansierats av KK-stiftelsen och de ingående företagen och vi vill tacka samtliga medverkanden för ett intressant och givande samarbete.

P.S. Undrar du över kalsongerna i titeln? Då skall du läsa kapitlet om komfort, och speciellt sidan 140...

Kristin Balksten
Projektledare
Högskolan på Gotland

Ulrika Mebus
Projektsamordnare
Gotlands Museum

INNEHÅLL

1. INLEDNING	8
1.1 BAKGRUND.....	8
1.2 SYFTE MED PROJEKTET.....	8
1.3 AVGRÄNSNING	9
1.4 METOD	9
1.4.1 DELPROJEKT MUR	9
1.4.2 DELPROJEKT STATIK	10
1.4.3 DELPROJEKT KOMFORT.....	10
1.5 S:T NICOLAI KULTUDRAL	11
1.6 VAD ÄR EN RUIN?.....	12
1.7 RUINVÅRDARENS DILEMMA OCH PROJEKTETS UTMANINGAR.....	13
2 ÖKAT BRUKANDE – MEN HUR?.....	15
2.1 KULTURARVET – TILL VILKEN NYTTA?	15
2.2 FÖRVALTNINGSPERSPEKTIV – EXEMPLET GOTLAND.....	16
2.2.1 ATT BYGGA KULTURARVET	16
2.2.2 ATT VÅRDA KULTURARVET	16
2.2.3 ATT BRUKA KULTURARVET.....	17
2.2.4 ATT FÖRVALTA KULTURARVET.....	18
2.3 BRUKANDE OCH UTVECKLING.....	19
2.4 KULTURHISTORISKT VÄRDE SOM BAS FÖR UTVECKLAT KULTURARVSBRUK.....	20
2.5 KULTURARVET TILLHÖR ALLA – MEN VEM SKALL BESLUTA OCH BETALA?.....	22
2.5.1 "RUIN-TIAN"	22
2.6 EXEMPEL PÅ RUINUTVECKLING OCH KULTURARVSBRUK DE SENASTE ÅREN	23
2.6.1 HAMAR, NORGE	23
2.6.2 KOLDINGHUS, DANMARK	25
2.6.3 RASEBORGS SLOTTSRUIN, FINLAND.....	27
2.6.5 S:T NICOLAI RUIN, SVERIGE.....	30
2.7 ANALYS OCH SLUTSATS	36
2.8 FRÅGESTÄLLNINGAR ATT UTFORSKA FRAMÖVER.....	37
3 BYGGNAD SARKEOLOGI I RUINVÅRDEN	38
3.1 BYGGNADEN SOM DOKUMENT.....	38
3.2 EXEMPLET S:T NICOLAI KYRKORUIN I VISBY.....	39
3.2.1 BYGGNADSHISTORIK	39
3.2.2 RESTAURERINGS HISTORIK	39
3.3 HISTORIE-/KUNSKAPSFÖRMEDLING TILL RUINENS BRUKARE.....	40
3.4 AVSLUTNINGSVIS.....	40
4 SCT. NICOLAI KIRKE, RUIN OG KONCERTRUM	41
4.1 BEVARINGSPRINCIP	41
4.2 RESTAURERINGSFILOSOFI	41
4.3 JOHANNES EXNERS RESTAURERINGSFILOSOFI OG FIRE NØGLER TIL RESTAURERING	42
4.2.1 ORIGINALITET.....	42

4.2.2	AUTENTICITET	42
4.2.3	IDENTITET	42
4.2.4	NARRATIVITET	42
4.4	BEVARINGSSTRATEGI	43
4.4	FORANDRING AF KULTURMINDET FRA KIRKE OG KLOSTER TILL KONCERTRUM.....	43
4.5	COMFORT, VIND OG VEJRSIKRING, SAMT OVERDÆKNING OG BESYTTELSE.....	45
4.6	DE NYE ADDITIONER.....	45
5	RUIERNAS SKADEBILDER	46
5.1	BAKGRUND.....	46
5.2	SKADEBILDER I KALKSTENSMURVERK	46
5.3	BESKRIVNING AV BYGGNADEN	46
5.4	KALKSTEN OCH DESS SKADEBILDER.....	48
5.4.1	OBSERVATIONER.....	49
5.4.2	IDENTIFIERADE RISKER OCH BEHOV	49
5.5	BESKRIVNING AV AKUTA PUNKTINSATSER.....	50
5.5.1	SÄKRING AV BEMÅLADE PUTSYTOR	50
5.5.2	PUNKTINSATSER AVSEENDE NORRA OCH SYDÖSTRA LÅNGHUSPORTALEN	51
5.5.3	REKOMMENDERADE FORTSATT ÅTGÄRDER (UPPFÖLJNING).....	52
5.5	FUKTRELATERADE SKADOR I MURVERKS FOGAR OCH PUTSSKIKT.....	58
5.5.1	SALTRELATERADE SKADOR I MURVERK	58
5.5.2	FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER FÖR MINIMERING AV SALTSKADOR	62
5.5.3	SKADOR BEROENDE PÅ HÖGT FUKTINNEHÅLL I MURVERK.....	63
5.5.4	BIOLOGISKT BETINGADE SKADOR I MURVERK.....	65
5.5.5	FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER FÖR MINIMERING AV FUKTBETINGADE SKADOR	68
6	GAMLA BRUK OCH LAGNINGSBruk	70
6.1	BAKGRUND.....	70
6.2	HISTORISKA SVENSKA MURBRUK.....	70
6.3	RESTAURERINGAR UNDER MITTEN AV 1900-TALET.....	73
6.4	LAGNINGSBruk.....	78
6.5	FORTSATT FORSKNING	81
7	ATT FÖRSTÅ VERKNINGSSÄTT OCH FÅNGA GEOMETRIN I HISTORISKA MURVERKSKONSTRUKTIONER	82
7.1	INLEDNING	82
7.1.1	ANALYS AV BÄRANDE MURVERKSKONSTRUKTIONER	82
7.1.2	FORSKNINGSLÄGE	83
7.1.3	METOD OCH BEGRÄNSNINGAR	87
7.2	MURVERKSKONSTRUKTIONER	88
7.2.1	STRUKTURMEKANISKA FÖRUTSÄTTNINGAR.....	88
7.3	ANALYS AV MURVERKSKONSTRUKTIONER	95
7.3.1	PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS	95
7.3.2	SAMMANFATTNING PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS	103
7.3.3	FEM-BASERADE ANALYSER	103
7.3.4	SAMMANFATTNING FEM-BASERADE ANALYSER	109
7.4	FÅNGA GEOMETRIN	109
7.4.1	LASERSKANNING	110

7.4.2 PROCESSEN – LASERSKANNING TILL BERÄKNINGSMODELL	110
7.4.3 PROGRAMVAROR.....	112
7.4.4 GEOMETRI TILL TRYCKLINJEANALYS	112
7.4.5 GEOMETRI TILL FEM-MODELLER.....	113
7.4.6 SAMMANFATTNING FÅNGA GEOMETRIN.....	115
7.5 S:T NICOLAI.....	117
7.5.1 RUINEN HAR RASAT	117
7.5.2 ANALYSER AV MURVERKSKONSTRUKTIONENS VERKNINGSÄTT	118
7.5.3 SAMMANFATTNING S:T NICOLAI	125
7.6 RESULTAT OCH DISKUSSION.....	125
7.6.1 FORTSATT FORSKNING.....	127
8. PÅ KOMFORTENS BRANT – KLIMATET I RUINER	130
8.1 INLEDNING	130
8.2 VINDRÖRELSER I RUINEN	130
8.2.1 PROBLEMBESKRIVNING	130
8.2.2 EJEKTORVERKAN	131
8.3 GENOMFÖRANDE.....	131
8.3.1 KARTLÄGGNING OCH MÄTNING AV LUFTRÖRELSER I RUINEN FÖRE ÅTGÄRDER.....	132
8.3.2 VAL AV PRINCIPLÖSNING	132
8.3.3 VAL AV NÄT	133
.....	134
8.3.4 MÄTNING OCH ANALYS AV LUFTRÖRELSER.....	134
8.4 RESULTAT	135
8.4.1 LUFTHASTIGHET	135
8.4.2 RIKTNINGSBEROENDET	137
8.5 SLUTSATS.....	138
8.6 KOMFORTUNDERSÖKNINGAR.....	139
8.6.1 INTRODUKTION.....	139
8.6.2 GENOMFÖRANDE OCH FÖRUTSÄTTNINGAR	139
8.6.3 RESULTAT FRÅN KLIMAT- OCH KOMFORTMÄTNINGAR SAMT ENKÄTER	140
8.6.4 SLUTSATSER	142

1. INLEDNING

Text & foto: Ulrika Mebus, Gotlands Museum

1.1 BAKGRUND

Ökat brukande av ruiner genom säkrade murverk och komfortabelt klimat är titeln på ett forskningsprojekt som under åren 2010-2011 bedrivits i samverkan mellan en tvärvetenskaplig grupp forskare och företagare med Högskolan på Gotland (Hgo) som projektägare. Projektet har finansierats av KK-stiftelsen och av de deltagande företagen. Projektledare var Kristin Balksten, lektor, tekn.dr. Hgo, och som projektsamordnare har Ulrika Mebus, Gotlands Museum fungerat. Medverkande forskare från Hgo var Tor Broström, prof. tekn.dr., Magnus Wessberg, fil. mag. och Eva-Marie Fahlin, fil. mag.

Deltagande företag var:

- Byggnadshyttan på Gotland. Rebeca Kettunen, konservator och Dag Urban Hoas, hyttmästare.
- Exners Tegnestue A/S (numera E+N Arkitektur A/S). Finn Larsen, arkitekt.
- Gotlands Museum. Jörgen Renström, bebyggelseantikvarie och Ulrika Mebus, byggnadsantikvarie.
- Tyréns AB. Carl Thelin, Tekn. dr./civilingenjör och Malin Myrin, Fil. dr./konservator.
- WSP Environmental. Håkan Nilsson, docent, Tekn.dr.



Bild 1.1 Projektgruppen samlad för seminarium på Hindsgavl Slot, Danmark.

1.2 SYFTE MED PROJEKTET

Projektets syfte var att öka kunskapen om ruiner och deras speciella problematik vad gäller säkerhet och komfort för att därigenom förbättra möjligheterna att använda dem för publik verksamhet samtidigt som de kulturhistoriska värdena bevaras och kanske till och med utvecklas.

Genom ett tvärsektorieellt angreppssätt där antikvarisk och teknisk kompetens från forskning och näringsliv samverkat var målsättningen att hitta konstruktiva lösningar på ovanstående problematik. Brukaraspekten löpte som en röd tråd genom hela processen. Som fallstudie valdes S:t Nicolai medeltida kyrkoruin i Visby. Orsaken är att ett parallellt projekt, S:t Nicolai Kulturdal, som syftar till att utveckla ruinen till en kulturarena, samtidigt pågått. Tack vare detta har olika arkitektoniska förslag, brukarönskemål och synpunkter kunnat lyftas in i processen.

1.3 AVGRÄNSNING

Projektet har jobbat med ruinproblematiken, vilken ställer frågor om bevarande och brukande på sin spets eftersom vitala delar av konstruktionen saknas. Detta gör ruinmonumentens bevarande- och brukarstrategier extra komplexa eftersom de är utsatta för väder och vind på ett extremt vis. Jämförande studier på byggnadsverk med väderskydd i behåll har gjorts, men det är ruinen som varit fokus i studien.

1.4 METOD

Eftersom frågeställningen är bred har projektet delats upp i tre underprojekt: *Mur/material*, *Statik och Komfort*. Grupperna har arbetat var för sig men även integrerat. Speciellt har Mur och Statikgruppen jobbat nära ihop. För att hålla ihop projektet och ständigt återknyta till frågan om brukarperspektivet har projektsamordnare Ulrika Mebus från Gotlands Museum skött kommunikationen och deltagit i samtliga grupperns möten och verksamheter. Ett antal gemensamma projektmöten och seminarier för hela forskargruppen har hållits under projektiden. En hemsida har underlättat informationsutbytet.

1.4.1 DELPROJEKT MUR

Ansvarig forskare: Kristin Balksten

För att framgångsrikt kunna konservera och bevara materialen i en stenkonstruktion måste deras egenskaper och tillstånd vara väl kända. I annat fall finns stor risk för att nya åtgärder förvärrar situationen, något som tyvärr är alltför vanligt idag. Såväl ursprungliga material som senare lagningar bör studeras och analyseras. Utifrån detta kan man komma fram till vilka material och metoder som är lämpligast att använda i varje enskilt fall.

Resultaten bör offentliggöras för att nå spridning och på så sätt bygga upp en allmän kunskapsbas om lämpliga tillvägagångssätt som sparar såväl resurser som kulturhistoriska värden.

Murverkets och dess ingående delars tillstånd måste beaktas vid varje form av åtgärd som medför statiska förändringar av konstruktionen. För bedömning av konstruktionens säkerhet för besökare är kunskap om de ingående materialen och deras skick en förutsättning.

Delprojekt MUR har undersökt:

- Metoder för att definiera sammansättning och status på sten och bruk i äldre stenkonstruktioner, och baserat på detta komma fram till vilka metoder och material som skall användas i konserverande, stabiliserande och ev. kompletterande syfte.
- Hur hantverket skall utföras för att åtgärderna skall bli hållbara och väl fungerande över lång tid.
- Skador som uppkommer i murverkets material samt vad som orsakar dem.



1.4.2 DELPROJEKT STATIK

Ansvarig forskare: Carl Thelin

En riktig bedömning av en byggnads konstruktion och statik är av avgörande betydelse för underhåll och brukande av kulturarvsmiljöer. I en ruin är dessa frågeställningar synnerligen relevanta eftersom vitala delar av konstruktionen saknas och ursprungligt verkningssätt med all sannolikhet förändrats. Önskemål om nya tillägg i form av övertäckningar aktualiseras ofta då en ruin skall komma till större brukarnytta. För att kunna bedöma genomförbarheten av sådana tillägg med avseende på konstruktionens möjlighet att bära dessa bör statiken liksom konstruktionens verkningssätt vara kända och beräkningsbara.

För att utveckla en effektiv och praktiskt tillämpbar metodik för analys av inkompleta stenkonstruktioner finns ett stort behov av utökad forskning. Lite har gjorts på detta område.

Delprojekt statik har undersökt:

- Hur riktiga bedömningar av historiska murverk kan göras med hjälp av moderna och praktiskt tillämpbara analytiska metoder.
- Hur den komplexa geometrin hos historiska valv kan beskrivas och hanteras.
- Hur man hanterar osäkerhetsfaktorer vad gäller materialets skick och ruinens laster.
- Vilka dataprogram och vilken typ av mjukvara som är ändamålsenliga att jobba med.

1.4.3 DELPROJEKT KOMFORT

Ansvarig forskare: Tor Broström

Komfort definieras som "det sinnestillstånd som uttrycker tillfredsställelse med inomhusklimatet". Det innebär att komfort, såsom den uppfattas av var och en, är en komplex interaktion mellan kropp, sinne och omgivning. Att skapa komfort i en ruin tillför ytterligare ett element; Bevarande och upplevelse av en kulturarvsmiljö. Klimatet i en ruin kommer av nödvändighet att utmynna i en kompromiss mellan olika faktorer. Syftet är inte bara att öka kunskapen om inomhusklimat och komfort rent generellt, utan att undersöka kompromissen som helhet, väga olika faktorer mot varandra. Forskning om klimat i ruiner är mycket begränsad. Det som ligger närmast till hands är att jämföra med studier gjorda på historiska byggnader, framförallt kyrkor. Men i ett öppet rum som ruinen tillkommer vindrörelser, som kan vara extrema.



Delprojektet komfort har undersökt:

- Vilket ruinklimat som är önskvärt.
- Hur detta klimat kan uppnås genom ett minimum av åtgärder och energiförbrukning.

1.5 S:T NICOLAI KULTUDRAL

I den medeltida kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby, en gång Dominikanernas konventskyrka, har en kulturscen; S:t Nicolai Kultudral, skapats under åren 2007-2012.

Arkitektoniskt har Kultudralen gestaltats med lösningar som är varsamma men samtidigt självständiga i sitt uttryck, med full respekt för ruinens egenart. För arkitekturen av de nya tilläggen svarar Exners Tegnestue A/S, arkitekter Eva Holdgaard Jensen och Finn Larsen. I samband med en arkitekttävling 2008 inkom ytterligare tre förslag för den arkitektoniska gestaltningen. Förslagen var ritade av AIX arkitekter, Stockholm, A.F. Møller, Århus och Visby Ark, Visby. Förslagen presenteras i denna rapport på sidorna 30-35.

Kultudralen med sin blandning av gammalt och nytt är en arena för evenemang med kulturen i fokus. Den historiska miljön förhöjer upplevelsen för besökarna och skapar förutsättningar för god förvaltning av ruinen genom de ekonomiska resurser som genereras och den kontinuerliga tillsyn som brukandet medför. S:t Nicolai Kultudralprojektet har sedan starten drivits som ett samverkansprojekt mellan offentlig och privat sektor, mellan antikvariska myndigheter och regional utvecklingsstrategi.

Projektet var indelat i tre etapper: förstudie, projektering och utförande. Under de två första etapperna var Gotlands Museum projektägare. I samband med fas tre, genomförandet, tog non-for profit aktiebolaget Kultudralen AB över projektledning. Bolaget bildades med syfte att förverkliga byggnationen och bedriva den kommande verksamheten. Delägare i bolaget är 93 privatpersoner, organisationer och företag, vilket resulterade i en intresserad och engagerad beställargrupp med stort intresse för projektet.

Finansieringen av S:t Nicolai Kultudral, som omfattat bl.a. ett nytt valv, nya gradänger, scen, loger, vindskydd i fönster och teknik, hade en budget på ca 20 miljoner. Pengarna kom från både offentligt och privat håll (EU:s regionala strukturfonder, Regionala utvecklingsmedel, Boverket, Riksantikvarieämbetet, företag som bidragit med material och pengar). Ytterligare finansörer under projekteringsfasen har varit ALMI företagspartner, Barbro Osher pro Suecia Foundation, Framtidens Kultur och Gotlands Museum.

Ett stort intresse och engagemang från allmänheten har varit en viktig framgångsfaktor. Därför sågs kommunikation om projektet som ett viktigt redskap för att nå goda resultat. Hela projektet präglades från första start av samverkan mellan olika intressenter och kompetenser.

Forskningsprojektet, som beskrivs i denna rapport, var ett led i detta samarbete. Ett viktigt syfte har varit att djupgående och på ett genomarbetat vis anpassa den gamla stenkonstruktionen till nya tiders kultur- och arbetsbruk på ett reversibelt sätt. Förutsättningarna för vad ruinen tål såväl tekniskt, kulturhistoriskt som estetiskt har varit viktiga att utreda, likaså vilka brukarsynpunkter som skall ligga till grund för omdaning.





Bild 1.2 S:t Nicolai ruin med det nya valvet, sett uppifrån klinten. Fotomontage: Exners Tegnestue. .2008

1.6 VAD ÄR EN RUIN?

En ruin är till sin natur en paradox - den symboliserar å ena sidan nedbrytning och förgänglighet, å andra sidan kontinuitet och existens över lång tid. Den är öppen för väder och vind men samtidigt ett mer eller mindre slutet rum. Den är en kulturyttring genom sin arkitektoniska idé samtidigt som naturen påbörjat sin återerövring av materian. Den klassas enligt Kulturminneslagen (KML) som fornlämning (vilket definieras som en lämning efter mänsklig verksamhet som är varaktigt övergiven) och inte som byggnad, detta trots att verksamhet mer eller mindre regelbundet förekommer i många ruiner. Ruiner är känsloladdade monument, fyllda av mening för många människor. De utgör ett slags refugier från vår tids jäkt och hets, en drömsk värld i ett gränsland mellan då och nu där fantasier och förnimmelser kan ges fritt spelrum.

Man kan förvisso definiera en ruin i tekniska termer utifrån dess fysiska uppenbarelse, men en mer immateriell definition som tar fasta på dess emotionella upplevelse- och symbolvärden är minst lika viktig, om än mer svårfångad. Nedanstående text ringar in en del av tematiken:

“The meaning of the word "ruin" has its origins in the idea of fallen stones. When we frame an object as a ruin, we reclaim it from a fall into decay and oblivion and often for a form of cultural attention and care that elevates the value of that object. The classical ruin has had a particular status in the West: not only has it been rescued from oblivion, it has been raised to an exalted position of contemplation and reverence. All ruins are reclaimed because they are threatened by the irresistible process of decay and the menacing forces of forgetting. A ruin must remain exposed to these forces to have its full effect on the beholder, but it must also be protected from them if it is to survive. The decay of ruins is irresistible because it reveals the passage of time as irresistible. Yet ruins do resist because they persist, but not too well.” (Getty research institute)



Bild 1.3 Interiör från Caracallas termer i Rom. Marco Sadeler, omkring 1660.

1.7 RUINVÅRDARENS DILEMMA OCH PROJEKTETS UTMANINGAR

Ruinvård är med andra ord en paradox syssla; att upprätthålla ett förfallet stadium utan att göra vare sig för mycket eller för lite. Till skillnad från en byggnad saknar ruinen oftast det mest elementära skyddet mot förfall: tak. Det gör att murverket är exponerat för just det man normalt till varje pris vill undvika inne i en byggnadskonstruktion: fukt. I vårt nordiska klimat är fukten ett allvarligt hot mot konstruktionens stabilitet eftersom frostsprängningar vintertid underminerar konstruktionen. Därför är en av ruinvårdens viktigaste uppgifter att se till att vatten inte tränger in i murverket. Antikvariska hänsyn gör att många tekniskt förnuftiga metoder måste överges, såsom byggande av skyddstak och andra konstruktioner som syftar till att hålla fukt och vind ute. För vad blir resultatet av en ruin som förses med täta tak och fönster? Ja, kanske en återuppstånden byggnad. Och då har monumentet i sin egenskap av ruin allvarligt förvanskats och förlorat stora delar av sina kulturhistoriska värden, framförallt beträffande den upplevelse de förmedlar.

Den andra extremen är att över huvud taget inte göra någonting utan låta ruinen följa termodynamikens lagar; att om inte energi tillförs så tilltar det oordnade tillståndet, dvs. förfallet (Samuelsson 2006). Till slut är allt som återstår en övervuxen stenhög.

Eftersom målsättningen med forskningsprojektet varit att undersöka hur man kan öka brukandet av ruiner genom att hitta metoder för att säkra konstruktionen och förbättra komforten är det inte aktuellt att lämna ruinerna åt sitt öde. Tvärtom har utgångspunkten varit att med så stor säkerhet som möjligt kunna bedöma ruinens status för att avgöra vilka vårdbehov som är adekvata för att kunna hålla ruiner öppna och tillgängliga utan säkerhetsrisker för besökare. För att få



Bild 1.4 Operafest i S:t Nicolai ruin i Visby. Ruinmiljön ger evenemanget en alldeles speciell karaktär, vilket ofta framhålls av såväl publik som artister.

dem att trivas har projektet utforskat den delikata frågan av "äta kakan och ha den kvar karaktär" – att förhindra kalla vindar och ruskigt väder inne i ruinen utan att för den skull täcka för alla öppningar. Med andra ord: att skapa ett klimat mellan ute och inne.

Inte nog med detta. Inga kulturhistoriska värden får förvanskas och det skall finnas en acceptans för åtgärderna från såväl myndigheter som allmänhet. Eftersom ruiner i allmänhet väcker många människors engagemang, kanske för att de utgör en gemensam fast punkt i tillvaron i en föränderlig värld, är det en nog så viktig balansgång. Låt oss hoppas att de rön som framkommit i projektet kommer till användning "out there" så att många generationer kan fortsätta tjasas och förundras över det förflutnas stolta monument.

Kulturarvet tillhör alla – över tid och rum. Därför är det viktigt att vi förvaltar det med omsorg och kunskap.

KÄLLFÖRTECKNING

Tryckta källor:

Cnattingius Lars och Nanna: Ruiner. Historia, öden och vård. Carlssons bokförlag. Stockholm 2007.

Artikel i Kulturvärden 2-2006. Statens Fastighetsverk.

Unnerbäck, Axel: Kulturhistorisk värdering av bebyggelse, Riksantikvarieämbetet, Stockholm 2002.

Otryckta källor:

Samuelson Anna: Mellan arkitektur och natur – förhållningssätt till värden av ruiner i Sverige. Examensarbete, Högskolan på Gotland 2006.

Kulturmiljöanalys. En vägledning för användning av DIVE-analys. Riksantikvaren, Oslo 2009.

Lag (1988:950) om kulturminnen m.m.

Regeringens proposition Tid för kultur 2009/10:3.

Lyons Claire, Roth Michael, Charles Merewether: Irresistible decay.

http://www.getty.edu/research/exhibitions_events/exhibitions/irresistible_decay/ The Getty Research Institute, Los Angeles.

2 ÖKAT BRUKANDE – MEN HUR?

Text & foto: Ulrika Mebus & Jörgen Renström, Gotlands Museum

2.1 KULTURARVET – TILL VILKEN NYTTA?

Kulturarvet engagerar, det märker man kanske först då det är hotat eller står inför förändringar. Många gånger uppfattas de historiska monumenten vi lever med idag som konstanta – de har alltid funnits där och skall alltid förbli där i den form de har. Det förflutnas lämningar är länkar till det förflutna, till en kontinuitet och trygghet som dagens människa möjligen upplever sig sakna i den tid vi lever i. Och så har det måhända alltid varit. Därför uppstår oro i leden då förändringar kommer på tal. Kulturarvet är en länk som förbinder dagens människa och samhälle med tidigare generationer. Det möjliggör utveckling in i framtiden, all tradition är förändring beroende på de människor som skapat och fortsätter att skapa det.

Kulturarvet, såväl det materiella som det immateriella, är vår gemensamma egendom. Det känner inga geografiska eller sociala gränser. I ”*The Nara Document on Authenticity (1994)*” utfärdat av ICOMOS (International Council on Monuments and Sites) uttrycks det så här:

- §5 The diversity of cultures and heritage in our world is an irreplaceable source of spiritual and intellectual richness for all humankind.
- §8 It is important to underline a fundamental principle of UNESCO, to the effect that the cultural heritage of each is the cultural heritage of all.

Eftersom kulturarvet enligt ovanstående definitioner är en oersättlig källa till andlig och intellektuell rikedom som tillhör hela mänskligheten inser den professionella kulturmiljövårdaren att ansvaret för en förvaltning och utveckling som tar stor hänsyn till monumentens kulturhistoriska värden och autenticitet är stort och att alla åtgärder måste övervägas noggrant.

Parallellt finns en uttalad intention från politiskt håll om att utöka brukandet av kulturarvsmiljöer, något som kommer till tydligt uttryck i Regeringens proposition 2009/10:3 *Tid för kultur*; ”Kulturpolitiken ska främja ett levande kulturarv som bevaras, används och utvecklas”. Inte nog alltså att förvalta och bruka kulturarvet, statens vilja är även att det skall utvecklas. Frågan är bara hur. För ett framgångsrikt resultat behöver flera faktorer samverka.

Låt oss börja med att titta på förvaltningen, som är grundvalen till monumentens långsiktiga konstans.

Kulturpolitiken ska främja ett levande kulturarv som bevaras, används och utvecklas.

Till kulturpolitikens kärnuppgifter hör att **främja ett levande kulturarv** som är angeläget för medborgarna i dag och bevaras för kommande generationer. Det gäller både det kulturella arv som överlämnats från tidigare generationer och det som formas i dagens samhälle. Det kan röra sig om allt från fysiska miljöer, kulturminnen och arkiv- och föremålssamlingar till berättelser, traditioner, föreställningar och konstnärliga uttryck. Kulturarvet präglas av historien och mångfalden i dagens samhälle och är lika mångfacetterat och mångbottnat som samhället självt. Det bär samhällets minnen och handlar om såväl framsteg och framgångar som misslyckanden och lidanden. Synen på och tolkningen av kulturarvet förändras ständigt. Ur ett medborgarperspektiv är det viktigt att det förs ett öppet samtal om dessa tolkningar och vad de representerar. **Det är angeläget att främja ett arbete som bidrar till att kulturarvet används och utvecklas, och därigenom är levande.**

Kulturarvet skapar perspektiv på samhället och dess utveckling och berikar människors liv. **Det tillhör alla och bör ses som en kraft i samhället som bidrar till utveckling och förnyelse.** Intresset för äldre uttryckssätt som inspirationskälla är stort inom många samtida konst- och kulturyrtingar.

Kulturarvets möjligheter tas bäst tillvara när en mångfald av aktörer, såväl enskilda människor som myndigheter, institutioner, organisationer och näringsliv, bidrar med sina perspektiv och använder kulturarvet utifrån olika utgångspunkter. **Medborgarnas engagemang och delaktighet är en viktig förutsättning för att kulturarvet ska leva vidare och utvecklas.** Det är därför angeläget att verka för att människor i ökad utsträckning har möjlighet att ta del av, använda och vidareutveckla kulturarvet.

Regeringens proposition 2009/10:3
Tid för kultur s.30.

2.2 FÖRVALTNINGSPERSPEKTIV – EXEMPLET GOTLAND

2.2.1 ATT BYGGA KULTURARVET

Efter upphetsningen inom den omfattande nationalromantiska rörelsen kring sekelskiftet 1900, då det på riksplan tillverkades kulturobjekt ur förfallna slott och bortglömda ruiner, fortsatte trenden i form av regionala projekt ute i landet. På Gotland, vars nationellt intressanta kulturarvsobjekt var i användbart skick, behövde större rekonstruktioner inte utföras. Blickarna riktades därför mot landsbygden och de rester efter det förflutna som gömde sig där.

Genom i första hand Gotlandsfonden (som introducerades 1925) söktes pengar i syfte att vårda kulturminnesmärkena. Ivern att manifesteras en stolt regional historia ledde till att ”vården” av monumenten ibland resulterade i att de tillverkades ur ruiner mer liknande grushögar än byggnader¹.

Detta skulle kunna beskrivas som en uppbyggnadsperiod av nationella/regionala symboler med anknytning till en äldre historia med bas i de professionella statliga kulturinstitutionerna. Stor hjälp och uppmuntran kom från den borgerliga kultureliten runt om i landet.

Grovt räknat pågick denna period fram till en bit in på 1930-talet. Därefter övertog initiativ med fokus på det moderna samhällsbygget inom ramen för socialdemokraternas bostadssociala program scenen.



Bild 2.1 Fridarve i Rute före och efter restaurering 1926-27 (Lithberg 1929).

2.2.2 ATT VÅRDA KULTURARVET

Efter detta nyskapande av kulturmiljöer infann sig en lång period där kulturmiljöarbetet fokuserade på att vårda och i viss mån inkludera nya objekt inom de kulturarvskategorier sekelskiftets kulturhistoriker manifesterat som viktiga. På Gotland är dessa kategorier ruiner, äldre gårdsmiljöer med stenhus samt bulhusbyggnader i Visby. Under denna period hade staten genom Riksantikvarieämbetet det övergripande ansvaret för förvaltningen men det är ofta på initiativ av de regionala institutionerna Gotlands Fornsal och Visby stad som restaureringar genomförts.

Finansieringen var huvudsakligen statens ansvar fram till 1950-talet. Med början 1949² gör Visby stad små årliga donationer för restaureringsändamål till Vitterhetsakademien, som var den institution som hanterade den ekonomiska delen av restaureringarna.

Staten engagerade sig också genom att länsarkitekten år 1955 producerar något som man kallar för ”Generalplan för restaurering av Visby medeltida ruiner”. Samma år påbörjas en större privat donationsperiod genom bankiren Tage Cervin som under några år kom att skänka mer än en miljon kronor till ruinernas vård. Vid denna tid fanns således ett brett

¹ Litberg, Nils: Gotländska minnesmärken 1929.

² Detta är det första året staden donerar medel enligt författarens efterforskningar.

engagemang där Visby stad, staten och privatpersoner gav ekonomiska bidrag till ruinvården. Länsstyrelsen engagerade sig i vårdplaner och Landsantikvarien vid Gotlands Fornsal fungerade som lokal förvaltare och riksantikvarieämbetes samtalspartner.

Perioden är spännande ur ett förvaltningsperspektiv då det med jämna mellanrum gjordes statliga insatser genom olika former av beredskapsarbeten. Under 1930-talets krisår fick arbetslösa möjligheter till underhållsarbeten på ruinerna mot betalning, under kriget gjordes insatser av vapenfria värnpliktiga och under 1970- och en bit in på 1980-talet var det återigen arbetslösa som genom s.k. AMS-arbeten fick sin försörjning genom ruinrestaureering under vintersäsongen.

2.2.3 ATT BRUKA KULTURARVET

Under 1980-talet sker en generell politisk förskjutning mot ett mer marknadsliberalt samhälle. Detta leder till ändrade majoriteter i riksdagen och ett intresse att minska statens engagemang i samhället. Detta förhållande har möjligtvis kommit att även påverka det praktiska regionala kulturarvsarbetet.

Den långa perioden med relativt stort statligt engagemang inom förvaltningen av kulturmiljöer avslutas på Gotland med kampanjen "Rädda Visby ringmur" mellan åren 1989-1995. I denna kampanj, initierad av Riksantikvarieämbetet³, fanns fokus på vård av ringmuren och ruinerna. Vissa publika kringarrangemang anordnades också för att förstärka ekonomin och engagera befolkningen, ge motiv för insatserna samt att informera om projektet. I rapporten från denna kampanj finns inga resonemang som tyder på att initiativtagarna hade turism eller invånarnas bruk av ruinmiljöerna som en viktig ingrediens i projektet. Det var objektet och dess vård som fortfarande var i centrum. Brukandet var en bi-produkt sprungen ur de reella, vetenskapligt befästa kvalitéerna för objekten.

Ett år senare, år 1996, lämnar den socialdemokratiska regeringen in en proposition med målen för den nationella kulturpolitiken. Här finns ett mycket tydligt brukarperspektiv där kulturmiljöerna skall brukas i ett samhälleligt/politiskt syfte "Museerna skall inte bara bevara utan också aktivt medverka till att människor engageras att utnyttja sitt kulturarv". Det finns en tanke att använda kulturarvet som bas för en diskussion om människors villkor i samhället där etnicitet och sociala förhållanden skulle ställas mot ett diskutabelt och föränderligt kulturarv.

Ungefär samtidigt, och i förlängningen av ringmurskampanjen, påbörjas ett arbete i Visby där Gotlands Museum i samarbete med Riksantikvarieämbetet önskar tillgängligöra flera miljöer tillhörande ringmuren som tidigare stått mer eller mindre tomma och utan möjlighet för allmänheten att besöka. I detta projekt och efterföljande initiativ har flera torn utvecklats som besöksmål. Parallellt startades arbetet med att utveckla S:t Nicolai ruin som konsertlokal genom att en förstudie presenterades i juni 1995.

Brukarperspektivet, i den meningen att vi ska bli bättre på att visa upp och presentera våra kulturmiljöer för invånare och turister, börjar så sakta att arbeta sig in i Gotlands Museums organisation, och ordet "bruka" dyker upp i planeringsunderlag och verksamhetsrapporter vid mitten av 2000-talet. 2005 görs också en utredning som syftar till att redogöra för möjligheterna att utveckla ruinerna som besöksmål⁴. Så småningom har tanken på att det går att få inkomster genom en smartare, mer publikt inriktad förvaltning av ruinerna börjat synas i museets verksamhet samtidigt som signaler från tjänstemännen på Riksantikvarieämbetet tyder på att statens engagemang kring ruinernas vård är sakta sjunkande och nu inte längre en självklarhet.

Eva Svenson, som studerat kulturarvsarbetet i Värmland, skriver att man där inte tror att deras kulturarv är tillräckligt lockande för turister i sitt naturliga tillstånd och hävdar⁵ att förbättringar och fabriceringar av kulturattraktioner vuxit upp i stor mängd framförallt efter Sveriges inträde i EU 1995. Hon menar också att det är betydligt enklare att få stöd för att bygga kulturarvsmiljöer men mycket svårare att få medel till driften av dessa. Det går att dra paralleller för situationen på Gotland. Museets utställning i ett av murtornen - Kajsartornet - har under senare somrar haft mycket begränsade öppettider då det varit svårt

³ Finansieringen ordnades genom privata donationer, insamlingar och med pengar från Riksantikvarieämbetet.

⁴ Renström 2005.

⁵ Svensson 2010, sid 82.

att finansiera nödvändig personal. Likaså har "Väktargången" vid ringmurens nordvästra hörn, som byggdes 2009 med regionala utvecklingspengar, förvaltningsmässigt förts över på regionens Tekniska förvaltning utan att de haft möjlighet till planerad finansiering för underhåll.

Idag befinner vi oss således i en situation där ett avtagande statligt intresse för att engagera sig i förvaltningen av kulturarvet, sprunget ur en nyliberal hållning, i allians med det socialdemokratiska politiska brukarperspektivet ger oss förutsättningarna för den framtida förvaltningen av kulturarvet. Ännu vet vi inte vad resultatet kommer att bli. Det går att se positiva effekter där vi regionalt engagerar oss mer för att nyttja, visa upp och bygga kunskap kring de aktuella miljöerna vilket resulterar i ett större besöksantal. Det finns också tydliga tendenser att miljöerna kommersialiseras genom turistarrangemang i abonnerade ruiner vilket medför att de inte upplevs lika öppna och tillgängliga som tidigare.

2.2.4 ATT FÖRVALTA KULTURARVET

I det korta perspektivet finns således ur ett tillgänglighetsperspektiv både negativa och positiva tendenser. Den kanske största frågeställningen inför framtiden är dock hur förvaltningen av vården kommer att fungera. Detta gäller definitivt för S:t Nicolai liksom för övriga ruiner i Visby inklusive ringmuren. Statligt minskat intresse för ekonomiska satsningar på kulturarvet liksom ett ökat brukande är tendenser som i ett ekonomiskt perspektiv divergerar. Kan den regionala förvaltningen öka sina inkomster så mycket från uthyrningar och andra intäkter kopplade till ruinerna att detta ska kunna ersätta de tidigare statliga insatserna för vård via arbetsmarknadspolitiska initiativ?

Enligt gällande vårdplaner kommer den långsiktiga förvaltningen av Visbys ruiner att kosta drygt 1,3 miljoner kronor varje år att jämföra med de ungefär 200 000 kronor som erhållits genom statliga medel den senaste tioårsperioden. Underskottet i underhållet är idag inte akut men inom en tioårsperiod kan läget vara förändrat. Var ligger då ansvaret? Vartifrån kommer pengarna? Och vem garanterar säkerheten för framtida konsertbesökare i S:t Nicolai ruin?



Bild 2.2 Grabben tycks stå inför framtida vårdproblem vad gäller ruinen S:ta Katarina. Stenen regnar ner kring honom. Foto: Gotlands Museums arkiv.

2.3 BRUKANDE OCH UTVECKLING

De historiska monumenten i form av ruiner har i alla tider fascinerat människor. De kan framkalla positiva likaväl som negativa känslor hos betraktaren. Många gånger avgörs upplevelsen av hur ruinen har uppstått – är det en nyligen krigs- eller brandhärjad byggnadsrest vi står inför eller en sedan länge förfallen medeltida kyrkoruin? Därmed styrs också viljan att bruka sådana byggnadslämningar åt det ena eller andra hållet. Då kulturpropositionen talar om kulturarvet som resurs att bevara, bruka och utveckla har man kanske inte främst tänkt på ruinerna, men inte desto mindre kvalar de in i den här kategorin och skall därmed utvecklas och brukas i enlighet med sina förutsättningar.

Flera ruinmiljöer har under den tid forskningsprojektet pågått besökts. Frågeställningen har varit hur de utvecklats, framförallt arkitektoniskt, och i vilken mån de utnyttjas för evenemang och aktiviteter. Hur de kulturhistoriska värdena beaktats har varit en ständigt närvarande diskussion. Däremot har analysen inte utvidgats till hur brukandet har påverkat den regionala utvecklingen med avseende på ökat besöksantal och ökad omsättning för traktens företagare mer än högst översiktligt. Detta är högst intressanta frågeställningar, men de ansågs inte ligga inom ramen för detta forskningsprojekt.

Forskningsprojektet har främst sysselsatt sig med ruinerna efter monumentala byggnader från äldre tid, med S:t Nicolai medeltida kyrkoruin i Visby som fallstudie. Denna ruin har sedan mer än hundra år använts som lokal för kulturella evenemang; religiösa skådespel, konserter, filmföreläsningar etc. Ökade krav på komfort, tillgänglighet och säkerhet i ruinen har gjort att frågan om utveckling blivit högst aktuell. 2007 tillsattes en projektgrupp av Gotlands Museum med uppdrag att undersöka möjligheten att utveckla S:t Nicolai ruin i riktning mot en mer komfortabel, säker, tillgänglig och estetiskt tilltalande kulturarena. Att på så vis utveckla S:t Nicolai ansågs vara ett steg i rätt riktning mot att levandegöra världsarvet Visby och på så vis bruka de historiska monumenten som ett led i den regionala utvecklingen:

För Visby världsarvsstad är det viktigt att de historiska monumenten brukas och tillgängliggörs, något som S:t Nicolai har lång tradition av. Enligt de gotländska miljömålen skall fysisk planering och samhällsbyggande senast 2010 grundas på program och strategier för hur kulturhistoriska värden tas till vara och utvecklas. I linje med nationella strategier för tillväxt utgör kulturarvet en viktig resurs i regional tillväxt. Även från antikvariskt håll framhålls värdet av kulturarvsbruk.

»Från kommunalt håll ser vi mycket positivt på att man i S:t Nicolai nu skall förbättra komfort och utveckla platsen till en kulturscen och mötesplats för året-runt bruk. S:t Nicolai Kultudral kommer att fungera som komplement till de senaste årens stora investeringar som gjorts i form av kongresshall, bibliotek och planerad arenahall.

/.../

Vidare kan Kultudralen presenteras som ett gott exempel på hur man på ett innovativt sätt kan utveckla, bruka och samtidigt bevara kulturhistoriskt värdefulla monument. Genom det gedigna arbete som lagts ner på utformningen kommer S:t Nicolai Kultudral att kunna fungera som referensobjekt som i sin tur lockar till studiebesök och kunskapsutbyte och stärker Gotland i dess roll som ledande region vad gäller kulturmiljöfrågor, något som Riksantikvarieämbetes etablering på ön och Högskolan på Gotlands kulturmiljöprogram ytterligare förstärker.« (Yttrande av Lars Danielson, förvaltningschef Kultur och fritidskontoret, Gotlands Kommun, 2009.09.21)



2.4 KULTURHISTORISKT VÄRDE SOM BAS FÖR UTVECKLAT KULTURARVSBRUK

Att definiera, beskriva och värdera ett objekt är första steget till att fatta väl genomtänkta beslut för vidare åtgärder.

Dock - hur ett kulturarv värderas är en inte helt enkel frågeställning. Det finns olika metoder för hur den professionella kulturmiljövården ringar in ett monuments eller en plats värden (Unnerbäck 2002, DIVE 2009 m.fl.) men det ligger i sakens natur att värderingen aldrig kan vara helt objektiv. Dels präglas den av det samhälle och den tid vi befinner oss i, dels av den person som gör analysen. Den professionella kulturvårdarens syn skiljer sig också i många fall från allmänhetens. Det blir speciellt tydligt då det rör sig om objekt från senare tid som kanske inte är direkt estetiskt tilltalande, där den professionella antikvarien kan

se stora värden i en miljö som för allmänheten är både ful och deprimerande. Vad gäller äldre miljöer, som exempelvis ruiner efter medeltida byggnader, är allmänhetens intresse och engagemang ofta stort. Hur kan denna positiva kraft göras delaktig i det professionella kulturmiljöarbetet på ett för bägge parter givande och konstruktivt vis?

Ett intressant försök gjordes gällande S:t Nicolai kyrkoruin i Visby. Inför arbetet med att upgradera och utveckla ruinen var det givet att de kulturhistoriska värdena behövde definieras och beskrivas. Utifrån dessa skulle sedan en antikvarisk målsättning formuleras för att fungera som underlag och styrdokument för arkitekternas uppdrag att ta fram förslag för ruinen.

Eftersom de medeltida kyrkoruinerna i Visby är så intimt förbundna med staden och dess invånare bjöds såväl allmänhet som professionella kulturmiljöaktörer och arkitekter in till ett seminarium om kulturhistorisk värdering med S:t Nicolai som försöksobjekt. Seminariet lockade ett hundratal deltagare vilka delades upp i grupper om ca tio personer som fick diskutera S:t Nicolai specifika värden utifrån besök på plats och en "manual" där olika typer av värdetyper (såväl faktiska dokumentvärden som upplevelsemässiga värden) beskrivs. Resultaten presenterades sedan i plenum. Det var intressant att se att de flesta grupper starkast tog fasta på upplevelsevärden och beskrev dem i skiftande ordalag:

- En del av stadsbilden. Oskattbar! En del av stadens identitet.
- Ljus - mörker. Öppenhet i kombination med slutenhet!
- Ute - inne - binder ihop
- Rumsligheten. Rymd, volym, formen
- Mäktig, pampig
- Massiv och luftig
- Kontrast mellan sprödhet och kantighet
- Mystik och stämning. Magisk atmosfär.
- Rummet påverkar besökaren.
- Lugn, harmoni, glädje
- Stenen
- Känsla av tid



Bild 2.3 Medeltida rosettfönster i S:t Nicolai ruin, Visby.

- Ruinen känns inte som en ruin utan den är lite för välordnad, vilket inte inger den nyfikenhet som borde uppstå i en sådan.
 - Publikens möjlighet att leva sig in i det som sker.
 - Ruinens patina är av yttersta vikt för de kulturhistoriska värdena. Om den skulle rengöras eller repareras för mycket skulle värdena gå förlorade och nyttjandet skulle avta.
 - Skavankerna talar om byggnadens ruinhistoria, tidens gång. Tydlig känsla av historia
 - Väcker nyfikenhet
 - Ruinen är orörd. Den har "lämnats åt sitt öde" till stor del, får man en känsla av.
 - Känns mkt autentisk
- Ytterligare ett par kommentarer som framkom (bägge av antikvarier):
- Tänk in alla ruiner när användandet diskuteras. Övriga ruiner kan möta andra behov, differentiera, specialisera (och underhåll, bruka och vårda!).
 - Den presentation av ruinen som man möts av idag. Vid alla ruiner jag besökt, och även här i Visby, fokuseras så tydligt på hur ruinen såg ut och användes när den var "hel", dess allra tidigaste historia. Sällan kommenteras varför den blev ruin, varför den ser ut som den gör idag eller hur den har använts efter det att den ursprungliga verksamheten upphört. För använts har ju den här typen av ruin, egentligen hela tiden. Vet informatörerna alltid hur folks intresse ska väckas undrar jag?

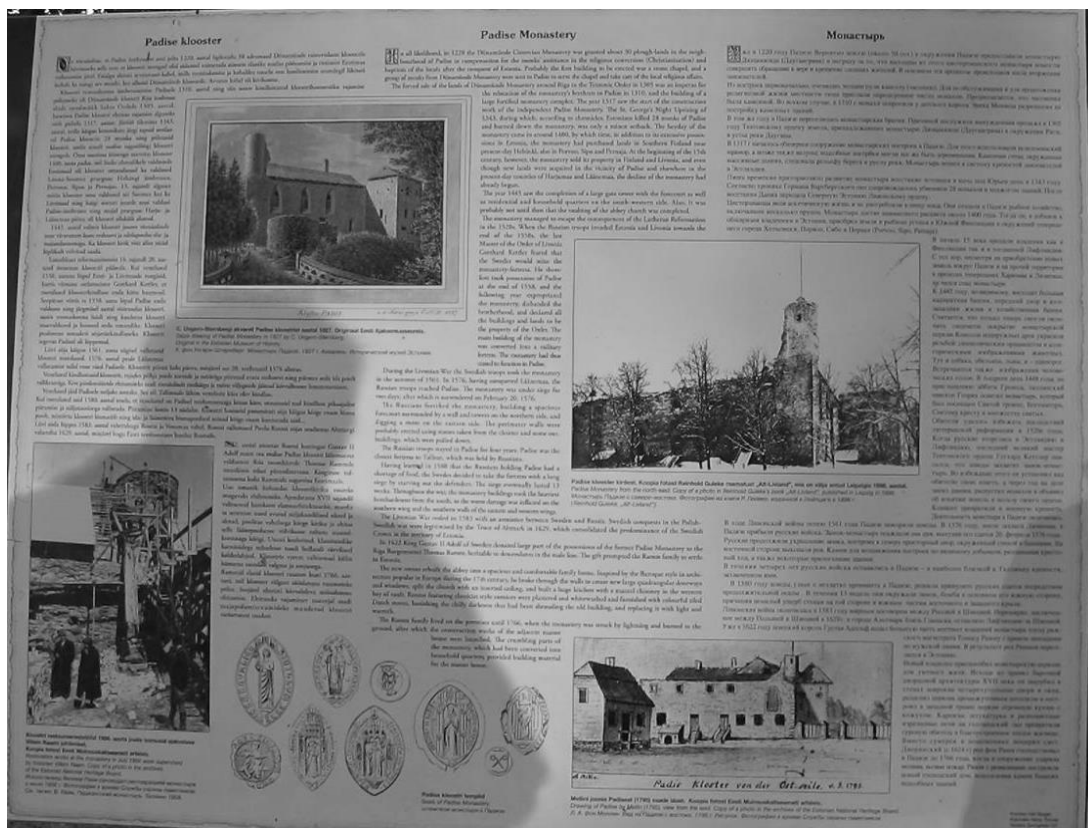


Bild 2.4 Informationstavla vid Paridise Klooster i Estland, föredömligt på tre språk och med bilder. Men även här saknas information om ruinens historik; berättelsen slutar på 1700-talet då byggnaderna brändes ner och ruinen uppstod.

Den sista kommentaren är intressant; hur presenteras ruinen för besökaren? Vet man som informatör och historiker vilka frågeställningar besökaren kommer med? Inför en ruin är en given fråga: Vad hände? Hur blev det så här? Visst är det intressant att känna till historien, men trots allt är det ruinstadiet som är det mest fascinerande och fantasieggande i sammanhanget. Det är också därför det är så viktigt att vara rädd om just den kvaliteten, att inte "bygga bort" ruinen om man vill bevara de kulturhistoriska värdena.

2.5 KULTURARVET TILLHÖR ALLA – MEN VEM SKALL BESLUTA OCH BETALA?

Det blev i samband med seminariet tydligt att engagemanget för kulturarvet är stort och att människor påverkas starkt av monumenten. Framförallt var det de upplevelsemässiga värdena som lyftes fram av de seminariedeltagare som inte är professionella aktörer inom kulturmiljövården. Det är en mycket viktig utgångspunkt att beakta då man ger sig i kast med ett monument, speciellt då det gäller åtgärder som förändrar detsamma. Om man inte aktivt arbetar med de människor som i sin vardag lever nära monumenten eller på annat sätt har en relation till dem kan det bli mycket problematiskt då förändringar skall genomföras. Alienationen mellan den professionella kulturmiljövården med ett "von oben" perspektiv kan i värsta fall utlösa häftiga proteststormar bland en allmänhet som upplever att den inte är delaktig. Ett sådant scenario är oftast mycket svårt att vända i en konstruktiv riktning, och resultatet kan bli att hela initiativet strandar.

Ett dilemma vad gäller utvecklingen av kulturarvet är vem som skall betala för det. Även om det i moralisk, etisk bemärkelse tillhör alla så finns det ändå en formell ägare till varje monument. Beträffande Visbys medeltida kyrkoruiner är det Svenska Staten genom Riksantikvarieämbetet (RAÄ). De ekonomiska resurserna för att vårda, underhålla och utveckla de fastigheter som RAÄ förvaltar är ytterst begränsade (p.g.a. låg statlig tilldelning) vilket innebär att underhållet av nödtvång hålls på en minimal nivå. Då detta tillåts pågå år efter år accelererar förfallet med skador och nedbrytning som följd. Vill det sig riktigt illa blir ruinererna så instabila att de måste spärras av för besökare och då är ju såväl tillgänglighet som möjligheter för brukande obefintliga. En synnerligen beklaglig utveckling. Samtidigt är de historiska monumenten viktiga resurser på ett regionalt plan, vilket borde innebära ett intresse att hitta kreativa lösningar för hur resurser på olika sätt kan tillföras kulturarvet. Ett kulturarv som nyttjas har goda möjligheter att generera ekonomiska resurser vilka i sin tur kan återföras monumenten. Ett djupare inträngande i denna problematik ligger dock inte inom ramen för den här studien, men skulle vara av stort intresse att återkomma till i kommande forskning.

2.5.1 "RUIN-TIAN"

Ett förslag som projektgruppen diskuterade angående ekonomiska resurser till Visbys kyrkoruiner och stadsmur var att besökare i samband med att de bokar flyg- eller båtbiljett har möjlighet att lämna ett frivilligt bidrag, "ruin-tian", till vården av Visbys monument genom att enkelt klicka i en ruta på boknings sidan. På utvalda ställen i staden kunde det även finnas möjlighet att lämna en slant. En hemsida kopplad till insatsen kunde informera om monumenten, årets restaurerings-insatser och hur mycket pengar som tickar in. Öppna evenemang kunde ordnas på årlig bas. Ett sådant upplägg skulle kunna skapa delaktighet och engagemang på bred bas och verkligen bekräfta definitionen att kulturarvet tillhör alla. Det vore mycket givande om projektiden kunde realiseras inom ett par år. Givetvis bör detta ses som ett komplement till de ordinarie anslagen.

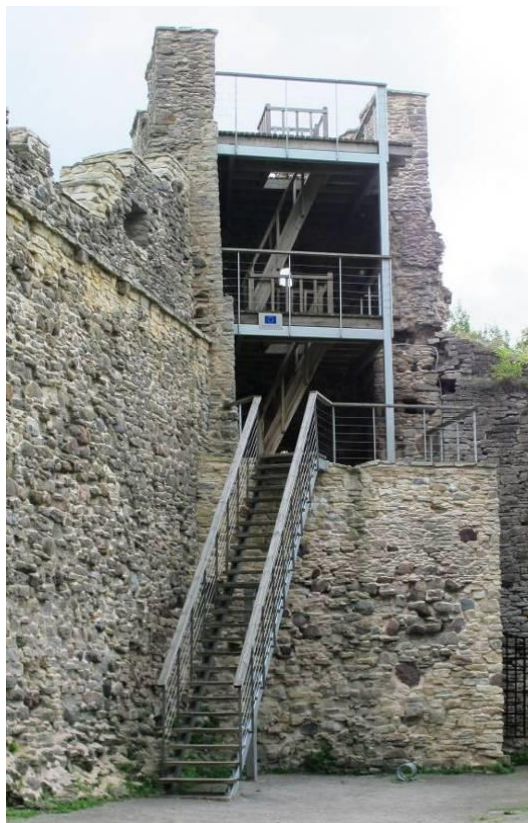


Bild 2.5 Nybyggd "väktargång" i ett av murtornen som omgärdar biskopsborgen i Haapsalu, Estland.

2.6 EXEMPEL PÅ RUINUTVECKLING OCH KULTURARVSBRUK DE SENASTE ÅREN

2.6.1 HAMAR, NORGE

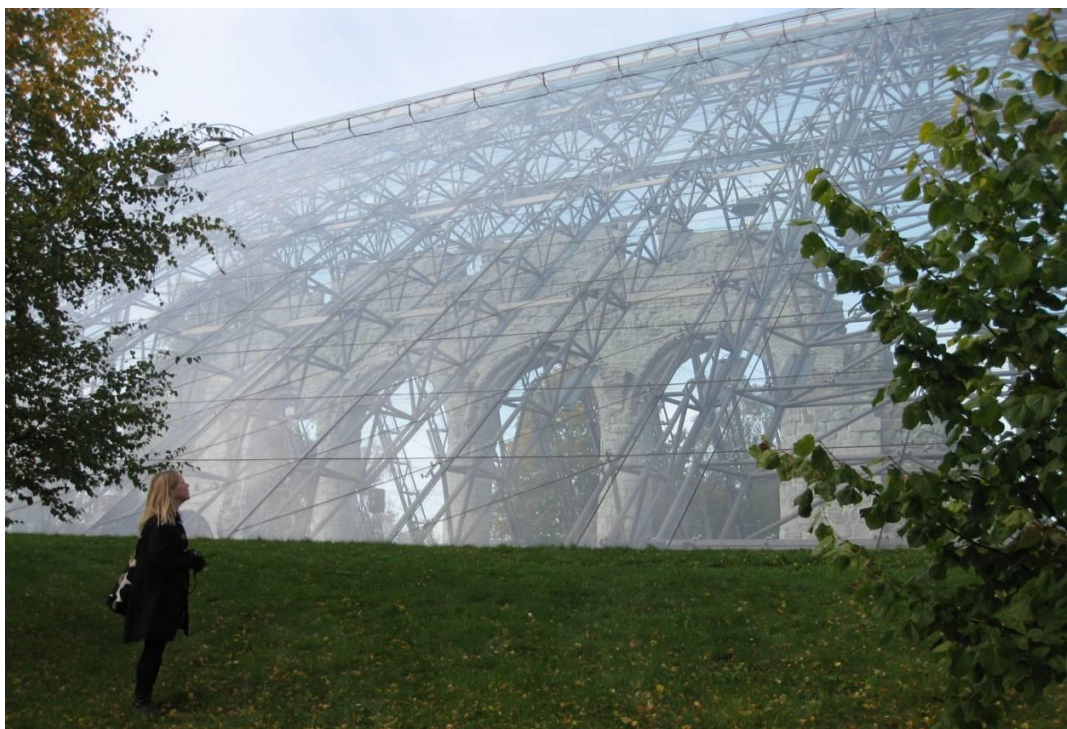


Bild 2.6 & 2.7 Var är ruinen? Domkyrkoruinen i Hamar i sitt skyddande glashus.

Ruinen efter den medeltida (1100-1200-tal) domkyrkan i Hamar består av murster från framförallt koret och en av pelarraderna med arkadbågar som avgränsat mitt- och sidoskepp åt söder. Underhållet av de för vind och väder hårt utsatta murverken har genom tiderna varit problematiskt, inte minst beroende på att ruinen ligger på en udde i Mjøsa.

1998 byggdes ruinen, efter många och långvariga diskussioner, in i ett stort glashus. Finansiellt möjliggjordes detta bl.a. genom en stor, privat donation och insamling i bygden. Ett nytt golv av sten lades in och ett altare installerades i öster.

Brukandet av ruinen är idag starkt begränsat. Den utnyttjas för religiösa ceremonier såsom gudstjänster och bröllop och vidare för konserter av "lämplig" karaktär. Restriktionerna är flera för att inte platsen skall profaneras.

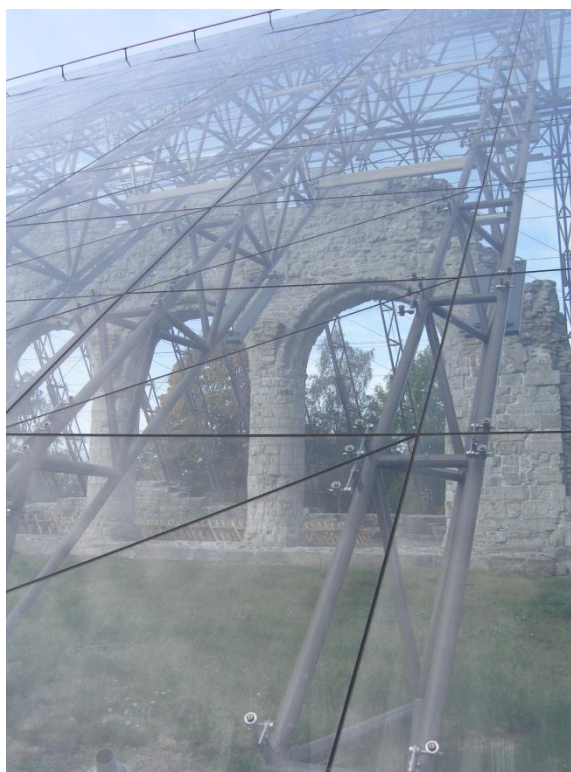




Bild 2.8 Hamar domkyrkoruin, interiör mot öster. Till höger i bild ses det bevarade pelar- och arkadpartiet.

Arkitektoniskt är det ett spännande projekt där själva ruinen lämnats orörd bortsett från det nya golvet. Den nya glaskonstruktionen är en ingenjörsmässig bedrift och dess organiska form utgör ett elegant inslag i landskapsbilden. Arkitekter var Lund - Slaatto Ark AS.

Kulturhistoriskt respekterar det nya tillägget ruinen fullt ut vad gäller dess materialitet. Den stora förloraren är dock upplevelsen av ruinen i landskapet, som en integrerad enhet på platsen och den stämning besökaren vid en promenad på udden fick av murfragmenten. Glaskonstruktionen lägger en skyddande kupa över murresterna och objektifierar dem, skapar en distans mellan besökare och ruin. De tidigare upplevelsemässiga värdena är förvanskade. Däremot har nya tillkommit: det är en säregen känsla att vandra i det helt öppna men samtidigt väderskyddade ruinrummet. Man kan fråga sig om ruinen fortsatt är att betrakta som en ruin eller om den reducerats till en inredningsdetalj i det nya och glamorösa glashuset.

Glasvärnnet har tilldelats flera priser, bl.a. Norsk Stålkonstruktionspris och FIABCI's (The International Real Estate Federation) specialpris för enastående arkitektur, och det är onekligen en spännande konstruktion. Högst troligt har besöksantalet till ruinen ökat på grund av den nya och spännande arkitekturen.

2.6.2 KOLDINGHUS, DANMARK



Bild 2.9 Koldinghus i Kolding, Danmark. De mörka väggpartierna utgörs av nya väggsektioner, klädda med tjärade spån, som hänger i den inre, nya konstruktionen och skapar en byggnad av den tidigare ruinen.

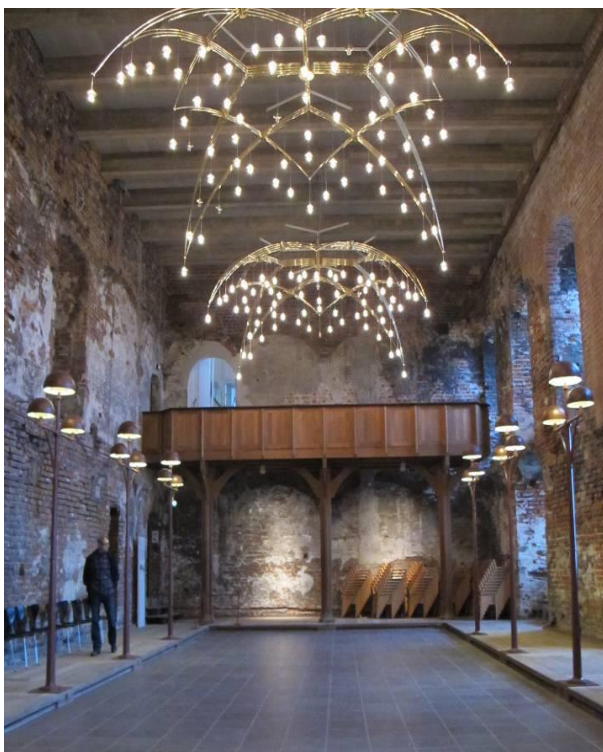


Bild 2.10 Interiör från slottskyrkan på Koldinghus. Observera lampkronorna i mässing som tar upp valvformerna som tidigare fanns i rummet.

Koldinghus är en fyrkantig borg från 15-1600 talet som brunnit och sedan byggts upp i flera omgångar.

De delar som är intressanta att titta på ur ett ruinperspektiv är den södra och östra längan som Inger och Johannes Exner fick i uppdrag att återställa på 1980-talet. Ett långsiktigt arbete tog då sin början och skulle komma att fortsättas av Finn Larsen på Exners Tegnestue. En av de första insatserna var att gestalta den forna klosterkyrkan till ett användbart och tilltalande utrymme som skulle förtälja historien om vilken funktion rummet en gång hade haft. Uppgiften löstes på ett elegant vis genom en ny läktare mot väster och belysning i form av valv och arkader. Resultatet blev uppskattat. Upplevelsen av rummet i dess nya gestaltning är att de nya tilläggen tydliggjort rummets karaktär på ett sensibelt och elegant vis där ruinkaraktären fortfarande förnims trots att det rör sig om ett slutet rum.



Bild 2.11 Interiör från den tidigare ruinlängan med dess dominanta nya tillägg i form av pelare och nytt tak och väggpartier som vilar på pelarkonstruktionen och inte är förbundna med det gamla murverket.

Koldinghus använd idag som museum, slottskyrkan för kyrkliga förrättningar. Den forna ruinlängan som försågs med tak och väggar och läktargångar i flera våningsplan används som utställningshall. Monumentets tidigare ruinhistoria är långt ifrån uppenbar. Tydligast kommer den till uttryck i kyrkorummet. I den stora längan tar de nya tilläggen över och de gamla murverken kommer i skymundan. Precis som i Hamar har man respekterat materialiteten i det gamla murverket men byggt bort upplevelsen av ålder och magi. Idag upplever man som en besökare en fascination över de arkitektoniska och ingenjörsmässiga bedrifterna, men drabbas inte av fantasieggande ruinupplevelse.

Exteriört ger slottet ett väl sammanhängande intryck där de nya väggpartierna tydligt urskiljs. För den oinvigde kan dessa ge ett något konfunderande intryck, man förstår inte riktigt sammanhanget mellan gammalt tegelmurverk och de mörkare partierna som ligger utanpå dessa.



Bild 2.12 Den stora ruinsalen på Koldinghus. Man är i färd med att hänga en utställning om lampor.

2.6.3 RASEBORGS SLOTTSRUIN, FINLAND



Bild 2.13 Raseborgs slottsruin i sydvästra Finland, borgen uppfördes under 1500-talet.

Raseborg i sydvästra Finland uppfördes under sent 1300-tal. Den övergavs under 1500-talet, varefter den så småningom föll i ruiner.

På 1980-talet genomfördes restaureringsarbeten av Museiverket, då även rundtorn och murar försågs med tak. Inre bjälklag med gallerier längsmed murarna på borggården uppfördes för att möjliggöra rundvandring i ruinen. Tilläggen är prosaiska och enkla till sin karaktär och saknar arkitektonisk ambition. Träpartierna är till största delen utförda i tryckimpregnerat virke, vilket resulterar i en karaktäristisk lukt, något som väsentligt på-



Bild 2.14 Ruinen interiört. Nytt tak, nya bjälklag och gallerier har tillkommit för att skydda och för att tillgängliggöra ruinen.

verkar besökarens upplevelse, kanske ofta omedvetet. En fördel är att man som besökare kan ta sig runt i ruinen och utforska den på nära håll, liksom att man får en upplevelse av utsikten över landskapet som omger den.

Tilläggen i form av väl tilltagna tak över murkrönen skyddar förvisso murverket och befrämjar bevarandet, men de ger ruinen en ny och för monumentet främmande siluett. Särskilt tydligt är detta från borggården.

Talrika lagningar och konsolideringar i väl synlig betong är ärligt redovisade, men förvansklar ruinens material. Dessutom resulterar de i skador (sprickor) på själva byggnadsmaterialet, dvs gråstenen och graniten.

Ruinen brukas i princip inte alls idag annat än som besöksmål. Däremot utnyttjas området omkring ruinen för sommartheater, en scen och åskådarläktare har byggts och en kaffestuga finns på platsen.

På grund av detta upplevs ruinen fortfarande som övergiven och ruinkänslan är stark trots de senare tilläggen.

2.6.4 BORGHOLMS SLOTTSRUIN, SVERIGE



Bild 2.15 Inre borggården vid Borgholms slottsruin. Fönstren på nedre plan till vänster i bild är glasade med ett specialglas för att minska ljusreflektionen.

Borgholms slottsruin på Öland har stått som ruin sedan en brand under tidigt 1800-tal. Idag ägs och förvaltas den av staten genom Statens fastighetsverk (SFV).

Under senare år har stora resurser satsats på ruinen, både åtgärder av underhållskaraktär och rena utvecklingsprojekt. Borgholms kommun som hyr ruinen har ett starkt önskemål om att göra den brukbar för evenemang såsom konserter, banketter, spökvandringar, museiverksamhet etc.

Slottsarkitekt Erik Wikerstål har på ett elegant vis integrerat nya tillägg, bl.a. i form av nya fönster, bjälklag, golvbeläggning och belysning för att anpassa ruinen till brukarens önskemål. Materialen är väl valda men uttrycket vår tids. I en av de gamla, fönsterlösa slottssalarna har ett modernt kök integrerats i en egen volym.

I ett av tornen har en interiör skapats bland annat genom att ett nytt takbjälklag i betong, nytt golv och tekniska installationer installerats.

Men det ökade brukandet har sina baksidor, på Borgholm som på många andra ställen. Ett ökat brukande medför ständigt ökade krav på komfort och bekvämlighet. Gränsen mellan när en ruin återinträder i sin funktion som byggnad är många gånger hårfin.



Bild 2.16 Inre borggården vid Borgholms slottsruin. Fönstren i nedre botten i fonden är glasade med ett i det närmsta osynligt specialglas.



Bild 2.17 En av slottsalarna i Borgholms slottsruin. Rummet är täckt och stängt och endast de råa väggarna skvallrar om ruinstatusen. För att råda bot på förvaringens problematik har lösa skärmar ställts upp för att dölja stolar och annat.

NÄR MYSTIKEN UPPHÖR

Det finns en inbyggd motsättning i vården av slottsruinen. Per definition är en ruin oanvänd, övergiven och förfallen. Ruinvård, stabiliserande av murar och täckning av krön för att hindra vatteninträning, är arbeten som är ägnade att bromsa förfall och åldrande.

Borgholms slottsruin betingar i dag ett högt värde som turistattraktion, vilket ställer nya krav. Det räcker inte med att besökarna ska kunna hitta en toalett, dricka kaffe och köpa souvenirer utan de ska även kunna delta i gästbud och spökvandringar. Ruinen står då som en kuliss till arrangerade upplevelser som kan vara själva anledningen till besöket.

De nya kraven på konsumtion och tillgänglighet går inte att bortse från. Man önskar att Borgholms slottsruin ska vara lika tillgänglig som vilken stormarknad som helst. Med ett ökat användande av ruinen sker en förskjutning från ruin till byggnad.

I dag är stora delar av ruinen inredd för olika verksamheter, och det planeras för ytterligare byggande. Frågan är var man slutar. Finns det en gräns där mystiken försvinner, där tilläggen är så många att ruinen egenvärde upphör?

Artikel i Kulturvärden 2/06 (SFV:s tidskrift)

2.6.5 S:t NICOLAI RUIN, SVERIGE



Bild 2.18 Västfasaden på S:t Nicolai ruin i Visby. Kalkstensmurverk och tegeldekorer i form av rosetter och kors.

S:t Nicolai byggdes som dominikanerordens konventskyrka, huvudsakligen under 1200-talet. I samband med reformationen övergavs den och förföll successivt. Den har brukats som hölada, djurstall, förråd och, sedan slutet av 1800-talet, som kulturlokal, i början framförallt för religiösa skådespel. Sommartid nyttjas den alltjämt som uppskattad konsert och kulturscen och nya användningsområden såsom seminarie- och gästbudslokal har tillkommit under de senaste åren.

Nya användningsområden har gett upphov till önskemål om en utveckling av ruinen. Det kalla och dragiga klimatet har upplevts som besvärande och den taffliga och slitna inredningen likaså. Önskemål har också funnits om att kunna tillgängliggöra ruinen för människor med funktionshinder men också att tillgängliggöra och informera om kulturarvet. Ett projekt med syfte att uppgradera och utveckla ruinen etablerades under 2007 med Gotlands Museum som projektägare. Som projektledare utsågs en byggnadsantikvarie, eftersom sådan kompetens ansågs central för ett lyckat resultat. Projektet etappindelades i tre delprojekt; Förstudie, projektering och genomförande. För den tredje etappen beslöts redan vid projektstart att ett nybildat non-profit bolag, Kultudralen AB, skulle gå in som projektägare och tillika byggherre, eftersom museet ansåg att ett sådant uppdrag låg utanför ramen för dess verksamhet.

Ett viktigt moment var att sälla fram den arkitekt som skulle kunna jobba med ruinen på ett sätt som fullt ut respekterade dess kulturhistoriska värden och ruinkaraktär samtidigt som de nya tilläggen skulle vara högkvalitativa representanter för 2000-talet såväl form- som materialmässigt. Dessutom skulle de långsiktiga underhållsaspekterna beaktas. En förutsättning för en lyckad process var vidare att arkitekten skulle kunna jobba som del i ett team i vilket såväl antikvarier, brukare och förvaltare skulle ingå och där dessas syn-

punkter skulle vägas in. En kravspecifikation sammanställdes av projektledaren efter samråd med brukare definierades ruinens kulturhistoriska värden (se ovan *Kulturhistoriskt värde*). Därefter formulerades ett programunderlag och fyra arkitektkontor fick i uppdrag att ta fram skissförslag utifrån detta. De fyra kontoren valdes efter att elva kontor hade intervjuats av projektets styrgrupp och projektledaren.

I programmet som arkitekterna fick utgå ifrån formulerades ruinens kulturhistoriska värden liksom den antikvariska värdebeskrivningen/målsättningen tydligt. Vidare en koncis historik, en byggnadsbeskrivning med rikt bildmaterial liksom givetvis en kravspecifikation avseende vilka funktionskrav som skulle uppfyllas men även krav på tillgänglighet, långsiktigt underhåll, miljö och materialitet.

De kulturhistoriska värdena definierades i fyra kategorier som sedan närmare beskrevs och exemplifierades:

1. Ett stort identitets- och miljöskapande värde mellan ruin – omgivande stadsbild som ger en förståelse för Visbys och Gotlands historiska utveckling.
2. Ruinen bär på stora tekniska, hantverksmässiga och materialmässiga värden.
3. Upplevelsen av ruinen, såväl utifrån som inifrån, är berörande och fantasieggande för dagens människa.
4. Kontinuiteten av ruinens 100-åriga historia som musik- och teaterscen är speciell för Nicolai.

De fyra kontoren A.F. Møller, AIX-arkitekter, Exners Tegnestue A/S och Visby Ark tog fram en arkitektskiss vardera och samlades sedan tillsammans med projektgruppen för att presentera sina förslag under ett seminarium. Förslagen utvärderades därefter av en bedömningsgrupp där bland andra Håkan Lindqvist, Byggnadshyttan, Ulrika Mebus och Jörgen Renström från Gotlands Museum ingick.

I det följande presenteras de fyra förslagen kortfattat med en bild och med juryns bedömning i sammandrag. Bedömning refererar till programmet. En erfarenhet som gjordes var att det är en fördel att vara konkret och tydlig vad gäller de värden som skall värnas och bevaras för att få förslag som uppfyller dessa kriterier. Samtidigt kunde iakttas att vissa av arkitektkontoren hade förhållit sig så fritt till programmet att förslagen, trots stora kvaliteter i övrigt, inte kunde approberas just för att de inte respekterade de grundläggande värden som beställaren (dvs. i det här fallet Gotlands Museum i egenkap av projektägare) hade specificerat i programmet.

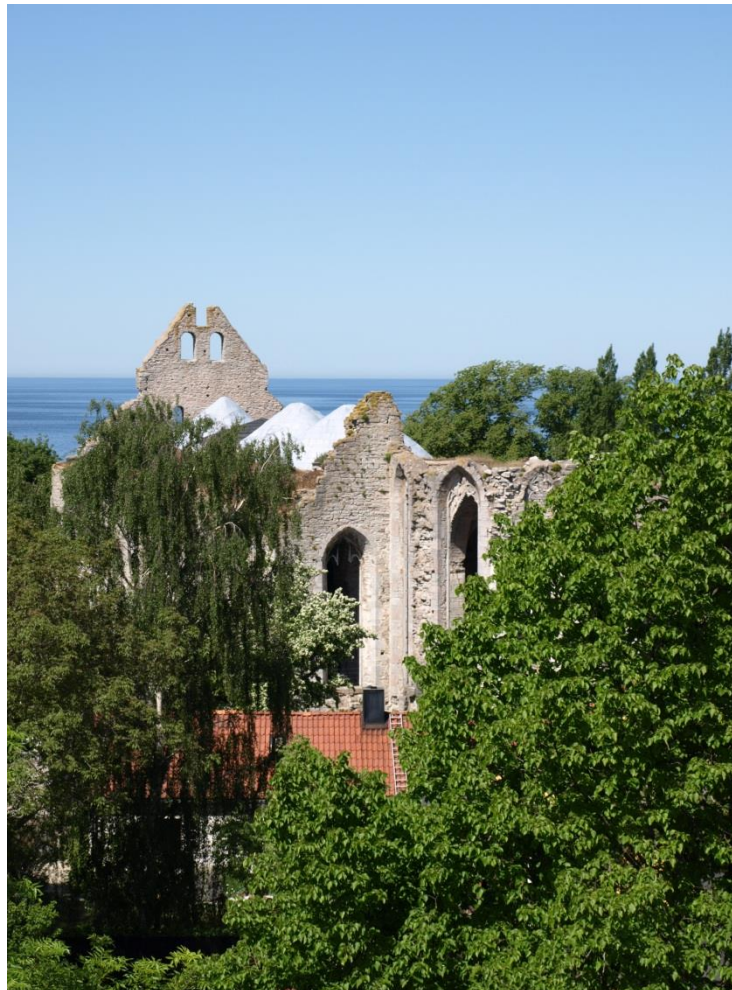
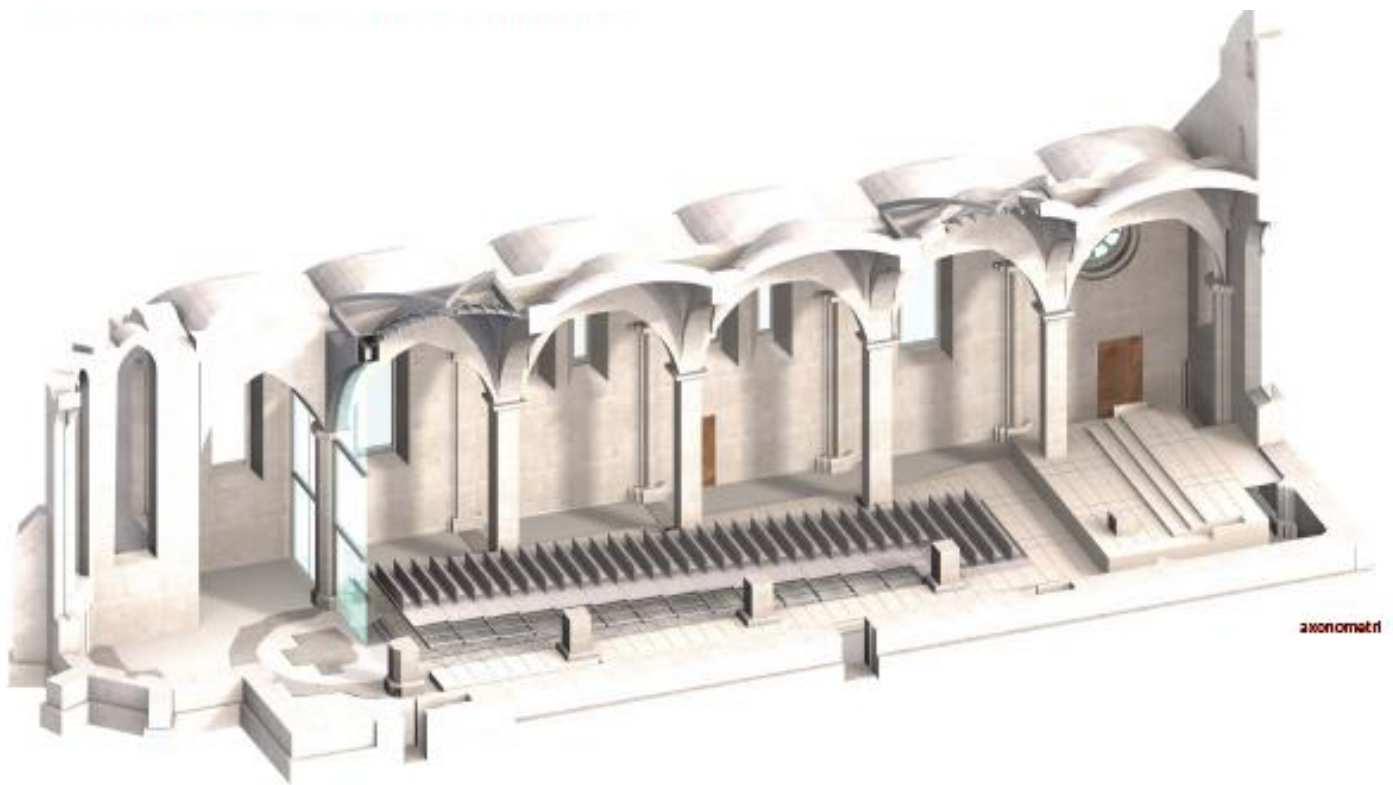


Bild 2.19 S:t Nicolai är en viktig del av Visbys silhuett



Förslaget gick i korthet ut på att samtliga fönster skulle glasas samt en stor glasvägg skulle stänga ruinens öppna del mot öster. Bedömningen blev därför inte odelat positiv, och en starkt bidragande orsak var just det faktum att man ville bygga in hela ruinen, göra om den till en byggnad med en inomhuskaraktär. På så vis hade onekligen programmets önskemål om god komfort och eliminerade problem med fåglar i ruinrummet uppnåtts, men på bekostnad av ruinstämningen.

Föreslagen inglasning av ruinen medför stora förändringar i de akustiska grundförutsättningar som råder idag. Det är tveksamt om det föreslagna akustikfiltret är tillräckligt för att bibehålla/förbättra akustiken, dessutom är det tveksamt hur det åldras över tiden. Glasväggen i salongens bakkant innebär att ett "innerum" i det närmaste skapas, vilket strider mot programmets intentioner.

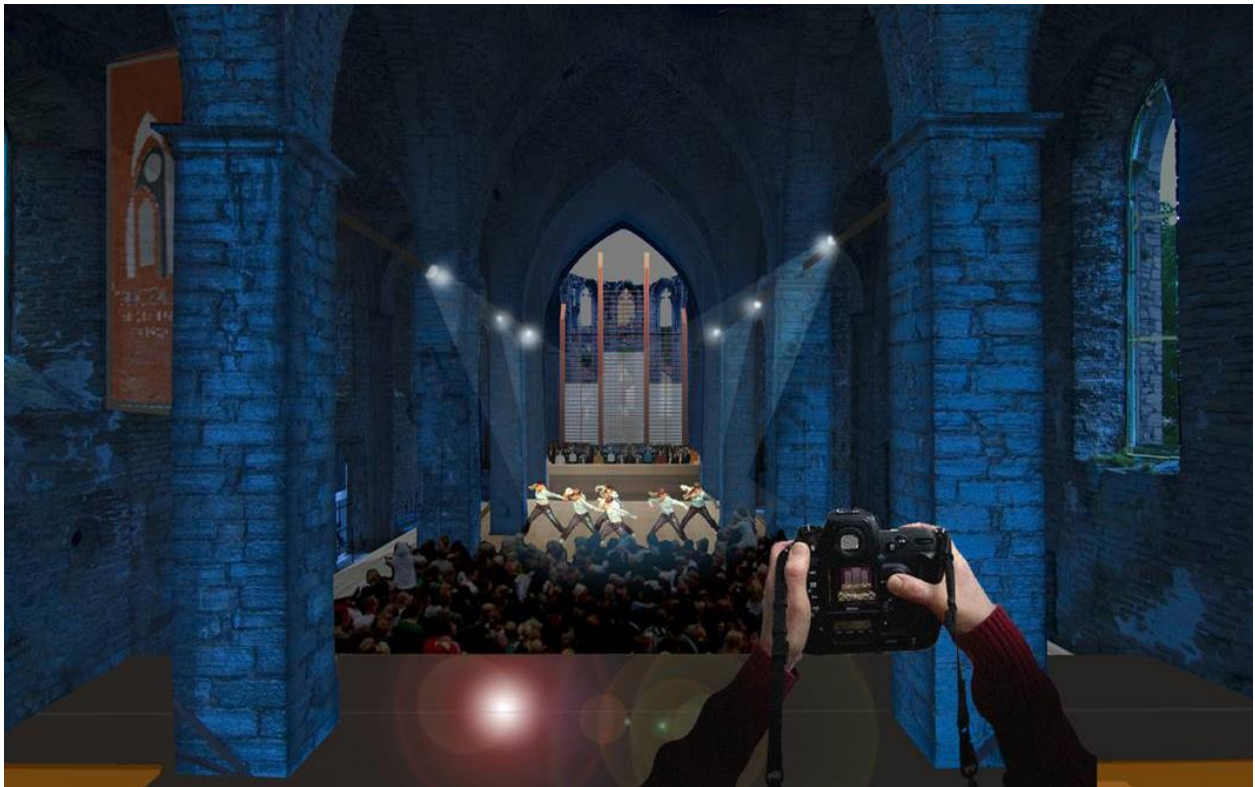
Scenen med dess förvaringsmöjligheter är väl genomtänkt. Golvet i publikdelen, utformat som en matta, är fint tänkt. Det binder samman salongen och skapar stor flexibilitet för åskådarplatser, logistik och alternativa möbleringar. Det är dock tveksamt om golv och föreslagen inredning pga. sin komplexitet och sina rörliga delar är långsiktigt hållbar och driftsäker i ruinens klimat.

Förslagets ringa redovisning av installationer och tekniska lösningar gör det svårt att bedöma omfattning och integrering av dessa.

Förslaget uttrycker hög arkitektonisk kvalitet. Väl valda material och spännande utformningsdetaljer av komplementbyggnaden premieras särskilt.

Dock skapar förslagets lösningar för vind- och väderskydd snarare en byggnad av ruinen. Akustiken är ett frågetecken liksom rumsupplevelsen.

Trots förslagets förtjänster anser bedömningsgruppen att helhetsgreppet går utanför programunderlaget.



AIX-arkitekters förslag gick i korthet ut på att glasa de stora fönstren mot väster och att vinsäkra övriga fönster med nät på stängningsbara bågar. Ett plant trägolv i salongen och ett högt "korskrank" som avdelare mellan salong och kor föreslogs. Vidare ett rörligt tak över det öppna valvet mot öster. Den antikvariska hållningen var påtaglig: *"Viljan att göra avtryck gav vika inför ruinens styrka och tidlöshet. Processen som vidtog handlade om att återfinna objektets kärna och en förhållning, mer än färdiga lösningar. Förslagen förenklades, koncentrerades och skalades bort. I centrum hamnade ruinen, mötet, funktionen, åskådaren och scenen."*

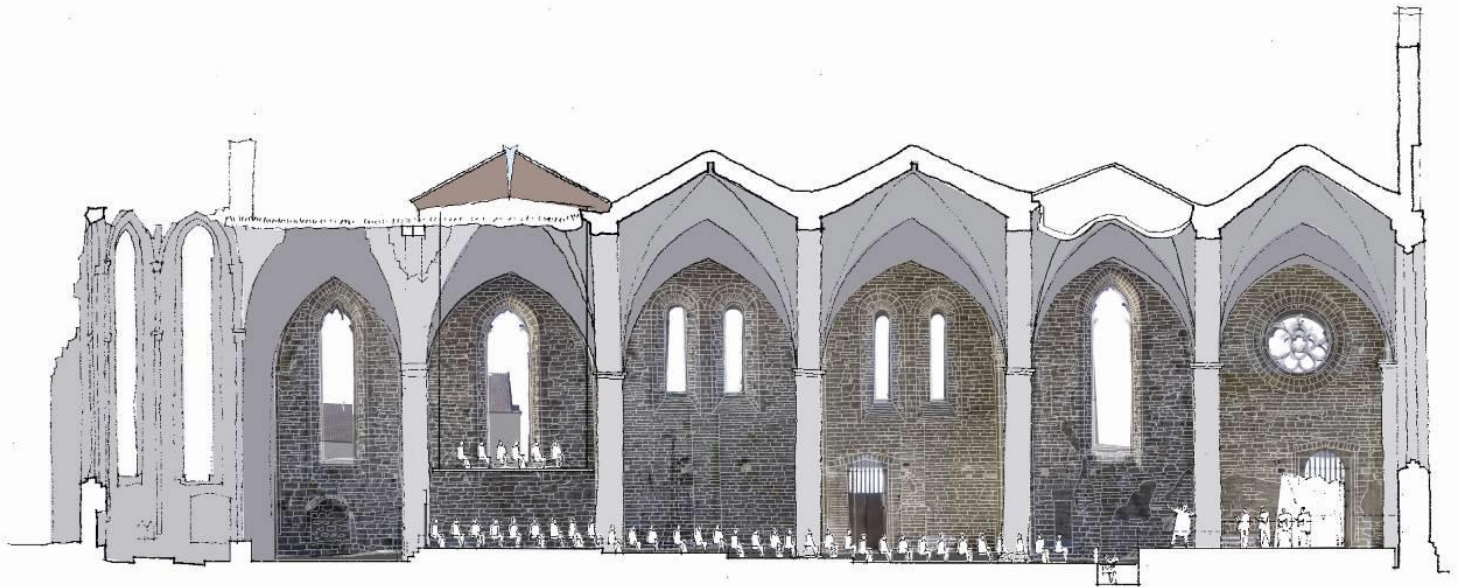
Analysen som gjordes uppskattade den antikvariska troheten men pekade på några tveksamheter, speciellt vad gäller ianspråktagandet av ruinens rumsliga volym.

Scenen är funktionellt utformad, där tanken om passage i dess bakkant är klok. Förvaring under scen är praktiskt, liksom systemet med klimatstyrd förvaring av flygeln. Det föreslagna plana golvet i salongen medger stor flexibilitet vid olika uppställningar men kan ge dålig sikt mot scenen. Det är en god tanke att utnyttja scenen som gradäng. Alternativet med en mindre scen i koret är intressant, men de fasta gradängerna ger minimal flexibilitet och trånga passager. Det fasta korskranket liksom den fasta läktaren delar av rummet, stör siktlinjerna och förtar upplevelsen av kontrasten mellan långhusets stramhet och korets öppenhet. Materialvalet (granslanor) är filosofiskt sett i samklang med ruinens karaktär men knappast substantiellt sett.

De öppningsbara luckorna i syd- och nordväggarnas dubbelöppningar synes vara en tämligen enkel och smidig lösning som ger interiören ett personligt anslag.

Förslaget känns något tunt och inte riktigt färdigbearbetat i alla detaljer. Bristfälliga förklaringar gör det svårt att uttyda förslagens kvalitéer.

Helhetsgreppet om miljön liksom de insiktsfulla lösningarna på logistiska och artistiska behov är förslagens styrka.



Förslaget från Exners Tegnestue gick i korthet ut på att klara komforten genom att anbringa vindbrytande nät i de stora västfönstren, nät som då de inte användes skulle befinna sig i nerrullat läge. Fönster mot söder skulle glasa. Ruinens axialitet genom mittskeppet skulle understrykas med en kalkstensbelagd gradäng och ett nytt valv i samklang med de gamla skulle täcka salongens bakersta travé.

Bedömningen blev överlag positiv: Förslagsställaren har i sitt förslag tagit hänsyn till hela miljön i Visby innerstad. Det nya valvet över M5 är en klar följd av detta. Valvet talar tydligt vår tids språk och bidrar positivt till stadslandskapet. Valvet skapar i ruinen en elegant övergång mellan det slutna långhuset och det öppna koret och stabiliserar ruinens statik i det område där den är som mest instabil.

Förslagets stengolv i ruinens långhus/kor premieras pga. beständighet och skönhetsvärde liksom samklang med befintliga material. Föreslagen upphissbar läktare i salongens bakkant känns tveksam och underhållskrävande även om tanken är god, speciellt som den även kan utnyttjas vinklad mot koret.

Förslagsställarens idéer om vind och vädersäkring av fönsteröppningar synes något osäkra – det är tveksamt om den föreslagna rullgardinsprincipen är den bästa estetiskt, funktionellt och driftsmässigt. Akustiskt torde de vara gynnsamma.

Förslaget uttrycker ett omsorgsfullt helhetstänk kring ruin och omkringliggande miljö och stadsbild.

Gedigna och väl valda material som synes beständiga skänker värdighet och klass åt ruinen samtidigt som de respekterar platsens karaktär och upplevelsevärden.

Särskilt premieras den bibehållna hela rumsligheten inne i ruinen.



Visby Arks förslag var nog det mest originella: "En specifik "apparat" föreslås – en markanknuten reversibel "möbel" i ruinrummets centralskepp – vilken avser att tillfredsställa samtliga funktionella önskemål (se vidare under respektive rubrik). I korthet kan den beskrivas som att en varmluftskudde tillskapas, vid scen och publik, vilken via termikens lagar håller kallare luft borta (ovan) – ett höj och sänkbart halvtransparent nät bakom scenen mildrar vindarna från havet vid behov – en uppfällbar "markisvägg" täcker de bakre oskyddade gradängplatserna vid regn – gradängerna är spårbundna och därmed flyttbara för maximal flexibilitet i rummet – ett lyftbord till scenen medger tillgänglighet för alla och underlättar flygellyft (och blir samtidigt flygelns klimatskal) – flyttbara lägre skärmar på scen ökar "egenhörningen" bland musikerna samtidigt som goda reflektorer mot auditoriet uppnås tillsammans med viss lokal vinddämpning – publikanpassad belysning."

Bedömningsgruppen kunde se spännande kvalitéer i detta, men var ändå tveksam till den inverkan på ruinupplevelsen detta förslag skulle få till följd:

Förslaget har tagit ett helhetsgrepp om de tekniska lösningarna och föredömligt minimerat negativ påverkan av akustiken. Genom att utvidga tävlingsgruppen med konsulter/expertter inom olika specialområden har stor kompetens samverkat för att uppnå detta.

Med små insatser har förslagsställarna försökt tillskapa ett enkelt grepp om ruinen och dess nyttjande för att på så vis uppfylla komfortkraven. Det är dock tveksamt om regnsäkringen fungerar under häftigt regn vid full salong. Vid dansföreställningar då dansmatta krävs fungerar inte tänkt scenvärme. Varmluft underifrån är heller inte fördelaktigt för känsliga instrument.

"Möblerna" för scen och gradänger är funktionellt spännande men stör rumsupplevelsen och hindrar siktlinjen mot koret. Vid uppfyllda vindskydd hindras sikten mot såväl väst som öst vilket är allvarligt. Med tanke på att även mycket svagt vinddrag är störande vid konserter kommer de att behöva nyttjas flitigt. Föreslagna akustikskärmar på scenen synes obeständiga; materialvalet är tveksamt visuellt och kvalitetsmässigt.

Sarg runt scenen gör den oflexibel och omöjliggör entréer från flera håll än de givna. Då flygeln förvaras på lyftbordet görs scenen oåtkomlig för rörelsehindrade. Mycket rörliga delar äger en inneboende svaghet vad gäller underhåll och beständighet och innebär sannolikt höga driftskostnader.

Förslaget andas stor trohet mot ruinen och dess materiella värden liksom dess ruinkaraktär. Akustiken är i förslaget föredömligt i fokus, liksom komfortkraven. Helhetsgreppet om miljön och platsens själ är svagt och de nya tilläggen känns inte väl integrerade upplevelsemässigt. Tveksamma materialval i golv och inredning, speciellt med tanke på åldrandeprocess, drar ner betyget.

2.7 ANALYS OCH SLUTSATS

Ökat brukande av ruiner. Visst, gärna det, men frågan är i vilken utsträckning. Vad tål ruinen innan dess inneboende kvaliteter förvanskas, var sätts gränsen för när brukandet och de krav detta ställer hotar ta över ruinen, göra den till en byggnad eller en kuliss till de nya tillägg som ställer sig i förgrunden. I vilket stadium behöver brukaren göra avkall på sina komfortbehov till förmån för ruinens väsen? Och hur kan man bedöma och säkerställa ruinens status och statik såväl i nuet som i framtiden så att det inte utgör en fara för besökaren att vistas där?

Det finns ett antal problematiska frågeställningar man bör ta hänsyn till då önskemål finns om att utöka brukandet av ruiner. Några komponenter har utkristalliserats under arbetet med S:t Nicolai ruin i Visby.

Det fordras en omsorgsfull process för varje enskilt objekt. Men bör se det som en process där många aktörer, både professionella och privata behöver samverka under ledning av en kulturhistoriskt kunnig och socialt kompetent processledare/ samordnare. Att förhastat och jäkta fram beslut är sällan en god idé, utan de olika alternativen måste noggrant bedömas och prövas. Kommunikation och samverkan är framgångsfaktorer som inte nog kan understrykas. De är ofta skillnaden mellan ett lyckosamt eller olyckligt projektergebnad.

Förarbetet i form av förstudie och analyser, inte minst den kulturhistoriska, bildar underlag för den målsättning man slutligen enas om. Även om privata intressen inbjuds att medverka och lämna synpunkter är det ändå den professionella kulturmiljövården som bör fatta de slutgiltiga besluten och därefter följa processen och utöva återkommande tillsyn över verksamheten.

Att helt sonika "flytta in" i en ruin med evenemang låter sig svårligen göras, mer än någon enstaka gång. Anledningarna är flera:



Bild 2.19 Ruinen efter Cistercienserklostret i Roma är gravt förvanskad av de "tillfälliga" lösningarna som Romateatern år efter år lämnar efter sig.

- Krav från publik och artister på viss komfort; loger, toaletter, sittplatser, ljus, ljud och drägligt klimat gör att det i sådana fall lätt tillkommer "provisoriska" lösningar av gravt förvanskande karaktär som dessutom tenderar att bli lågsiktiga.
- Myndighetskrav på tillgänglighet, brandutrymning etc.
- Ruinens säkerhet vad gäller statik och stabilitet vid utökat brukande
- Slitage på känsliga partier

Ett exempel som kan nämnas är Roma kungsgård i vars klosterruin uppskattade och högklassiga Shakespearedramer uppförs varje sommar. Från att ha varit ett säsongsbetonat evenemang där de tillfälliga anordningarna togs bort efter spelsäsongen har en olycklig och okontrollerad utveckling skett. Resultatet har blivit en fullständigt förvanskad ruinmiljö som präglas av tillfälliga och billiga lösningar utan helhetsgrepp och renons på både arkitektonisk som estetisk gestaltning. Visserligen görs ingen åverkan på ruinens materialitet, men det är en klen tröst eftersom det är omöjligt att som besökare beröras annat än illa av den vårdslöst hanterade ruinen.

För att hantera dessa problemställningar måste utgångspunkten vara ruinen i sig – vad tål den, var sätter vi gränsen? Det är tyvärr sällan dessa avvägningar görs innan projekt dras igång, projekt som kan få långtgående konsekvenser för kulturarvets autenticitet och upplevelsevärden, ja i värsta fall rentav för ruinens fortsatta existens. Ofta verkar det vara mera självklart att uppsätta regler som talar om att ingen åverkan får göras på originalmaterien medan inskränkningar i volym och upplevelse inte värnas lika tydligt. Resultatet kan bli att de installationer som krävs för de nya installationerna blir väl dominant och skymmer upplevelsen av det autentiska i miljön. Men kravet om reversibilitet har respekterats. Kanske kan det vara så att mindre ingrepp i ruinens materialitet kan rädda de mer immateriella värdena och att summan blir ett bättre bevarat kulturhistoriskt värde?

Medan det trots allt verkar vara hyfsat enkelt (relativt sett) att komplettera ruinmiljöer med nya tillägg utan att göra åverkan på originalmaterialen, är det en betydligt vanskeligare balansgång att akta de mer svärfångade upplevelsevärdena. Samtidigt är det upplevelsevärdena som utövar den stora lockelsen i ruinmiljön, som lämnar utrymme för fantasi och egna upplevelser hos besökaren. Bygger vi bort dessa har vi egentligen byggt bort ruinen också, även om den i strikt analytisk och materiell bemärkelse är intakt.

2.8 FRÅGESTÄLLNINGAR ATT UTFORSKA FRAMÖVER

En större jämförande studie med avseende på hur de upplevelsemässiga värdena påverkas av olika åtgärder och förhållningssätt nationellt och internationellt vore givande. Resultatet skulle kunna användas i många sammanhang då åtgärder i kulturarvsmiljöer planeras och på så vis säkerställa att viktiga värden, i förlängningen även ekonomiska sådana, inte "byggs bort" utan tvärtom kommuniceras tydligare.

Likaså vore det värdefullt att utreda de ekonomiska vinsterna för kulturmiljövården som ett ökat brukande av ruinerna skulle kunna generera genom lokal, regional och nationell vilja och samverkan. Överhuvudtaget är kulturmiljövårdens ekonomi, eller snarare bristande ekonomi, en källa till fördjupat studium. Vore det möjligt att initiera en modell där en del av intäkterna som utökat brukande genererar styrs om till att bekosta vård och underhåll av vårt gemensamma kulturarv?

KÄLLFÖRTECKNING

- Cnattingius, Nanna (red) (1996) Rädda Visby ringmur! Rapport från en kampanj. ISBN 91-87334-123-5.
 Falkman/Hagegård: S:t Nikolai kyrkoruin i Visby en själ-ett rum. Förstudie 1996. Hagegården Music Center.
 Johnsson, Marita (1981) Visby ringmur och ruiner genom seklen: Gotländskt arkiv.
 Lithberg, Nils (1929) Gotländska minnesmärken
 Renström, Jörgen (2005) Ruin som ruin; Kan användningen och tillgänglighet av ruinerna i Visby utvecklas. Projektreport Läns museet på Gotland.
 Svensson, Eva (2010) Kulturarv, natur och utveckling Problem och möjligheter i skoglig glesbygd. Rapport från Riksantikvarieämbetet. ISBN 978-91-7209-568-7.

3 BYGGNAD SARKEOLOGI I RUINVÅRDEN

Text & foto: Eva Marie Fahlin

3.1 BYGGNADEN SOM DOKUMENT

Ruinvårdens syfte är att samtidigt skydda ruinen, förlänga dess existens, göra den tillgänglig samt att bevara dess symboliska värden (Cnattingius 2007). Cnattingius innefattar i begreppet tillgänglighet även att besökaren ska kunna förstå eller tolka ruinen, inte bara säkert kunna vistas i den. För att kunna förstå och/eller tolka en ruin behövs kunskap om ruinens historik och den kunskapen kan erhållas genom byggnadsarkeologiska undersökningar där fält- och arkivstudier bedrivs. Denna dokumentation utgör underlag för den kunskapsförmedling som ges på plats till besökaren/brukaren.

Den byggnadsarkeologiska undersökningen har som mål att visa på de olika tidsskikten i en byggnad, att tolka denna stratigrafi samt placera händelser kronologiskt i en historisk kontext. Vi kan genom en byggnadsarkeologisk undersökning få en bild av byggnadens historia från designprocessen till idag, det samhälle i vilket byggnaden uppfördes och brukades samt även brukarnas idéer om och användning av byggnaden. Genom den kontextuella metoden fångas tiden, rummet och bruket⁶. Byggnaden är således även en källa för förståelse av tidigare användare likväl som underlag för historieförmedling till nuvarande och kommande brukare.

Vidare kan byggnaden naturligtvis ge oss information om och förståelse för byggnadskonstruktion, form, materialanvändning och hantverkets utförande. Beträffande stenbyggnader är murbruket en viktig beståndsdel att dokumentera och analysera då studier av detta ibland kan vara det bästa sättet att få kunskap om en komplicerad byggnadshistoria.

Genom en byggnadsarkeologisk undersökning kan vi även få vetskap om de restaureringar en byggnad genomgått. Restaureringars genomförande ger, förutom kunskap om metoder och material, också en inblick i den tid då dessa genomfördes, vilka restaureringsprinciper och restaureringsideologier som rådde vid tillfället för åtgärdernas utförande.



Bild 3.1 Exempel på återgivande av brukarperspektiv (Eriksdotter 2005).

⁶ Gunhild Eriksdotter skriver i sin avhandling *Bakom fasaderna* (sid 21) "att man genom att införliva bruksanalysen i det byggnadsarkeologiska arbetet tillför ett i högsta grad väsentligt element – man tillför de människor som genom sitt bruk först gör en hop sammanfogade stenar eller plankor till just en byggnad."

3.2 EXEMPLET S:T NICOLAI KYRKORUIN I VISBY

3.2.1 BYGGNADSHISTORIK

Den nuvarande kyrkans byggnadshistorik sträcker sig från början 1200-tal till nutid. Det ursprungliga mittpartiet har vid olika tidpunkter under medeltiden förlängts både i västlig och östlig riktning samt även norrut i form av korsgång och övriga konventsbyggnader. Efter kyrkans övergivande vidtog förfallet vilket fick fortskrida fram till början av 1800-talet då förslag till restaureringsåtgärder finns dokumenterade.⁷

3.2.2 RESTAURERINGSHISTORIK

Vid arkivstudier framkommer ofta dokument innehållande förslag till åtgärder som dessvärre inte följts upp med några uppgifter om åtgärderna utförts eller inte. Speciellt gäller detta för tiden fram till mitten 1900-tal. Senare tiders restaureringsåtgärder är oftast bättre dokumenterade med exempelvis information om bruksblandningar.

Ovanstående gäller även för S:t Nicolai kyrkoruin. Efter fridlysningen av Visbys ruiner 1805 har ett flertal restaureringsåtgärder föreslagits varav några kanske inte ägt rum, och om de ägt rum kanske på ett annat sätt än vad som föreskrivits. Byggnadsarkeologiska undersökningar kan, vilket nämnts ovan, ge svar på vilka restaureringsåtgärder som vidtagits, hur och varför de utförts samt placera dem i en historisk kontext.

Varje restaureringsåtgärd innebär en risk för att värdefull information går förlorad om inte stor vikt läggs vid dokumentation och då inte bara information om nya tillägg utan även om vad som tas bort. Det historiska källmaterial som den stående byggnaden, och dokumentation av denna, utgör kan därmed fortsätta nyttjas för nya tolkningar. Därför är det av största vikt att ett flertal olika kompetenser samverkar vid restaureringsprojekt såsom byggnadsarkeolog, antikvarie, arkitekt, byggherre, entreprenör etc.



Bild 3.2 Støtfog i nordvästra långhusväggen som visar på förlängningen av kyrkan åt väst.



Bild 3.3 Tidig (medeltida?) igensättning av muröppning samt insättning av ankarjärn (1860-tal) i långhusets östra del.

⁷ Material vid ATA samt vid Gotlands museums arkiv har studerats.

3.3 HISTORIE-/KUNSKAPSFÖRMEDLING TILL RUINENS BRUKARE

Genom den kunskaps fördjupning som en byggnadsarkeologisk undersökning kan ge skapas också underlag för att bättre kunna förmedla S:t Nicolai kyrkoruins och dominikankonvents historia, att även på så vis göra ruinen tillgänglig för dess besökare. Kunskapsförmedling kan ske på ett flertal olika sätt såsom texter, modeller, visualiseringar etc., men för samtliga tillvägagångssätt är det av största vikt att den information som ges bygger på tillförlitliga historiska källor, att ett källkritiskt förhållningssätt anläggs. Den bild av S:t Nicolais byggnadshistoria som idag förmedlas bygger i stort sett alltid på den av Erik Bohrn gjorda beskrivningen av kyrkoruinen i *S Nicolaus och S Clemens, Sveriges kyrkor Gotland* från 1976 trots att en del av de i boken framförda tolkningarna inte är tillräckligt underbyggda. Det rör både kyrkans och konventets byggnadshistoria, brukande och nedläggning som byggnadernas placering.

3.4 AVSLUTNINGSVIS

En byggnad är aldrig ett isolerat objekt utan måste sättas in i en kontext för att kunna förstås i alla dess dimensioner. Det gäller såväl historisk tid som nutid. En byggnadsarkeologisk undersökning av S:t Nicolai kyrkoruin och konventsområdet skulle således inte bara ge en mer tillförlitlig bild av dess byggnadshistoria och brukare utan också ge större klarhet om de restaureringsåtgärder som utförts på murverket.⁸ S:t Nicolai dominikankonvent skulle därmed även på detta sätt göras tillgängligt för besökare då ruinen idag är på väg att "återuppstå" som *Kultudralen*.

KÄLLFÖRTECKNING

Tryckta källor

Bohrn E & Westlund P-O (1976) *S Nicolaus och S Clemens, Sveriges kyrkor Gotland*, Almqvist & Wiksell International, Stockholm.

Cnatingius L & N (2007) *Ruiner. Historia, öden och vård*, Carlssons Bokförlag, Stockholm

Eriksdotter G (2005) *Bakom fasaderna*, Lund Studies in Medieval Archaeology 36, Almqvist & Wiksell International, Stockholm

Opublicerade källor

Material om St Nicolai ruin vid ATA samt vid Gotlands museums arkiv har studerats

⁸ Den laserskanning som gjorts av murverket inom detta forskningsprojekt kan även användas som underlag för en byggnadsarkeologisk undersökning då de tidigare gjorda uppmättningsritningarnas mått inte är helt korrekta.

4 SCT. NICOLAI KIRKE, RUIN OG KONCERTRUM

Text & foto: Finn Larsen, arkitekt MAA, E+N Eksisterende Plus Ny Arkitektur

4.1 BEVARINGSPRINCIP

Når et kulturminde nedbrydes eller ødelægges, vil dets historiske autenticitet og antikvariske værdi blive svækket eller gå tabt. Denne historiske proces er i gang i S:t Nicolai Kirke i Visby og kan ses ved det manglende tag og puds på facader og indvendige mure.

Ombygningen af kirken baserer sig på et teoretisk grundlag af teorien om anvendelse af bygningernes bevaringsværdier og valg af metode til behandling af bygningen - altså valg af hovedgreb for projektet. Disse undersøgelser og konklusioner er udmundet i en projektspecifik restaureringsholdning og hovedgreb, der er anvendt som rettesnor gennem projektets faser og som måling af resultatet efter projektets gennemførelse. Hovedidéen i projekt er en autentisk ruin.

4.2 RESTAURERINGSFILOSOFI

Værdier, som er vægtet højt; originalitet, autenticitet, identitet og fortællerværdi. S:t Nicolai skal opleves som ruin uden forstyrrende elementer. Tilføjelser udføres reversibelt med respektafstande og beskyttelser. På denne måde bliver der kun lagt et nyt lag til bygningens historie ved at addere reversibelt og ikke fjerne substans og fortællerværdi.

S:t Nicolai har stået som kirke i 300 år og som ruin i 500 år og har i høj grad ændret identitet. Bygningens originale overflader er næsten borte. Bevaringsværdige elementer er ruinens proportioner, lysindfald samt originalt materiale i mure og dekorerede elementer, men i særlig grad bygningsspor og overgange; pudsrester, huller og materiale-sammenstød. Der er også elementer fra senere perioder / nyere tid; cementafdækninger ved hvælv- og murkanter samt rekonstruerede murdele og hvælv. Ruinrummet er det primære, nye elementer sekundære.

Ligesom menneskers liv er en proces, der begynder med fødsel og ender med død, har bygningers eksistens også en proces, hvor skabelse, liv og død ikke kan adskilles og er hinandens forudsætninger. En bygningens historiske identitet er ikke kun den, der blev dem givet ved deres "fødsel" af de arkitekter og håndværkere, som skabte dem, men den dannes også af det efterfølgende livs påvirkninger, forandringer og tilføjelser.

Begreber, der kan bruges til at danne sig et indtryk af en given bygningens tilstand og

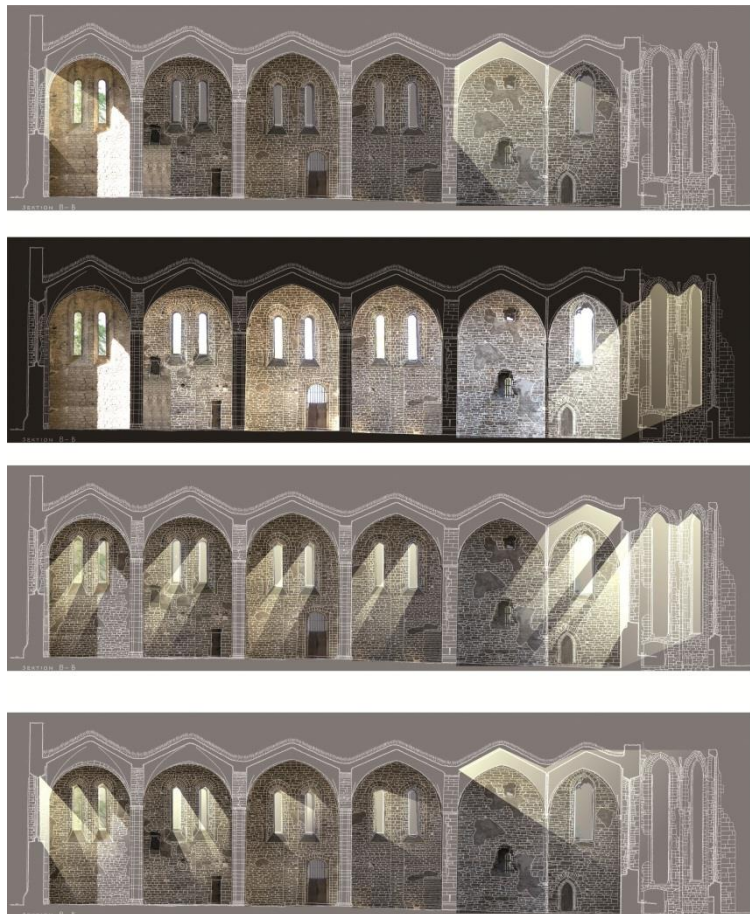


Bild 4.1 Studier över ljusindfall under dygnets olika tider i S:t Nicolai ruin.

substans: Hvor original er bygningen; hvor meget originalt materiale er der tilbage? Hvor autentisk fremtræder den; er dens alder troværdig, og kan man se alderen på detaljer, overflader og patinerings? Hvilken identitet har bygningen; har den sin oprindelige funktion og udtryk, og hvordan har dette vekslet gennem bygningens liv? Har bygningen en stor grad af fortælleverdi; er der bygningsarkæologiske spor og detaljer, der vidner om bestemte episoder i bygningens historie og andre perioders fremtræden?

Det er ved ethvert indgreb meget vigtigt nøje at overveje, hvordan man behandler bygningen. Som hovedregel bør så meget af den originale substans som muligt blive bevaret. Men lige så vigtigt er det at respektere og bevare de mellemliggende perioders tegn og spor. Er det muligt, bør man så vidt muligt kun addere og ikke subtrahere.

Kirkerummets akse skal opleves i begge retninger - både mod scene og mod apsis.

4.3 JOHANNES EXNERS RESTAURERINGSFILOSOFI OG FIRE NØGLER TIL RESTAURERING

“Bygninger er som levende væsener. De fødes, bliver syge, kureres, ældes og dør. Fra ungdoms friskhed gennem livets modning når de til alderdommens særlige skønhed. Bygningens historiske identitet er derfor ikke kun den, der blev dem givet ved fødslen af de arkitekter, kunstnere og håndværkere, der skabte dem, men dannes også af det efterfølgende livs påvirkninger, af forandringer og tilføjelser. Har deres liv været begivenhedsrigt, er det således en alvorlig sag at standse den historiske livsproces og ændre eller udslette de aftryk af menneskers aktivitet, som bygningen har modtaget i sit lange liv. Den almindelige trang til at føre et hus tilbage til fødselstidspunktet er et af restaureringsfagets allerstørste problemer. Under alle omstændigheder må enhver restaurator forholde sig til denne problemstilling.”

4.2.1 ORIGINALITET

Originalitet (oprindelighed) defineres som den grad af ægthed, som bygningen besidder på et givent tidspunkt i sit procesforløb, vurderet i forhold til dens genesistilstand, tidspunktet, da den blev skabt, den eneste gang den var 100 procent original.

4.2.2 AUTENTICITET

Autenticitet (troværdighed) defineres som den ægthed og gyldighed, hvormed bygningen fremtræder, og som fremgår af dens strukturer, detaljer og overflader, der dokumenterer hinanden i en lang samhørende kontinuitet og således sammen logisk beretter og bekræfter bygningens historie og kontinuerte procesforløb.

4.2.3 IDENTITET

Identitet (fremtoning, eng. appearance) defineres som det udseende, den fremtoning og personlige karakter, bygningen på et bestemt tidspunkt i sit historiske procesforløb har erhvervet sig og dermed udstråler.

4.2.4 NARRATIVITET

Narrativitet (fortælleverdi) defineres som den fortælleevne, bygningen besidder og har erhvervet gennem livet, og som kommer frem ved bevarede historiske helheder, bygningsdele, spor, detaljer og rester fra tidligere perioder og hændelser. Bygningen er i sig selv den mest direkte og originale kilde til bygningens historie.

4.4 BEVARINGSSTRATEGI

Videnskabelig bevarelse af kulturarvens objekter kan referere til bevarelse af kulturarvens materiale. I ruinen udføres der ikke ændringer eller omforandringer af materialerne. De grundlæggende principper for bevarelse og dens specifikke identitet som ruin fastholdes. Naturstene fremstår med deres patina og enkelte pudsrester. Patina er med til at sikre værdien af ruin.

Hvis kirkeruinens arv som objekt undersøges ud fra synspunktet om læselighed, og fra hvad der sker med hensyn til skader, demonstrerer det et utilstrækkeligt argument for objektivitet og sandhed af materialet. Her kan der med fordel udarbejdes en strategi baseret på subjektivitet af materialet. Når man drøfter patina, alvorlige skader forårsaget af katastrofer, restaurering og hærværk og ikke bevidste ændringer til genstand for bevaring vil kirkeruinens kulturarvsværdi forringes.

Slid og patina over tid. Ændringer af ruinens overflader vil ødelægge den autentiske og fortælle-mæssige værdi af ruinen. Det bør derfor overvejes, at reparationer udføres over længere tid og ikke som større istandsættelser. De beskrevne undersøgelser af metoder for istandsættelse bør derfor ske partielt og efter en strategi.

En bevidst strategi tager sigte på en effektiv bevarelse af kulturværdien.

4.4 FORANDRING AF KULTURMINDET FRA KIRKE OG KLOSTER TIL KONCERTNUM

Ny og gammel funktion. Kirkens funktion, fra kloster til scenefunktioner og publikumspladser til 500 personer med oplevelse af udendørsklima. Ændring af funktion fra kirkeruin til koncertsal og ruin.



Bild 4.2 Det nya valvet som skapar regnskydd för ruinsalongens bakre del. De infällda glaspartierna låter himlalljuset komma in i ruinen.

Ved tilføjelserne med udgangspunkt i forandringer til scenefunktioner og publikumsfaciliteter tager bevarelsen sigte på et minimum af intervention og maksimalt udbytte. Tilføjelserne er vurderet afhængigt af prioriteringen af de forskellige værdier, identificeret ved de interesserede parter.

Funktionen med kirkens oprindelige funktion er der ikke mere. Dominikanermunkene ville komme ind i kirken af den nordlige dør. Kirken ville være indrettet med munkekorstole i koret og bænke til offentligheden i fagene mod øst. Kirken ville være rammerne om sang, prædiken og bøn; fokus ville være alteret i det østvendte kor; herfra ville prædiken og sang komme. Huller i langmurene vidner om, at der på et tidspunkt muligvis har været pulpiter.

Dominikanerne var tiggermunke, der levede af prædikantvirksomhed, så kirken var åben for byens befolkning. Fra samme retning ankommer artister og koncertgæster til rummet. Munkene deltog i byens liv og var ofte vellidte. Byens folk havde adgang til kirken fra sydfacaden, nok ad den særligt udsmykkede vestlige indgangsdør.

Kirkerummet var tidligere rammen om sang, prædiken og bøn. Fokus var alteret i det østvendte kor; her var lyset overvældende og dragende, og her fra kom lydene; præsternes prædiken og munkenes sang.

Med funktionen som koncertsal er fokus flyttet fra øst til vest. Publikum vender ryggen

til kor og alter og orienterer sig mod scenen ved vestgavlen. Herfra kommer lyden i dag; musik og sang. Lyset er til gengæld stadig stærkest i alter og korparti.

Midterskibet er ramme om rummets hovedakse; den akse, hvor oplevelserne er fokuseret i begge retninger; akse, hvor man opholder sig, og hvor man både i middelalderen og i dag har oplevet lyden og lyset – hvor tanker og bøn er sendt op mod himmelen og, hvor man i dag i bogstaveligste forstand kan kigge op på den og lade sine tanker stige op.

I et forslag forenes de to retninger og de to funktioner til en dualistisk enhed. Rummet kan opleves på flere måder. Rummet kan møbleres fleksibelt. Fokus kan lægges på scenen ved vestgavlen, midt i skibet eller ved alteret i det østvendte kor. Ruinrummet kan gøres neutralt og fremtræde som et samlet

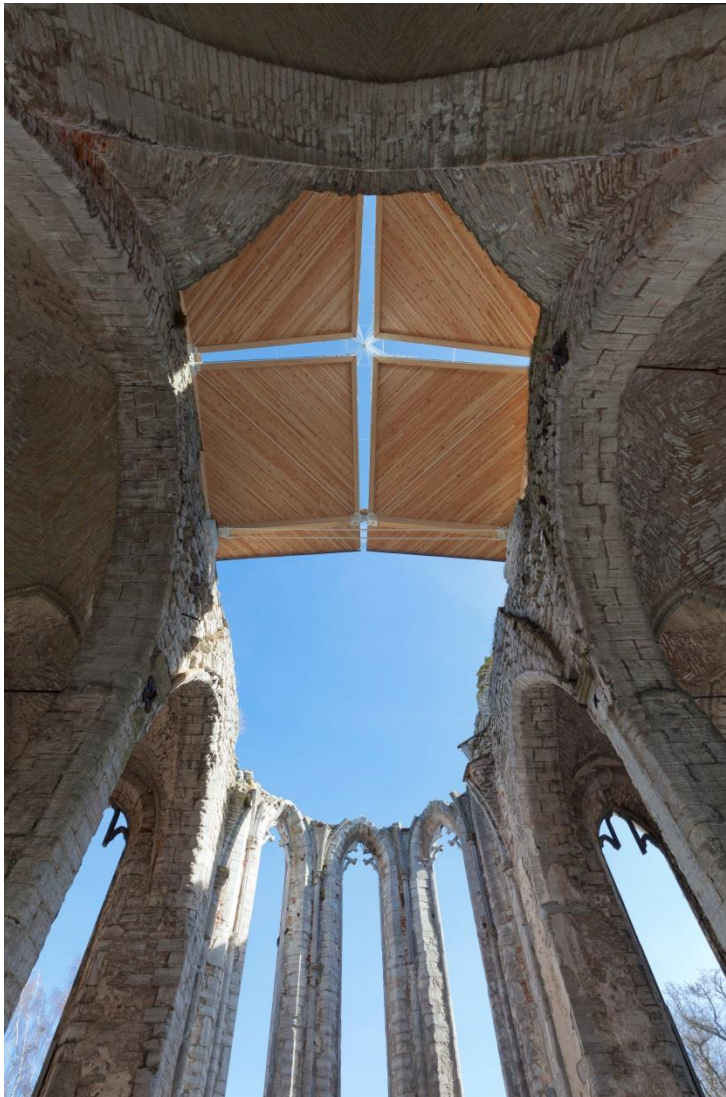


Bild 4.3 Det nya valvet som ansluter till det höggotiska koret som bevarats i sitt ruinstadium. Nytt och gammalt i förening.

rum. Det vil både give fleksibel brug og varierede oplevelser af katedralens rum, og det vil fortælle historien om dengang og nu, både i form og funktion.

Sct. Nicolai katedralen fremtræder i dag med sine facader og manglende tag som en ruin og med sammensmeltning mellem ruiner og bystrukturen.

Visby har en fantastisk beliggenhed på et skrånende terræn ned mod havet og en enestående karakter med små købstadshuse i samspil med den intakte bymur og 11 store kirkeruiner fra senmiddelalderen. Ruinerne er hver især unikke seværdigheder. I kraft af deres antal er de med til at forme byens karakter og identitet på unik vis.

Bymuren, der indgår i de private baghaver og ruinmure, samt hele katedralruiner indgår i tæt kontakt med byens små huse og struktur. Den middelalderlig bystruktur er en bevaringsværdig kvalitet, og her opleves netop den effektfulde kontrast mellem indbyggernes små huse og kirkernes og klostrenes mægtige bygværker.

4.5 COMFORT, VIND OG VEJRSIKRING, SAMT OVERDÆKNING OG BESYTTELSE

Ruinen er delvist beskyttet med et nyt hvælv. I kirken er det nye hvælv med de fire sammenstillede skaller på stor afstand et stærkt og karaktergivende element. Som den overordnede idé skabes et let hvælv af fire skaller af krydslagte brædder og blytækning. Overdækningen er så nordisk og simpel som muligt samt i lettest mulig udformning.

Indefra opfattes det som et rumligt hvælv. Udefra opleves det i slægtskab med de eksisterende fine blyklædte vælvoversider. En smal spalte dækket med glas giver i interiøret fine smalle kig til himlen. I aftenbilledet giver det med belysning i ruinens interiør fint oplyste streger som et diskret tegn på, at ruinen er i brug, og at den er et offentligt tilgængeligt rum.

Overdækningen af åbning M5 har et areal på 9,5 x 9,5 m, som er opbygget af 4 ensartede skaller hvilende på den ene spids og den modsatte hævet mod midten. Skallerne er udført som hyperbolske skaller opbygget af 3 lag diagonalt beliggende brædder vinkelret på hinanden. På indersiden fremstår skallerne med brædder med retning parallelt med en kant, hvilket giver et ret forløb af brædderne. Udvendig fremstår skallerne med bly. De fire skalenheder trækkes fra hinanden op mod spidsen, hvor skallerne holdes i afstand med et stålbeslag. Mellem skallerne etableres en glaslukning udformet i V-form, så der dannes en "grøft", der fungerer som regnvandsopsamlingsrende, som ender i en udspyr over det eksisterende tag. Der er opstillet en række forskellige principper for vind- og vejr sikring af vinduerne.

Tidligere vindtunnelforsøg har vist effektiviteten af de enkelte løsninger. Ved gennemgang på stedet er de forskellige principper vurderet for de enkelte vinduesåbninger med hensyn til vurderet effektivitet sammenholdt med visuelle konsekvenser set indefra og udefra. Forskningsprojektet om vind har vist effektiviteten af disse forslag.

De store vinduesåbninger i vestgavlen er lukket med net, der rulles op nedefra. De mindre vinduesåbninger i sydvæggen er lukket med glas fastgjort i de eksisterende huller i vinduesåbningernes sider.

4.6 DE NYE ADDITIONER

- Enkelhed opnås ved minimale konstruktioner, der ikke opleves som forstyrrende elementer.
- Spinkelhed opnås ved statiske ophængte konstruktioner "tråde".
- Friholdte flader, der lægges som nye rolige og sammenhængende lag over ruinens flader.
- Nye additioner står som baggrund eller som møbler. De nye additioner friholder sig fra ruinen, underordner sig ruinens rummelighed og kan samtidigt måle sig i kvalitet og substans - være gedigne og langtidsholdbare.

S:t Nicolai har opnået en basal tidsløshed, idet hele huden eller bygningsoverfladen er borte. Tilbage er rummeligheden og den indre kerne - råmaterialet, substansen - ruinen.

5 RUINERNAS SKADEBILDER

Kap. 5.2-5.4 Text & foto: Rebeca Kettunen & Malin Myrin

5.1 BAKGRUND

Ruiner är genom sin definition byggnadsverk som är utsatta för ständigt förfall. De skador som har studerats närmare inom detta projekt avser vanligt förekommande skador på murverkets material liksom skador som äventyrar dess konstruktion. Detta kapitel handlar om dessa skador, hur de kännetecknas och vad som orsakar dem. Det är syftar till att ge en ökad förståelse för vad som kan ge upphov till accelererade skador och vad som möjligen kan göras för att det skall kunna undvikas.

Detta kapitel beskriver skador utifrån var och hur de yttrar sig i byggnaden:

- skador som uppkommer i sten, företrädesvis kalkstensmurverk
- skador som uppkommer i murverkets fogar och puts.

Utgångspunkten är de skador som kan lokaliseras i fallstudien S:t Nicolai, men andra ruiner finns med som referensobjekt.

5.2 SKADEBILDER I KALKSTENSMURVERK

Med syfte att ge en generell överblick av förekommande skadebilder kalkstensmurverk har Sankt Nicolai kyrkoruin används som fallstudie. Ruinen har i ett första skede inventerats översiktligt och därefter har detaljstudier och punktinsatser utförts vid flera tillfällen gällande putsytor och sten. Studier har utförts avseende säkring av bemålade putsytor, som beskrivs nedan. Dessutom har punktinsatser utförts på norra och sydöstra långhusportalen. Dessa åtgärder identifierades i ett tidigt skede av projekt som några av de mesta akuta.

Under 2011 genomfördes en workshop i ruinen som behandlade åtgärder avseende fogar och lämpliga fogbruk för komplettering.

Behovet av fortsatt forskning rör fogar och möjligheter till bedömning av fogars status inne i murverket. Ytterligare forskningsbehov rör underhållsfrågor gällande denna typ av byggnader det vill säga ruiner och murverk etc. Små men regelbundet återkommande och i rätt tid insatta åtgärder är det mest effektiva och samtidigt det mesta varsamma underhållet – men hur ska organisation och finansieringen av ett sådant förhållningssätt bäst se ut för att fungera långsiktigt och kontinuerligt?

Denna översikt syftar till att bedöma insatsbehoven för säkring av sten- och bemålade putsytor. Utredning avseende ruinens konstruktion har tidigare utförts av Carl Thelin (Sankt Nikolai - Utredning av konstruktion 2008-04-15).

5.3 BESKRIVNING AV BYGGNADEN

Byggnadsdelar:

- Travé S2-4, N2-4 med berörda pilastrar
 - Pelare B3, B4 och B5
 - Pelare C3, C4 och C5
 - Portaler norra långhusporttalen samt sydöstra långhusportalen
 - Korets strävpelare
- Se figur nedan för littera.

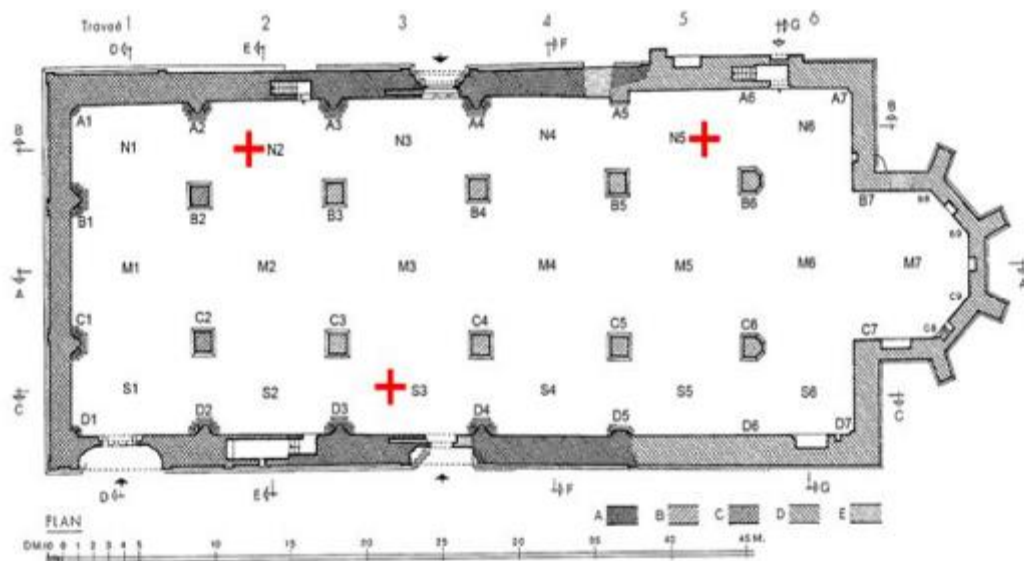


Bild 5.1 S:t Nicolai, plan med använd littera. De röda kryssen avser uppställningsstationer för laserscanner.

Ingående material:

- Sten
- Tegel
- Fog
- Putsytor, bemålade och ej bemålade

S:t Nicolai består av ett treskeppigt långhus med sex travéer (valvenheter) och tio pelare. I väster är fasaden rak och har tre stora fönster och i öster avslutas ruinen med ett utbyggd femkantigt kor med stora fönsteröppningar. Samtliga valv är stigande valv (kupolformade) vilket innebär att mittpunkten i valven ligger högre än både gördelbågens och sköldbågens hjässor. Mittskeppets valv är högre än sidoskeppen men sidovalven är så höga att byggnaden ändå har en salsliknande karaktär. Valv M₂, M₅, M₆ och M₇ saknas idag. Ovanför valv M₂ finns idag ett trätak. Av de återstående valven är M₁, N₁, N₂, S₁ och S₂ murade som kryssvalv medan de övriga har en annan typ av murning vilket kan tyda på att de är rekonstruerade. Källorna är här otydliga men 1884-85 anges att två av valven i mitten "återställdes" samt att det finns flera beskrivningar om förstärkningar och åtgärder på valven under 1800-talets slut och 1900-talets början.

Mittvalvens ovasidor är idag täckta med blyplåt och sidovalvens ovasidor är täckta med en matta av fabrikat Derbigum och ovanpå den ett växtlager på moss-sedummatta. Tidigare hade samtliga valv en asfaltsbestruken cementbaserad täckning och hur mycket som är kvar av den är oklart men troligen har den behållits under den nuvarande täckningen. Dokumentation om detta borde finnas från valvtäckningsarbetet vid mitten av 1990-talet. Byggnaden är murad av huggen kalksten i skalmursteknik och den har tidigare varit putsad både invändigt och utvändigt. Runt byggnadens utsida finns en sockel som är mer eller mindre synlig ovanför markytan. Vid varje valvanfang i väggmuren finns pilastrar och på fasaden finns plana pilastrar som skjuter ut lika mycket över murlivet som sockelns översta del. En del av de utvändiga pilastrarna går inte hela vägen upp till murkrönet.

Det finns totalt tre portaler, två i söder och en i norr. Det finns två typer av fönster, rundbågiga, som är smala och ställda i par respektive bredare spetsbågiga fönster. I sydfasaden finns även ett rosettfönster.

Både invändigt och exteriört finns bevarade putsytor, dessa är få till antalet (se bild 5.12 och 5.19). Det finns få putsytor med muralt måleri (se bild 5.3-5.5).

Inslag av synligt tegel finns bland annat på den västra fasaden där de inramar blinde-ringarna (se bild 5.12 och 5.19).

5.4 KALKSTEN OCH DESS SKADEBILDER

Kalksten är en sedimentär bergart och bildas alltså genom avlagring av kalkhaltiga sediment i vatten som sedan kompakterats. Sediment kan ha bildats av rester från organismer uppbyggda av kalk som fallit till botten och sedimenterats och/eller från kalk som fällts ut kemiskt i vattnet.

Kalkstenar är byggda av finkornigt kalciumkarbonat, kalk- och lerslam och oftast fragment av djurskal. Kalkstenar innehåller ofta lermineral och andra föroreningar. Det är dessa material som bestämmer färgen på den annars vita kalken, oftast grå eller röd av järn i olika tillstånd av oxidation. Kalksten varierar mycket till utseende men kan kännas igen genom att man ofta ser stenen skiktningar tydligt och även hittar rester av fossil och snäckskal i stenen.

Porositeten i kalkstenar varierar kraftigt, beroende på graden av kompaktering och omvandling. Detta styr motståndskraften som varierar mycket mellan olika typer av kalksten. Motståndskraften varierar även beroende på halten av lermineral och andra föroreningar. De lerskikt som finns i kalkstenen bryts som regel ned snabbare än kalken och förorsakar denna stensorts speciella vittringsstruktur. I de fall då stenblock placerats med lagringsriktningen vertikalt resulterar detta i att den vittrade stenytan framträder som en grågrön



Bild 5.2. Pilaster mot södra muren. Observera den kraftigt spjälkande stenen som sannolikt orsakats av brand. (2010)

eller röd oregelbunden och flagnande yta, ibland med tydliga spår av fossil. Om lagringen placerats horisontellt framträder lerlagren med tiden som urgröpta fåror.

Kalkstenen som använts till bygget av Sankt Nicolai har ljusgrå kulör och har troligtvis samlats från närbelägna brytningsområden. Den uppvisar för stensorten typiska vittringsskador då de lerskikt som finns i stenen bryts ned snabbare än kalken och förorsakar en speciell vittringsstruktur, som beskrivits ovan.

Stenblocken har i Nicolai placerats delvis med vertikal och delvis med horisontell lagringsriktning. Vittring har resulterat i att stenytan delvis framträder som en grågrön, oregelbunden och flagnande yta och dels som tydligt urgröpta fåror. Stenpartierna uppvisar mer eller mindre denna karakteristiska sprickbildning.

Fogar mellan stenblocken är överlag i dåligt skick, de är spruckna och bitvis saknas fog.

5.4.1 OBSERVATIONER

- Spjälkningsskador lodrätt mot kalkstensens lagringsskikt iakttas runt muröppningar, fönster och portaler samt pilastrar, pelare och kapitäl. Sannolikt pga. av brand samt naturlig vittring (se bild 5.2 och 5.13).
 - Sprickbildning lodrätt mot stenens lagringsriktning, mest tydligt på nordvästra hörnedjan (se bild 5.10) och
 - korets strävpelare (se bild 5.16) samt omfattningar vid vissa muröppningar. Skador orsakade av stenens naturliga vittringsprocess samt mekaniskt orsakade skador p.g.a. laster i byggnadens konstruktion samt sättningssprickor (se bild 5.11, 5.14, 5.15, 5.17, 5.18)
- Mer omfattande sprickbildning som följer stenens fogindelning, murverkssprickor, orsakad av strukturella krafter. Finns bland andra sprickor, upptagen i Carl Thelins rapport.
- Ytliga exfolieringsskador kan iakttas på flertalet ställen, orsakade av stenens naturliga vittringsprocess.



Bild 5.3 och 5.4. Det västra fönstret i travé N2. Bilden till vänster är en orienteringsbild för det bemålade puts-skiktet som ses i den högra bilden. Pilen anger läget för det bemålade putsfragmentet.



Hittills har det i S:t Nicolai ruin observerats muralt måleri på två ytor, dels ett blågrått kvadermåleri (se bild 5.5-5.9) med vita fogar på pelare B4. Den andra ytan har ytterst små fragment av polykromt kalkmåleri i rött och svart (se bild 5.3-5.4). Detta måleri kan eventuellt ha varit en bård som löpt runt, längs murarna under fönsteröppningarna. Dessa spjälkande målerifragment är synnerligen bevarandevärda och bör säkras snarast. Resterande obemålade putsytor är få till antalet. Även dessa faller sönder, till stor del på grund av att kantförstärkningar som utförts i ett relativt hårt, icke flexibelt bruk orsakat spjälkning av puts-skiktet (se bild 5.9).

5.4.2 IDENTIFIERADE RISKER OCH BEHOV

I projektets inledande fas identifierades följande risker och behov

- Murverkssprickor som finns upptagna i Carl Thelins rapport behöver med lämplig metod hållas under uppsikt.
- Rosettfönster och övriga fönster; masverksfragment och senare tillkomna kramlor behöver ses över och stenen säkras vid behov, rostande kramlor behöver bytas mot syrafasta och rostfria (A4).

- Pilastrar och pelare inklusive kapital ses över och stenen säkras. Fogar bör ses över och kompletteras vid behov.
- Sprickbildning i korets strävpelare behöver ses över och säkras.
- Norra långhusportalen och sydöstra långhusportalen (de två portaler som används för tillträde till ruinen) bör åtgärdas i sin helhet. Det fanns medel avsatta år 2011 för punktinsatser för portalerna med avseende på akuta sprickor och spjälkningsskador där risk finns för materialnedfall vilket också genomfördes, se beskrivning nedan.
- Säkring av exteriöra och interiöra putsytor. Prioriteringsordning bör vara:
 - o bemålade putsytor (nu kända ytor finns på pelare B4 samt på norra väggen travé N2 nedanför det västra fönstret) och kvarstående exteriöra putsrester.
 - o samtliga återstående putsytor.

5.5 BESKRIVNING AV AKUTA PUNKTINSATSER

5.5.1 SÄKRING AV BEMÅLADE PUTSYTOR

Insatserna på pelare B4 (se bild 5.5-5.9) utfördes inom ramen för ruinprojektet då en säkring av de få återstående bemålade putsytorna bedömdes som akut.



Bild 5.5. Pelare B4 åt norr före åtgärder (2010).



Bild 5.6. Pelare B4 åt norr ett år efter utförda kantförstärkningar (2011).

Kantförstärkning utfördes i april 2010. Förstärkning utfördes med rent kalkbruk utan pigmentering ”Gotlandskalk” och fin putssand 1:1. Putsytor hade delvis dålig vidhäftning mot underlaget vilket var särskilt tydligt på brottytor som tidigare förstärkts med ett relativt hårt bruk. Kanter var dessutom mycket sköra. Problem med vidhäftning kunde även

observeras runt skadade partier i putsytorna. Insatserna bedömdes som akuta då putsytor riskerade att falla av.

Observationer: de berörda pelarna verkar användas för tillfälliga installationer i samband med evenemang vilket troligtvis bidragit till skadebilden. Gråsuggor har lyckats bygga bon bakom putsytorna vilket förvärrat skadeutvecklingen.

Utvärdering efter ett år: Ytorna ser relativt bra ut och verkar vara stabila. Endast ett år har gått sedan åtgärder utfördes vilket inte är en tillräckligt lång tid för att säkert kunna utvärdera. Kalkbrukets ljusa kulör har dämpats något.



Bild 5.7 och 5.8. Båda bilderna visar exempel på puts-skikt som förlorat vidhäftning mot underlaget (2010).

5.5.2 PUNKTINSATSER AVSEENDE NORRA OCH SYDÖSTRA LÅNGHUSPORTALEN

Åtgärder som utfördes 2011 på den norra och södra långhusportalen avsåg endast akuta insatser. Större fragment som riskerade att falla ned säkrades. Dock är dessa åtgärder inte hundra procentiga då de spjälkningar och sprickor som ännu finns kvar även fortsättningsvis kommer att vittra sönder.

Det föreligger en stor risk för personskador då det finns större och mindre, löst sittande fragment som tenderar att falla ned från murverket, pelarna, pilastrarna, fönsteromfattningarna och portalerna. Ingrepp i murverket innan sten och puts har säkrats kan leda till stora skador på tredje man. Det går med andra ord inte att garantera besökarnas fulla säkerhet i nuläget.

De åtgärder som utfördes på de två portalerna 2011 var områden med mycket akuta avspjälkningar där risk för nedfallande sten förelåg.

Se bild 5.20-5.23 för ytor som åtgärdats på norra och sydöstra långhusportalerna.

Portalernas sten är mycket skadad och har ett stort sammanhängande nätverk av sprickbildningar som påverkar varandra och även fortsättningsvis kommer att vittra och spjälka av (se bild 5.13, 5.14 och 5.24). Underhållsåtgärder som utförts vid fixering av spjälkande sten är avlägsnande av gråsuggor och deras bon. Lösa stenfragment och sprickor har fixerats med ett tvåkomponent polyesterhartslim. Sprickor som limmats har därefter lagats med pigmenterat stenlagningsbruk för kalksten.



Bild 5.9. Kristin Balksten arbetar med kantförstärkning av löst sittande putsskikt. Till höger i bilden, vid pilen, ses äldre mörka kantförstärkningar i ett hårt bruk.

Då endast akuta åtgärder utförts rekommenderas att portalerna samt övrig sten i ruinen hålls under uppsikt och att eventuella nya skador rapporteras till Gotlands Museum. En annan rekommendation för att undvika nedfallande sten är att exempelvis hänga upp skydds- och fågelnät vid platser där många besökare passerar, så som portalerna. För att undvika att fåglar sitter på byggnadselement, järnstag mm finns det möjlighet att skydda dessa partier med dito fågelnät. Dylika åtgärder kräver diskussioner med och beslut från antikvariska myndigheter.

Mer om dessa åtgärder kan läsas i "Rapport för underhållsåtgärder: norra och sydöstra långhusportalerna, Sankt Nicolai kyrkoruin, Visby, Gotland" skriven av Rebeca Kettunen, Byggnadshyttan på Gotland. Rapporten finns på Antikvarisk-topografiska arkivet på Riksantikvarieämbetet i Stockholm samt på Gotlands Museums arkiv.

5.5.3 REKOMMENDERADE FORTSATT ÅTGÄRDER (UPPFÖLJNING)

Följande behov föreligger fortfarande:

- Murverkssprickor bör hållas under uppsikt
- Översyn av Rosettfönster (sten och tegel) och övriga fönster inklusive senare tillkomna kramlor
- Översyn och punktinsatser av allt synligt tegel
- Pilastrar och pelare inklusive kapital behöver ses över och sten säkras
- Sprickbildning i korets strävpelare behöver ses över och säkras
- Mer långsiktiga åtgärder avseende långhusportalerna, samtliga delar av de tre portalerna åtgärdas
- Alternativ till mer långsiktiga åtgärder för portalerna är nätning av delar som riskerar att falla ned
- Säkring av samtliga putsytor



Bild 5.10 Detaljerad bild av hörnkedja där kalkstenen har spruckit sönder och material tenderar att spjälka av. (2009)

Bild 5.11. Till vänster, sprickbildningar i stenen samt svart beläggning, begynnande krustabildning på stenens yta. Här ses även fogar som vittrat. (2009)



Bild 5.12. Den västra fasaden med blindingar. På murytan ses fragment av äldre putsstikt samt inslag av tegel. (2009)



Bild 5.13. Detalj av den norra långhusportalen. Här ses exempel på spjälkande sten. (2009)



Bild 5.14. En följd av att spjälkande sten inte fixerats vid ett tidigare stadium ses här stora materialförluster. På ytan ses även omfattande lavutbredning. (2009)



Bild 5.15. Detalj av interiör i koret med bevarat kapital och valvribbor. (2009)

Bild 5.16. Kor, strävpelare åt öst. Här ses materialförluster och sprickbildningar. (2009)





Bild 5.17. Detalj av ett masverksfönster där delar av den dekorativa utsmyckningen gått förlorad. Murkrönet är täckt av ett skyddsskikt i cement. I det vänstra övre hörnet ses hur vegetation har slagit rot i de söndervittrade fogarna.(2009)



Bild 5.18. Detalj av en solbänk på norra fasaden som har en genomgående sättningspricka där vatten letar sig in och i förlängningen orsakar skador i murverket. (2009)



Bild 5.19. Den västra fasaden, detalj av en blinding i tegel. Äldre kalkputsfragment ses både i och runt blindingen på muren. (2009)



Bild 5.20 Sydöstra långhusportalen. De gulmarkerade områdena anger ytor med omfattande ytspjälkning av sten och de römarkerade områdena var spjälkande sten som fixerades år 2011.



Bild 5.21. Norra långhusportalens arkivolt. De rödmarkerade områdena anger var spjälkande sten fixerades år 2011.

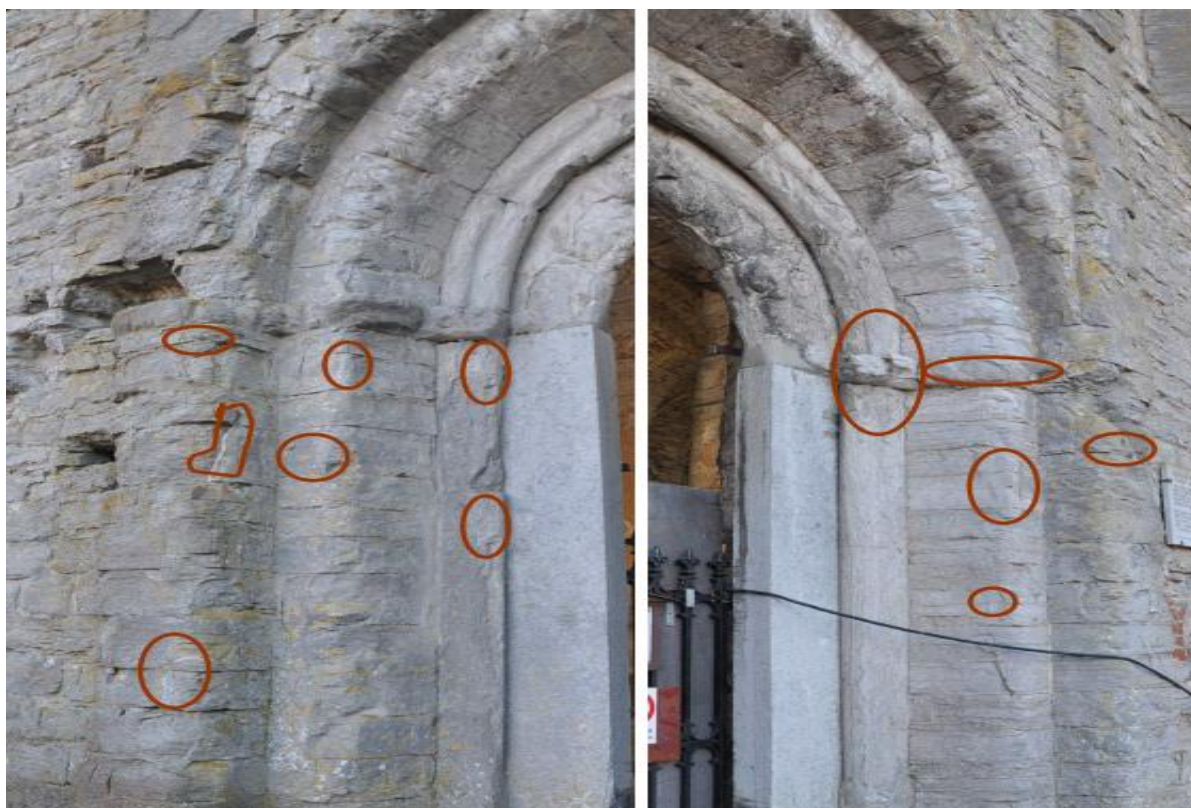


Bild 5.22 och 5.23. Norra långhusportalen sidor åt öst respektive väst. Rödmärkade områden anger var spjälkande sten fixerades år 2011.

5.5 FUKTRELATERADE SKADOR I MURVERKS FOGAR OCH PUTSSKIKT

Text & bild: Kristin Balksten

De skador som är vanligt förekommande i ett murverks fogar och putsskikt har alla en sak gemensamt; de har på ett eller annat sätt initierats av närvaron av fukt. Dels kan förekomsten av salter orsaka problem beroende på murverkets fuktinnehåll, dels kan närvaron av vatten i sig orsaka skador. Detta kapitel har därför delats upp mellan saltrelaterade skador och skador som beror av ett högt fuktinnehåll.

5.5.1 SALTRELATERADE SKADOR I MURVERK

Att förekomsten av salter kan orsaka skada i murverk är känt sedan flera hundra år. Såväl saltskägga på ytan som saltsprängning av porösa material är vanligt förekommande. Syftet med det här kapitlet är att ge en inblick i vad saltrelaterade fuktproblem innebär; hur de yttrar sig, vad som orsakar dem och, i de fall det är möjligt, vad som kan minimera dess skadliga effekt. Då denna text skall ge en ökad förståelse för de specifika problem som förekommer i ruiner blir det en fördjupning i de företeelser som ofta förekommer i dessa byggnader.

SALTFÖREKOMST

Vanliga salter som förekommer i murverk är olika typer av klorider, sulfater, karbonater och nitrater. Beroende på vilken typ av salt det är som bildats så finns det olika källor som kan vara troliga orsaker till saltförekomsten. Man brukar skilja på salter som tillförts byggnaden s.k. inträngande salter, till skillnad från salter som från början funnits med i materialet s.k. inkorporerade salter.

Natriumsulfat kan bildas i tegel som är något underbränt, genom att sulfater reagerar med förbränningsgaser (Burström 2001). De är därmed vanligast förekommande i murverk som innehåller tegel. Kalcium och karbonater finns naturligt i allt kalkbruk som förekommer i murverk. Kalciumsulfat (dvs. gips) kan förekomma genom tillsats i cement men det kan även bildas på kalkbaserade ytor där det finns hög koncentration från bilavgaser (Grahns Andersson 2008). Natriumklorid är vanligt förekommande i havet varför de ofta återfinns i havsnära murverk. Natriumklorid och kalciumklorid kan även förekomma som en följd av att tölsalter använts vid isbekämpning på trappor och dylikt (Freedland 1999). Grahns Andersson (2008) har angett följande indelning av lösliga salter:

Sulfater	De mest skadliga salterna för en puts eller en målad vägg är sulfaterna, såsom natrium Na_2SO_4 , kalium K_2SO_4 , magnesium MgSO_4 och kalcium CaSO_4 . Det beror på att de kristalliserar på ställen där de skapar stor skada genom upplösning av materialet. Kalciumsulfat kan forma en vit slöja över ytan eller kristalliserar inne i en puts genom sulfatisering av kalciumkarbonat, där förorenad luft medverkar i processen.
Nitrater	Nitrater från natrium NaNO_3 , kalium KNO_3 och kalcium CaNO_3 är lösliga salter som vanligtvis ger upphov till tjocka utfällningar på ytan (efflorescens) som är lätta att ta bort och ger mindre desintegration av materialet än sulfaterna.
Karbonater	Kalciumkarbonat CaCO_3 är huvudkomponenten i konstruktioner av kalksten. Kalciumkarbonat har i sig själv ingen sönderdelande effekt när den är kristalliserad. Den bildar skorpor som är mycket hårda och svårbehandlade.
Klorider	Natriumklorid NaCl avsätter sig vanligen på ytan. Om den tillförs med havsvindarna ger den i sig inte upphov till någon skada. Vid en hydratiserings- eller dehydratiseringsprocess kan den vara gynnsam för desintegration av ytskikt, då den under varierande temperaturer även påverkar andra salter som kan vara närvarande.
Silikater	Silikater som finns i vissa bergarter, leror och i cement. De utgör en form av salt som kan transporteras mycket långsamt mot ytan genom inträngande vatten. En långtidseffekt är bildandet av vita skorpor eller krustor av kiseldioxid SiO_2 , opal eller av silikat blandat med andra substanser, vanligtvis kalciumkarbonat.«

SALTERS BETEENDE I RELATION TILL RELATIV FUKTIGHET

Alla salter fungerar inte på samma sätt. Beroende på vilket salt som förekommer så har de stora skillnader i beteende beroende på bl.a. rådande temperatur och relativ fuktighet, RF. Bland annat kan varje salt sägas ha ett specifikt kritiskt RF för när saltet kristalliserar, se tabell 5.1 (Grahn Andersson 2008). Detta RF kan även kallas jämvikts-RF och är det klimat som en mättad saltlösning ger upphov till i t.ex. en sluten klimatkammare (Zehnder, Arnold 1989).

TABELL 5.1

Salt med kemisk beteckning	Kritisk RF för kristallisation vid 20°C (% RF)	Löslighet (g/l)	Molmassa (g/mol)
NaCl	75	360	58.5
NaNO ₃	74	880	85
Na ₂ SO ₄	82	162	142
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	91	900	322
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	86	215	286
KCl	85	344	74.5
KNO ₃	93	315	101
K ₂ SO ₄	97	110	194
K ₂ CO ₃	43	1.12	138
MgCl ₂ ·6H ₂ O	33	1.67	203
Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	53	420	256
MgSO ₄ ·7H ₂ O	90	710	246
MgCO ₃	~100	0.11	84
CaCl ₂ ·6H ₂ O	29	5.36	219
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	50	2.66	236
CaSO ₄ ·2H ₂ O	~100	2.4	172
CaCO ₃	~100	14·10 ⁻³	100

Salter reagerar med vatten på olika sätt. Dels kan salter sägas vara lösliga i vatten vilket innebär att när det finns tillräckligt många vattenmolekyler som omringar en saltmolekyl så bildas en saltlösning. När saltkoncentrationen är som högst kallas det för en mättad saltlösning, annars kallas det för utspädd saltlösning (Grahn Andersson 2008). I ett poröst material räcker det med hygroskopiskt bundet vatten för att salter skall kunna gå i lösning varför den relativa fuktigheten såväl som tillgång på fritt vatten kan påverka denna process. För de salter som har kritisk RF ~100 % kan man därmed säga att tillgång på fritt vatten behövs för att de skall kunna lösa sig. Detta gäller t.ex. CaCO₃.

Vissa salter bildas även genom att binda vattenmolekyler i saltkristallen. Detta kallas hydratisering. Som ett intressant exempel kan nämnas de två olika natriumsulfaterna; mirabilit (med kemisk beteckning Na₂SO₄·10H₂O) är ett hydratiserat salt att jämföras med tenardit (med kemisk beteckning Na₂SO₄) som är ett vattenfritt salt (Shahidzadeh-Bonn et al 2010, Rijners 2004). Här håller mirabilit tio vattenmolekyler bundna i varje kristall jämfört med det vattenfria saltet som inte har något bundet vatten alls.

När en blandning av olika salter förekommer påverkas den totala lösligheten av den koncentration som varje enskild jon förekommer i. Det gör att lösligheten behöver beräknas för varje specifik kombination. För varje fall innebär det också att man får förhålla sig till ett spann av kritiska RF där kristallisation sker (Laue, Schaab 2011).

Så länge salter är i lösning orsakar de inte i sig stor skada till murverk utan det är först när de bildar kristaller och framförallt när det sker upprepade gånger i kristallisationscykler, som de ger upphov till skador.

SALTERS KRISTALLISATION I MURVERK

När en saltlösning torkar under sitt kritiska RF så formerar sig saltet i kristaller. Strax under saltets kritiska RF blir kristallerna som störst (Zehnder, Arnold 1989). Olika salter växer till på olika sätt. För natriumklorid NaCl, även kallad halit, gäller att kristallen växer till i form av kubformade kristaller inuti en droppe eller som större kristaller i zonen mellan luft och vatten. När de förekommer i ett murverk innebär detta att de oftast växer till på ytan, så kallad effluorescens. För natriumsulfat gäller istället att kristallerna i stället växer till inne i lösningen, så som snabbväxande prismaformade kristaller. Det leder till att de bildas inne i de vätskefyllda porerna och leder till så kallad subfluorescens, dvs. kristallbildning inuti materialet (Rodriguez-Navarro, Doehne 1999).

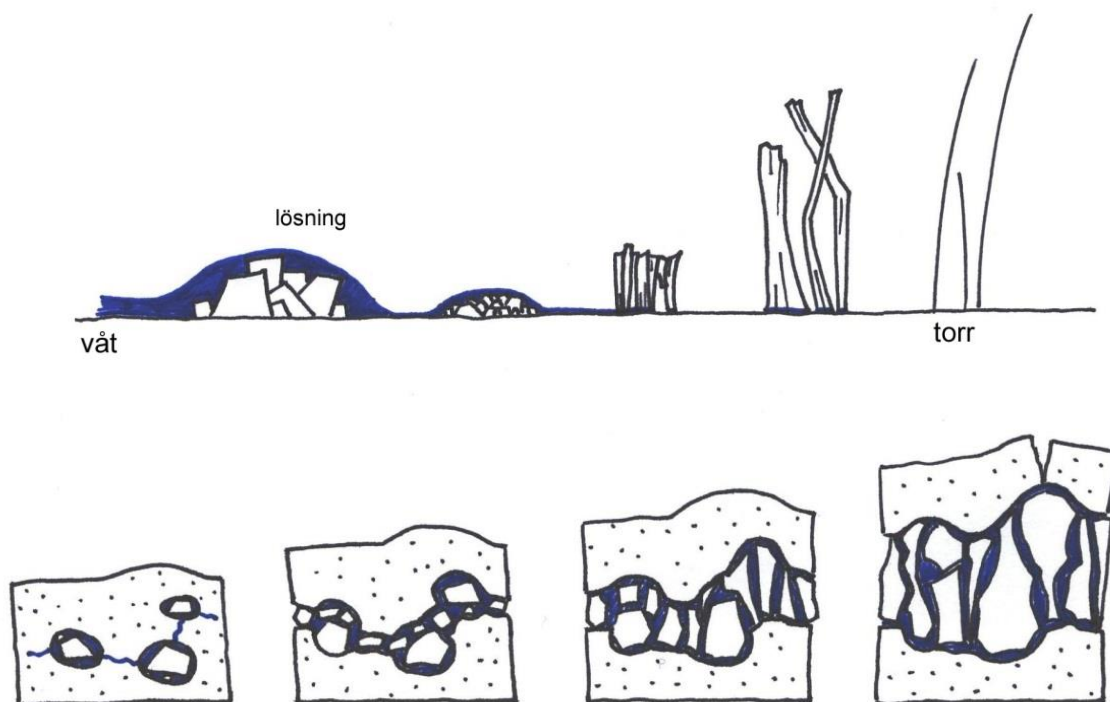


Bild 5.25 Beroende på om salterna avsätts på ytan som effluorescens eller inuti porerna som subfluorescens så påverkar det huruvida salterna kan spränga sönder materialet eller ej. (Illustration efter Zehnder, Arnold, 1989)

Beroende på hur salterna vill bilda sina kristaller kan de orsaka mer eller mindre skada på ett murverk. Salter som oftast bildas på ytan formar sig som ett skägg, kallat effluorescens. De växer till från roten på kristallen och kan sägas påverka framförallt yttskiktet på t.ex. puts (Zehnder, Arnold 1989). Det innebär att den typen av salt är skadliga för framförallt kalkmålningar som är målade med seccoteknik där färgen ligger som ett separat lager ovanpå ytan. Salter som däremot bildas inuti porerna som subfluorescens kan orsaka stor skada åt själva materialet som utgör murverkets yttskikt, t.ex. puts eller fasadtegel. Det inträffar då saltkristallerna som bildas ger upphov till en högre tryckkraft än vad som motsvarar byggnadsmaterialets draghållfasthet (Shahidzadeh-Bonn 2010:2). För traditionella material i murverk, dvs. tegel, natursten och olika typer av kalkbruk är det svårt att finna tillförlitliga värden på draghållfasthet då det generellt är tryckhållfastheten som är av intresse för den här typen av byggnadsmaterial (Paulsson red. 1936, Dührkop m.fl. 1966).

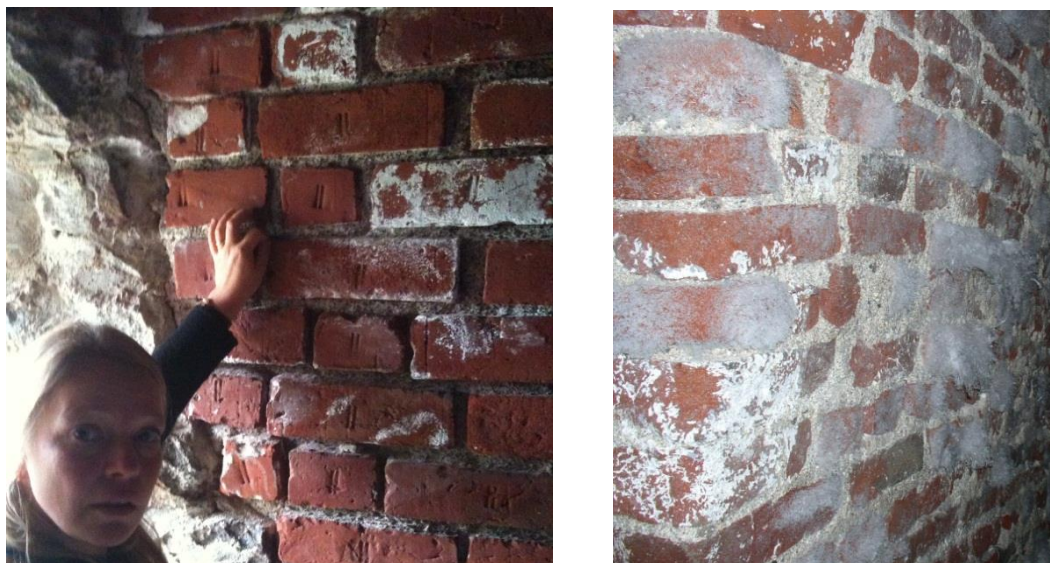


Bild 5.26 Saltutfällningar från Raseborgs ruin och Sveaborgs fästning. På teglet syns det framförallt som effluorescens. I fogarna på Raseborg har det även avsatts som subfluorescens vilket innebär att fogarna har förlorat sin styrka och sandar sig.

Det salt som enskilt kan orsaka mest skada genom kristallisation i ett murverk är förekomsten av natriumsulfat. Det beror på att det har två stabila kristallfaser, som hydratiserat och vattenfritt, och att dessa båda kristaller kan bildas vid olika RF beroende på temperatur samt att det vid upprepade kristallisationscykler ger upphov till en kristalltillväxt som ger höga tryckkrafter (Shahidzadeh-Bonn et al 2010:2). För mättade saltlösningar där tenardit och mirabilit samexisterar kan kristallisationstrycket uppgå till nivåer som vida överstiger draghållfastheten i såväl natursten och tegel som i kalkbruk av olika slag. För andra salter kan man tydligare identifiera ett kritiskt RF för kristallisation men genom att detta salt kan övergå i olika faser så finns det inte ett enskilt sådant värde att förhålla sig till (Flatt 2002). I bild 5.27 visar Flatt (2002) hur mirabilit och tenardit bildar kristall respektive lösning utifrån RF beroende av temperatur.

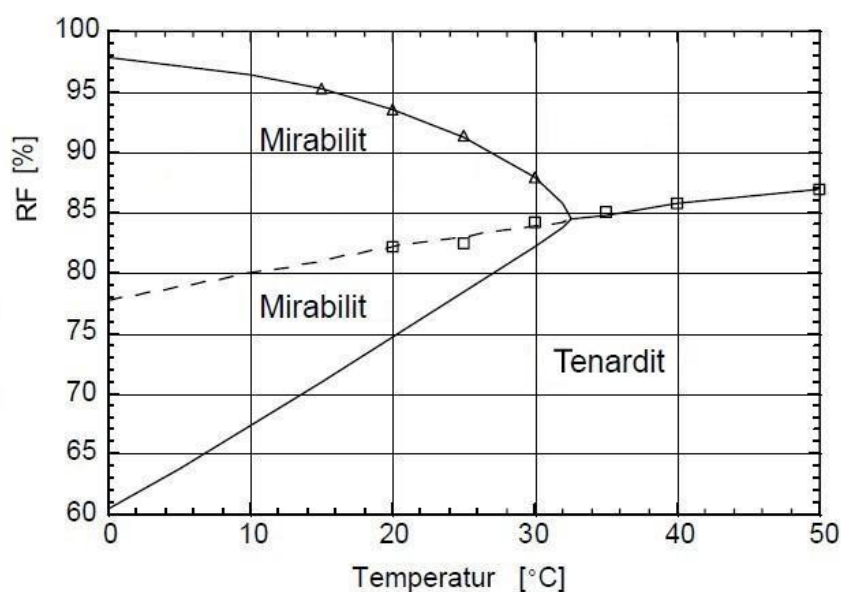


Bild 5.27 Fasdiagram för natriumsulfat där de heldragna linjerna visar gränser för stabila faser. Den streckade linjen motsvarar metastabil jämvikt för tenardit och övermättad för mirabilit. (Illustration efter Flatt, 2002)

För att natriumsulfat skulle kunna vara löst hela tiden skulle det krävas ett RF i inomhusklimatet som ligger över 93-95 % om temperaturen håller sig mellan 15-20°C. Det är dessvärre ett olämpligt klimat som kan orsaka andra typer av skador i form av framförallt biologisk aktivitet (Broström 2008). Om RF pendlar så att mirabilit ofta övergår till tenardit och tillbaka så orsakas de största skadorna. Detta beror på att tenarditkristallerna fungerar som grogrund för mirabilitkristallerna och att den totala volymen och därigenom kristallisationsstrycket då blir som störst (Shahidzadeh-Bonn et al 2010:1), se bild 5.28.

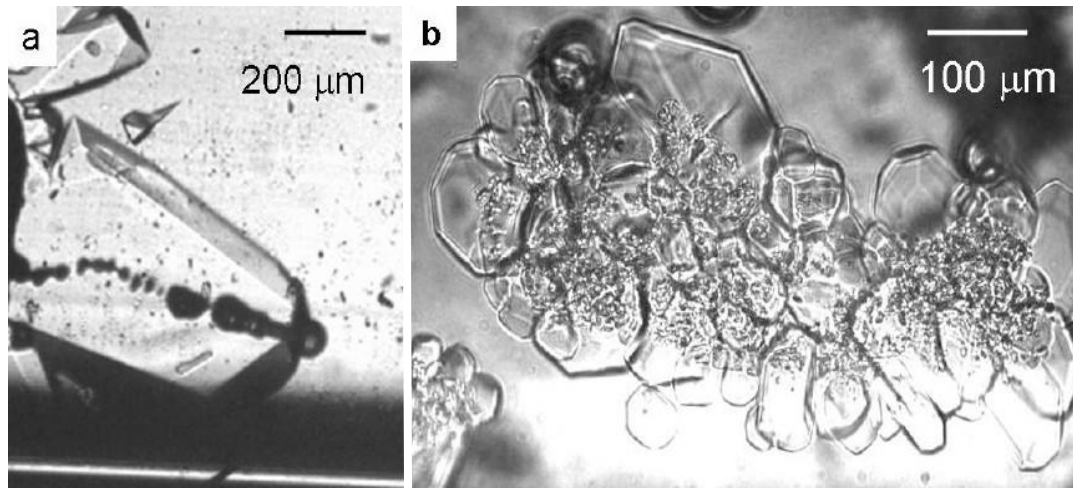


Bild 5.28. a) Långsam tillväxt av mirabilit från lösning ger stora hydratiserade kristaller. b) Efter viss uttorkning och återfuktning syns hur de mer svårslösliga tenarditkristallerna bildar en kärna i mitten varifrån mirabilitkristallerna kan växa till. (Bildkälla: Fig. 3, Shahidzadeh-Bonn et al (2010:1))

5.5.2 FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER FÖR MINIMERING AV SALTSKADOR

Att helt bli av med salter som förekommer i byggnadskonstruktioner kan i dagsläget inte sägas vara möjligt. Avsaltning kan i vissa fall fungera för enstaka objekt, såsom statyer och dylikt, men ej för tjocka murverk. Beroende på vilka salter som förekommer liksom hur de tillförts kan dock vissa skador minimeras. Det finns ett antal faktorer som kan påverka detta:

- minimera vattentillförseln
- se över ytskikt så att fukttransporten styrs så att uttorkning kan ske
- klimatstyrning (gäller framförallt inomhus och är ej tillämpligt för ruiner)

Det handlar först och främst om att murverket inte skall kunna släppa in vatten som inte kan avdunsta utåt. Om det förekommer punkter i murverket som tar in fukt så krävs det att hela murverket hjälper till att få den att avgå igen, dvs. dess yta får inte vara alltför tät om det samtidigt förekommer partier med hög sugförmåga. I äldre murverk pågår ett ständigt åldrande vilket i princip innebär att alla murverk tar in mer eller mindre vatten genom de vertikala murytorna och dess fogar.

Ytskikt får inte vara så täta att uttorkning försvåras. Om så är fallet avsätts salter under ytskiktet och åter sig in i materialet under. Ett vanligt exempel på åtgärder som orsakat mer skada än nytta är lagning av fogar ursprungligen murade med kalkbruk med ett tätt fogbruk baserat på cement (Balksten 2009:2). Om ett offerbruk skall läggas på ytan så gäller det att den får en porstruktur som gör att den suger fukt från underlaget kapillärt samtidigt som att den inte får innehålla alltför stora hålrum om den skall hålla ett tag. Hur ett sådant material bör utformas i detalj finns det inte någon tydlig forskning som visar på. Om bruket är magert och poröst samt har en tätbearbetad yta så utsätts det för omfattande skador. Då har inte bindemedlet någon chans att hålla emot det kristalltryck som bildas när salter avsätts i porerna.

Det finns beskrivet (Rodriguez-Navarro, Doehne 1999) att i material som enbart innehåller få stora porer samt begränsat med kapillärporer, varigenom de har en begränsad inre ytareal, innebär det att saltlösningen snabbare kan nå ytan och bilda efflorescens snarare än

subfluorescens. Det finns också beskrivet att där porstorlekar under 100 nm (gäller för tenardit medan 5,2 nm gäller för halit) förekommer så kommer ofta kristallisationstrycket överstiga 3 MPa vilket är vad de flesta oorganiska byggnadsmaterial har för gränsvärde på draghållfasthet (Rijners 2004). För halit (NaCl) gäller då att ytskiktet skall innehålla oerhört små porer för att dess kristaller skall orsaka skada genom subfluorescens. Detta är sammantaget faktorer som måste beaktas när lagningsbruk, offerputs eller nya färgskikt skall tillföras en yta. Bruk måste därmed tillredas, appliceras och bearbetas så att det får en anpassad porstruktur (Balksten 2005).

Där det är salt av natriumsulfat som förekommer är det svårt om inte omöjligt att skapa goda förutsättningar för att undvika kristallisation eftersom det börjar kristallisera i mycket låga RF och varierar i kristallfaser upp till 93 % RF då allt kan sägas gå i lösning vid 20°C (Flatt 2002). Här gäller istället att tillförd fukt till murverket måste minimeras för att minimera salttransporten och att avdunstning måste kunna ske på båda sidor av murverket.

5.5.3 SKADOR BEROENDE PÅ HÖGT FUKTINNEHÅLL I MURVERK

Murverk kan skadas genom andra fuktrelaterade skador än de som är saltbetingade. I det nordiska klimatet är det framför allt två typer av skador som är vanligt förekommande i äldre murverk; frostskaador i porösa material samt upplösning av bindemedel i kalkbruk (Balksten 2005, Forster 2007). Därutöver förekommer fuktrelaterade skador som är knutna till biologisk aktivitet vilket ofta är aktuellt för ruiner.

FROSTSKADOR

På många sätt påminner frostskaador och saltskaador om varandra. I båda fallen är det kristaller som bildas inuti porsystemet och på så sätt spränger sönder materialet. De har dock en tendens att yttra sig på något olika platser och vid något olika årstider.

Frostskaador uppkommer om ett poröst material är så mättat med vatten så att det, när vattnet expanderar vid frysning, inte finns något utrymme kvar där iskristallerna kan expandera. Istället spränger de då sönder materialet.

Frostbeständighet är starkt sammankopplad med luftporstrukturen i puts, men det är fler parametrar som också har en inverkan på materialets frostbeständighet, bl.a. bindemedlets draghållfasthet (Carlsson 1995). Hållfastheten är en bidragande orsak till att kalkcementbruk och hydrauliska kalkbruk har en större frostbeständighet än rena luftkalkbruk (Hinderson 1958).

Putsens frostbeständighet påverkas förutom av porstruktur och porform, även av de sprickor som kan finnas i putsen. Sprickor påverkar frostbeständigheten på ett negativt sätt mer än något annat då de bildar kapillärporer som suger vatten in i materialet (Konow 1997). För fogbruk gäller att sprickbildningen kan se olika ut för samma material beroende på hur det har tillverkats och bearbetats. För kalkbruk är det viktigt att fogen bearbetas efter att bruket har torkat till och dess krympsprickor har uppkommit. Först då kan materialet pressas ihop vid bearbetningen. På så vis kan sprickbildningen minskas jämfört med om putsen bearbetas när den fortfarande är för blöt och mjuk (Balksten 2005).

Porstorleksfördelningen i en puts visar ett tydligt samband med frostbeständighet då en stor volymandel små luftporer ger en mer frostbeständig puts oavsett total lufthalt (Carlsson 1995). Enligt Carlssons definition på frostbeständighet, skall bruket innehålla minst 3 % luftporer med en diameter mindre än 200 µm för att vara frostbeständigt.

Det finns även tydliga skillnader i frostbeständighet för bruk med normala respektive kollapsade porsystem (Carlsson 1995). Förklaringen till det ligger framförallt i de olika materialens vattenuptagningsförmåga. Material med kollapsade porsystem har en förmåga att bli helt vattenfyllda. Med ett kanalsystem av sammanhängande porer kan ett material fyllas både snabbt och mycket. Det luftfyllda utrymmet, som i normala porsystem fungerar som expansionsutrymme för isbildning, kan vara helt vattenfyllt i kollapsade porsystem (Nilsson 2002). Följden blir att påfrestningarna vid frysning kan bli mycket stora och materialet sprängs sönder.

Om luftblåsor stängs in inne i ett material så försvinner de mycket långsamt då luft måste lösas upp i vatten för att försvinna (Burström 2001, Hinderson 1958). Detta innebär att stora luftblåsor kan bli kvar inne i materialet under en lång tid och därigenom bidra till

en god frostbeständighet. Vid isbildning kan luften komprimeras och därigenom minska de tryckkrafter som annars kan spränga sönder materialet.

Då vatten expanderar vid bildandet av iskristaller är det mycket viktigt att det finns luftfyllda områden där vattnet kan expandera. Vatten expanderar med ca 9 % vid frysning. Vid en viss vattenmättnadsgrad, den så kallade kritiska vattenmättnadsgraden, finns det inte tillräckligt mycket luft för att vattnet skall kunna expandera fritt. Så länge fukthalten håller sig under den kritiska vattenmättnadsgraden kan materialet tåla ett närmast oändligt antal frostcykler men så fort den kritiska graden passerats kan svåra skador uppkomma efter bara en frostcykel (Fagerlund 1972).

UPPLÖSNING AV KALK I MURBRUK

För fallet med många ruiner är det intressant att kalk i form av CaCO_3 fungerar som ett svårösligt salt, se tabell 5.1. Det krävs att det utsätts för en fuktig miljö (högre än RF 100 %) under lång exponeringstid för att det skall gå i lösning (Forster 2007). Om det dessutom finns tillgång på någon typ salt som sänker pH så ökar dess löslighet genom en syra-bas reaktion. Dess löslighet ökar markant med sänkt temperatur varför dess löslighet i uppvärmda murverk är betydligt mer påtaglig än i uppvärmda murverk. Om kalken har löst upp sig brukar det ofta synas i form av stalaktiter eller kalkavlagringar på murverkets yta, se bild från Marstrands fästning.

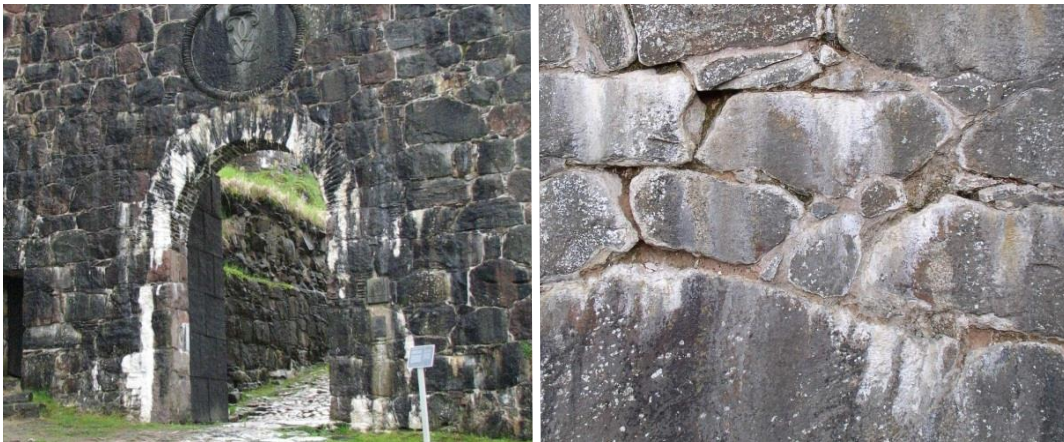


Bild 5.29: Kalkavlagringar på Marstrands fästning och Bohus fästning. Istället för att vara kvar i bindemedlet har kalken lösts upp och fällt ut på murverkets yta som svårösliga skorpor.

Under 1900-talet har de flesta omfattande murverksreparationer utförts med cementbruk, oavsett om murverket från början varit murat med någon typ kalkbruk (vilket det kan förutsättas ha gjorts om det är uppfört före 1900-talet, dock med stora variationer). Troligen har man tänkt att det är viktigt att laga med ett starkt och tätt material utan att riktigt vara medveten om vilka följder det kan få. Då ett rörligt murverk har lagats med cementbruk kommer sprickor i ytan så småningom uppkomma pga. fukt- och temperaturbetingade rörelser (Burström 2001). Genom dessa sprickor samt genom närliggande murytor som har undgått tätskikt kommer vatten att kunna ta sig in i murverket. Om då murverket delvis har fått ett tätt ytskikt innebär det att avdunstningen där inte sker i samma takt som uppfuktningen och det gör att fukt lagras inuti murverket, bakom den täta ytan.

När detta har skett under flera årtionden, vilket i dagsläget är fallet med flertalet stora murverkskonstruktioner i Sverige, så har det ofta lett till att kalken som från början fanns som bindemedel i fog- och murbruk har lakats ur. Kvar i murverket finns då inte ett bindemedel med sammanhållande förmåga utan det består då framförallt av sand. Inuti Visby ringmur har detta skett bakom de lagningar som utförts under 1900-talets mitt med starkt cementhaltigt s.k. Gullex-bruk, se bild 5.30. Följden av detta fenomen kan på sikt bli att strukturella problem uppkommer (Forster 2007).

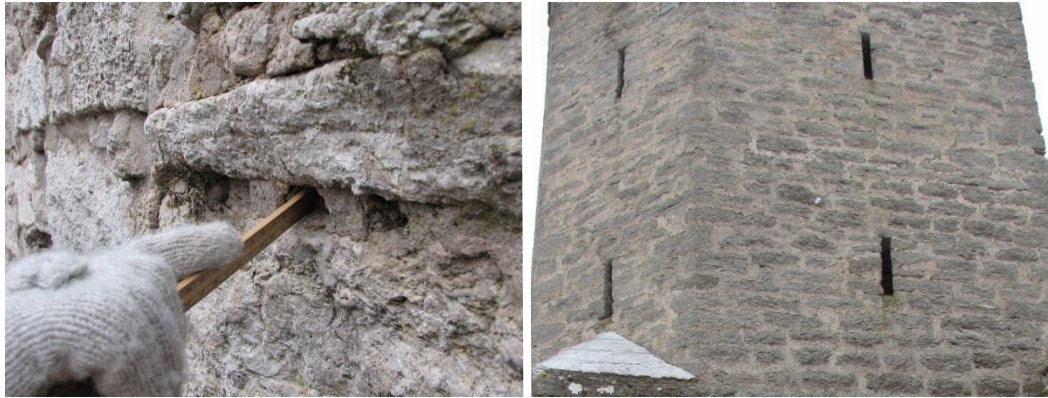


Bild 5.30 a) Urlakat kalkmurbruk bakom tätt cementbruk på Visby ringmur. b) Originalfogbruk på Visby ringmur som ej blivit övertäckt.

När nya åtgärder skall utföras på den här typen av murverk är det av yttersta vikt att välja ett kalkbruk som dels kan ha förmågan och härda inuti håligheter i muren (Forster 2007), dels ha låg kapillärsugande förmåga för att eliminera upptagning av vatten och dels ha förmågan att släppa ut den fukt som tar sig in i murverket. Dessutom bör det ofta vara närstående i sammansättning som det murbruk som ursprungligen finns i murverket för att det skall fungera tekniskt bra ihop likaväl som att de kulturhistoriska värdena skall tas i beaktande, se mer i kommande kapitel.

5.5.4 BIOLOGISKT BETINGADE SKADOR I MURVERK

Något som påskyndar nedbrytningen av ruiner är då växter och djur etablerar sig så att de bryter ner murverkets material. Framförallt bryts kalken i murbruket ner, men på sikt kan det även leda till att hela murpartier sprängs sönder, eller att puts och stenbitar sprängs bort. Att hålla efter ruiner från växtlighet är därför oerhört viktigt om dess fortlevnad skall kunna säkras. Lika viktigt är det att förstå både djurens och växternas livsbetingelser så att man om möjligt kan undvika att skapa optimala levnadsförhållanden för dem. Dessvärre kan dessa problem ofta synas som värst där lagningar med tätare cementbruk har utförts under 1900-talet (exempelvis Visby ringmur visar många tydliga exempel på detta). Där originalfogar och putsrester däremot förekommer är växtligheten närmast obefintlig.

I fuktiga och kalkrika miljöer etablerar sig gärna gråsuggor. Då de andas med gälar kräver de en konstant fuktig miljö för att leva i. Kalken behöver de för att kunna bygga sina skal. De äter helst växtmaterial som har börjat brytas ner och de anses som viktiga organismer när det gäller att ombilda ruttnande växtdelar till jord. I ruiner som har omfogats med cementbruk finner de utmärkta livsbetingelser. Bakom cementfogen är det fuktigt, där förekommer gammalt kalkbruk som håller på att lösas upp vilket ger lättillgänglig kalk. Då cementfogen är styv resulterar det ofta i att den efter några år inte har fullständig vidhäftning till omgivande sten och små sprickor bildas mellan cementfogen och murverket. Genom gråsuggans arbete omvandlas materialet närmast bakom cementfogen till näringsrik jord och kalkblandad sand. Detta i sin tur utgör en gynnsam miljö för frön att gro i.



Bild 5.31 Gråsuggor bakom cementfog på Kronobergs slottsruin.

Ruinerna är ofta artrika; mossor, lavar, perenner, buskar och träd etablerar sig på dess yta och i dess fogar. Många av de växter som etablerar sig har i princip lika stora rotsystem som synliga växtdelar vilket innebär att rotsystemen ofta tränger djupt in i murverkets fogar. Fogarna löses upp, dess bindande förmåga försvinner och murverkets nedbrytning är ett faktum. När rötterna växer sig större får de ofta en sprängande verkan och murverkets stabilitet äventyras.

På de studerade ruinerna finns de flesta av dessa problem representerade. Träd, rosenbuskar, murgröna och flera perenna örter har etablerat sig i och på murverket. Undantagslöst växer de på platser som omfogats med cement.

För att om möjligt undvika att växter etablerar sig är det viktigt att fukt inte kan bli inkapslat i murverket utan att det kan torka ut. Det är även viktigt att inte fukt blir stående i håligheter i murverket utan att fogarna är väl utfyllda med murbruk och att de har förhållandevis stor yta som bidrar till en snabb uttorkning när vädret är gynnsamt för det. Ofta har fogning utförd under 1900-talet inte inneburit att fogarna har fyllts ut likt originalfogens utförande utan de har slutat innanför muren liv. För att undvika att frön såväl som insekter kan etablera sig är det även viktigt att nya fogar inte innehåller krympsprickor som innebär bra tillväxtzoner.

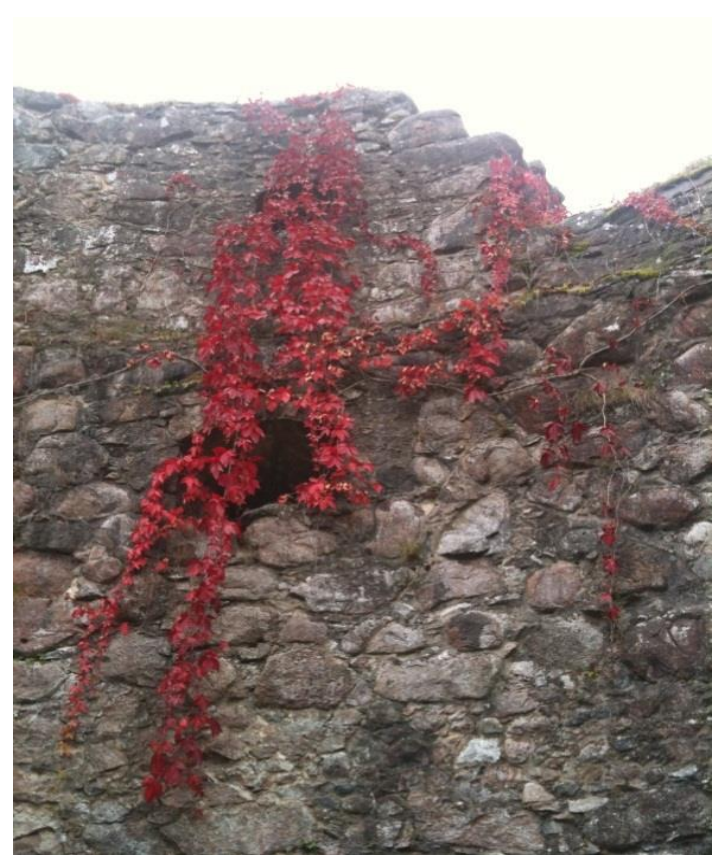
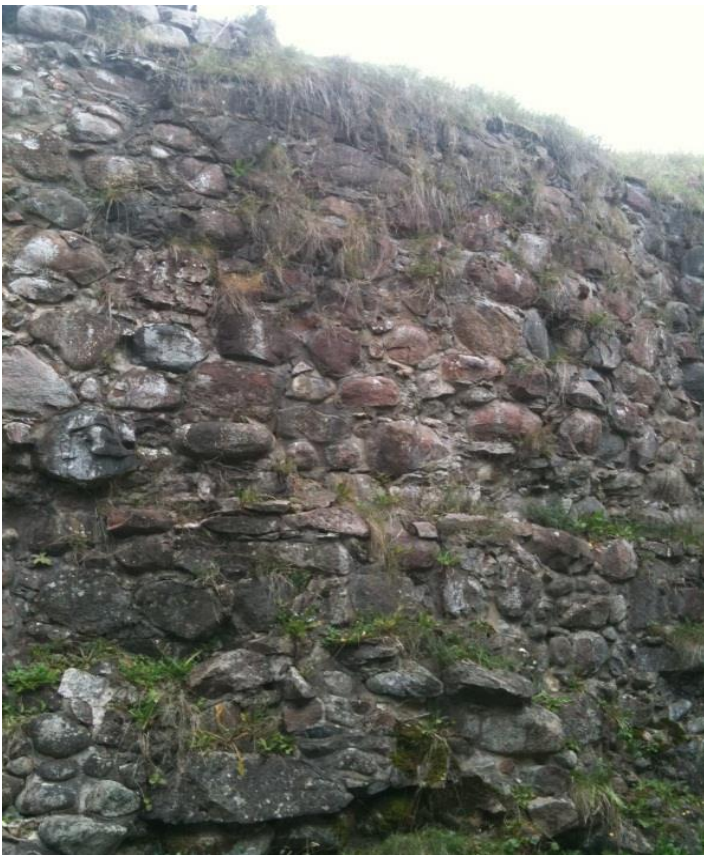


Bild 5.32 Exempel på växter bakom cementfog förekommande på S:t Nicolai och Kronobergs ruiner.



Bild 5.33 Där omfogning har skett med cementbruk är fallet ofta att de ej är helt utfyllda, vilket är att jämföra med de bevarade fogar som byggnaderna kan uppvisa i kalkbruk. Exempler kommer från Gothems kastalruin på Gotland.

För puts på ruiner som har börjat släpa ifrån underlaget utgör dessa sprickor och håligheterna bakom en bra boplats inte bara för gråsuggor men även för spindlar som bygger bo. När putsen efter en tid har arbetat sig loss från underlaget är det både frost och vind som gör att den kan falla ner. Av den anledningen är det viktigt att täppa igen sprickor mellan puts och murverk om dess nedbrytning skall kunna fördröjas.

5.5.5 FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER FÖR MINIMERING AV FUKTBETINGADE SKADOR



Bild 5.34 Exempel på hur konservator Rebeca Kettunen fäster bemålade putsrester i S:t Nicolai med nytt fett kalkbruk.

Att skydda murverket från inträngande fukt är viktigt men det är inte möjligt att stänga ute all fukt. Vad som då blir extra viktigt är att underlätta för den fukt som tar sig in i murverket att avdunsta så att fukt inte blir inkapslat i konstruktionen mer än nödvändigt. Det gäl-

ler då att dels ha bra täckning på murverket. Olika typer av täckning förekommer i dagsläget och det finns ett flertal varianter som verkar fungera. Dessa har dock inte studerats närmare inom ramen för detta projekt och kommer inte närmare att behandlas. Murkrönen utgör dock bara en liten del av murverkets totala yta och det gör att dess fogar är avgörande för murverkets fuktbalans.

Ett antal parametrar är avgörande för om fogarna skall kunna fungera som skydd för murverket.

- Lagningsbruket behöver ha samma eller liknande porstruktur som originalmurbruket vilket i de studerade fallen innebär att det är kompakt och bindemedelsrikt (se kommande kapitel).
- Bindemedlet måste kunna härda även på djupet om det skall fyllas i fogarna. Det innebär för kalkbruk, såväl för luftkalkbruk som för svagt hydrauliskt kalkbruk att det kan torka ut så att det kan karbonatisera (Forster 2007). Vädret måste vara gynnsamt för att kalkbruket skall kunna torka ut och härda och vatten får inte kunna bli stående i fogen.
- Om fogens yta är större än fogens tjocklek dvs. om den är utdragen på stenen så har de större yta som kan bidra till avdunstning än vad som kan suga vatten kapillärt. Fogens yta får inte i sig vara tät, vilket den lätt kan bli om bruket bearbetas när det är för blött (Balksten 2005).
- Kapillärporer i form av krympsprickor (dels i bruket och dels mellan sten och fogbruk) bör undvikas genom att bruket kompakteras vid bearbetning, dvs. bruket måste ha satt sig när det bearbetas och dess yta måste bearbetas med visst tryck med ett hårt verktyg, inte med t.ex. den typ av kvastning som är vanligt förekommande vid omfogningar från 1900-talet.

KÄLLFÖRTECKNING

Tryckta källor

- Balksten, K (2005) Kalkputs – Porstrukturens betydelse för beständighet. Licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola. ISSN 1652-943X.
- Broström, T (2008) Kap: Energieffektivisering i kyrkor. Handbok i hållbar energianvändning för kyrkan. Melander, D. (red.) Stockholm: Verbum förlag. ISBN 978-91-526-3219-2
- Burström, P.G. (2001) Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper. Lund: Studentlitteratur. ISBN 91-44-01176-8.
- Carlsson, T. (1995) Luftporstrukturens inverkan på egenskaperna hos puts- och murverk. Lund: LTH. ISSN 0348-7911.
- Dührkop, H. m.fl. (1966) Bruk – Murning – Putsning. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Fagerlund, G. (1972) Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material. Lund: LTH. Inst. för byggnadsteknik.
- Flatt, R.J. (2002) Salt damage in porous materials: how high super saturations are generated. *Journal of Crystal Growth* 242 (2002) pp 435-454.
- Forster, A. (2007) Binder loss in traditional mass masonry: a cause for concern? *Structural Survey*. Vol 25 Iss: 2, pp 148-170.
- Freedland, J (1999) Soluble salts in porous materials: evaluating effectiveness of their removal. Master thesis. University of Pennsylvania.
- Grahn Andersson, A. (2008) Salter i porösa oorganiska byggnadsmaterial. Högskolan på Gotland: Examensarbete.
- Hinderson G. (1958) Kalk- och kalkcementbruk. *Invändig puts på betong*. Stockholm. ISBN 9919788775.
- Konow, T. von. (1997) Restaurering och reparation med puts- och murbruk. Åbo: Åbo akademi. ISBN 9529616791.
- Laue, S., Schaab, C. (2011) Mitigation of salt damages by climate stabilization and salt extractions in the Crypt of St Maria im Kapitol, Cologne. *Proceedings of SWBSS, Limassol, Cyprus 2011*, pp 129-136.
- Nilsson, L-O et al (2000) Material och transportprocesser. Göteborg: CTH. Inst. för byggnadsmaterial: Kurskompendium.
- Paulsson, G. (1936) Hantverkets bok: Mureri. Stockholm: Lindfors. ISBN 9912305647.
- Rijners, L (2004) Salt crystallization in porous materials: an NMR study. Technische Univesiteit Eindhoven: Ph D Thesis. ISBN 90-386-1996-2.
- Rodriguez-Navarro, C., Doehne, E. (1999) Salt weathering: influence of evaporation rate, supersaturation and crystallization pattern. *Earth Surface Process and Landforms* 24 (1999) pp 191-209.
- Shahidzadeh-Bonn, N. et al (2010) Damage in porous media due to salt crystallization. *Phys. Rev E* 81, 066110.
- Zehnder, K., Arnold, A. (1989) Crystal growth in salt efflorescence. *Journal of Crystal Growth* 97 (1989) pp 513-521.

Opublicerade källor:

Balksten, K (2009:2) Saltskador Annedalskyrkan. Opublicerad förundersökning.

6 GAMLA BRUK OCH LAGNINGSBruk

Text & bild: Kristin Balksten

6.1 BAKGRUND

Ruinerna som finns representerade i Sverige härstammar från olika tidsperioder men medeltida murverk är väl representerade i förhållande till så sena murverk som 1700- och 1800-talsmurverk. Gemensamt för murverk som är uppförda före 1800-talet är att de generellt präglas av de lokala material som funnit att tillgå i nära anslutning till byggnadsplatsen. Variationen gäller såväl byggnadssten som mur- och putsbruk är därmed närmast oöverblickbar. Vid studier av historiska murverk fungerar originalmaterialen dels som källa till historiekunskap om byggnadens uppförande (se kapitel 3 samt Sundnér, Thomasson 2006) och dels som utgångspunkt vid val av restaureringsåtgärd och ersättningsmaterial.

Detta kapitel syftar till att ge en inblick i

- variationen i originalbrukens sammansättning och egenskaper
- lagningsbruk som ofta valts under 1900-talets restaureringar
- möjliga egenskaper hos ett lagningsbruk idag.

6.2 HISTORISKA SVENSKA MURBRUK

I flera av de äldsta svenska skriftliga källorna som beskriver hanteringen av kalk för mur- och putsbruk (Sjöbladh 1751, Pasch 1826, Henström 1869) får man en tydlig bild av hur stor variationen är vad gäller kalk från olika delar av landet. Här beskrivs tydligt att det finns skillnad på mager och fet kalk, grå kalk och vit kalk, hydraulisk kalk och luftkalk etc. De olika begreppen säger även något om kalkens egenskaper vid tillredning av bruk. Det beskrivs tydligt hur olika sorters kalk kräver olika bränningsförfarande utifrån hur temperaturkänsliga de är. Det beskrivs även hur kalkens fetthet påverkar dess proportion i förhållande till sand, dvs. blandningsförhållandet. En fetare kalk kräver något mer sand än en mager kalk. De hydrauliska kalkerna, vilka vissa är svårsläckta och lämnar små partiklar i kalken, kräver ytterligare ett förhållningssätt vid val av blandningsförhållande. Den bild som målas upp är vitt skild från den bild som byggnadsvärden idag generellt har av olika typer av bindemedel. Det visar sig att förekomsten av kalk för byggnadsändamål i Sverige har varit oerhört mycket mer variationsrik än vad vi idag har tillgång till.

När historiska bruk studeras och analyseras idag ser vi en närmast oändlig variation och att ge en komplett bild av hur den variationen har sett ut är i dagsläget inte möjligt. Men genom att belysa ett antal exempel med bruk från olika delar av landet och beskriva dem med utgångspunkt i de lokala material som finns att tillgå där kan förhoppningsvis en mer nyanserad bild av förekomsten ges. Exempelen kommer från Gotland, Jämtland och Västergötland.

Exempel från Visbys ruiner såsom S:t Nicolai kyrkoruin och Visby ringmur visar upp den feta vita kalken som är dominerande på Gotland. Den gotländska kalkrikedomen utgörs av silurisk kalksten och bevarade ugnar återfinns framförallt i de trakter där kalkstenen har ett mycket högt innehåll av kalciumkarbonat (om detta har gällt även medeltida kalkmilor är ännu inte kartlagt). Detta är en kalk som är lätt att bränna (Lisinski m.fl. 1987) då den inte är så temperaturkänslig. Dessutom tillåter kalken sig att släckas på alla tänkbara sätt; våtsläckning, jordsläckning, luftsläckning, torrsläckning och stukasläckning (Balksten 2005). Olika släckningsmetoder ger olika egenskaper till kalken. De olika släckningssätten verkar ha varierat såväl utifrån vilka egenskaper som man har önskat som utifrån möjlighet att lagra och transportera kalken dit där kalkförekomst saknas (Sjöbladh 1751).

De medeltida gotländska bruken varierar något men det som kan sägas vara gemensamt för dem är att de alla har blandats med mycket stor andel kalk i förhållande till sand dvs. bruken har gjorts mycket feta (minst lika mycket kalk som sand). Detta trots att denna kalk är av den allra fetaste och renaste sort (Sjöbladh 1751, Pasch 1826, Henström 1869). Gemensamt är även en vanlig förekomst av kalkklumpar som berättar om kalkens släckningssätt (Balksten, Steenari 2010). Ett flertal experiment har gjorts för att försöka efterlikna dessa historiska bruk, i blandningsförhållande såväl som utförande (Balksten 2007, Balksten

2009:1), men ett av resultatet blir då att bruken vill krympa vilket gör dem svårarbetade. Att de har krympt även när det begav sig är tydligt och krympsprickor kan ses i de flesta medeltida bevarade gotländska puts- och murbruk. Sandens beskaffenhet verkar i dessa fall vara av underordnad betydelse.



Bild 6.1: Från Visby ruiner syns originalbruk i närbild.

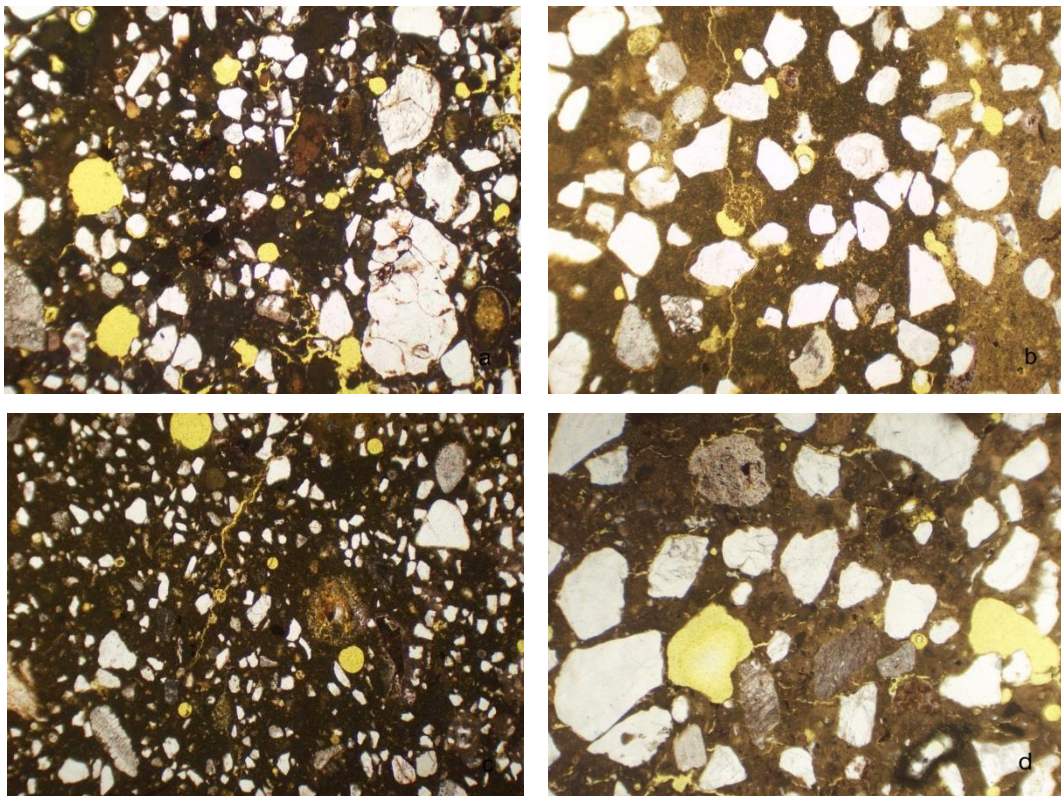


Bild 6.2: Dessa fyra tunnslip visar vanligt förekommande exempel från medeltida kalkbruk på Gotland. Exempelen (a-c) kommer från St Nicolai kyrkoruin och (d) Gothems kastalruin. De är alla fetare än blandningsförhållande motsvarande 1:1 och sandens kornstorleksfördelning varierar. Gemensamt för dem är att de är kompakta, innehållandes väl avgränsade luftporer och enstaka kapillärporer i form av krympsprickor. Nedre kant bild motsvarar 4,5 mm. Det bruna är kalken, det vita är sanden och det gula är luftporer fyllda med fluorescerande epoxi.

Från Jämtland illustreras variationen med hjälp av bruk från Sunne kyrkoruin och Ovikens bogårdsmur. I Jämtland finns många olika typer av kalkfyndigheter från den ordoviciska perioden (Gorbatshev 1997). Fyndigheterna återfinns utspridda beroende på den veckade berggrunden och inom en socken kan därför många olika typer av kalkfyndigheter återfinnas nära varandra. Här återfinns de magra hydrauliska kalksorterna i de medeltida murverken medan 1800-talets nybyggnation främst nyttjade en renare och mera lätttransporterad kalk (Åsling 2000). Ett flertal lämningar av kalkmilor står att finna i de jämtländska skogarna (Fornminnesregistret, 2011-05-26) och dessa visar på att kalken har bränts av alla sorters kalksten som förekommer. De bruk som visas här är gjorda av hydraulisk kalk och sandmängden är närmast obefintlig, dvs. bruken är oerhört feta. Den kalksten som har valts har inte gett vit kalk utan snarare lite gulbrun nyans till kalken och borde därmed kunnat benämnas gråkalk enligt gamla tiders benämningar (Henström 1869, Rothstein 1875). Gemensamt för de bevarade medeltida bruken i Jämtland är att de drar åt en gulbrun nyans liksom att de är oerhört hårda och feta.



Bild 6.3: Närbilder från putsbruk på Sunne kyrkoruin och Ovikens logårdsmur, båda Jämtland.

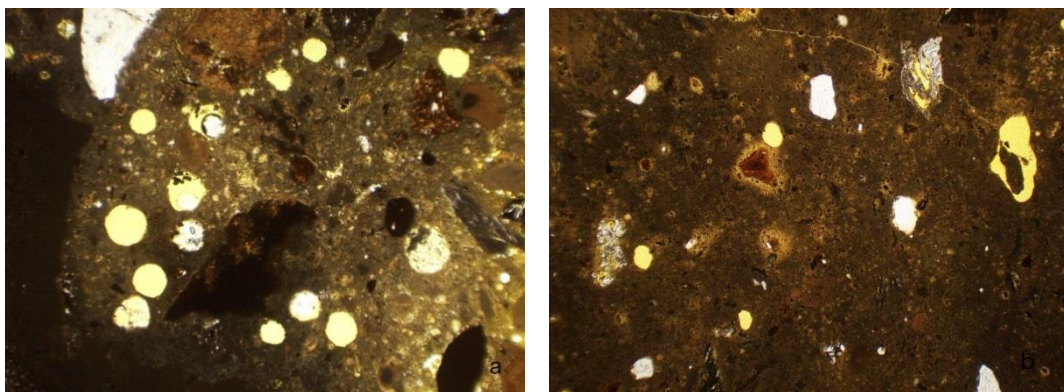


Bild 6.4: Dess två tunnslip visar putsbruk från Sunne kyrkoruin och Ovikens logårdsmur i Jämtland. Båda bruken är oerhört feta och sandkorn förekommer endast sparsamt. Båda bruken är kompakta och innehåller väl avgränsade luftporer. Nederkant bild motsvarar 4,5 mm.

De medeltida kyrkor och kyrkoruiner som finns bevarade i Jämtland ligger i nära anslutning till där det förekommer kalksten i berggrunden, vilket innebär att den kalk som har använts inte har behövt ha egenskapen att den kan transporteras och lagras innan användning. De milor som finns kvar visar också att man har valt att bygga olika storlek på milorna vilket kan tyda på att man har kunna anpassa sig efter den efterfrågade mängden till viss del.

I Västergötland har flertalet undersökningar utförts vid Göteborgs Universitet, av historiska murbruk, vid bl.a. Gillstad kyrka av Jonny Eriksson och vid Läckö slott av Ewa Malinowski. Dessa byggnader uppvisar stor skillnad i bruk utifrån tidslager och kalken kommer företrädesvis från närliggande Kinnekulle. Berggrunden på Kinnekulle består bl.a. av flertalet olika typer av kalkstensförekomster och det har förekommit kalkugnar och kalkmilor i anslutning till de olika typerna av sten (Eriksson 2011 (samtal)). Ugnstyperna har varierat med såväl sten som bränsle (bl.a. har alunskiffer använts först som bränsle och sedan som tillsats i bruken). Här finns allt från ren fet kalk i linser, låghydraulisk kalk som låter sig våtsläckas och lagras en tid, samt höghydraulisk kalk som behöver torrsläckas (Pasch 1826, Eriksson 2010-2012 (samtal)). Beroende på vad bruket har haft för användningsområde så har man vetat att man kan tillreda det på olika sätt för att få ut olika egenskaper i bruket, om det skall vara till murning, fogning eller putsning och avfärgning. Pasch (1826) anger att de kalker som är magrare och kan tillredas med minimal mängd sand t.ex. ger kompakta, täta bruk som är lämpliga i utsatta fogar.

Flera analyser av historiska bruk har gjorts och presenterats på senare år. Johansson (2006) har fokuserat på ett antal olika typer av hydrauliska kalkbruk som förekommer runt om i Sverige, medan Balksten (2010) belyser skillnader i olika typer av bruk som grund för val av ersättningsbruk vid restaureringar.

Det som är viktigt att belysa när det gäller historiska bruk är att genom att de nästan alltid präglas av lokala material såväl som lokala traditioner så är inget bruk det andra likt. Bruken kan ha mycket olika egenskaper såväl estetiskt som tekniskt och hantverksmässigt. Varje kalkstenssort har krävt sin speciella kunskap när det gällde brytning, bränning, släckning och förvaring. För tillredning av bruk med blandning av sand och vatten liksom för murning och putsning har varje murarmästare behövt lära sig de specifika material (kalk såväl som sand) som han har haft tillgång till på ort och ställe. Möjliga blandningsförhållanden, tjocklek på putslager, brukets öppettid (dvs. hur lång tid det kan bearbetas), krympningsbenägenhet liksom sätt att bearbeta ytan har måst anpassas efter kombinationen av materialegenskaper som varje bindemedel och sand kan ge. Att bruket dessutom har varit extra utsatt i olika väderstreck och på olika typer av konstruktioner har varit känt sedan länge (Sjöbladh 1751, Pasch 1826). Äldre litteratur som beskriver tillredning av bruk poängterar att det inte finns en standardlösning utan att varje erfaren murare själv måste avgöra detaljerna när det kommer till blandning av bruk.

6.3 RESTAURERINGAR UNDER MITTEN AV 1900-TALET

Sett till de historiska murverk som finns bevarade från medeltiden och framåt i Sverige idag så finns det ett stort antal kyrkor, ett antal försvarsanläggningar och slott samt flertalet ruiner. Samma förhållningssätt och problematik gäller alla dessa murverk men då förfallet på ruinerna har äventyrat dess existens så är ofta restaureringsåtgärderna mer extrema till sin karaktär.

Under 1940-talet satsar Svenska Cementföreningen på forskning och kunskapsspridning vilket fick en enorm genomslagskraft. Genom att granska ett antal större restaureringar som påbörjades under 1940-50-talen kan man tydligt urskilja att en man vid namn Sven Nycander var den mest anlitade experten inom mur- och putsbruk. Stockholms slott, Läckö slott och Visby ringmur är exempel på stora omfattande restaureringar där Nycander har skrivit de ursprungliga recepten och arbetsbeskrivningarna. Under denna tid kommer även en skrift med titeln »Modern puts-teknik« (Nycander 1945) där olika brukssammansättningar och putstyper presenteras, och den bild som där beskrivs kan fortfarande sägas vara dominerande för den moderna murarens uppfattning om puts- och murbruk. Sedan mitten av 1900-talet (Nycander 1945, Bährner 1956, Dührkop m.fl. 1966) eftersträvas en likriktning inom puts- och murbrukstillverkningen som har lett till att kunskapen om de lokala materialen helt har tappats bort.

När traditionell kalk kom att efterfrågas av konservatorerna på 1960-talet kom produktionen av traditionell kalk att återupptas, i Hejnum på Gotland (Lisinski m.fl. 1987). Efter detta kom traditionell kalk att uppfattas som synonymt med Gotlandskalk utav de flesta inom restaureringsbranschen (Hidemark, Holmström 1984). Dock kom inte kalken att hanteras enligt dess förutsättningar, vilka varit kända under många hundra år, utan istället kom man att använda kalken som bindemedel men utifrån hur man gör puts enligt t.ex. Nycander (1945), dvs. blandningsförhållande anpassades inte längre efter vald sand och kalk utan standardiserades (Hidemark, Holmström 1984). Likaså föll kunskapen om att välja bruk efter behov och utsatthet bort och av den variation som fanns före 1940-talet syntes inte ett spår.

Ett stort antal ruiner kom att restaureras under 1900-talets mitt. Det som då utfördes var ofta omfattande restaureringar med stabilisering av murpartier som visade tendens till att rasa, täckning av murkrön för att förhindra vatten från att tränga in ovanifrån samt fogning av murverket och ibland stabilisering av putskanter där gamla putsytor funnit bevarade, i synnerhet på invändiga mur-ytor. Universalmaterialiet som då nyttjades som lösning på samtliga problem (stabilisering, täckning och fogning) var cement vilket kan ge ett bruk med både styrka och täthet.

För Visby ringmur skrev Nycander föreskrifterna under 1950-talet. Han föreskrev då att KC-bruk (Fornsalens Arkiv) skulle användas och stora partier av muren kom att restaureras enligt dessa föreskrifter. Alla partier av muren genomgick inte



Bild 6.5 a-d: Här syns fyra exempel på foglagning med cementbruk och vad det kan orsaka för typ av skador. På Gudhems klosteruin syns hur murbruket bakom cementfogen har lakats ur och hur originalmurbruket därmed inte längre är varken avläsbart eller bärande. På Bohus fästning syns hur graniten har spruckit upp då fogen är styvare än stenen. Fogen har även spruckit ifrån på flera ställen. På Visby ringmur står cementfogarna för sig själva då murverket har rört sig och kalkbruket bakom delvis har löst upp sig. På Kronobergs slottsruin förekommer bl.a. cementfog i gammalt tegelmurverk vilket har lett till accelererad nedbrytning av teglet då fogen är både styvare och tätare än den sten som det en gång har fogat samman.

foglagning, utan en del lämnades mer eller mindre orörda. Där rasrisk förelåg stabiliserades murpartierna genom en ny murkärna i betong (Fornsalens Arkiv). Det finns anledning att tro att alla dessa åtgärder föregicks av noggranna undersökningar och att de åtgärder som valdes utgick ifrån långsiktig hållbarhet och minimalt underhållsbehov i framtiden. Under 1950-talet verkar det som att man ännu inte börja uppmärksamma vikten av kompatibilitet mellan originalmaterial och restaureringsmaterial (Sundnér, Thomasson 2006, Hidemark 2010-06-21). Det verkar inte heller som att man då hade kännedom om vad vissa materialkombinationer kan komma att orsaka i skadeväg.

Samma typ av åtgärder kan man utläsa på oerhört många ruiner runt om i Sverige. En fullständig kartläggning eller register över utförda åtgärder saknas tyvärr, men nedan visas ett antal exempel från Bohus fästning, ruinerna i Visby, klosterruinen i Gudhem samt slottsruinen från Kronobergs slott. Här visas framförallt exempel på fogning och lagning med cementbruk i olika delar av ruinerna.

Förutom att materialvalet ändrar de tekniska egenskaperna i väggen med avseende på fuktvandring och styrka, så har det även gett ruinerna ett markant förändrat estetiskt uttryck vilket kan jämföras med den del av Visby ringmur som ej genomgick någon av 1900-talets restaureringar, se bild 6.6.



Bild 6.6: I östergravar finns stora mängder originalfogar bevarade på Visby ringmur.

Inom ramen för detta projekt har ett flertal studiebesök gjorts som grund för att kunna göra en utvärdering av de åtgärder som gjordes under 1900-talets mitt. Utgångsläget för hur murverken såg ut innan dessa restaureringar utfördes är dessvärre inte så väl dokumenterade som man skulle kunnat önska, vilket gör att det är svårt att fullständigt beskriva hur förändringen har skett. Det som dock är tydligt är ett antal parametrar:

1. Applicering av cementbruk i fogarna har oftast utförts grundligt och dess struktur och yta har inte gjorts för att efterlikna de originalfogar som eventuellt har kunnat utläsas i murverket, före restaureringen företogs. Ofta är de nya fogarna helt täckande och bruket är till viss del kvastad ut på sten. Detta gör att originalfogar ofta är svåra att upptäcka och förutsättningarna för avläsbarhet i murverket har ändrats helt. Fogmaterialet som är en viktig källa till kunskap vid byggnadsarkeologiska undersökningar kan ofta

tydligare än mycket annat visa på byggnadens olika årsringar. När dessa helt har gömmts bakom cementbruket försvinner denna kunskapskälla.

2. Cementbruket har generellt andra fuktegenskaper än vad originalfogbruket har. Ofta är det både tätare och starkare än det bruk som finns inne i murverket, likaså är det ofta mera vattentåligt. Genom att det är starkt sker ofta sprickbildningar mellan cementfog och sten vilket leder till att fukt kan transporteras in i murverket genom tunna sprickor. Sedan har fukten svårt att avdunsta i samma takt och fukthalten i murverket blir hög (Balksten, Broström 2004).
3. Ovanstående leder i sin tur ofta till ett flertal olika typer av skador: i) kalken i originalfogen lakas ur och avsätts som droppsten utanpå murverket, ii) gråsuggor etablerar sig i den fuktiga miljön bakom fogen och deras aktivitet alstrar humusämnen, iii) växter etablerar sig i fogarna och dess rötter letar sig djupt in i murverket. Se bildexempel i kapitel 5.

Ett dilemma idag är, förutom bristen på resurser för restaureringsåtgärder, att det är oklart i vilken omfattning och med vilken hastighet ovanstående skador även påverkar murverkens stabilitet. Vad som har visat sig är att där skadorna har börjat uppkomma i form av urlakade fogar och ökad växtlighet så tenderar det att ställa till med skador som går djupt in i murverket, se exempel i bild 6.7. Där fogarna inte har kommit att spricka ifrån än har inte samma skador kommit att dominera, t.ex. syns detta på Visby ringmur, på västra muren mot havet, se bild 6.7.



Bild 6.7: Exempel från Visby ringmur visar urlakade kalkfogar bakom cementfogar på södra muren liksom oförstörda cementfogar på västra muren. Så länge fogarna inte har börjat spricka ifrån så har heller inte det accelererade förfallet börjat synas. Det är ovisst hur fort förfallet påverkas då cementfogen väl börjat spricka.

Under 1990-talet ägde en omfattande kampanj rum på Gotland, vilken bar namnet »Rädda Visby Ringmur« (Cnattingius m.fl. 1995). Under dessa år avlägsnades stora mängder av cementfogarna och nya lagningsbruk utprovades. Då gjordes provserier som resulterade i lagningar med två typer av bruk; jordsläckt Gotlandskalk och sand i blandningsförhållande 1:3 till vertikala murytor och ett blandbruk av jordsläckt Gotlandskalk och hydrauliskt Jurakalkbruk till mer utsatta fogpartier i blandningsförhållande 1:1:6 Dessa båda material skiljer sig likväl från originalfogarna som finns bevarade. På flera ställen kan dessutom samma typer av skador avläsas i anslutning till jurakalkbruket som man även kan se i anslutning till cementbruket. I dagsläget finns därmed ingen utprovad metod som ger långsiktig hållbarhet för ruinerna i Visby.

Under februari 2012 skedde ett ras på Visby ringmur som blottade en synnerligen komplex problembild. Murens olika byggnadsskeden visar på en stor variation vad gäller såväl murbruk som konstruktion. Därtill kommer att muren här har lagats på båda sidor med starkt cementbruk under 1900-talet samt att växtlighet i form av murgröna inte har hållts efter. Bakom cementfogarna syns på flera ställen ett gammalt fogbruk av kalk som tagit skada genom frost och urlakning.

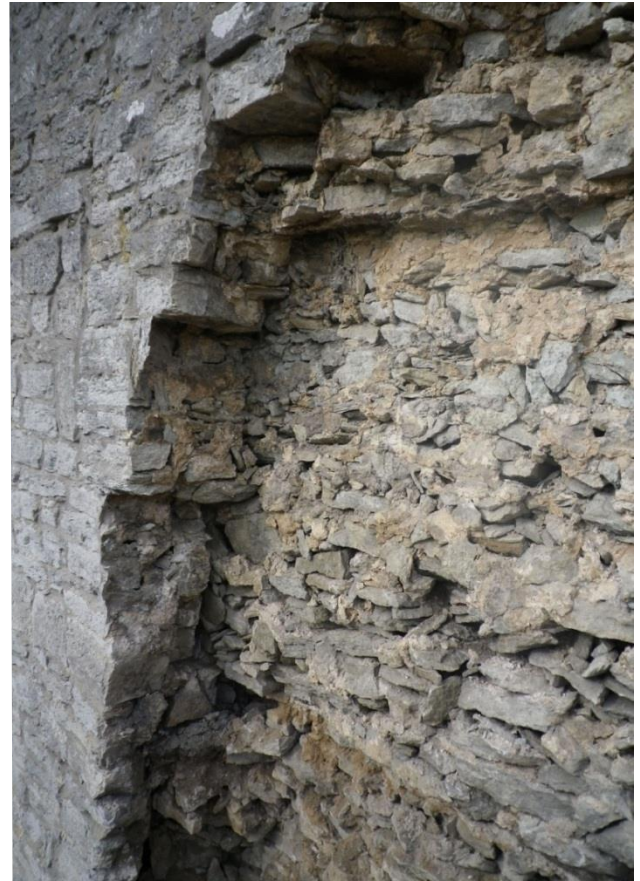
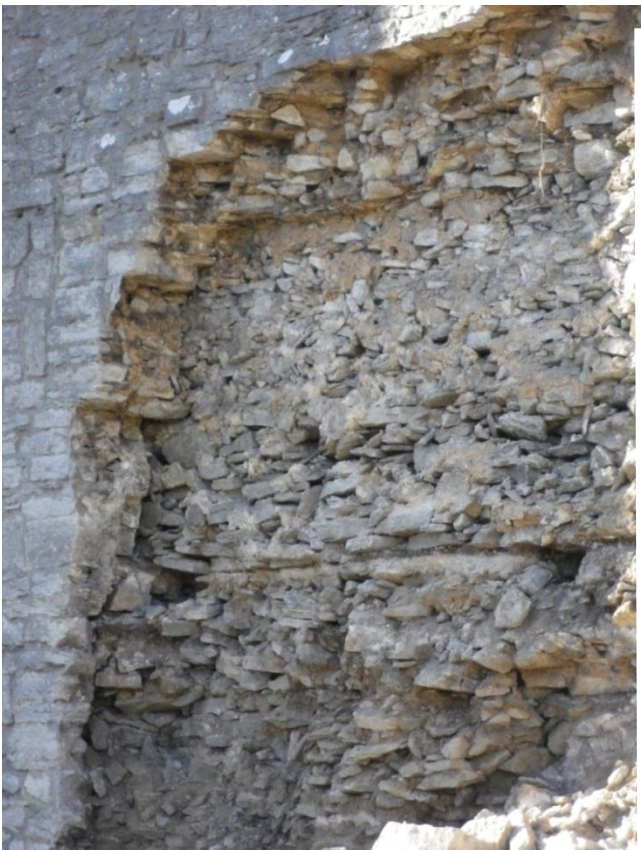


Bild 6.8 Raset på Visby ringmur som inträffade under februari 2012 uppvisar en komplex skadebild. Olika byggnadsfaser innebär stor variation i byggnadsmaterial och byggnadsteknik från början. I nederkant där det finns en murkärna och skalmurar är det olika karaktär på bruket i kärnan och i skalet. Därtill kommer 1900-talets lagningar med täta ytskikt liksom bristande underhåll av växtlighet på murverket.



6.4 LAGNINGSBROK

För att kunna ta fram ett lagningsbruk som är lämpligt för en specifik ruin krävs en djup förståelse för vilka egenskaper som bör efterfrågas hos det nya fogbruket. Egenskaperna gäller såväl hur bruket är att arbeta med som hur dess beständighet påverkas och påverkar. Det är minst lika viktigt att fogen håller mot väta och frost som att den inte utgör en påskyndande faktor för murverkets totala förfall och då främst urlakning av bakomliggande murbruk.

Av lokala material i Sverige är det endast Gotlandskalken som finns att tillgå för en bredare publik och dess egenskaper skiljer sig mycket från bruk i andra delar i landet. Dock har Gotlandskalken den fördelen att aldrig orsaka skador åt andra material. Även om det går att göra bruk som blir både kompakt och frostbeständigt så blir det inte så tätt eller så starkt att det stänger in fukt eller orsakar sprickor i angränsande sten (Balksten 2005).

Under en workshop som ägde rum inom detta projekt, i Visby i september 2011, provades ett antal olika svenska lokalproducerade kalker med syftet att försöka identifiera vilka egenskaper som är av intresse vid appliceringen av lagningsbruk. Gruppen bestod av tre murare från Gotland; Curth Klasén, Mats Larsson och Daniel Sjöberg, en murare från Helsingland; Erik Andersson, en murare/forskare från Västergötland/Göteborgs Universitet; Jonny Eriksson samt en forskare från Högskolan på Gotland; Kristin Balksten. Kalk med olika egenskaper testades; torrsläckt E-kalk från Weber, jordsläckt, våt- och stukalsläckt Gotlandskalk, våt- och stukalsläckt Kinnekullekalk (från Kakeled) samt torrsläckt kalk från Jämtland (från Näversjöberg och Marieby). Skillnaderna identifierades utifrån ett hantverksperspektiv. Att bruket har goda egenskaper att arbeta med är av yttersta vikt när stora murverk skall restaureras.

- Den gotländska kalken ger generellt smidiga och klistriga bruk som är lätta att applicera. Den är dock krympningsbenägen när den blandas som feta murbruk.
- Den våt- och stukalsläckta kalken från Kinnekulle ger ett smidigt och relativt klistrigt bruk. Det upplevs något mindre krympningsbenäget än Gotlandskalken men är också något mindre klistrigt och fett. Denna kalk sätter sig något snabbare än Gotlandskalken och nyper även fast i underlaget mera påtagligt.
- Båda de hydrauliska kalkerna från Jämtland ger tixotropa bruk, dvs. de börjar flyta om man arbetar med bruken trots att de verkar som att de har satt sig. Trots feta blandningsförhållanden så upplevs murbruken som magra och sandiga. De är svåra att bygga upp i tjocka lager då de inte vill klistra sig fast vid stenen. Bruken sätter sig snabbt och det bildas inte så mycket krympsprickor när de väl satt sig.



Bild 6.9 a. Fogstrykning utförd på Visby ringmur under workshop september 2011. Utifrån studier av kvarvarande originalfogar diskuterades utförandet och fogarnas ytstruktur. Att fogarna från början varit utstrukna som här bör ha varit bra för uttorkningen.
b. Originalfogen är på många ställen bevarad på Visby ringmur och då utstruken på stenen.



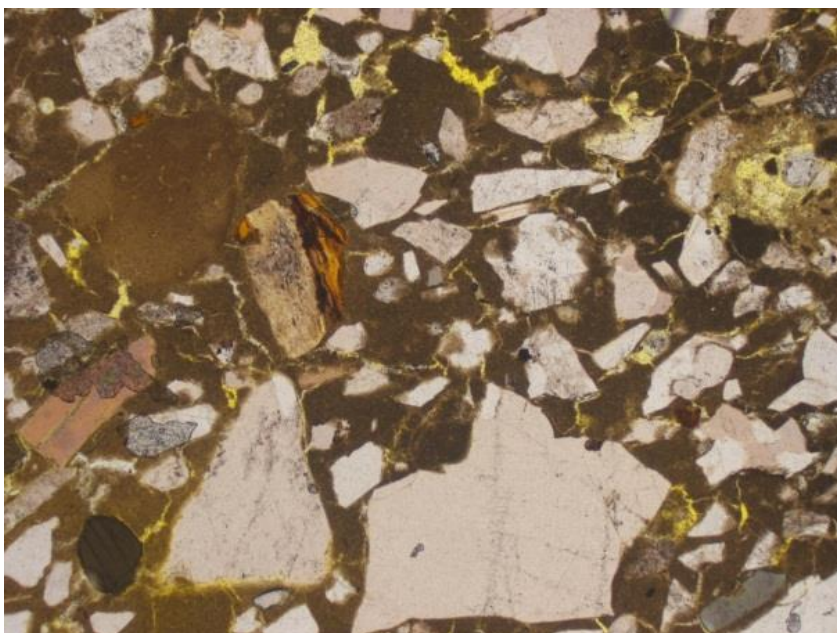
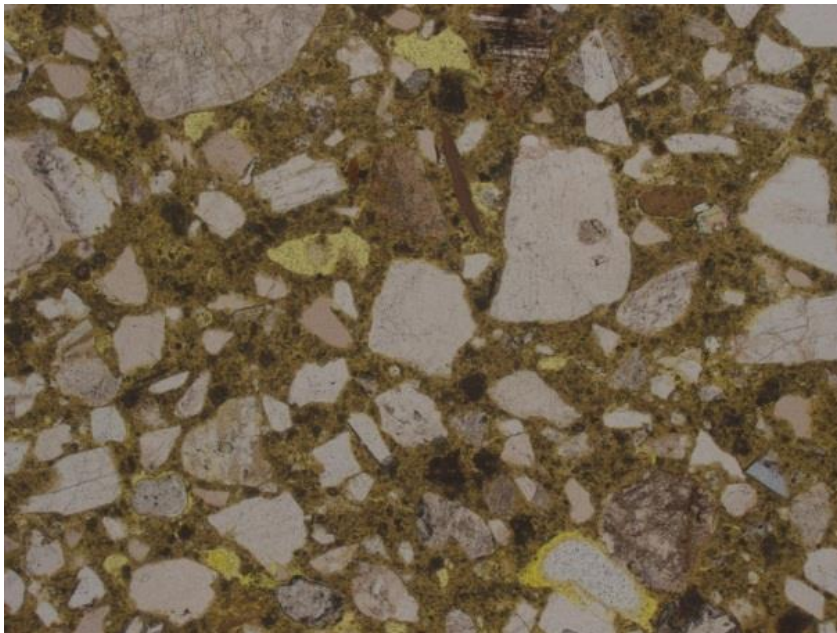
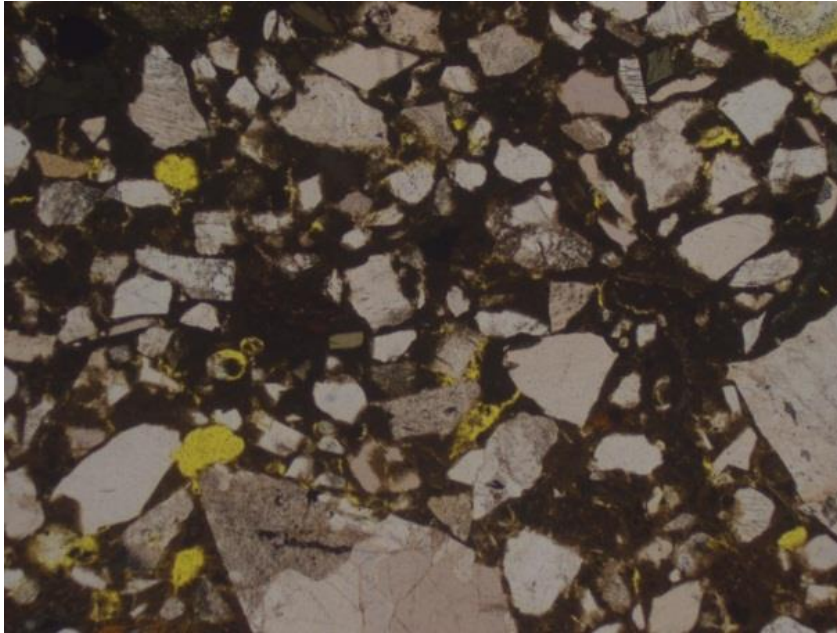


Bild 6.10 Samma sand och samma blandningsförhållande men tre olika sorters kalk från Näversjöberg, Marieby och Gotland ger helt olika typer av kalkbruk.

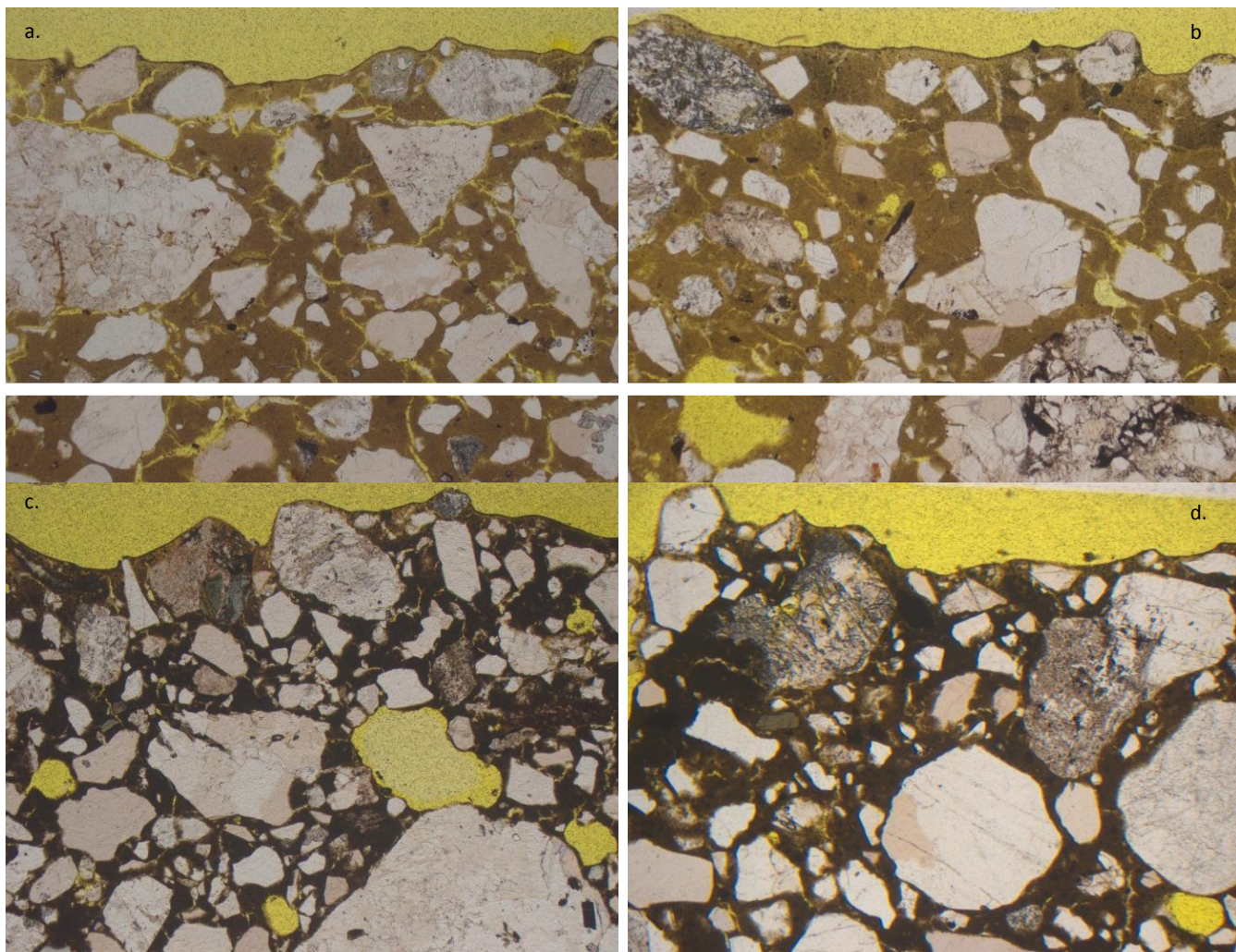


Bild 6.12 Putsbruk av kalk och sand i blandningsförhållande 1:1,75. a. Våtsläckt gotlandskalk. b. Våtsläckt Kinnekullekalk från alunskifferlagret i Kakeled. c. Torrsläckt Isökalksten från Näversjöberg. d. Torrsläckt Kinnekullekalksten från röstenslagret.

En kombination av egenskaperna ovan är önskvärda. Att kunna göra bruket fett så att kalken väl fyller upp sanden och därmed blir kompakt är viktigt för dess beständighet i ett långsiktigt perspektiv. Här är såväl sandens beskaffenhet som kalkens av yttersta vikt. Det skall kunna härda även en bit in i fogen så att det tål väderpåkänningar i form av vatten och frost (Forster 2007). Vid appliceringen är det andra parametrar som avgör. Bruket skall då vara smidigt och något klistrigt men det bör samtidigt kunna göras torrt så att det inte blir alltför krympningsbenäget. Det skall få en god vidhäftning till underlaget och det skall kunna byggas upp i få men tjocka påslag för att vara tidseffektivt att arbeta med. Det bör sätta sig relativt snabbt men framförallt kontrollerat så att ytan hinner bearbetas när bruket har satt sig och fått sin rätta konsistens. Det skall vid bearbetningen kunna kompakteras så att eventuella krympsprickor arbetas igen utan att ytan för den delen blir tät. Ett generellt svar på hur detta skall kunna göras står i dagsläget inte att finna. Av yttersta vikt är dock att hantverkaren känner sitt material så att det kan anpassas utifrån givna förutsättningar.

Utöver dessa egenskaper tillkommer de antikvariska aspekterna med kompatibilitet, materialäktighet och ursprung. Om ambitionsnivån vid restaurering av ruiner är att bevara dess material och avläsbarhet för framtiden så är valet av bindemedel tillika utförande avgörande. Det innebär i princip att först när fogbrukets önskvärda tekniska egenskaper till fullo är identifierade kan val av kalk bestämmas med utgångspunkt i vad som en gång kan ha använts. Problemet är i regel att kunskapen om de lokala materialen och hanteringen av dessa är bortglömt sedan flera generationer.

6.5 FORTSATT FORSKNING

Kunskapen att identifiera lokala kalkkällor, bränningstekniker såväl som släckningstekniker är idag under uppbyggnad på ett fåtal platser runt om i landet och har till viss del kunnat utökas under pågående projekt. Dock är det en lång väg kvar och det krävs tvärvetenskapliga samarbeten för att det skall vara möjligt. Under pågående forskningsarbete inom detta ruinprojekt har kunskapen om olika kalkers egenskaper och vikten av dess samexistens fördjupats samt fortsatt forskningsbehov har kunnat identifieras:

- Att till fullo förstå samspelet mellan hur en viss typ av kalk kan bära olika typer av ballast och därigenom ge olika egenskaper till bruk är en kunskap som fallit bort under 1900-talet.
- Att kartlägga de olika kalkbrukens egenskaper utifrån arbetbarhet, hydraulisk modul, styrka, täthet är sammanlänkat med hur olika typer av kalk fungerar.
- Olika kalksten har olika förutsättningar att ge kalkbindemedel beroende på hur de bränns, släcks och lagras.

KÄLLFÖRTECKNING

Tryckta källor

- Balksten, K., Broström, T. (2004) Permeability in lime plaster in relation to durability of covered materials. Proceedings of the 32nd IAHS World Congress on Housing – Sustainability of the Housing Projects. Trento, Italy 2004.
- Balksten, K (2005) Kalkputs – Porstrukturens betydelse för beständighet. Licentiatuppsats, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola. ISSN 1652-943X.
- Balksten, K (2007) Traditional lime mortar and plaster – Reconstruction with emphasis on durability. Göteborg: Chalmers. Doktorsavhandling. ISBN 978-91-7291-990-7.
- Balksten, K (2009:1) ”Norrlanda, Othem och Fardhem kyrkor: utvärdering av putsarbeten på tornen” Byggnadshyttan på Gotland 2007-2008. Sid. 91-112. Visby: Byggnadshyttan på Gotland. ISBN 91-974679-3-6.
- Balksten, K., Steenari, B-M. (2010) The influence of particle size and structure in hydrated lime on the properties of the lime putty and lime mortar. International Journal of Architectural Heritage Conservation, Analysis, and Restoration, Volume 4 Issue 2 2010
- Bährner, V. (1956) Murbruk och putsbruk: praktisk handbok för murbruk och putsbruk. Malmö: Svenska cementföreningen.
- Cnattingius m.fl. (1995) Rädsla Visby ringmur!: rapport från en kampanj 1989-1995. Danderyd: Cementa. ISBN 91-87334-13-5.
- Dührkop, H. m.fl. (1966) Bruk – Murning – Putsning. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Gorbatshev, R. (1997) Beskrivning till berggrundskartan över Jämtlands län. Uppsala: Sveriges geologiska undersökning. ISBN 91-7158-569-9.
- Henström, A. (1869) Praktisk handbok i lantbyggnadskonsten. Örebro: Beijer.
- Hidemark, O., Holmström, I. (1984) Kalkputs 2: Historia och teknik. Stockholm: Riksantikvarieämbetet. ISBN 91-7192-602-X
- Johansson, S. (2006) Hydrauliskt kalkbruk: produktion och användning i Sverige vid byggande från medeltid till nutid. Doktorsavhandling. Göteborg: Chalmers. ISBN 91-7291-822-5
- Lisinski, J. m.fl. (1987) Gotlandskalk: beskrivning av traditionell kalktillverkning i Hejnum-Djupkvior. Stockholm: Riksantikvarieämbetet. ISBN 91-7192-713-1.
- Nycander, S. (1945) Modern puts teknik. Malmö: Svenska cementföreningen.
- Pasch, G. (1826) Årsberättelser om vetenskapernas framsteg, afgifne af kongl. Ventenskaps-academiens embetsmän d. 31 mars 1827. Stockholm: P.A. Norstedt & söner.
- Rothstein, E. E. von (1875) Allmänna byggnadsläran. Kristanstad: Accent (2003, faksimilutgåva). ISBN 91-89622-12-X.
- Sjöblad, C.G., Engeström, J (1750) Beskrifning, huru kalk skal tilredas ifrån thes första Bränning och til then warder färdig til sitt bruk. Original ur Calle Brobäck's Gotlandicasamling, Maj 2007.
- Sundén, B., Thomasson, J. (2006) Byggnadsarkeologiskt utredning, förundersökning och undersökning: Läckö slott. Malmö: Enheten för Kulturmiljövård. Rapport 2006:011.
- Åsling, N. G. (2000) Kalk och kalkbruk i jämtländska bygder. Alsens hembygdsförening.

Opublicerade källor:

Fornsalens arkiv; handlingar om Visby ringmur

Muntliga källor:

Hidemark, Ove (2010-06-21) Professor Emeritus i Restaureringskonst. Intervju om restaureringen av Skokloster, utförd av Kristin Balksten.

Eriksson, Jonny (2010-2012) Murare och Universitetslektor vid Göteborgs Universitet. Samtal om forskning om Kinnekullekalk, förda med Kristin Balksten.

Internet:

Fornminnesregistret, www.raa.se/cms/fornsok, 2011-05-26

7 ATT FÖRSTÅ VERKNINGSSÄTT OCH FÅNGA GEOMETRIN I HISTORISKA MURVERKSKONSTRUKTIONER

Text & bild: *Carl Thelin, Folke Höst, Clas Rosenberg vid Tyréns AB*

7.1 INLEDNING

7.1.1 ANALYS AV BÄRANDE MURVERKSKONSTRUKTIONER

Med hjälp av murverk – sten, tegel och murbruk – har det i Sverige sedan tidig medeltid skapats enastående byggnadsverk där det tunga materialet tycks fås att sväva ovanför vida rum genom slagning av valv. I de gotiska kyrkorna är samverkan mellan den arkitektoniska och strukturella formen tydlig. Den nödvändiga strukturella formen för att bära murverk genom valv och bågar utnyttjas i det arkitektoniska uttrycket. Dessa historiska murverk skapar rum som genom sin konstruktion är bland de mest imponerande vårt byggda kulturarv kan uppvisa. De har ett oersättligt kulturhistoriskt värde.

De problem som byggnadsvårdsingenjören ställs inför gällande historiska murverkskonstruktioner är ofta relaterade till sprickbildningar och deformationer av murverket. För att kunna ta ställning till om sprickorna och deformationerna innebär en risk för byggnadens fortbestånd eller för användarnas säkerhet krävs en god förståelse för hur historiska murverkskonstruktioner fungerar. Kunskapen kring hur lasten förs genom konstruktionen till grunden och tillgång till praktiska och användbara metoder för att analysera historiska murverkskonstruktioner behövs för att bedöma säkerhet och förstå orsak och verkan bakom skador i konstruktionerna samt för att ta fram lämpliga åtgärder om behov finns. Kunskap och förståelsen av verkningsätt är också nödvändigt om nya tillägg ska göras till en befintlig konstruktion. Ökad kunskap minskar risken för onödiga och direkt felaktiga förstärkningar och skapar förutsättningar för en varsammare restaureringsprocess.

Det finns få svenska skrifter som beskriver murverkskonstruktioners verkningsätt och det har forskats mycket lite på historiska murverkskonstruktioner som lastbärande strukturer i Sverige. En internationell utblick över forskningsläget antyder att det finns två läger som förespråkar olika tillvägagångssätt för analys av historiska murverkskonstruktioner; jämviktsbaserad trycklinjeanalys respektive användandet av verktyg baserade på Finita ElementMetoden.

Oavsett vilken metod som används för att analysera murverkskonstruktioner behövs en korrekt beskrivning av konstruktionens geometri. Strukturens form är helt avgörande för dess bärförmåga och verkningsätt. Samtidigt är geometrin hos historiska murverkskonstruktioner med valv ofta mycket komplex med former som kröker i två olika riktningar eller genom förändringar av geometrin på grund av deformationer.

Syftet med projektet har varit att få en överblick av de metoder för att analysera historiska murverkskonstruktioner som beskrivs i littera-



Figur 7.1. Murverk av gråsten. Kronobergs slottsruin.

turen och den internationella forskningen samt att definiera och utveckla praktiskt tillämpbara metoder både för att fånga valvkonstruktioners komplexa geometri och för analys av verkningssätt.

Målsättningen med projektet var att undersöka och utveckla en praktisk och tillämpbar metod för analys av historiska murverkskonstruktioner för att:

- bättre kunna värdera och bedöma skick och säkerhet hos konstruktionen.
- beskriva och förklara skador och skadeorsaker.
- ta fram säkra och optimala åtgärder vid skador som är varsamma.
- analysera konsekvenser av förändringar (ombyggnad, skador) i konstruktionen.

I projektet har kyrkoruinen S:t Nicolai använts som exempel och studieobjekt.

7.1.2 FORSKNINGSLÄGE

MURVERKSKONSTRUKTIONERS VERKNINGSSÄTT OCH ANALYSMETODER

Med avseende på hur en byggd konstruktion bär last, dess verkningssätt, skiljer sig historiska murverkskonstruktioner väsentligt från moderna konstruktioner av stål, armerad betong och trä. De vanliga metoderna för strukturanalys av moderna konstruktioner som bygger på elasticitetsteori, linjära element som balkar och pelare och isotropa (homogena) material, är inte lämplig för analys av murverkskonstruktioner.

Den vetenskapliga teorin kring verkningssättet hos historiska murverkskonstruktioner tillkom i slutet på 1600-talet och utvecklades under 1700- och 1800-talen. Denna teori glömdes i stort sett bort under 1900-talet när elasticitetsteorin blev dominerande för att dimensionera de nya och moderna konstruktionsmaterialen stål och betong. Utvecklingen av teorierna beskrivs utförligt av Huerta (2008) och Kurrer (2008) och i deras skrifter finns ett stort antal referenser. De gamla teorierna kring murverkskonstruktioners verkningssätt återinfördes till stora delar tack vare Jacques Heyman (1966ff) som införlivade dem i den moderna teorin kring gränslastanalys, se nedan.

Att elasticitetsteorin inte är tillämpbar för historiska murverkskonstruktioner beskrivs på flera ställen (Berggren & Humble 1990, Block 2009, Heyman 1995). Konstruktionerna är i regel flerfaldigt statiskt obestämda (som betyder att lasten kan bäras på flera olika sätt) vilket innebär att det inte är möjligt att beskriva spänningsfördelningen eller trycklinjens (se nedan) position enbart med hjälp av jämviktsvillkor. Om en murverkskonstruktion antas vara linjärelastisk med helt styva fundament kan en spänningsfördelning räknas ut som står i jämvikt med lasten. En sådan lösning för en flerfaldigt statiskt obestämd konstruktion blir extremt känslig för förändringar i upplagsvillkoren och är därför olämplig. Vidare saknar materialet i stort sett förmåga att bära dragkrafter vilket utesluter en normal linjärelastisk analys.

Heyman har sedan 1960-talet skrivit åtskilligt om verkningssättet hos historiska murverkskonstruktioner och strukturanalys av dem. I *The Stone Skeleton – Structural Engineering of Masonry Architecture* (Heyman 1995) är mycket av Heymans forskning om historiska murverkskonstruktioner sammanställt. Han ger där en utförlig beskrivning av hur murverkskonstruktioner fungerar och bär last. Stabiliteten hos murverkskonstruktioner säkras genom att gravitationen ger upphov till hoptryckande krafter i stenarna och murbruket som håller ihop konstruktionen. Murverket bär genom rena tryckkrafter. Endast mycket små dragkrafter kan bäras av materialet. De tryckkrafter som normalt uppkommer i konstruktioner är i regel betydligt mindre än en tiondel av materialets tryckhållfasthet. Hållfasthet i materialet är därmed sällan ett problem för den bärande strukturen i murverkskonstruktioner.

Ett användbart sätt att beskriva murverkskonstruktioners verkningssätt är med hjälp av så kallade trycklinjer. Robert Hooke (1635-1703) beskrev sambandet mellan en hängande kedja som formar en kedjekurva av sin egen vikt och blir belastad med rena dragspänningar och bågen som bär genom rena tryckspänningar. Han formulerade sambandet som ett anagram som översatt till svenska blir ungefär "som den böjliga linan hänger, kommer men inverterat den styva bågen att stå" (*as hangs the flexible line, so but inverted will stand the rigid arch*) (Hooke 1675). Den inventerade hängande linan eller kedjan ger den ideala formen för att bära en specifik last och den beror på längden på kedjan och avståndet mellan

upplagen (Heyman 1995, s 7). Formen som ges av den inverterade kedjekurvan är formen på den så kallade trycklinjen. Trycklinjen beskrivs av bland annat Berggren & Humble (1990) och Huerta (2008) men begreppet tillkom redan på 1800-talet (Huerta (2008) och Kurer (2008) beskriver ingående utvecklingen och personerna bakom). Trycklinjen är resultatanten av kraftflödet genom konstruktionen till upplaget med beaktande av jämviktsvillkoren. En möjlig metod för att finna trycklinjens form är att belasta en hängande kedja med rätt längd och upplag med exakt samma belastning som bågen som ska konstrueras eller analyseras kommer belastas med och inventera formen. Metoden med fysiska modeller har använts både för att skapa konstruktioner som bär genom rena dragkrafter i hängande former och för bågar, valv och skalkonstruktioner. Till exempel har arkitekterna Antoni Gaudi (1852-1926) och Frei Otto arbetat med hängande modeller. Metodiken har också vidareutvecklats för datoranvändning av Killian & Oschendorf (2005).

Heyman visar att det går att tillämpa modern gränslastteori på murverkskonstruktioner (Heyman 1995, Huerta 2008). Han ställer upp tre grundläggande kriterier för murverkskonstruktioners verkningssätt. Kriterierna är förenklingar av verkligheten och måste värderas kvalitativt och undersökas mot förutsättningarna hos specifika konstruktioner.

- Murverk har ingen draghållfasthet.
- Spänningarna i materialet är så låga att murverk i princip har oändlig tryckhållfasthet
- Att brott orsakat av glidning mellan stenar inte uppkommer.

Med dessa tre kriterier visar Heyman att teoremet för säkra sidan (*the Safe Theorem* eller *the Lower Bound Theorem*) fastställer att om det är möjligt att finna ett inre system av krafter som är i jämvikt med lasten och som inte bryter mot sträckgränsen för materialet kommer strukturen att vara säker. För murverkskonstruktioner innebär det att om det är möjligt att finna en trycklinje för de givna lasterna inom en valvbåges geometri är detta ett absolut bevis för att bågen är stabil och kollaps inte uppkommer för det givna lastfallet.



Figur 7.2. Murverk av natursten och tegelsten i blandning. Stjärnorps slottsruin.

Gränslaststeorins teorem för den säkra sidan gör det möjligt att beräkna säkerheten hos murverkskonstruktioner utan antaganden om trycklinjens exakta placering. Det räcker att visa att det finns en trycklinje under den givna lasten som ryms i konstruktionens geometri för att konstruktionen ska vara säker. Trycklinjens verkliga placering är efemär då mycket små förändringar i upplagen kan ge stora förändringar i trycklinjens placering. För att kontrollera säkerheten hos murverksbågar föreslår Heyman (1969, 1995) en geometrisk säkerhetsfaktor (*geometrical factor of safety*). Den geometriska säkerhetsfaktorn fås genom att jämföra en båges geometri med den minsta möjliga geometrin, ”gränsbågen”, som kan bära lasten. Att få fram det exakta värdet på den geometriska säkerhetsfaktorn kan kräva en stor mängd beräkningar. Det är emellertid möjligt att få fram en nedre gräns förhållandevis lätt. Till exempel genom att visa att det går att finna en trycklinje som uppfyller jämviktsvillkoren i den mittersta halvan av bågen. Det innebär att den geometriska säkerhetsfaktorn är två eller högre. Denna teori är möjlig att tillämpa på mer komplicerade tredimensionella konstruktioner som valv och kupoler genom den så kallade strimmetoden (*slicing technique*) (Block 2009, Huerta 2008). Strimmetoden innebär att kupoler och valv delas in i strimmor som bildar enskilda bågar som kan kontrolleras som bågar för att uppfylla villkoren angivna ovan. Går det att finna trycklinjer som uppfyller villkoren i de enskilda strimmorna (bågarna) innebär det att hela konstruktionen är säker. Metoden ligger på säkra sidan eftersom den inte tar hänsyn till det möjliga tredimensionella kraftspelet som sker i konstruktionerna.

Heyman (1995) beskriver också att eftersom murverkskonstruktioner saknar förmåga att ta upp dragspänningar kommer de att spricka för att anpassa sig till förändringar av till exempel grundläggningen. Att murverkskonstruktioner har mer eller mindre synliga strukturella sprickor är därmed normalt och en del av konstruktionen.

GRAFISK ANALYS OCH DATORBASERADE METODER FÖR TRYCKLINJEBASERADE ANALYSER

Grafisk analys är en metod för att bland annat konstruera trycklinjer och undersöka former för kedjekurvor i två dimensioner. Metoden utvecklades under 1800-talet och personerna bakom utvecklingen beskrivs av bland annat Huerta (2008). Metoden beskrivs utförligt i flera äldre skrifter (se till exempel Ungewitter (1901) och Wolfe (1921)). För en modernare utförlig redogörelse och introduktion till metoden hänvisas till Allen & Zalenwski (2010). Det finns även en beskrivning på svenska i Berggren & Humble (1990). Metoden bygger på användningen av kraftpolygoner och kraftdiagram som är kopplade till varandra genom geometriska restriktioner. Metoden möjliggör utforskning av både formen och krafterna där varje förändring påverkar varandra genom de geometriska restriktionerna. Genom användning av strimmetoden ges också förutsättningar att använda grafisk analys för analyser av avancerade tredimensionella konstruktioner. Metoden tillämpades standardmässigt under senare delen av 1800-talet och långt in på 1900-talet för att dimensionera och kontrollera konstruktioner (Huerta 2008). Den traditionella grafiska analysen med papper och penna är dock arbetskrävande, speciellt för mer komplicerade konstruktioner, och det finns alltid risk för misstag.

Active statics är en uppsättning program framtagna av Greenwold & Allen (2003) där grafisk statik har implementerats i ett interaktivt verktyg som ger svar i realtid och som skapar förutsättningar att experimentera och undersöka relationen mellan strukturell form och krafter.

Smars (2000) utvecklade Calipous som är ett program för analys av stabiliteten hos murverksbågar in sin doktorsavhandling. Programmet går att koppla till AutoCad (2012) för att få fram beräkningsgeometrier. Indata ges i textfil efter ett visst format men är inte automatiserat vilket antingen kräver att geometrin skrivs in enligt ett specifikt system eller att en programmeringsrutin skrivs som kan generera indata från koordinater. Programmet finns inte att tillgå utan direktkontakt med Smars och det har inte vidareutvecklats på senare tid även om det finns planer för det. Det går till exempel inte att använda i de senaste operativsystemen.

Det finns ett par kommersiella programvaror som arbetar med gränslastanalys baserat på trycklinjer för analyser av broar med bågar av murverk, Archie-M (2012) och Ring (2012). Programmen kan även hantera tunga rörliga laster. Byggnader har i regel en geometri som

är betydligt mer komplicerad än murverksbroar och för byggnader är rörliga laster inte av intresse.

Vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) har ett verktyg för analys av välvda murverkskonstruktioner baserat på gränslastanalys (*Real-time limit analysis of vaulted masonry buildings*) utvecklats (Block 2005, Block, Ciblac & Oschendorf 2006). Verktöget eller metoden bygger på framtagandet av modeller som gör analysen baserad på grafisk analys parametrisk och interaktiv och minskar det omständiga arbetet med traditionella grafiska metoder. Metoden innebär att alla grafiska konstruktioner som geometrins form och kraftpolygonerna är förberedda i modellen. Genom beräkningar är det möjligt att visa alla möjliga trycklinjelösningar för ett visst lastfall utan att behöva rita om hela konstruktionen. För att bygga modellerna används ett enkelt tvådimensionellt rit- och beräkningsprogram som tillåter uppbyggnad av helt interaktiva ritningar (CABRI II Plus 2012).

Metodikerna som utvecklats vid MIT ligger till grund för de parametriska trycklinjeanalyserna och modellerna som utvecklats inom ramen för detta arbete.

Vid MIT har analysmetoderna baserade på trycklinjeanalys och gränslasteori av murverkskonstruktioner vidareutvecklats för tredimensionella konstruktioner genom användandet av så kallad *Thrust Network Analysis* (TNA) (Block & Oschendorf 2007, Block 2009). Metoden finner möjliga trycklinjebaserade (*funicular*) lösningar under gravitationslast inom en definierad mantelyta. Metodiken finns beskriven i Blocks avhandling men det finns inte någon färdig programvara tillgänglig.

FEM-BASERAD ANALYS AV MURVERKSKONSTRUKTIONER

FEM står för Finita ElementMetoden som är en numerisk metod för att lösa differentialekvationer. Den bygger på att en komplex struktur som ska analyseras delas upp i mindre områden. Den lämpar sig väl för datorbaserade beräkningar. Det finns en stor mängd kommersiella beräkningsprogram som bygger på Finita ElementMetoden.

Linjärelastisk analys med FEM är direkt olämplig för historiska murverkskonstruktioner (Huerta 2008, Block 2009). En elastisk analys förutsätter att materialet ges kända elastiska egenskaper och exakt information om upplagsvillkoren. Resultatet blir en spänningsfördelning i konstruktionen som visar var tryck- och dragspänningar uppkommer. Eftersom materialet inte kan bära dragspänningar ger resultatet inte en korrekt beskrivning av verkningssättet.

Det finns dock möjligheter att genomföra så kallad icke-linjär analys med materialmodeller som tar hänsyn till att materialet inte kan bära dragkrafter. Normalt löses problemet genom en iterativ process där en elastisk analys genomförs först och för de delar av materialet som blir belastat av dragspänningar



Figur 7.3. Murverk av huggen kalksten. S:t Nicolai kyrkoruin, Visby.

simuleras en sprickbildning och en ny beräkning körs med de nya förutsättningarna tills förloppet konvergerar mot en lösning med endast tryckspänningar i konstruktionen. FEM-baserade analyser är inte oproblematiska då murverkskonstruktionerna som ska analyseras oftast är flerfaldigt statistiskt obestämda vilket innebär att små förändringar i randvillkoren, till exempel mycket små rörelser av upplagen, kan ge helt olika spänningsfördelningar vilket kan ge svårtolkade resultat. Analyserna ställer därmed höga krav på ingenjörens förmåga att förstå och tolka resultaten (Kurrer 2008, s 241-243).

MATERIALET MURVERK

Murverk är ett mångfasetterat och komplicerat material. Delvis för att det är ett kompositmaterial som består av en kombination av byggstenar och murbruk (vanligtvis) och delvis för att både stenarna och murbruken kan bestå av olika material. En beskrivning av murverk som konstruktionsmaterial och en genomgång av dess konstruktiva egenskaper ges av D'Ayala (2007) i boken *Structures & Construction in Historic Building Conservation*.

Eftersom murverk består av olika delmaterial finns det olika metoder (homogeniseringsmetoder) för att räkna ut egenskaperna hos murverket från kända egenskaper hos de ingående materialen (D'Ayala 2007, Eurokod 6 2005). Det innebär till exempel att det finns möjlighet att räkna fram hållfasthetsegenskaper för ett murverk om hållfastheten hos stenen respektive bruket är kända. Generella egenskaper hos ingående material och även för sammansatta murverk finns i tabellverk (till exempel Handboken Bygg. T, Byggtabeller (1983)), i äldre handböcker (Hantverkets bok 1936) och andra skrifter (Hesselman 1945).

I boken *Byggnadsarkeologisk undersökning* (Andersson & Hildebrand 1988) finns beskrivningar av historiska murverk i Sverige. Där beskrivs både de olika typer av sten och tegel inklusive bearbetningsmetoder som finns samt olika förband för murverk.

LASERSKANNING AV HISTORISKA BYGGNADER

Laserskanning är en mätmetod som går ut på att ett instrument mäter avstånd med en laserstråle från instrumentet till ett mätobjekt. Genom att låta laserstrålen svepa över ett förutbestämt område kan ett stort antal punkter mätas in. Punkterna sparas som koordinater i en fil och går sedan att använda för att skapa tredimensionella bilder av objektet som skannats.

Användning av laserskanning för att mäta upp och dokumentera historiska byggnader har använts i 10-15 år. Det sker en ständigt och snabb utveckling av både skanningsutrustning, programvara och datorkraft som gör fältet svårt att överblicka. Det har skrivits en uppsjö av artiklar om användningen av laserskanning som uppmättnings- och dokumentationsmetod av både historiska föremål och byggnader (se till exempel Akasheh & Quinterro 2010 eller Jones (2007)). I Sverige har laserskanning nyligen används för byggnadsarkeologisk undersökning och dokumentation vid arbeten på till exempel Läckö slott (Lindberg och Menander 2009), som dokumentationsverktyg i Klara kyrka (Riksantikvarieämbetet 2012) och vid den pågående restaureringen av Stockholms slotts fasader för att få detaljerade fasadritningar.

Att finna litteratur som behandlar användandet av laserskanning för att få indata till beräkningsmodeller av historiska murverkskonstruktioner är betydligt svårare. Schueremans & Vangenechten (2008) beskriver en framgångsrik användning av laserskanning av valven i kyrkan Saint Jacobs i Leuven för att få en korrekt geometri av valvkonstruktionen som grund för en trycklinjeanalys.

7.1.3 METOD OCH BEGRÄNSNINGAR

Projektet har varit inriktat på att finna metoder och lösningar som är praktiskt tillämpbara för analys av historiska murverkskonstruktioner. En genomgång av det aktuella forskningsläget har gett underlag till de metoder vi valt att arbeta vidare med. Som studieobjekt och utgångspunkt för projektet har kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby använts. Ruinen och dess bevarande har bidragit till de frågeställningar som legat till grund för arbetet. De metoder som undersökts och utvecklats har också testats på S:t Nicolai. Metoderna bygger på strukturmekanisk modellering och simulering med hjälp av dator för att studera verkningssättet hos historiska murverkskonstruktioner.

De antal strukturtyper med olika förutsättningar som de olika metoder som utvecklats i projektet har testats på har begränsats av den tid och de resurser som varit tillgängliga. Tester har i huvudsak gjorts på konstruktioner från S:t Nicolai. Det har heller inte varit möjligt att genomföra en fullgod genomgång av forskningsläget och litteraturen avseende icke-linjära analyser med FEM inom ramen för projektet. De genomförda studierna av icke-linjär FEM-baserad analys får ses som ett inledande test och en första sammanställning av vilka möjligheter som finns. Val av programvara för FEM-analyser har styrts av tillgång på programvara inom projektet. Däremot har kopplingen mellan att fånga komplexa geometrier med hjälp av laserskanning och överföra dessa till tredimensionella beräkningsmodeller undersökts grundligt.

I studierna av verkningssättet hos historiska murverkskonstruktioner har det statiska beteendet undersökts. Påverkan av rörelser i grundläggning eller andra deformationer berörs men några analyser av dess påverkan har inte ingått.

7.2 MURVERKSKONSTRUKTIONER

Murverk är ett samlingsnamn för material som består av stenar av olika material (natursten, tegelsten eller betongsten) som normalt sitter samman med ett murbruk som tillsammans med stenen bildar murverket. Materialet murverk kan därmed uppvisa stora variationer i egenskaper. Ur ett strukturmekaniskt perspektiv har murverken gemensamt att de har en låg draghållfasthet och en hög tryckhållfasthet. Dessa grundförutsättningar hos materialet ger också förutsättningar för hur murverk används som byggnadsmaterial. De byggnader och konstruktioner som byggs av murverk måste vara anpassade efter materialets förutsättningar för att fungera.

7.2.1 STRUKTURMEKANISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

För att skapa förståelse och för att kunna beskriva hur historiska konstruktioner fungerar och bär sin last kan strukturmekaniska analyser göras. Strukturmekaniska analyser genomförs vid nybyggnad för att verifiera att konstruktionen som ska byggas uppfyller krav på att vara stabil, hållbar och inte ge för stora deformationer. Strukturmekanisk analys kan också användas för att undersöka befintliga konstruktioner. För analysen krävs att en beräkningsmodell ställs upp (Thelin 2006, Berggren & Humble 1990). En beräkningsmodell består av fem delar:

- Materialmodell
- Strukturmodell
- Geometrimodell
- Lastmodell
- Upplagsmodell

De strukturmekaniska förutsättningarna för respektive modell med avseende på historiska murverkskonstruktioner redovisas under respektive rubrik.

MATERIALET MURVERK (MATERIALMODELL)

Murverk är ett kompositmaterial som består av stenar av olika slag som normalt ligger i murbruk. Historiska murverk består av natursten som antingen kan vara obearbetad eller bearbetad i olika grad eller av konstgjorda tegelstenar. Stenarna läggs i förband av olika typ för att skapa murverk. Förbanden gör att stenarna låser varandra och skapar stabilitet. Murbruket består av sand, bindemedel och vatten. Beroende på vilka ingående material som används och hur bruket tillverkas får det olika egenskaper (Balksten 2007, Dührkop 1966). Murverk utan murbruk kallas för kallmurade murverk. Kallmurade murar används sällan i byggnader ovan mark men förekommer däremot som grundmurar och som stenmurar.



Figur 7.5. Murverk av tegelsten. S:t Laurentii kyrka i Söderköping.

Natursten har använts som byggnadsmaterial under lång tid. De vanligaste svenska byggstenarna är granit, gnejs, kvarts, sandsten och kalksten (Andersson & Hildebrand 1988). Stenarna har bearbetats olika mycket från att användas helt obearbetade till rektangulärt formade kvaderstenar med jämna ytor. Granit och gnejs är hårda bergarter som kräver mycket arbete för att forma stenen vilket gör att murverk av dessa ofta består av stenar med oregelbunden form och i olika storlekar. För att tillverka kvadern användes i regel mer lätthuggna bergarter som sandsten och kalksten. Kalkstenen har dessutom ofta en tydlig skiktning, tydliga sedimenteringslager, vilket gör att den ofta spricker i platta former som är förhållandevis lätta att mura med. Stenens form påverkar möjligheten att lägga i skift vilket ger olika struktur och utseende, se figurer 7.1-7.5.

Tegel tillverkas av lera som bränns vilket gav stenar av enhetlig storlek och form. Dock kan

äldre tegelstenar som handslogs uppvisa variationer i storlek. Tegelstenen är mindre och lättare än naturstenen vilket gör den mer lätthanterlig vid uppbyggnaden av murverk. Tegelsten började användas i Sverige på 1200-talet. Tegelmurverk får sin speciella karaktär genom skiftläggningen och förbanden (Andersson & Hildebrand 1988, s 55, Hantverkets bok 1936, s 164)

Murverk har många gånger byggts med en kombination av olika naturstenar eller med kombinationer av natursten och tegel. Tidigt användes tegelsten ofta till fönsteromfattningar och gavelrösten även om det övriga murverket var av natursten.

Se tabell 7.1 för exempel på tekniska egenskaper hos natursten och tegelsten.

Tabell 7.1 Tekniska egenskaper hos sten, tegel och bruk taget från Handboken Bygg Byggtabeller (1983)				
Material	Densitet (kg/m ³)	Tryckhållfasthet (MPa)	Draghållfasthet (MPa)	E-modul (MPa)
Granit, gnejs	2700	300	-	66 000
Kalksten	2700	180	-	-
Sandsten, kalцит	2100	-	-	-
Sandsten, kvartsit	2700	280	-	50 000
Tegelsten	1300-1900	25-45	2,5-8	4 000-27 000
Kalkbruk	1700	0,5-1,0	-	2 000-5 000
Kalkcementbruk	1800	3,5-10	-	10 000
Cementbruk	2000	15-25	-	20 000-30 000

Murbrukets egenskaper styrs av egenskaperna hos de ingående materialen och av tillverkningsprocessen (Balksten 2007). Den faktor som mest påverkar de konstruktiva egenskaperna är bindemedlet som till exempel kan vara kalk, cement eller gips. Murbruk för byggnader delas normalt in i rena kalkbruk, hydrauliska bruk och cementbaserade bruk. De olika bruken har olika egenskaper se exempel i tabell 7.1.

Eftersom murverk består av två komponenter (sten och murbruk) med olika egenskaper är murverk svårt att modellera och analysera strukturellt. För att kunna beskriva murverk som ett konstruktionsmaterial behöver dess hållfasthets och styvhets egenskaper definieras. Om egenskaperna är kända för de respektive ingående materialen finns det så kallade homogeniseringsmetoder för att få fram representativa egenskaper för det sammansatta materialet (D'Ayala 2007, Eurokod 6 2005). I äldre skrifter finns tabeller för egenskaper hos olika sammansatta murverk (Hantverkets bok 1936, Hesselman 1945). En sammanställning av exempel på värden på tryckhållfasthet från litteraturen återges i tabell 7.2.

Tabell 7.2 Sammanställning av hållfasthetsvärden från litteraturen.

	Tryckhållfasthet i angiven enhet	Tryckhållfasthet i MPa (N/mm ²)
Hantverkets bok (1936). Värden fastställda av Stockholms stads byggnadsnämnd med säkerhetsmarginal.		
Vanligt murtegel i kalkbruk	7 kg/cm ²	0,7
Vanligt murtegel i cementblandat bruk	10-12 kg/cm ²	1-1,2
Hårdbränt tegel i cementblandat bruk	12-15 kg/cm ²	1,2-1,5
Ur von Rothstein (1859) taget från Äldre murverkshus (Berggren & Humble 1990). Värden "som med säkerhet kan bäras" vilken innebär en säkerhetsfaktor på ca 10 jämfört med värden som anges för brott.		
Kalksten	2984 skålpund/tum ²	20,9
Tegel väl bränt gott	3040 skålpund/tum ²	21,3
Tegel illa bränt	165 skålpund/tum ²	1,2
Murbruk av fet kalk och sand 14 år gammalt	870 skålpund/tum ²	6,1
Murbruk av dålig kalk	155 skålpund/tum ²	1,1
Murbruk av hydraulisk kalk och sand	1864 skålpund/tum ²	13
Äldre murverkshus (Berggren & Humble 1990). Värden från text och värden från diagram		
Riktvärde tillåten påkänning tegelmurverk i gott skick		0,7
Vid lokalt tryck vid exempel bjälklagsupplag		1,4
Diagram för tegelkonstruktioner, murbruk 1 MPa		7
Hesselman (1945). Enligt normer från 1800-talet. Brottssäkerheten kan antagas 10- à 20-faldig. Vid valvkonstruktioner och murade pelare av relativt större höjd i förhållande till tvärsektionsarean bör endast halva värdet användas.		
Vanlig tegelmur i kalkbruk	4 kg/cm ²	0,4
Bättre tegelmur i kalkbruk	7 kg/cm ²	0,7
Gott hårdbränt maskinslaget rödtegel eller eldfast tegel i cement	14 kg/cm ²	1,4
Cementbruk	10-12 kg/cm ²	1-1,2
Kallmur av sprängsten, vällagd	10 kg/cm ²	1
Kallmur av kilad sten, vällagd	20 kg/cm ²	2
Granitmur av sprängsten i cement	25 kg/cm ²	2,5
Granitmur av huggen sten i cement	50 kg/cm ²	5
Granit	60-120 kg/cm ²	6-12
Stenhandboken (Stenkartoteket: Svensk-Norskt stenkartotek 2003). Exempel kalkstenar		
Norrvange (Gotland)		118
Södervange (Gotland)		104
Kappelshamn (Gotland innehåller mycket fossil)		82
Öland grå		156-195
Ljusgrå Borghamn		160
Handboken Bygg Byggtabeller (1983).		
Granit (gnejs)		300
Kalksten		180
Tegelsten		25-45
Kalkbruk		0,5-1,0
Kalkcementbruk		3,5-10
Cementbruk		15-25

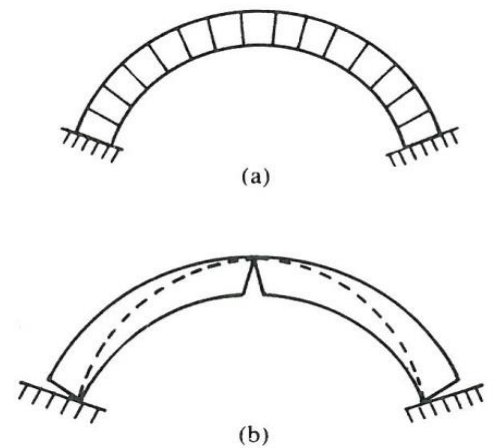
Det finns dock en stor mängd osäkerheter förknippade med att bedöma befintliga murverks specifika egenskaper. Dels är egenskaperna hos de ingående stenarna mer eller mindre kända och dels har historiska murverk vittrat i olika grad. I en ruin som stått utan tak kan till exempel stora delar av murbruket ha lakats ur murverket. En metodik att hantera osäkerheter i materialens förutsättningar utvecklas vid Katholieke Universitet Leuven (Schueremans 2006, Schueremans & Verstrynge 2008).

DEN BÄRANDE STRUKTUREN (STRUKTURMODELL)

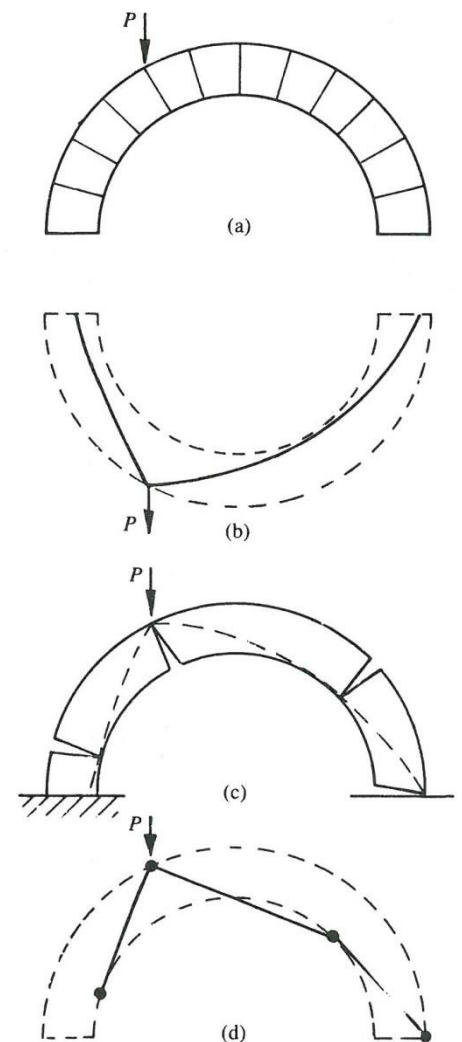
Stenens och murbrukets förutsättningar innebär att murverkskonstruktioner i princip måste bära hela sin last genom fördelning av tryckkrafter. Konstruktioner byggda av murverk behöver sålunda ha en form som gör att endast tryckkrafter behövs för att bära konstruktionens last. Uppkommer dragkrafter i konstruktionen kommer den att spricka. Verknings sättet (det vill säga på vilket sätt lasten förs genom konstruktionen ner till grundläggningen) blir som ett flöde av tryckkrafter genom konstruktionen. Se genomgång under murverkskonstruktioners verknings sätt och analysmetoder ovan.

Murverkskonstruktioner spricker normalt. Sprickor indikerar att byggnaden under sin levnad varit utsatt för rörelser i den omgivande miljön (Heyman 1995, s 23). Se till exempel en enkel murverksbåge som i figur 7.6. När valvformen avlägsnas kommer bågen att börja trycka snett utåt mot upplagen. Upplagen kommer då oundvikligen att deformeras något och bågen kommer då inte att passa perfekt mellan upplagen utan måste anpassa sig efter förändringen i spännvidd. Denna anpassning måste då ske genom att bågen spricker, se figur 7.6. Dessa sprickor kan illustreras och karaktäriseras som gångjärn i konstruktionen. I realiteten kan dessa sprickor vara hårfina eller inte ens vara synliga men de påverkar likväl kraftspelet och placeringen av trycklinjen. Sprickbildning är fullt naturlig och är inget tecken på kollaps. Formandet av "gångjärn" ger också information om verknings sättet då trycklinjen måste passera på motsatta sida av sprickans öppning. För fallet i figur 7.6 innebär det att bågen blivit en känd och statiskt bestämd tre-leds båge som går att analysera med jämviktsvillkor. Detta verknings sätt innebär också att historiska murverkskonstruktioners deformationer i huvudsak inte är elastiska utan snarare resultatet av att konstruktionen delas in delar förbundna genom "gångjärn" som tillåter vissa rörelser (Huerta 2008). Denna typ av sprickbildning och deformationsmönster är en del av murverkskonstruktionens bärande struktur.

Eftersom materialet kan anses ha en "oändlig" hållfasthet uppstår kollaps genom instabilitet i konstruktionen (Heyman 1995). För en murverksbåge uppstår ett "gångjärn" som medger rotation när trycklinjen tangerar geometriens ytterkant. Tre sådana gångjärn gör en båge statiskt bestämd men ett ytterligare gångjärn kan medföra att bågen blir en mekanism som riskerar kollaps. Om en båge belastas med en tillräckligt stor punktlast kommer fyra gångjärn skapas som leder till kollaps, se figur 7.7.



Figur 7.6. Valvbåge som spricker för att anpassa sig efter upplagsförhållanden. Sprickbildningen är nödvändig för valvbågens funktion och valvbågen är stabil trots sprickbildningen. (Figur av Heyman 1995).



Figur 7.7. Kollaps av en halvcirkulär båge som belastas med en punktlast. (Figur av Heyman 1995).

MURVERKSKONSTRUKTIONERS GEOMETRI (GEOMETRIMODELL)

Murverksbyggnaders stomme består av en grundläggning som bär upp vertikalt bärande delar i form av väggar eller pelare som i sin tur bär upp horisontella bärande delar som spänner över rum. Är de rumsöverspännande konstruktionerna av murverk består de av olika typer av valv eller kupoler. Öppningar i väggar spänns över med valvbågar.

Murverk i väggar kan vara fullmurar som är massiva och homogena eller skalmurar som har två yttre skal som är murade med tuktad natursten eller kvadersten i noggranna förband men har en inre kärna som består av blandat stenmaterial och bruk som inte är lagt i förband.

Väggar som är tunna i förhållande till sin höjd och den horisontalbelastning de utsätts för kan vara försedda med kontreforter som förstärkning mot risken för stjälpning.

Den yttre geometrin hos väggar och pelare är i regel inte komplicerad utan kan i beräkningssammanhang ofta approximeras med raka linjer. Valv och valvbågars geometri kan vara betydligt mer komplicerad. Valvbågar har ofta ett symmetriskt utseende och följer geometriska former. Dock kan deformationer i konstruktionen förändrat formen på valv och valvbågar.

Valven som spänner över rum har ofta en komplicerad tredimensionell form som långt ifrån alltid är symmetrisk. Valvkappor kan ha en komplex dubbelkrökt geometri, det vill säga de kröker olika mycket i olika riktningar.

Formen på valv och valvbågar styrs både av konstruktiva förutsättningar och av arkitektonisk utformning. Vad som är vad kan ibland vara svårt att urskilja och ofta används den nödvändiga strukturella formen för att även ge ett arkitektoniskt uttryck.

Valvbågar finns i en uppsjö olika former som cirkelbåge, korgbåge, segmentbåge, ellipsbåge, spetsbåge, parabelbåge, tudorbåge, klöverbåge, hästskobåge och stigande båge (Hantverkets bok 1936). Beroende på förhållandet mellan spännvidd och pilhöjd benämns valvbågar som överhöjda (pilhöjden är högre än halva spännvidden) eller förtryckta (pilhöjden är mindre än halva spännvidden).

Även valv som spänner över rum finns i en stor mängd olika former. Beskrivningar kan hittas på annat håll (Andersson & Hildebrand 1988, Bálint 2005 eller Hantverkets bok 1936). Här ges några exempel på vanliga valvtyper i Sverige och deras geometri.

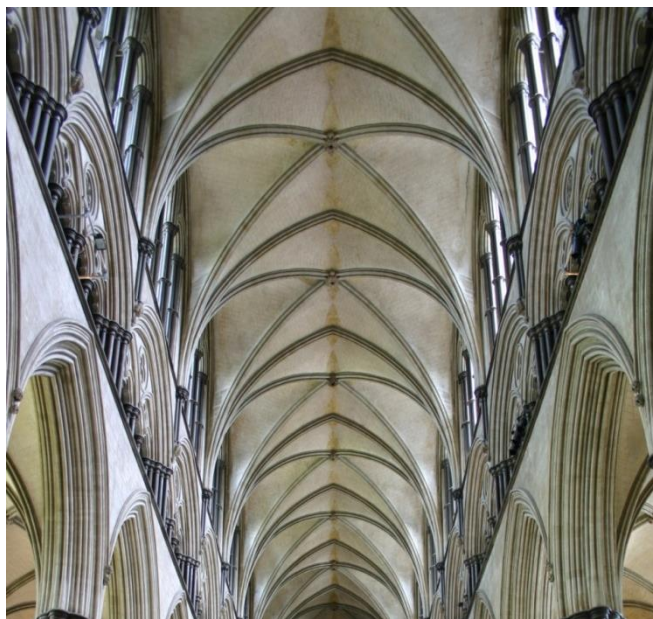
Ett TUNNVALV är egentligen en långsträckt båge. Grundformen är en halvcylinderyta men kan ha olika form (korg-, parabel- eller ellipsbåge). Tunnvalvet har en tydlig riktning och står på långsträckta väggar, se exempel figur 7.8.

KRYSSVALVETS grundform bildas av två lika höga cylinderformade ytor som möts i 90 grader och där delarna som ligger under skärningslinjen är borta. De diagonalt gående valvbågarna som bildas i vecket kallas för kryssbågar. Fördelen med ett kryssvalv är att det kan bäras upp av endast pelare i hörnen och kan därmed användas för att skapa öppna rum. I ett rakt kryssvalv har valvkuporna en rak skärningsform i hjässan och i ett bågformigt kryssvalv har valvkuporna en bågform. Kryssvalv kan vara stigande, vilket innebär att valvets hjässa ligger högre än de omgivande gördel- och sköldbågarnas hjässor, eller vara bröstformigt vilket innebär att valvets hjässa ligger lägre än de omgivande gördel- och sköldbågarnas hjässor. Kryssvalv kan vara mer eller mindre kupolformade vilket ibland benämns kupolformade valv eller tältvalv. Det innebär att de är kraftigt stigande. Grundformen för raka kryssvalv (som alltså inte är stigande, bröstformiga eller bågformigt) innebär att valvkapporna endast kröker i en riktning. Valvet består av formen av två raka korsande tunnvalv. Den geometrin är inte särskilt komplicerad även om den kan vara nog så besvärlig att mäta upp. Om kryssvalven däremot har någon annan form innebär det att valvkapporna blir krökta i två riktningar, se figurer 7.11 – 7.13, vilket ger en form som är betydligt svårare att beskriva geometriskt. Se figurer 7.9 – 7.13 för exempel på kryssvalv.

STJÄRNVALVET är i grunden ett kryssvalv som har delats in i fler valvkappor åtskilt av ribbor (valvstrålar), se exempel figur 7.14. Ribborna används dels som dekorativa element men de ger också en förstärkning av valvet. Det finns ett stort antal varianter av stjärnvalv (Karlsson 1986).



Figur 7.8. Mindre tunnvalv över sakristian i Vederlövs gamla



Figur 7.10 Kryssvalv över långhuset i katedralen i Salisbury



Figur 7.9. Kryssvalv i Marka kyrka.



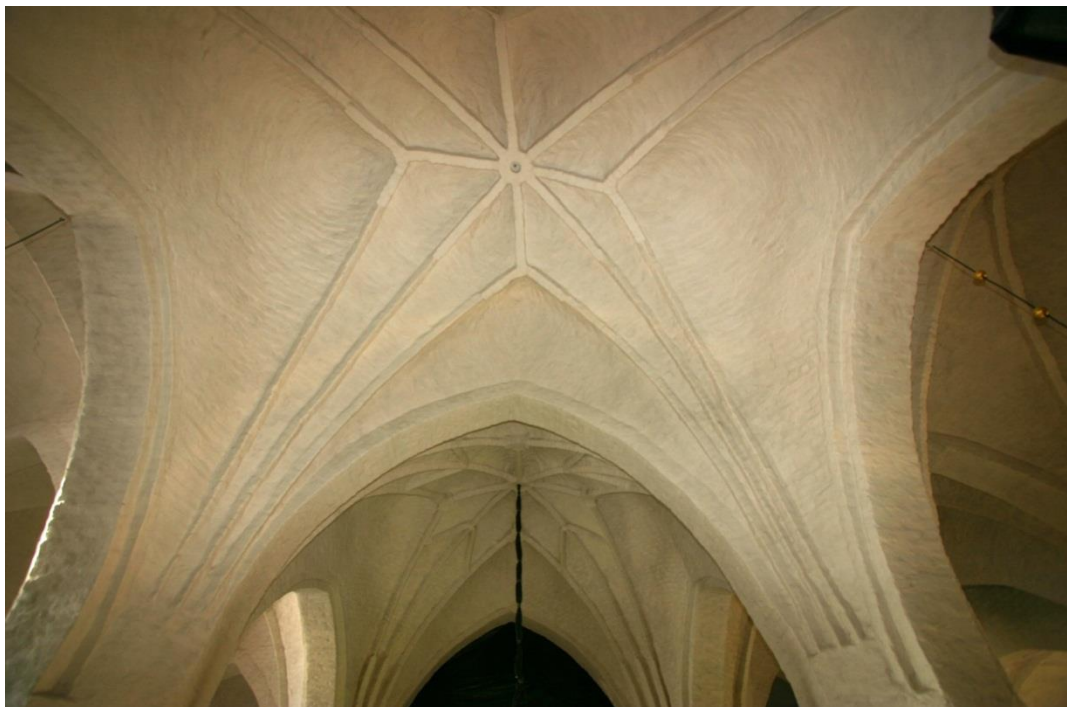
Figur 7.11. Kryssvalv över sidoskeppet i kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby. Valvet är mycket stigande vilket innebär att valvkapporna i regel kröker i mer än en riktning.



Figur 7.12. Ovansidan av kryssvalven över långhuset på Rogslösa kyrka i Östergötland. Valven är kupolformade och mycket stigande.



Figur 7.13. Valvens ovansida på kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby. Valven är kupolformade och stigande.



Figur 7.14. Stjärnvalv i S:t Laurentii kyrka i Söderköping.

LASTER (LASTMODELL)

Den helt dominerande lasten som ska bäras i en murverkskonstruktion är normalt murverkets egentyngd. Egentyngden ges av densiteten och volymen hos murverket. Övriga laster som nyttig last och vindlast är vanligtvis små jämfört med egentyngden. Vindlast som ger en ökad horisontell belastning kan i vissa fall verka ogynnsamt och förstärka uttryckningskrafter från konstruktionen. Även snölast kan i vissa fall ge en ökad vertikal och horisontell last från takkonstruktionen. Vindlast, snölast och nyttig last fås från svensk standard (Eurokod 0 och 1, 2004).

GRUNDLÄGGNING (UPPLAGSMODELL)

Grundläggningen för historiska murverksbyggnader ser olika ut beroende på markens förutsättningar och när byggnaden är byggd (Andersson & Hildebrand 1988, Berggren & Humble 1990, Björk, Reppen & Kallstenius 1992). Medeltida kyrkor kan till exempel ha en förvånansvärt grund grundläggning. Grundläggningen ger upplaget till byggnaden och skall överföra lasten från byggnaden till marken. Grundens beskaffenhet och funktion har i regel mycket stor inverkan på kraftspelet i konstruktionen och många av de problem som rör murverkskonstruktioner har ofta sin orsak i rörelser i byggnadens grundläggning.

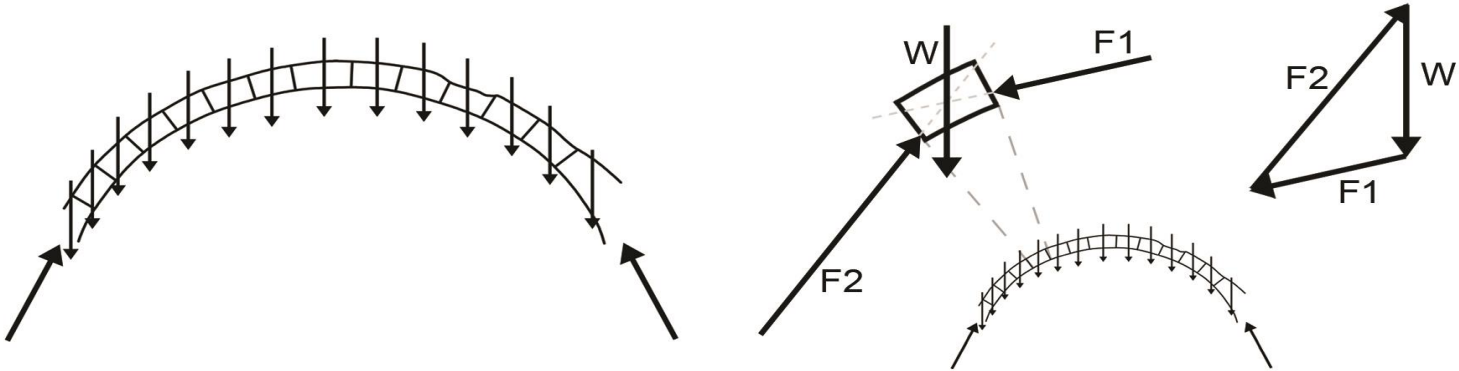
7.3 ANALYS AV MURVERKSKONSTRUKTIONER

7.3.1 PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS

I grafisk analys illustreras krafter i skala med pilar eller streck som anger kraftens storlek och riktning. Detta möjliggör att rita kraftpolygoner som illustrerar kraftfördelningen i en konstruktion (Allen & Zalewski 2010). Den huvudsakliga lasten i historiska murverkskonstruktioner är murverkets egentyngd. Egentyngden ges av materialets densitet och volym. Det innebär att den konstruktion som ska analyseras måste delas in i rimligt stora enheter (volymdelar) vars tyngdpunkt identifieras för att i tyngdpunkten kommer kraften från enhetens egentyngd att verka, se figur 7.16. Hur denna indelning i enheter görs bör anpassas efter det objekt som ska analyseras. I vissa fall vid mindre konstruktioner, som för bågen i figur 7.15, kan det vara lämpligt att låta varje enskild sten bli en enhet. I normala fall måste murverket betraktas som en homogen struktur och indelningen i enheter ske efter den totala geometrins form och en rimlig mängd enheter för att dels få ett bra resultat och dels få en rimlig arbetsbörda, se figur 7.17.



Figur 7.15. Exempel på valvbåge av sten där varje valvsten utgör en relativt stor del av hela bågen och kan därför användas för indelning av valvet i enheter. I figuren till höger är valvbågen indelad i enheter efter de enskilda valvstenarnas storlek.

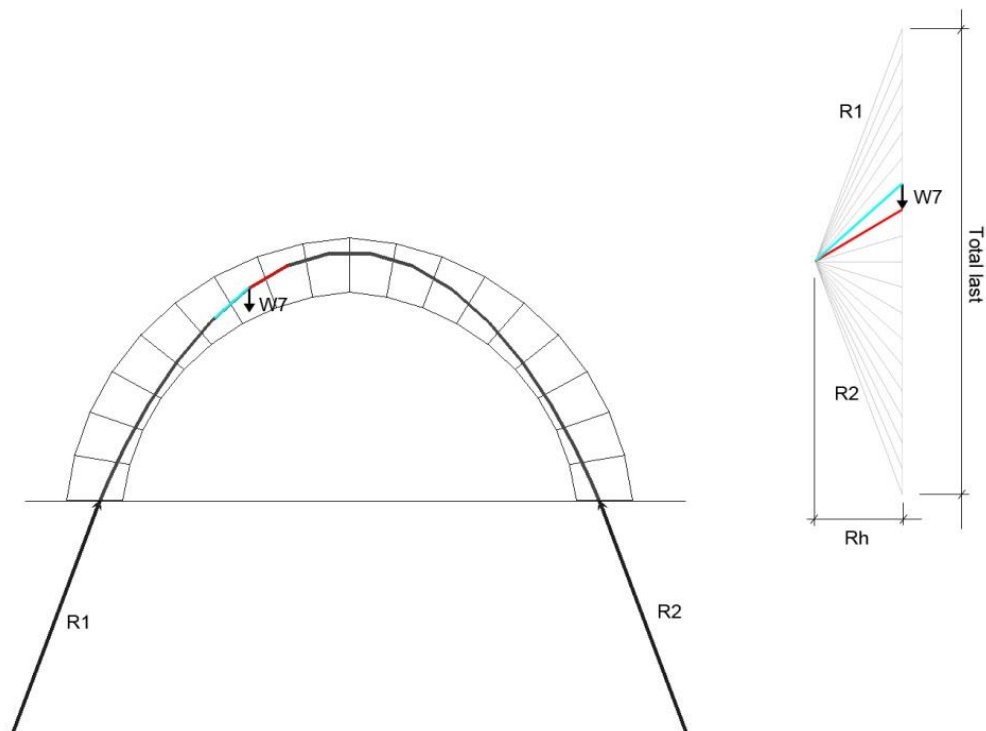


Figur 7.16. Den vertikala lasten från de enskilda enheternas egentyngd verkar i enheternas tyngdpunkt. Figuren till höger visar krafterna som verkar på en valvenhet. Grafisk analys bygger på uppriktande av kraftpolygoner i jämvikt enligt figuren.



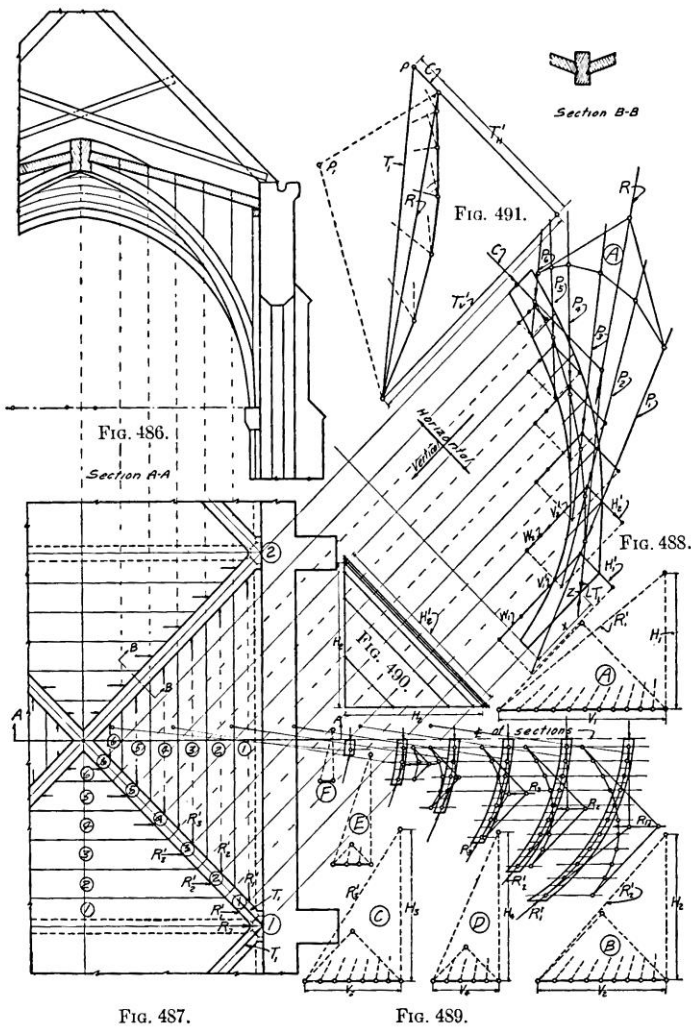
Figur 7.17. Valvbåge av tegel. De enskilda tegelstenarna utgör en mycket liten del av den totala bågens storlek. Det är inte rimligt att dela in konstruktionen i de enskilda stenarna utan murverket får betraktas som ett homogent material som delas in i geometriskt lämpliga enheter. Till exempel enligt figuren till höger.

I figur 7.16 illustreras hur varje enhet belastar konstruktionen med sin egentygnd vilket illustreras med kraftpilen riktad genom enhetens tyngdpunkt. Detta är den huvudsakliga last som ska bäras av konstruktionen. Kraftflödet i konstruktionen regleras genom att konstruktionen är i jämvikt vilket innebär att lasten i varje enhet balanseras av de krafter som verkar från de omliggande enheterna, se figur 7.16. Vi lyfter ut en enhet ur konstruktionen och betraktar jämviktsförhållanden för den. För att enheten ska vara i jämvikt måste krafter från egentygnden balanseras av krafter från de intilliggande enheterna. Ritas detta i skala enligt tekniken för grafisk analys går det att illustrera jämvikten för den enskilda enheten med en kraftpolygon enligt figur 7.16. Detta sätt att illustrera jämvikt mellan krafter är grunden till grafisk analys. Krafterna F_1 och F_2 som balanserar egentygnden W i figur 7.16 utgör en del av trycklinjen i konstruktionen. I grafisk analys tillämpas denna metodik på hela konstruktionen.

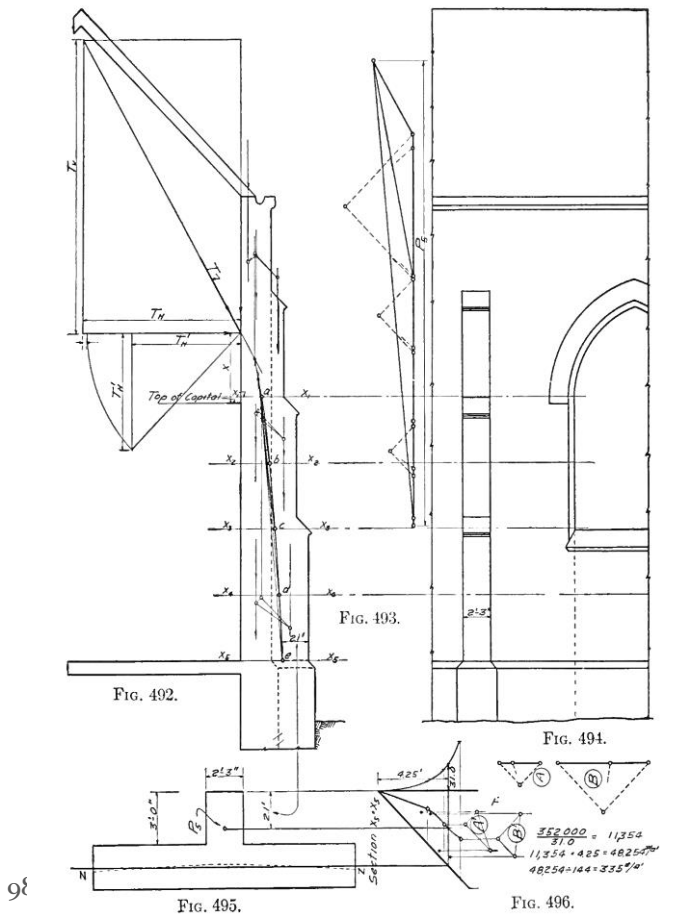


Figur 7.18. Grafisk analys av valvbåge. Varje valvenhet ger ett tillskott till den vertikala lasten som sätts samman i en kraftpolygon. Den sammanlagda sträckan motsvaras av den totala lasten. Varje valvenhet balanseras av krafter från de intilliggande enheterna enligt kraftpolygonen. Ju längre ner mot anfangen ju större blir krafterna eftersom den sammanlagda lasten från valvenheterna ökar. De yttersta krafterna i polygonen kan utläsas som valvbågens reaktionskrafter eller upplagskrafter (R_1 och R_2). Den horisontella uttryckningskraften från bågen kan utläsas som kraftpolygonens höjd R_h .

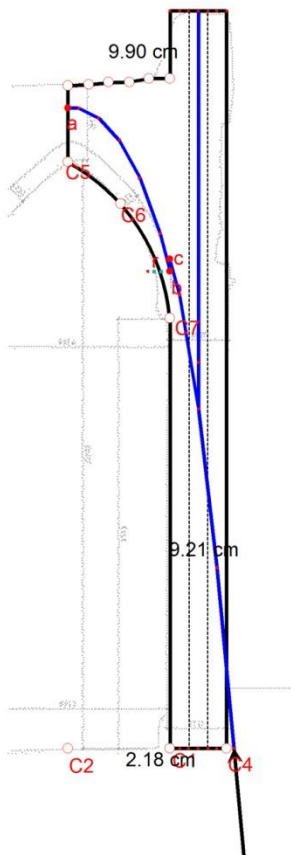
För en genomgång av grafisk analys och olika metoder att skapa trycklinjer beroende på vad man vill undersöka eller illustrera hänvisas till Allen & Zalewski (2010). I figur 7.18 illustreras hur metodiken är uppbyggd med ett samspel mellan kraftpolygon och trycklinje. Att genomföra grafisk analys med papper och penna för hand är ett mycket tidsödande arbete och det ställer stora krav på mycket noggrant genomförande. Vid analys av en konstruktion behöver oftast olika förutsättningar undersökas (till exempel ändringar i laster eller dimensioner) och därför kan flera olika placeringar av trycklinjen behöva undersökas. I figurerna 7.19 och 7.20 visas ett exempel på grafisk analys genomförd för en konstruktion med kryssvalv (Wolfe 1921).



Figur 7.19. Figur av avancerad traditionell grafisk analys från Wolfe med strimmetod (Wolfe 1921).



Figur 7.20. Fortsättning på analysen i figur 19 enligt Wolfe. Analys av trycklinjens placering genom vägg och strävpelare (Wolfe 1921).



Figur 7.21. Exempel på import av figur som läggs i bakgrunden i CABRI II Plus. I detta fall kommer figuren från ett sektionssnitt uppritat i AutoCad som baserats på en laserskanning av valvet och pelaren som analyseras.

Den traditionella grafiska analysen bygger på att analyserna genomförs på tvådimensionella bågkonstruktioner. Mer komplexa tredimensionella strukturer delas in i tvådimensionella strukturer som analyserna görs på. Detta gäller även analysmetoden som utvecklats inom ramen för projektet. Att metoden är baserad på tvådimensionella trycklinjeanalyser innebär att tredimensionella strukturer behöver delas in i lämpliga imaginära strimor som i sig själva kan analyseras tvådimensionellt men i sammanställning tar hänsyn till tredimensionella förhållanden. Den tredimensionella strukturen reduceras till en kombination av tvådimensionella problem som lättare kan analyseras. Denna metodik kallas strimmetoden (*slicing technique*) och utvecklades under 1800-talet och beskrivs bland annat av Ungewitter (1901). Se figur 7.19 för ett historiskt exempel på användning av strimmetoden.

Att genomföra trycklinjeanalyser av avancerade historiska murverkskonstruktioner med traditionell grafisk analys är knappast möjligt i reella konsultuppdrag dels på grund av att metodiken är allt för tidskrävande och dels för att den ställer höga krav på skicklighet med att rita korrekt i skala. Genom att använda en datorbaserad metodik för att genomföra grafisk analys kan metoden göras effektivare och mer användbar. De datorbaserade modellerna får inte de små fel som byggs in när analyser görs förhand utan är helt korrekta. En sådan metodik har utvecklats vid Massachusetts Institute of Technology (MIT) och deras Masonry group (Block 2005, Block, Ciblac & Ochsendorf 2006) med hjälp av ett tvådimensionellt interaktivt ritprogram vid namn CABRI II Plus (2012). Det är samma program och deras metodik som ligger till grund för de analysverktyg som utvecklats inom ramen för detta projekt.

CABRI II Plus är ett interaktivt rit- och beräkningsprogram utvecklat för att användas för undervisning i matematik. I programmet går det att konstruera geometriskt kontrollerade modeller som bygger på grundprincipen för grafisk analys där kraftpilar ritas med storlek och riktning i skala i kraftpolygoner. Den stora skillnaden och fördelen med detta är att olika delar som geometri eller restriktioner för trycklinjen kan regleras interaktivt i modellerna med ett direkt svar på hur detta påverkar kraftspelet i konstruktionen som analyseras – interaktiv grafisk analys. Har en modell för den konstruktionstyp (till exempel en treskeppig byggnad) som ska analyseras byggts upp i programmet kan den användas för att jämföra sådana konstruktioner av olika storlek, med olika tjocklekar på väggarna eller valven m.m. utan att konstruktionen behöver ritas om eller en ny trycklinje behöver konstrueras för varje förändring som görs. Detta skapar möjligheten att på ett snabbt och effektivt sätt jämföra hur olika förutsättningar påverkar en konstruktion eller för att jämföra skillnader mellan olika konstruktioner.

I programmet är det också möjligt att importera figurer eller foton som gör att modellerna kan skapas med en korrekt beskrivning av den geometri som konstruktionen som analyseras har, se figur 7.21.

Efterhand som modeller skapas fås en katalog med modeller att utgå ifrån vid analyser av konstruktioner. I de flesta fall är historiska murverkskonstruktioner uppbyggda efter specifika mönster och med ett antal olika byggkomponenter (till exempel väggar, bågar och kryssvalv). Många av de modeller som byggs upp kan därför återanvändas för olika byggnader och konstruktioner. Att skapa en helt ny modell är ett tidskrävande arbete som ungefär motsvaras av den arbetsinsats som den traditionella metodiken beskriven i figur 7.19 kräver. När modellen väl är skapad kan den återanvändas och anpassas till alla konstruktioner med samma grundform.

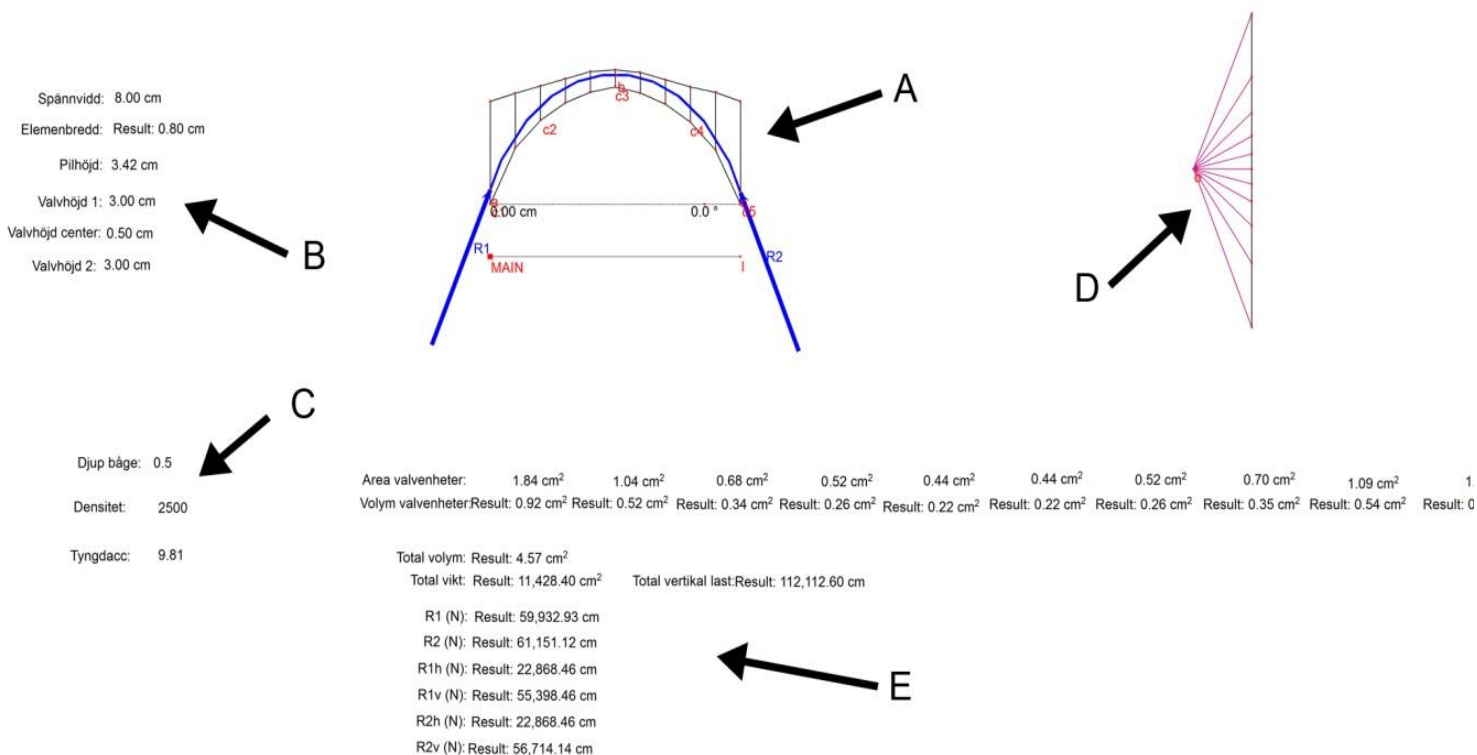
Varje uppsättning laster har tillsammans med den spännvidd de överbryggat en "familj" med former för att bära i rent tryck eller drag, *a family of funicular forms* (Allen & Zalewski 2010, ss 40-43). I princip innebär det att det finns ett oändligt antal former på trycklinjen som kan uppfylla jämviktskraven för lasterna och spännvidden. Den korrekta formen på trycklinjen kan ofta vara omöjlig att känna till (på grund av osäkerheter i till exempel grundläggning eller i konstruktionen) mer än att vi vet att den måste rymmas innanför

konstruktionens geometri för att konstruktionen ska vara stabil. Alla de former på trycklinjen som uppfyller jämviktskraven för en uppsättning laster och upplagsvillkor utgör en familj. Metoden, utvecklad vid MIT (Block 2005, Block, Ciblac & Ochsendorf 2006), gör det möjligt att visa och undersöka alla möjliga lösningar för trycklinjen för en viss uppsättning laster och en viss geometri utan att behöva rita om hela konstruktionen.

Utöver de laster från egentygnden som genereras direkt från geometrin i modellerna är det möjligt att införa ytterligare laster i modellerna. I de modeller som utvecklats för att analysera en treskeppig konstruktion med valv, sköld- och gördelbågar, pelare och väggar finns möjligheten att lägga till både vertikala och horisontella laster från valvkapporna i analyserna av gördelbågar och pelare. Möjligheten att lägga till "externa" laster kan också vara intressant för att undersöka påverkan av till exempel nya byggnadsdelar vid en ombyggnad.

BÅGAR MELLAN PELARE ELLER VÄGGPARTIER

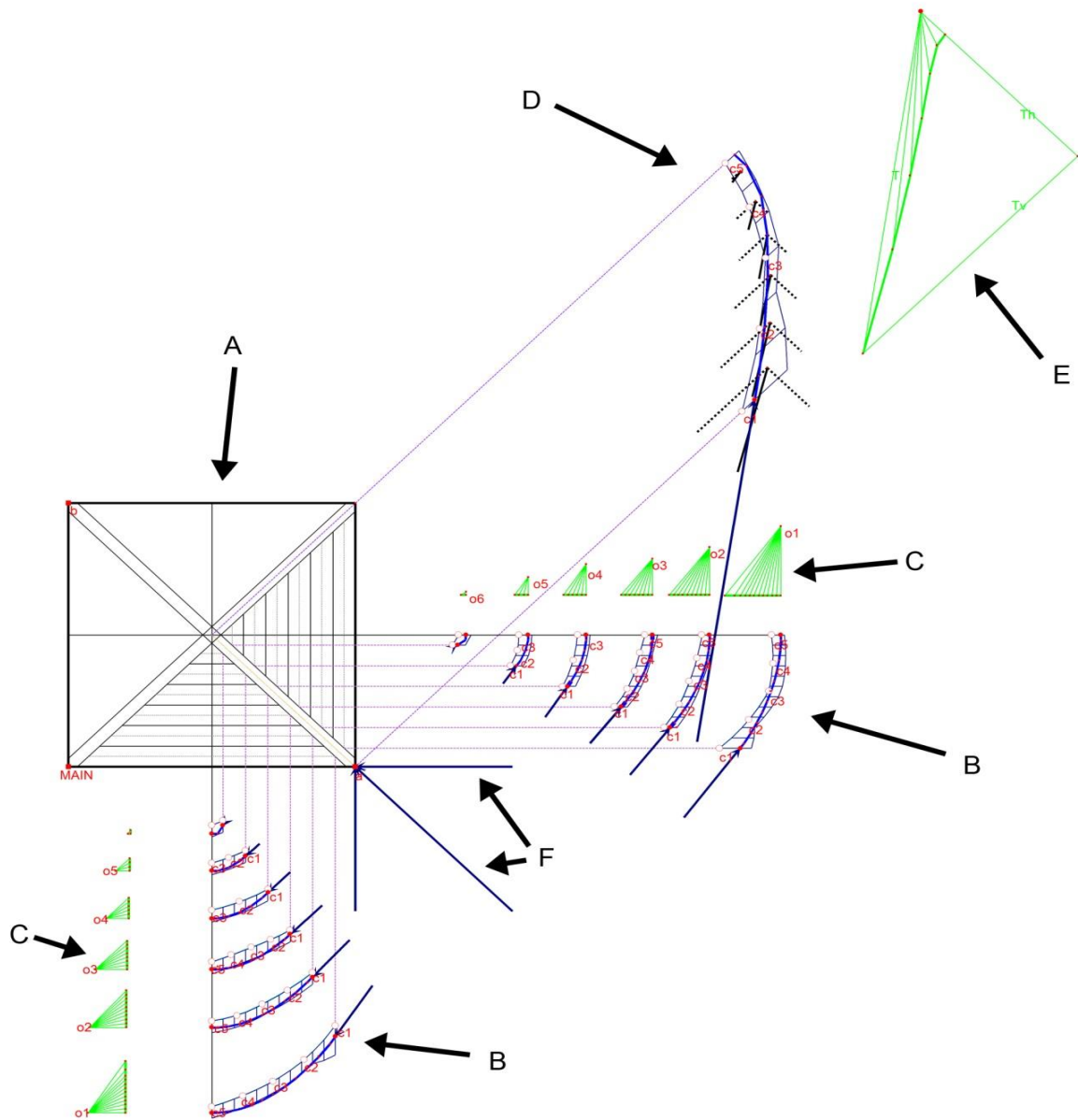
Den första modellen används för att analysera bågar som är placerade mellan pelare eller väggpartier, till exempel gördelbågar eller sköldbågar. Modellens uppbyggnad presenteras i figur 7.22. Modellen skulle också gå att använda för att analysera strävbågar med mindre modifikationer. Som modellen ser ut nu går det att analysera "inaktiva" strävbågar men inte strävbågar som belastas med en extra horisontell last vilket oftast är deras roll i konstruktionen.



Figur 7.22. Analysfil för valvbågar mellan pelare eller väggpartier. A – geometrin som ställs in med kontrollpunkter. Trycklinjens placering kontrolleras genom tre punkter, vid varje anfang och vid bågens hjässa. B – Indata som ges av geometrin som ställs in vid A. C – indata för bågens djup, materialets densitet och tyngdaccelerationen. D – kraftpolygonen. E – De resulterande krafterna.

KRYSSVALV MED STRIMMETODEN

Modell nummer två används för att analysera kryssvalv med hjälp av strimmetoden. Modellens uppbyggnad presenteras i figur 7.23. Eftersom strimmetoden bygger på att det tredimensionella valvet delas in i tvådimensionella bågar finns det en inneboende säkerhetsmarginal eftersom det tredimensionella kraftflödet inte tas med i analysen.



Figur 7.23. Analysfil för trycklinjeanalys av kryssvalv med strimmetoden. A visar geometrin för kryssvalvet sett från ovan. Här anges valvets dimensioner i planet. Valvkappornas och kryssbågens tjocklek och storleken på fyllnadsmassor anges i indata. Varje valvkappa delas in i sex stycken strimmor som bär från kryssbåge till kryssbåge. Genom symmetri analyseras halva strimmorna vid B. Den krökta formen för varje strimma kan ställas in med kontrollpunkter och därmed formas efter det verkliga valvets geometri. Trycklinjens placering i varje strimma kontrolleras vid anfang och vid strimmans hjässa. C – anger kraftpolygonerna för strimmorna. D - kryssbågens analyseras som en egen strimma som utöver sin egen belastning belastas med reaktionskraften från valvkappornas strimmor. E – anger kryssbågens kraftpolygon. Vid F fås den horisontella uttryckningskraften i olika riktningar.

Indelningen i strimmor enligt modellen i figur 7.23 är lämplig för raka kryssvalv. För andra valvformer kan det vara lämpligt att använda andra indelningar beroende på geometrins form (Ungewitter 1901).

VALVBÅGE ELLER TUNNVALV MED VÄGGAR ELLER PELARE

Modell nummer tre används för att analysera enkla valvbågar eller tunnvalv mellan två pelare eller väggar. Modellens uppbyggnad presenteras i figur 7.24. Modellen kan användas i kombination med modellen för kryssvalv genom att det går att lägga till vertikala och horisontella laster från kryssvalv mot vägg eller pelare.

VALVBÅGAR I EN TRESKEPPIG KONSTRUKTION

Modell nummer fyra används för att analysera treskeppiga konstruktioner. Modellens uppbyggnad presenteras i figur 7.25. I modellen antas att mittskeppet är symmetriskt. Vid både mittskeppet och sidoskeppet finns möjlighet att lägga till vertikala och horisontella laster från kryssvalv mot vägg och pelare. Kraftspelet i en konstruktion som består av gördelbågar och kryssvalv blir komplicerat genom att sidoskeppens valv kommer att agera som strävpelare för valv över mittskepp vars vertikala last bärs ner i slanka pelare.

7.3.2 SAMMANFATTNING PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS

Metoder baserade på trycklinjeanalyser är lämpliga för att analysera valvkonstruktioner av murverk. Metodiken innebär att endast lösningar i jämvikt och som uppfyller materialets egenskaper med låg draghållfasthet beaktas. Vederhäftiga analyser kan genomföras utan osäkra antaganden om upplagsvillkoren och materialets elastiska förutsättningar. Processen att konstruera eller analysera trycklinjer och deras samband med lasten och geometrin ger en intuitiv förståelse för konstruktionens verkningssätt.

Metoden kan också ge en direkt förståelse av orsaken till sprickor i murverkskonstruktioner. Möjligheten att experimentera med trycklinjens placering beroende på förändringar av last, geometri och upplagsvillkor ger ingenjören ett verktyg för att undersöka hur olika faktorer påverkar konstruktionens verkningssätt. Genom sin visuella karaktär är trycklinjeanalys ett pedagogiskt verktyg som kan användas för att beskriva murverkskonstruktioners verkningssätt för olika kompetenser i ett projekt.

Den parametriska trycklinjeanalys som tillämpats och vidareutvecklats i projektet har flera fördelar jämfört med traditionell grafisk analys. Den effektiviserar processen och eliminerar risken för fel i konstruktionen av kraftpolygoner. Metoden ger en direkt pedagogisk respons till användaren kring hur lasten påverkar trycklinjens form. Den ger möjligheten att snabbt kunna göra jämförelser mellan olika konstruktioner och lösningar. Detta kan användas både för att finna lämpliga åtgärder vid problem eller för att göra byggnads-historiska studier genom jämförelser mellan olika konstruktioner av samma typ.

7.3.3 FEM-BASERADE ANALYSER

Ett alternativ och komplement till ovan beskrivna trycklinjeanalys är användandet av kommersiella beräkningsprogram baserade på Finita ElementMetoden (FEM). Inom ramen för projektet har en mindre studie av möjligheten att använda beräkningsprogram som kan genomföra så kallade ickelinjära analyser genomförts.

BERÄKNINGSMETOD OCH PROGRAMVAROR

Då historiska murverkskonstruktioner i regel är flerfaldigt statiskt obestämda är det svårt att veta hur spänningsfördelningen ser ut i konstruktionen. Även om en elastisk spänningsfördelning som står i jämvikt med lasten kan antas och räknas fram blir lösningen mycket känslig för förändringar i upplagsvillkor. Eftersom materialet i stort sett saknar förmåga att bära dragkrafter fungerar inte normal linjärelastisk analys. Det krävs en analysmetod som tar hänsyn till att materialet saknar bärförmåga vid dragkrafter och spricker där sådana uppkommer i konstruktionen. Materialet behöver modelleras som ickelinjärt. Dyliga analyser innebär tungt beräkningsarbete vilket innebär att datorberäkning baserad på Finita ElementMetoden är lämplig.

Inom ramen för projektet har två datorprogram testats: ATENA engineering (2012) från Cervenka Consulting samt Brigade+ (2012) från Scanscot Technology. Brigade+ baseras på det generella FEM-programmet Abaqus standard. Brigade+ är utformat som ett komplement till Abaqus för att bland annat hantera trafikklaster. I fortsättningen benämns programmet Abaqus eftersom de relevanta funktionerna för vår tillämpning ryms inom detta. Att dessa två program testats inom ramen för projektet beror på att de klarar av icke-linjära beräkningar och att de funnits tillgängliga.

Atena är främst avsett för olinjära FEM-beräkningar för betongkonstruktioner, men materialdata som motsvarar murverk kan matas in. Abaqus är ett generellt FEM-program som kan hantera en mycket stor mängd material och beräkningsmetoder.

Vid kontrollberäkning av ett relativt enkelt beräkningsexempel (tunnvalv som belastas excentriskt) hamnar skillnaden i resultat från de båda programmen på cirka 5 procent. Små skillnader i indata kan ligga bakom denna skillnad. I Atena modellerades valvet med raka segment vilket kan påverka tryckbågens läge i konstruktionen i kritiska snitt. Materialmodellerna som använts i programmen är olika vilket också innebär att resultatet till viss del kan påverkas.

En stor skillnad mellan programmen är hanteringen av geometrisk indata för 3D-analyser. I Atena finns i nuläget ingen möjlighet att direkt importera färdiga objekt med olika filformat. Detta kan däremot göras enkelt i Abaqus. I Atena matas koordinater in för hand eller efter viss handpåläggning via en lista i en indatafil. Atena förefaller enkelt att använda för relativt begränsade geometrier, men passar inte lika bra för den typ av relativt komplexa geometrier, med krökta ytor och därmed många koordinater, som förknippas med historiska murverkskonstruktioner.

För att kunna hålla nere projekteringskostnader på rimliga nivåer är det viktigt med effektiva och kraftfulla beräkningsverktyg. Hanteringen av geometrisk indata gör att Abaqus lämpar sig bättre för 3-dimensionell analys än Atena och därmed har det fortsatta arbetet koncentrerats på att undersöka Abaqus tillämpning och förutsättningar för icke-linjär analys av murverkskonstruktioner.

MATERIALMODELLER

I Abaqus standard finns två färdiga materialmodeller för betong: *Concrete Smeared Cracking* och *Concrete Damaged Plasticity*. Ingen av modellerna hanterar verkliga makrosprickor, utan hänsyn till sprickornas effekt tas genom att sprickornas påverkan på spänningar och materialstyvhet tas med i beräkningarna. Med *Concrete Smeared Cracking* kan sprickor visualiseras som mindre sprickor i varje element i ett sprickområde. De verkliga sprickorna kan vara färre och större, men effekten är densamma. Motsvarande visualisering för *Concrete Damaged Plasticity* saknas, men kan åstadkommas genom att plastiska töjningar redovisas. Plastiska töjningar sker vinkelrätt sprickriktningen när sprickornas sidor dras isär.

Beräkningar med Abaqus inom denna studie har utförts med *Concrete Damaged Plasticity*. I denna materialmodell finns olika möjligheter att definiera materialbeteendet efter att sprickor uppstått. Ett spännings-töjnings-samband eller ett spännings-förskjutnings-samband kan anges. Vid oarmerade konstruktioner som murverk bör spännings-förskjutnings-samband användas. Spännings-töjnings-samband är känsliga för hur fin elementindelningen är, särskilt i fall med lokala sprickområden där ett ökat antal element inte medför fler sprickor. Eftersom töjningen blir densamma i ett stort och ett litet element blir förskjutningen, det vill säga töjningen multiplicerad med elementets längd, större i det större elementet. Detta innebär att en grövre elementindelning ger större spricka än en finare elementindelning. Med ett spännings-förskjutnings-samband blir storleken på en lokal spricka oberoende av elementets storlek. I beräkningar inom denna studie har därför ett spännings-förskjutnings-samband använts.

Värden för de olika materialparametrar som ska definieras i modellen kan tas fram genom provning och genom litteratur som beskriver aktuella materials egenskaper. De materialvärden som använts inom denna studie är valda med avsikt att vara rimliga men har inte bekräftats med försök. Bristen på exakta värden på olika materialparametrar kan vägas upp av parameterstudier eller känslighetsanalyser som visar hur olika parametrar på-

verkar resultatet. I realiteten behöver ofta detta tillämpas vid studier av historiska konstruktioner då det normalt råder osäkerheter kring materialens egenskaper och andra förutsättningar.

För att modellera murverkets egenskaper används en mycket låg draghållfasthet (0,01 MPa har använts i de flesta av beräkningarna inom denna undersökning). En låg draghållfasthet innebär att sprickenergin som absorberas i konstruktionen blir låg, och därmed bör draghållfasthetens inverkan på konstruktionens stabilitet bli liten. Ett alltför lågt värde på draghållfastheten medför beräkningsmässiga svårigheter, se nedan. Enligt Abaqus manual kan draghållfastheter som ligger under 1/100 till 1/1000 av värdet för tryckhållfastheten medföra problem med beräkningar som inte konvergerar.

PARAMETERSTUDIE AV MATERIALMODELLER

En parameterstudie har utförts för att få indikationer på vilka materialparametrar som har särskilt stor betydelse för beräkningsresultaten. Studien är utförd med en modell av ett tunnvalv med tjocklek 120 mm.

Följande materialvärden har använts i referensmodellen (förenklad sammanställning):

Elasticitetsmodul: 520 MPa

Poissons tal: 0,15

Tryckhållfasthet: 1,3 MPa

Draghållfasthet: 0,01 MPa

Sprickenergi: 0,6 N/m

Dessa värden är inte att betrakta som förslag för vidare beräkningar, utan är avsedda för att göra jämförande beräkningar.

I parameterstudien kunde det konstateras att värdet på draghållfastheten spelar roll för hur brottbeteendet blir i modellen. Med en alltför låg draghållfasthet i materialmodellen påverkas också materialets tryckhållfasthet genom att sprickor parallellt tryckriktningen uppkommer. Det innebär att en alltför låg draghållfasthet ger ett orealistiskt beteende i modellen. För dessa försök har det visat sig att draghållfastheten inte bör ges lägre värde än cirka 1/130 av tryckhållfastheten. Det är viktigt att indata och resultat granskas och bedöms utifrån rimlighet och iakttagelser.

Parameterstudien visade också att en ökning av tryckhållfastheten påverkade resultatet mycket lite vilket bekräftar att antagandet om "oändlig" tryckhållfasthet är rimlig för konstruktionernas övergripande verkningssätt.

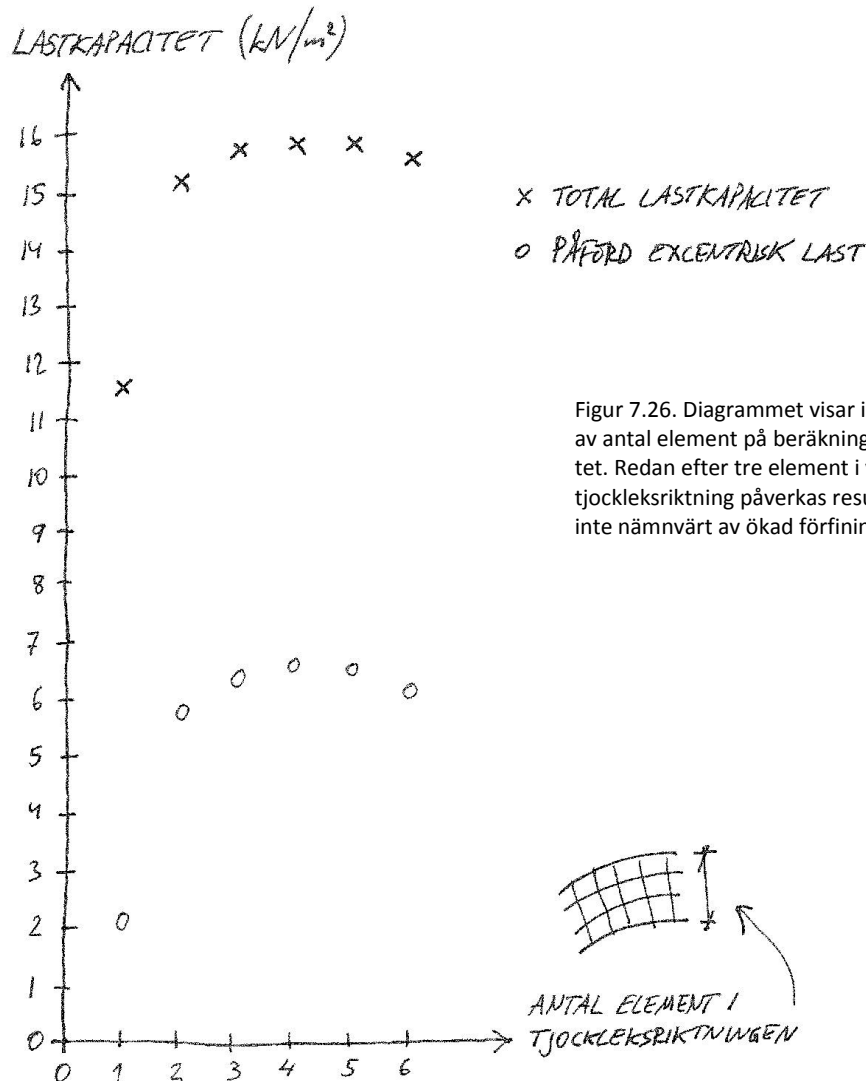
Parameterstudiens resultat visar att geometrin är central för bärförmågan i en valvkonstruktion. Därför ställs höga krav på mätdata och kontroll av tjocklek för befintliga konstruktioner. Små lokala variationer i tjocklek för en konstruktion, till exempel en sten som saknas mitt i en valvkappa, bör inte spela alltför stor roll medan ett riktigt mått för tjockleken av valvkappan är mycket viktigt. Korrekthet och noggrannhet på uppmätningar av konstruktionernas geometri är därmed av stor betydelse för analysernas kvalitet. Tryck- och draghållfastheter är svåra att uppskatta med större säkerhet utan materialprovning. Dock visar parameterstudien att materialvärdena inte påverkar beräkningsresultaten i någon större omfattning. Detta gäller så länge materialvärdena ligger inom rimliga gränser som medger att konstruktionens verkningssätt fungerar. Vid extremt låg draghållfasthet påverkas till exempel förmågan att uppta tryckkrafter i modellen, vilken är central för murverkets verkningssätt.

BERÄKNINGSMODELL

Tidsåtgång för beräkning beror på antal element och elementens komplexitet. I en tredimensionell modell ger en ökning av antal element i en riktning från fyra till fem, nästan en fördubbling av totalt antal element ($5/4=1,25$ $1,25^3=1,95$). För att spara beräkningstid bör man därför göra modellen så enkel som möjligt med bibehållen kvalitet för beräkningsresultatet. Det är bättre att börja med en enkel modell och successivt förfina den. På det viset kan man utföra flera snabba beräkningar som ger värdefull information om nödvändiga justeringar innan man gör en slutgiltig tyngre beräkning.

För att få en uppfattning om tillräcklig komplexitet i en modell har en studie utförts för ett enkelt tunnvalv. Elementstorleken har justerats så att 1-6 element ryms inom valvkappans tjocklek (120 mm). Total bärförmåga vid excentrisk belastning har beräknats.

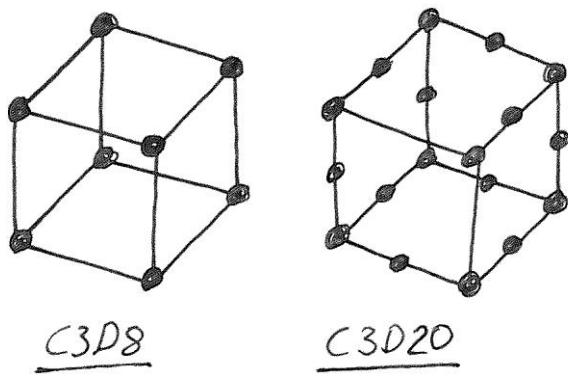
I diagrammet i figur 7.26 syns att resultatet redan vid tre element i tjockleksriktningen inte påverkas nämnvärt av ökad förfining av modellen. Behovet av förfinad elementindelning hänger samman med konstruktionens komplexitet. I områden med stora spänningsvariationer och komplicerad geometri krävs en tätare elementindelning än i områden med enkel geometri och små spänningsvariationer. Detta måste bedömas från fall till fall av beräkningsingenjören.



Figur 7.26. Diagrammet visar inverkan av antal element på beräkningsresultatet. Redan efter tre element i valvets tjockleksriktning påverkas resultatet inte nämnvärt av ökad förfining.

Elementens komplexitet (antal noder) påverkar också tidsåtgången för beräkningen. Elementtyp bör väljas utifrån det aktuella problemets förutsättningar. En typ av element kan passa bra för en typ av problem men dåligt för en annan typ av problem. För att minimera beräkningstiden skall inte onödigt avancerade element väljas.

Tredimensionella linjära solidelement med åtta noder (benämns C3D8 i Abaqus) har så långt det varit möjligt använts för modellering inom denna undersökning. Dessa består av kuber (egentligen rätblock som är så nära kubiska som möjligt med hänsyn till modellens geometri) med en nod i varje hörn. En mer avancerad elementtyp är 20-nods kvadratiska



Figur 7.27. Olika elementtyper i Abaqus.

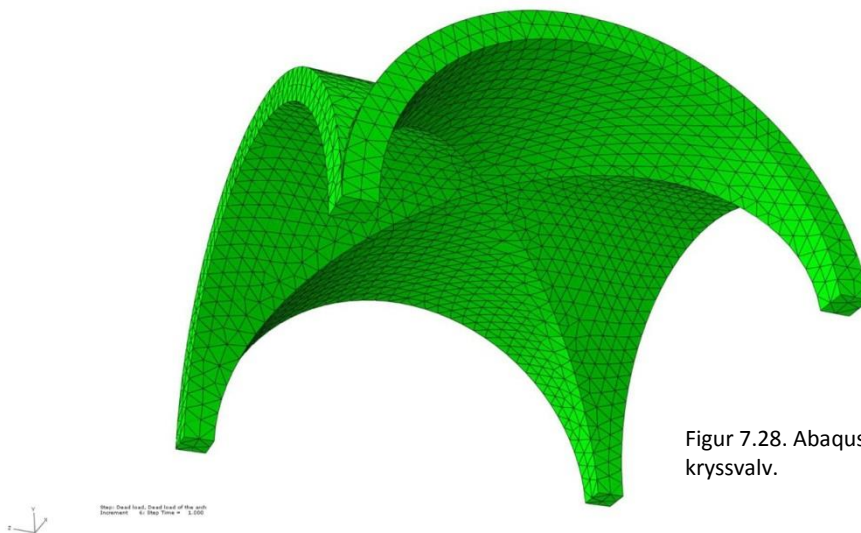
element ($C3D20$ i Abaqus). Dessa består av kuber med noder i hörnen och dessutom en nod mitt på varje kant. Se figur 7.27 för en illustration av elementtyperna. Tidsåtgång för beräkningar ökar väsentligt vid val av $C3D20$ -element istället för $C3D8$ -element. $C3D20$ -element är bättre lämpade än $C3D8$ -element när det gäller problem med stor andel böjning. I historiska murverkskonstruktioner dominerar tryckta tvärsnitt eftersom murverket saknar eller har mycket låg draghållfasthet. Detta innebär att $C3D8$ -element bör vara väl lämpade för beräkningar av murverkskonstruktioner. Elementtypens inverkan undersöktes genom en enklare beräkning på ett tunnvalv och skillnaden visade sig

vara liten vilket ger stöd för att den enklare elementtypen är tillräcklig.

Vid mer komplexa geometrier passar $C3D8$ -element inte in utan att deras form avviker väsentligt från en kub. Samtidigt är dessa element känsliga för stora formavvikelser. I sådana fall används tetrahedformade element. Dessa väljs så liksidiga som möjligt, men är mindre känsliga för formavvikelser än $C3D8$ -element. Även för tetrahedelement finns linjära ($C3D4$ i Abaqus) och kvadratiska ($C3D10$ i Abaqus) varianter, där den linjära varianten bör lämpa sig väl för murverksanalyser.

UPPLAGSVILLKORENS BETYDELSE

Helt avgörande för modellernas beteende är upplagsvillkorens utformning. Alla valvkonstruktioner är beroende av både ett vertikalt och horisontellt stöd för att fungera. Ett enkelt rakt kryssvalv modellerades för att illustrera detta, se figur 7.28.

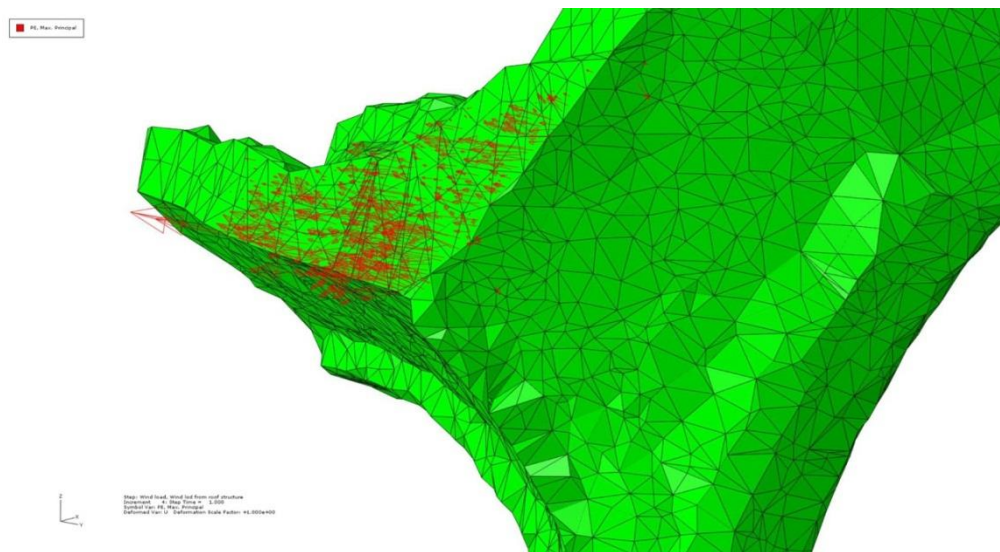


Figur 7.28. Abaqus-modell av symmetriskt kryssvalv.

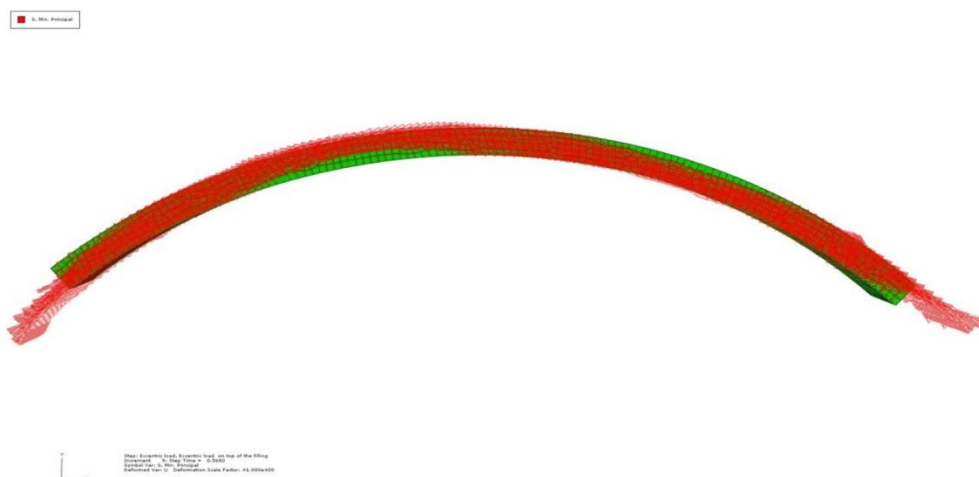
Om modellen endast gav stöd på undersidan blev bärförmågan lägre än valvets egentygnd. Detta beror på att modellen ger en ofullständig beskrivning av ett kryssvalvs stöd i en sammansatt konstruktion. En mer korrekt modell med horisontalstöd längs sidorna som simulerar mothållande uttryckskrafter från intilliggande valv eller väggar ger en kraftigt ökad bärförmåga. Trycklinjerna kan i det senare fallet anta en gynnsammare form och "smita ut" ovanför upplaget mot pelarna. Denna typ av förutsättningar är viktiga att noggrant kontrollera och modellera. I verkliga valvkonstruktioner medverkar ofta fyllningen

ovanpå valven genom att denna kan uppta tryck och därmed låta trycklinjen anta en gynnsammare form än om den är begränsad till valvets geometri.

När en konstruktion belastas uppstår deformationer och spänningar i konstruktionen. Uppmätning av en befintlig konstruktion ger en redan deformerad geometri. Stora deformationer i en befintlig konstruktion relativt den ursprungliga geometrin, till exempel vid ojämna stödsättningar, kan innebära att stora spänningar redan finns i konstruktionen (Berggren & Humble 1990, s 56-57). För att ta hänsyn till dessa spänningar vid modellering i beräkningsprogram bör man försöka uppskatta ursprunglig geometri och stödvillkor och sedan lägga på befintliga laster. Om uppmätt form och sprickbild erhålls är det troligt att antagandena varit rätt. Därifrån kan vidare analys göras, till exempel med ändrade laster. Detta innebär att en uppmätt geometri behöver kunna justeras innan den importerar till beräkningsprogrammet.



Figur 7.29. Visualisering av beräkningsresultat från Abaqus som med hjälp av röda pilar visar uppsprickning (positiva plastiska deformationer) över ett tvärsnitt i en valv konstruktion som har bristande horisontellt stöd. Längden på pilarna indikerar sprickornas utbredning.



Figur 7.30. Visualisering av beräkningsresultat från Abaqus av ett enkelt tunnvalv som visar minimal huvudspänning (de röda pilarna) vilket i illustrerar hur tryckkrafterna flödar i konstruktionen. Tunnvalvet är i modellen belastat med en excentrisk last till vänster om mitten där trycklinjen söker sig mot valvets ovasida.

REDOVISNING AV BERÄKNINGSRESULTAT

Abaqus ger i stort sett oändliga möjligheter för val av resultatredovisning. I beräkningarna inom denna studie har främst sprickor (positiva plastiska deformationer), minimal huvudspänning (trycklinjen) samt deformationer studerats, se figurer 7.29 och 7.30 för exempel. I samtliga beräkningar stämmer resultaten principiellt väl överens med förväntade resultat utifrån litteratur och rimlighet. Sprickor uppstår på förväntade ställen och trycklinjens form är den förväntade. Detta gör att analyserna kan användas för att få en förståelse för verkningssättet och jämföra hur olika faktorer som last och geometri påverkar konstruktionen. Däremot är det inte bekräftat hur väl beräkningsresultaten stämmer överens med verkligheten när det gäller absoluta värden, till exempel avseende bärförmåga.

7.3.4 SAMMANFATTNING FEM-BASERADE ANALYSER

I projektet har programmen Atena och Abaqus testats för att genomföra icke-linjära FEM-analyser på historiska murverkskonstruktioner. Abaqus fanns lämpligt med dess goda möjligheter att modellera olika material och förutsättning för att importera geometriska indata i 3d.

Eftersom det ofta är svårt att få fram exakt information om historiska murverks materialegenskaper har känslighetsanalyser som visar hur olika parametrar påverkar resultatet genomförts. Resultaten bekräftar att geometrin och upplagsvillkoren är centrala parametrar för bärförmågan i en valvkonstruktion. Noggranna uppmätningar av konstruktionens geometri och en rimlig hantering av upplagen är avgörande för analysernas tillförlitlighet och kvalitet.

Tydlig grafisk redovisning av beräkningsresultat även för komplicerade geometrier, till exempel i form av trycklinjer och sprickor, gör att metoden lämpar sig väl för att ge en förståelse för historiska murverkskonstruktioners verkningssätt. Dock ställs höga krav på beräkningsingenjören avseende hanteringen av beräkningsmodellen.

7.4 FÅNGA GEOMETRIN

I föregående texter har geometrins avgörande betydelse för bärförmågan och funktionen hos murverkskonstruktionen återkommande poängterats. För att kunna beskriva en murverkskonstruktionens verkningssätt och kunna göra analyser krävs en vederhäftig beskrivning av dess geometri.

Byggnadsuppmätning har traditionellt genomförts för hand med enkla verktyg som måttband, lod och tumstock men även med hjälp av totalstation. Man bör skilja på uppmätning som ingår i en byggnadsundersökning och ren uppmätning. Att genomföra en noggrann uppmätning för hand är ett oslagbart sätt att lära känna en byggnad eller en konstruktion i detalj och är ett användbart moment i en byggnadsundersökning (Sjömar 2000). Ingår uppmätningen i en större byggnadsundersökning som till exempel syftar till att utreda byggnadshistoria eller avläsa spår av hantverk med mera är en traditionell uppmätning en bra metod. Dock är uppmätning för hand mycket tidskrävande och det finns begränsningar i hur korrekta uppmätningarna blir. Detta blir extra påtagligt i större konstruktioner med stora volymer, långa avstånd och komplexa geometrier.

Historiska murverkskonstruktioner med valv har ofta en komplicerad geometri med dubbelkrökta ytor som är mycket svåra att mäta upp exakt för hand. Uppvisar konstruktionen dessutom deformationer blir geometrin ännu mer komplicerad och svårångad. Samtidigt är det just en korrekt beskrivning av geometrin som är viktig för att göra tillförlitliga analyser av murverksbyggnadernas konstruktioner.

I projektet har laserskanning prövats som metod att fånga geometrin. Det huvudsakliga syftet har varit att testa och utveckla metoder att genom laserskanning fånga geometrin för beräkningar och analyser av konstruktionens verkningssätt. Laserskanning kan dock användas för flera olika syften som till exempel byggnadsuppmätning för att ta fram ritningar, som dokumentation av byggnader, för att skapa virtuella modeller dels för visualisering och dels för att simulera akustik eller göra virtuella vindtunneltester med mera.

7.4.1 LASERSKANNING

Vid laserskanning används en laserstråle som mäter avståndet mellan instrumentet och mätobjektet. Skannern sveper med laserstrålen över ett förutbestämt område och kan på så sätt mäta upp avståndet till ett stort antal punkter på mätobjektet. Dessa punkter samlas in i databas och brukar visualiseras som ett punktmoln där de individuella inmätta punkterna representeras av en punkt (Persson 2008).

Vid laserskanningen fångar instrumentet de mätpunkter som ligger i dess siktlinjer (precis som ett fotografi). Det innebär att instrumentet måste byta position för att möjliggöra att hela tredimensionella objekt fångas utan att områden hamnar i "skugga".

I tabell 7.3 ges en specifikation av laserskannern som använts i projektet. Även precisering på den upplösning som användes.

Tabell 7.3 Laserskanningssystem		
Fabrikat	Leica ScanStation C10	
Typ	Pulsad (Time-of-flight)	
Färg	Grön, våglängd = 532 nm	
Laserklass	3R (IEC 60825-1)	
Räckvidd max	300 m vid 90%; 134 m vid 18% albedo (reflexionsförmåga hos objektet)	
Räckvidd min	0,1 m	
Scanningskapacitet	Upp till 50 000 punkter/sek	
Scanningsupplösning		
Punktstorlek	Från 0 - 50 m: 4,5 mm (FWHH-baserad); 7 mm (Gauss-baserad)	
Punkttäthet	Valbart horisontellt och vertikalt; <1 mm minimum-täthet	
Siktfält		
Horisontal	360° (maximalt)	
Vertikal	270° (maximalt)	
Systemprestanda		
Noggrannhet för enskild mätning		
Position	6 mm	Vid 1 m - 50 m, med 67% sannolikhet
Avstånd	4 mm	Vid 1 m - 50 m, med 67% sannolikhet
Vinkel (horisontal/vertikal)	60 µrad / 60 µrad (12" / 12")	
Modellerad ytprecision/brus*	2 mm	Beroende på modelleringsmetod för vald yta
Mätpunktskvalitet	2 mm stand.avvikelse	Algoritmisk inpassning till plana HDS mätmärken
S:t Nicolai		
Antal skanningstationer	44	
Punkttäthet	10 mm	medel

*Punktmolnets avvikelse från en yta som anpassats till det skannade molnet

PUNKTMOLNET

Punktmolnet blir olika stort och med olika detaljeringsgrad beroende på storleken på objektet som skannats och noggrannheten i skanningen. I projektet har en fullständig och detaljerad skanning av kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby genomförts och punktmolnet består av cirka 800 miljoner punkter. Stora punktmoln lägger beslag på mycket lagringsutrymme vilket också begränsas hanteringen av dem i nätverk och vid förflyttning av filerna.

7.4.2 PROCESSEN – LASERSKANNING TILL BERÄKNINGSMODELL

För att fånga ett objekt med laserskanning planeras ett antal skanningstationer så att så mycket som möjligt av objektet kan täckas. Svåra områden är högt belägna punkter, till ex-

empel ytter- och innertak. Yttertak komplicerar skanningen på grund av att man måste ta sig upp i nivå med taket. Innertak, eller i fallet S:t Nicolai valv och valvbågar, går oftast endast att nå från golvnivå och höjden över golv avgör den möjliga punkttätheten. Denna punkttäthet ska sättas i relation till skanningstid och datamängd.

Varje skanningstation ger upphov till ett punktmoln, lokalt orienterat i skanningstationens koordinatsystem, det vill säga koordinaten (0,0,0) befinner sig i den punkt där lasersstrålen lämnar skannern. För att relatera dessa moln till varandra och till omvärlden placeras ett antal signaltavlor på inmätningsojektet och i dess närhet. Minst tre av dessa måste mätas in i det omgivande referenssystemet för att den slutliga modellen ska få globala koordinater.

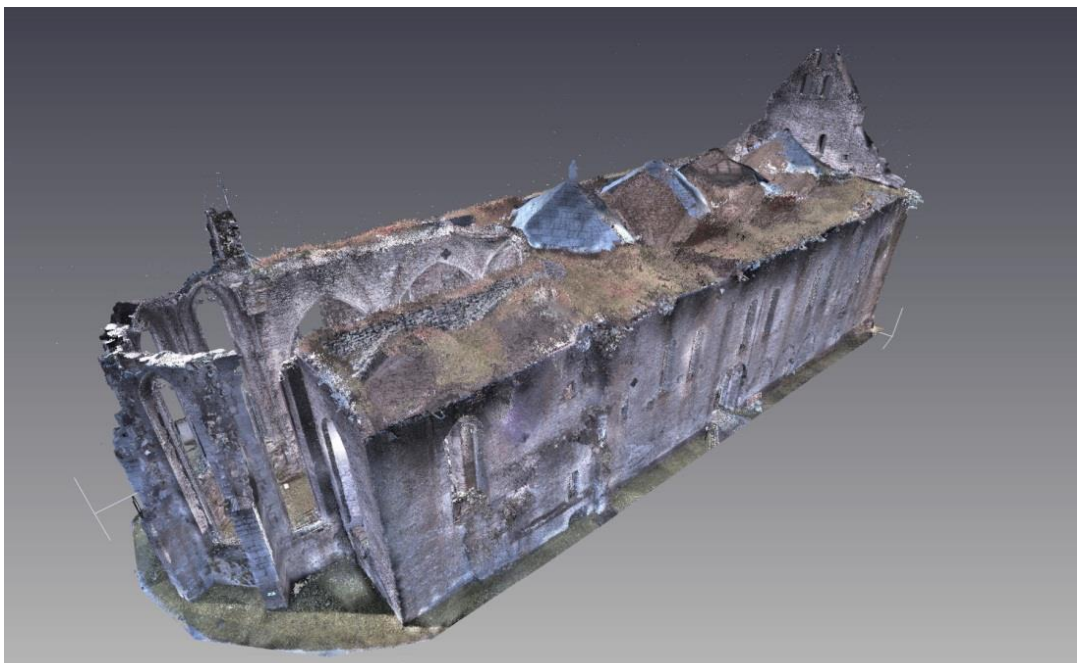
Vid skanningen av S:t Nicolai skapades ett primärnät kring ruinen baserat på kommunens stompunkter (Sweref 99 18 45 / RH 00) och utifrån detta mättes samtliga signaltavlor in med totalstation. Samtliga tavlor mäts in av två skäl och båda har att göra med den efterföljande registreringsprocessen. Dels kan man då absolutorientera enskilda skanningar ifall registreringen skulle misslyckas, och dels får man kontroll på skanningens geometri och felfortplantning. Registreringen ger bara information om anslutningsfelet i varje signaltavla och ingenting om hur dessa fel sprider sig genom objektet.

Laserskanningen genomfördes från 44 uppställningar för att fånga in så mycket som möjligt av kyrkoruinens geometri.

Första steget efter laserskanning är att ge alla punkter koordinater i samma referenssystem. Processen kallas för registrering och är ett moment som är kopplat till hårdvaran, eller hårdvarans filformat.

Efter att rådata från skannern lästs in i registreringsprogrammet, försöker man matcha ihop signaltavlorna. Man kan även hitta naturliga hjälpunkter i skanningsmolnet för att knyta ihop de olika stationerna till ett sammanhållet tredimensionellt punktmoln. Signaltavlorna ges koordinater i det globala referenssystemet och laserpunkternas koordinater räknas om. Resultatet blir koordinater i X, Y, Z, ett intensitetsvärde och om man fotograferat objektet, ett färgvärde som tillordnats varje punkt. I detta skede kan också punkter som är felaktiga eller ointressanta för det aktuella projektet rensas ut.

Den databas som punktmolnet utgör efter registreringen kan användas för olika ändamål. Detta innebär att det behöver läsas in med olika typer av programvaror där efterbearbetning tar vid. Det är ofta i detta skede som en stor arbetsinsats krävs för att få ut användbar information ur det inskannade punktmolnet.



Figur 7.31. I figuren visas punktmolnet från laserskanningen av ruinen S:t Nicolai i Visby. Punkterna i molnet har färgsatts efter de foton som togs parallellt med skanningen vilket gör att punktmolnet framträder som ett tredimensionellt fotografi.

Det finns idag inget generellt accepterat överföringsformat för laserdata. LAS-formatet (2012) gör vissa anspråk på att bli detta format men en ren ASCII-fil (X, Y, Z i textformat) är fortfarande det mest generella överföringsformatet för denna typ av data. Alla bearbetningsprogram har någon form av import för ASCII-filer. Tyvärr blir ASCII-filer stora och därmed svårhanterliga. En sådan fil som i detta fall innehåller 800 miljoner punkter lägger beslag på cirka 35 GB lagringsutrymme vilket ställer stora krav på dator och programvara för vidare hantering. Se figur 7.31 för en bild av det registrerade punktmolnet.

7.4.3 PROGRAMVAROR

I projektet har ett stort antal programvaror testats och utvärderats. Förutsättningarna har varit en levererad ASCII-fil och en normal kontorsdator. Punktmolnet har också funnits tillgängligt i form av en proprietär (programvara med restriktioner) Leica Cyclone-databas (2012). Cyclone innehåller en uppsättning verktyg för bearbetning men har i detta projekt endast använts i registreringsprocessen då det inte gått att utverka evalueringens licenser från Leica.

Första steget utvärderingen utgjordes av att över huvudtaget kunna läsa in punktmolnet från ASCII-format så att det kunde visas på skärmen. För de flesta programvaror visade sig detta steg vara oöverstigligt, även med delmängder av punktmolnet. Lösningen de flesta programvaruleverantörer ordinerar är att använda en kraftfullare dator men eftersom det faktiskt fanns programvara som kunde hantera den aktuella datamängden eller åtminstone på ett godtagbart sätt hantera prestandaproblem, så fick de fallerande programmen utgå ur testförfarandet.

Andra steget innebar att utvärdera programvaror med funktioner för 3d-modellering. Utifrån de bearbetningsbehov som projektet hade, utkristalliserades två programvaror, Pointools (2012) och 3DReshaper (2012)

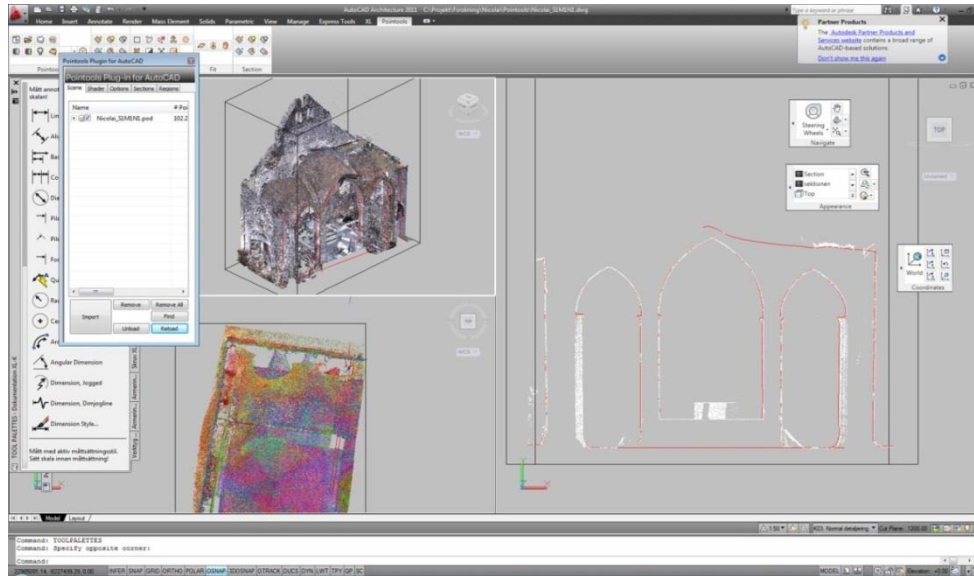
- Pointools är en programvarusvit som tillhandahåller en uppsättning verktyg för de grundläggande stegen i bearbetningskedjan. Dessa inbegriper redigering av punktmolnet, visualisering och animation, måtttagning samt modellering. Modellering kan göras i AutoCAD (2012) eller SketchUp (2012). Pointools har även anpassningar till andra programvaror och är numera uppköpt av Bentley (Microstation).
- 3DReshaper är ett effektivt verktyg för att skapa ytmodeller i form av triangelnät (mesh). 3DReshaper ägs av Hexagon. Genom 3DReshaper finns många möjligheter att skapa modellfiler i olika filformat, vilka kan importeras i beräkningsprogram.

Den parametriska trycklinjeanalysen respektive icke linjära FEM-analysen av murverkskonstruktioner kräver olika typ av indata rörande geometrin. För trycklinjeanalys är det önskvärt att få geometrin i olika snitt i konstruktionen som motsvarar de strimmor som analysen ska utföras på. För FEM-analysen behövs 3d modeller som kan importeras direkt till aktuella beräkningsprogrammet.

7.4.4 GEOMETRI TILL TRYCKLINJEANALYS

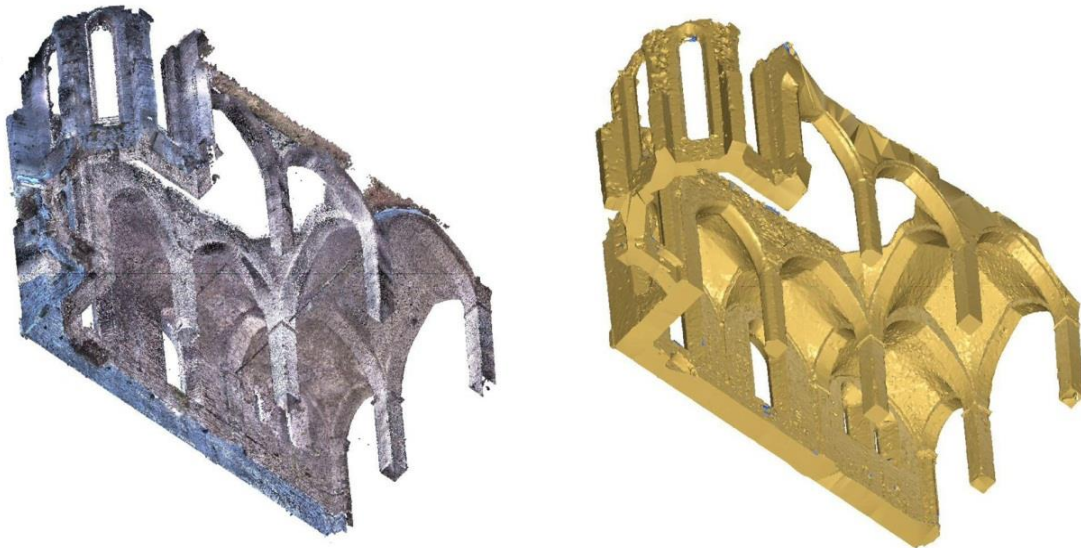
För att skapa de snitt i konstruktionen som behövs för att kunna göra trycklinjeanalyser enligt strimmemetoden användes programvaran Pointools och ett specifikt Pointools-plugin till AutoCad, se exempel figur 7.32. Med hjälp av AutoCad går det att systematisera sektionernas placering anpassa dem efter geometrin för att få en bra fördelning av "strimmor" för analysen. Ur sektionerna som skapas kan mått tas på detaljer i sektionen där geometrin ändrar form och det går att skapa skisser som efter anpassning i storlek kan läggas in i analysprogrammet CABRI II plus, se exempel i figur 7.21. Framtagandet av sektionerna är inte på något vis automatiserat utan kräver handpåläggning genom att varje streck ritas. Det innebär att metoden är arbetskrävande men samtidigt gör ritprocessen att kunskapen om objektet som ska analyseras byggs upp.

Figur 7.32. Figuren illustrerar hur en sektion av ruinen S:t Nicolai ritas exakt efter en sektion i punktmolnet som kan hanteras i AutoCad med hjälp av Pointools plugin.



7.4.5 GEOMETRI TILL FEM-MODELLER

För att generera 3d-modeller som kan importeras till programmet Abaqus har 3DReshaper använts, se figur 7.33. 3DReshaper kan dock inte hantera allt för stora punktmoln utan dessa måste ha delats upp i mindre delar. Detta kan göras redan i registreringsprocessen ovan alternativt med hjälp av Pointools. Vid import till 3DReshaper kan densiteten (tätheten) på punktmolnet väljas, så att de viktigaste punkterna behålls men upplösningen reduceras för att få en fil som är lättare att hantera.



Figur 7.33. Exempel på 3d-modell genererad från punktmoln i 3DReshaper. Det importerade punktmolnet visas till vänster och 3d-modellen till höger.

I 3DReshaper finns bra möjligheter att behandla punktmolnet. Det är enkelt att radera upp-
penbart irrelevanta punkter. För exporter av triangelmaller till andra program bör punktmolnet flyttas till ett läge nära origo för att undvika risk för störningar i modellen. Störningarna beror troligen på avrundningsfel när skillnader mellan punkternas lägen i förhållande till varandra är väldigt liten jämfört med avståndet till origo.

Det finns många olika sätt att skapa en triangelmodell i 3DReshaper.

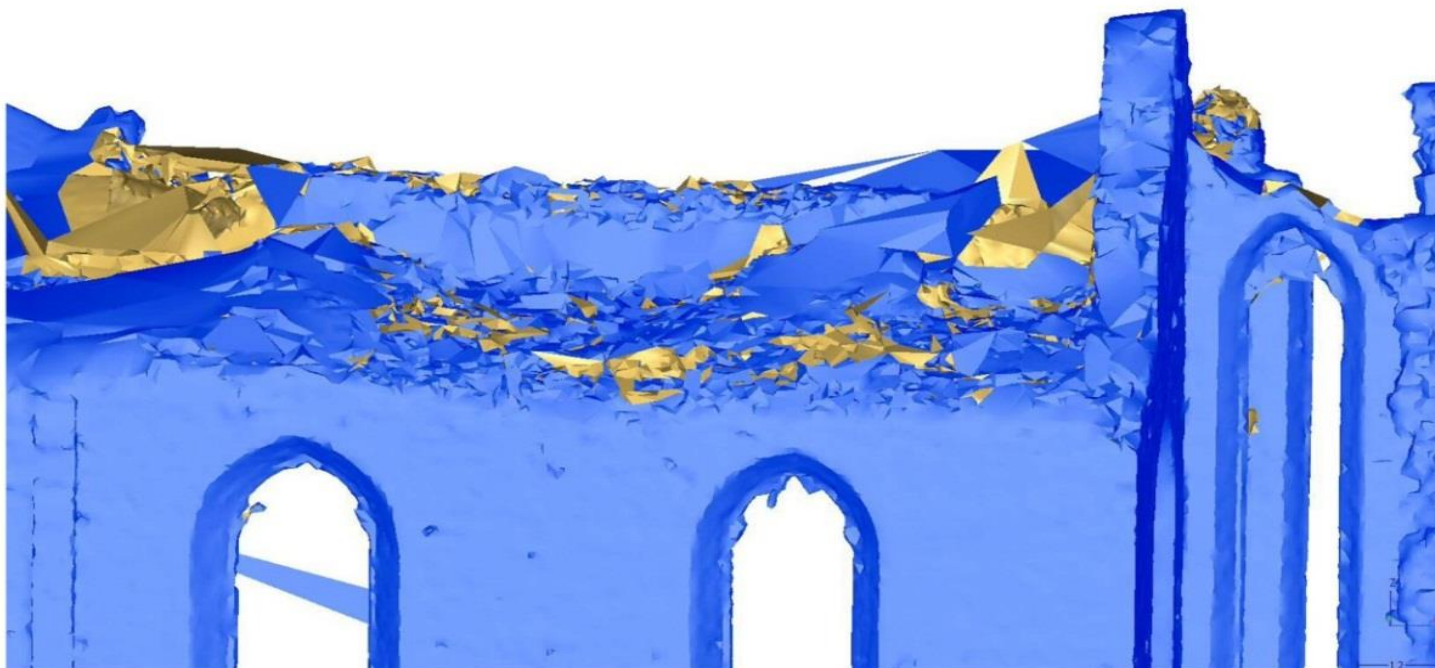
Följande komandon kan användas vid triangulering ("meshning"):

- Kryssa för *"try to make a watertight mesh"* för att så långt möjligt få en sluten volym.
- Kommandot *"smoothing"* tillåter att triangelformen justeras med en minsta tillåten vinkel, till exempel 40 grader. Detta ger en modell som är bättre lämpad för FEM-analys. Dock bör noteras att endast ytan får en mesh med trianglar. Meshningen ger inte tetraheder på djupet, vilket gör att en tunn konstruktion kan ha trianglar på båda sidor som inte passar ihop genom tvärsnittet.
- Kommandot *"fill holes"* används för att fylla igen eventuella hål i meshen. Detta är nödvändigt för att exporten och omvandlingen till solida objekt skall fungera.

Ofta kan vissa områden i punktmolnet vara oklara. Till exempel där det växer gräs vilket var fallet på ovensidan av ruinen S:t Nicolai, se figurer 7.34 och 7.35. Detta ger i sin tur problem vid skapandet av beräkningsmodellen i Abaqus. Även där genereras elementen med hjälp av meshning, se ovan om FEM-analys. Genom att manuellt justera meshen med kommandot *"clean/separate"* i 3DReshaper kan skikt tas bort (och meshen kan lagas efteråt med *"fill holes"*).



Figur 7.34. Figuren visar ett punktmoln från laserskanningen av S:t Nicolai som importerats till 3DReshaper. Punktmolnet har oklarheter där det växer gräs på ruinens ovensida.



Figur 7.35. Exempel på svårigheten att hantera områden där punktmolnet är oklart vid genererande av 3D modeller med 3DReshaper. I det här fallet växer det gräs på ovasidan av S:t Nicolai.

I 3DReshaper kan export göras till ett stort antal filformat.

- Formatet STEP (.stp) är lämpligt vid direkt export till Abaqus eftersom det medför en direkt omvandling från skal till solidobjekt. Detta förutsätter dock en sluten volym.
- Vid export till AutoCAD fungerar filformatet .dxf.

Export till AutoCAD ger möjlighet dels att redovisa den skannade geometrin på ritningar tillsammans med övrig information, men även att komplettera geometrin innan vidare export till beräkningsprogram. Nya konstruktionsdelar kan läggas till och befintliga delar kan tas bort för att modellera eventuella förändringar. Från AutoCAD exporteras modellen lämpligen i ACIS-format (.sat) för import i Abaqus.

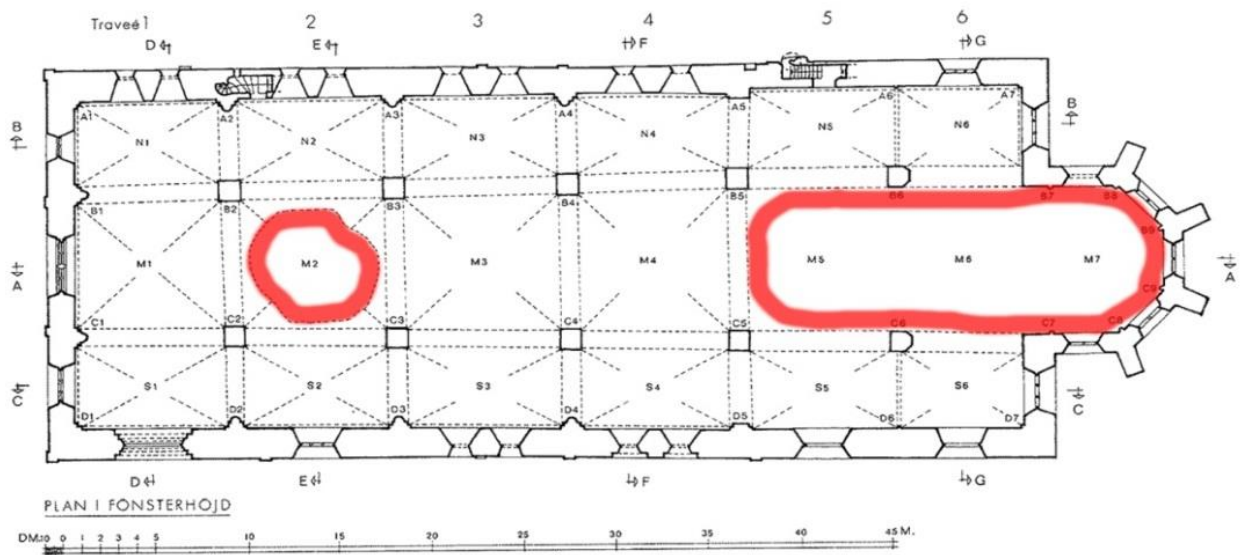
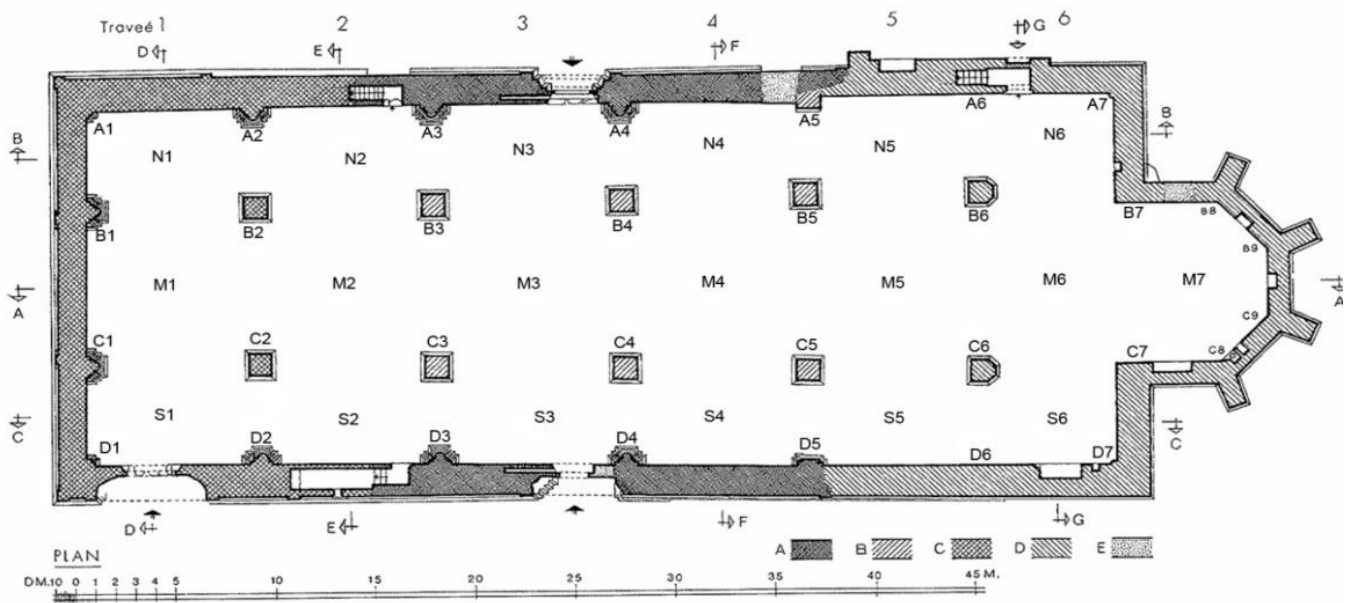
7.4.6 SAMMANFATTNING FÅNGA GEOMETRIN

I projektet har metoder för att använda laserskanning för att få en beskrivning av murverkskonstruktioners geometri för beräkningar och analyser av konstruktionernas verkningssätt undersökts.

När stora objekt skannas med hög noggrannhet krävs mycket lagringsutrymme som begränsar hanteringen av filerna.

Av de programvaror som testats för efterbehandling av inskannade punktmoln utifrån behovet att skapa indata till analyser av konstruktioner fungerade Pointools och 3DReshaper bäst. Programmen testades under förutsättning att de ska fungera med en vanlig kontorsdator.

Resultatet av studien visar att det går att få en effektiv arbetsprocess från laserskanning till beräkningsmodell trots att det krävs handpåläggning i processens olika steg. Avgörande faktorer för hur stor arbetsinsats som behövs för att få fram modeller som kan importeras till beräkningsprogrammen är förekomsten av oklarheter i punktmolnet och avsaknad av punkter i områden som legat i skugga vid skanningen. Därför är det viktigt att redan vid planering av laserskanning av byggnader med syftet att bygga beräkningsmodeller se till att all information som behövs för att få en smidig arbetsprocess kommer med. Detta kräver en nära kommunikation mellan de som planerar och genomför själva laserskanningen och de som bygger beräkningsmodellerna.



Figur 7.36. Planritningar över S:t Nicolai ruin. Den övre ritningen visar de beteckningar för valv och pelare som används för orientering i byggnaden. I den nedre ritningen visar de röda markeringarna de valv som har rasat och saknas idag.

7.5 S:T NICOLAI

Kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby har använts som studieobjekt i projektet, både för att testa de olika analysmetoderna för historiska murverkskonstruktioner och för att fånga en komplex geometri med hjälp av laserskanning.



Figur 7.37. Fotot är taget från ruinens östra del, koret, åt väster. Det valv som saknas i bildens överkant är valv M5 som numera är övertäckt med ett nytt tak av trä och stål.

S:t Nicolai kyrkoruin består av ett treskeppigt långhus med sex travéer (valvenheter) och tio pelare, se planritningar i figur 7.36 och foto figur 7.37. I öster avslutas kyrkan med ett femkantigt utbyggt kor. I figur 7.36 redovisas beteckningar för byggnadens delar som valv och pelare och de delar av ruinen som saknar valv idag. Dessa beteckningar används i fortsättningen för orientering i byggnaden. Valv M2, M5, M6 och M7 saknas idag. Hålet där valv M2 tidigare fanns är idag täckt med ett trätak och där valv M5 fanns är ett nytt tak monterat.

Samtliga valv är stigande valv (kuppelformade) vilket innebär att hjässans mittpunkt ligger högre än både gördelbågens och sköldbågens hjässor, se figur 7.38. Mittskeppets valv är högre än sidoskeppets. Dock har sidovalven en sådan höjd att byggnaden får en salsliknande karaktär.

Ruinen har reparerats och förstärkts i flera omgångar under årens lopp. Beskrivningar av vilka delar som troligen är original och vilka som murats om samt vilka övriga åtgärder som gjorts ges på annat håll (Ehlton, Sundberg & Grahn Andersson 2008, Thelin 2008)

7.5.1 RUINEN HAR RASAT

Att en del valv saknas i S:t Nicolai och att det har gjorts flera förstärkningar i ruinen vittnar om att det historiskt har hänt saker i ruinen. Vad är det som orsakat de ras som inträffat? Att i efterhand finna de exakta orsakerna till rasen är svårt men ett antal faktorer kan ha bidragit till utvecklingen. Huvudproblemet är att byggnaden är en ruin och att den saknar ett tak. Innan den avtäckning som numera finns på ruinens ovansida genomfördes kunde vatten obehindrat tränga in i murverket ovanifrån samtidigt som växlighet etablerar sig. Detta orsakar nedbrytning av murverket genom till exempel urlakning av bruk, frostsador och rötter som växer genom konstruktionen. Målningar och skisser från första halvan av 1800-tal visar att det växte träd på ruinen och att det var flera hål i valvkapporna. Tillräcklig vittring av materialet är sig orsak nog för att valvens strukturella integritet rubbas med ras som följd. Annars orsakas ofta problem i historiska murverkskonstruktioner av sättningar och deformationer i grundläggningen. Det finns dock inga tecken på grundläggningsproblem för S:t Nicolai. Rasen av valven längst i öster (M5, M6 och M7) kan hänga samman med att strävpelarna kring koret minskat i storlek eftersom stenar forslats bort. Strävpelarna var nödvändiga för att bära valv M7. Det kan tänkas att valv M6 och M5 följt med som en dominoeffekt av att valv M7 rasat. Det kan också konstateras att mittskeppets spännvidd ökar mot öster vilket ger en större belastning på valven där.

7.5.2 ANALYSER AV MURVERKSKONSTRUKTIONENS VERKNINGSÄTT

De analyser som genomförts på S:t Nicolai har berört konstruktionen kring öppningen där valv M5 och M6 funnits. Att valven saknas har skapat en obalans i konstruktionen vilket också inneburit att konstruktionen förstärkts med flera dragstag kring öppningen. Det är också över valvtravé M5 som ett nytt tak av stål och trä har monterats vilket föranlett flera analyser inom ramen för byggprojektet S:t Nicolai Kultudral.

Analysen med både parametrisk trycklinjeanalys och icke-linjär FEM-analys har genomförts för området kring pelare C6 respektive pelare C5. Pelare C6 är intressant att studera då den står i obalans i och med att valv M5 och M6 saknas. Till skillnad från motsvarande pelare på norra sidan (B6) har pelare C6 saknat dragstag (i och med byggprojektet S:t Nicolai Kultudral har ett dragstag monterats mellan pelare C6 och den södra ytterväggen). Pelare C5 är representativ för övriga delar av ruinen och analyser har genomförts både för att simulera fallet att samtliga valv runt om pelaren är kompletta (som för pelare B4 och C4) och med fallet att ett av mittvalven saknas som gäller för pelare (B2, C2, B3, C3, B5 och C5), se figur 7.36.

Att vissa delar av ruinens ovansida inte täckts in med laserskanningen (legat i "skugga") och andra delar är täckta med gräs eller blyplåt försvårar analysprocessen. Dels är det svårt att exakt bedöma var ovansidan på valven är och därmed hur tjockt stenmaterialet är i valven, se figur 7.38. Dels skapar "hål" i punktmolnet svårigheter vid uppritning av sektioner för trycklinjeanalys och framförallt vid skapande av solida 3D-modeller med 3DReshaper.



Figur 7.38. Valvens ovansida. Fotot är taget längst i öster mot väster. Till höger i bilden är området där det idag saknas stenvalv och där ett nytt tak av trä och stål finns idag. Fotot visar också att mittvalven är betydligt högre än sidovalven och att valven är tydligt kupolformade vilket innebär att deras hjässa ligger högre än gördel- och sköldbågarnas hjässor.

I analyserna har blytäckningen på mittvalven antagits bygga 6-8 cm, vilket ger en minsta tjocklek för valvkapporna på ungefär 40 cm och för sidovalven har grässvålen antagits bygga cirka 10-15 cm vilket ger en minsta tjocklek för sidoskeppens valvkappor på ungefär 45 cm.

Osäkerheten kring gränserna för konstruktionens ovansida gör det också svårt att exakt definiera den geometriska gränsen för det som kan fungera som bärande murverk. Trycklinjeanalyserna är gjorda på säkra sidan med avseende på geometri som kan innehålla trycklinje i valvens ovansida.



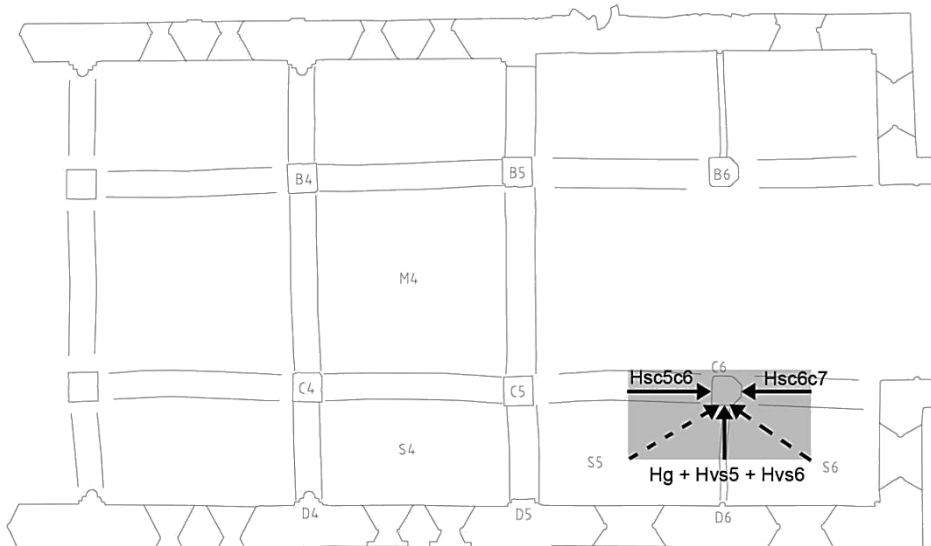
Figur 7.39. Pelare C6. Pelare C6 och B6 har avfasade hörn mot öster.

För detaljerad information om indata till beräkningarna hänvisas till rapporten *S:t Nicolai Kultudral – ruin med nytt tak* (Thelin 2012).

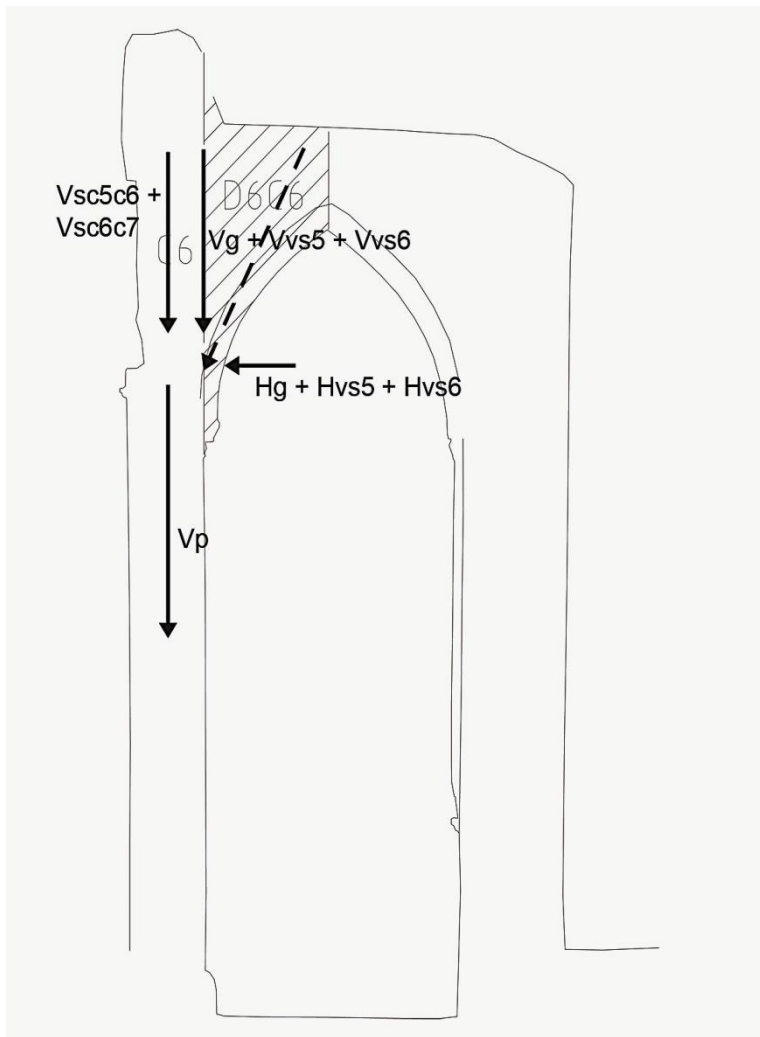
Pelare C6 har en sexkantig planform eftersom pelaren är avfasad i hörnen mot öster, se figur 7.39. Figurerna 7.40 och 7.41 visar det område av ruinen som bärs upp av pelare C6. Lasten som ska föras ner i pelaren utgörs dels av vertikal last från murverkets egentygnd inom området markerat i figur 7.40 och dels av horisontell uttryckningskraft från valv S5 och valv S6 samt gördelbåge D6C6. De horisontella uttryckningskrafterna från sköldbågarna C5C6 och C6C7 balanserar varandra i ruinens längsriktning. I tabell 7.4 redovisas som exempel värden för de vertikala laster som bärs av pelare C6.

Tabell 7.4. Vertikala laster som påverkar pelare C6			
Del av ruinen	Volym (m ³)	Vikt (kg)	Tyngd (kN)
Valv S5 nordöstra fjärdedelen	Ca 6,12	14393	141*
Valv S6 nordvästra fjärdedelen (uppskattad i förhållande till valv S5)	Ca 4,85	12125	119
Sköldbåge C5C6 östra halvan inklusive mur	Ca 14,75	37000	295*
Sköldbåge C6C7 västra halvan inklusive mur	Ca 12,70	31700	261*
Gördelbåge D6C6 norra halvan	-	3770	37*
Pelare C6 inklusive mur	Ca 21,45	53625	526
Total vertikal last			1379

*Värden från Cabri-analys



Figur 7.40. Det gråmarkerade området visar ungefär det område i ruinen som bärs upp av pelare C6. Pilarna illustrerar de horisontella krafter som belastar pelaren. H står för horisontell. Hsc5c6 och Hsc6c7 står för horisontell last från sköldbåge C5C6 respektive C6C7. Dessa balanserar i princip varandra och belastar därmed inte pelaren med någon horisontell last. Hg står för horisontell last från gördelbåge D6C6 och Hvs5 och Hvs6 står för horisontell belastning från valv S5 respektive valv S6 som belastar pelaren i gördelbågens riktning. Från valv S5 och valv S6 kommer också horisontella laster i sköldbågarnas riktning men de balanserar varandra på samma sätt som de horisontella lasterna från sköldbågarna.



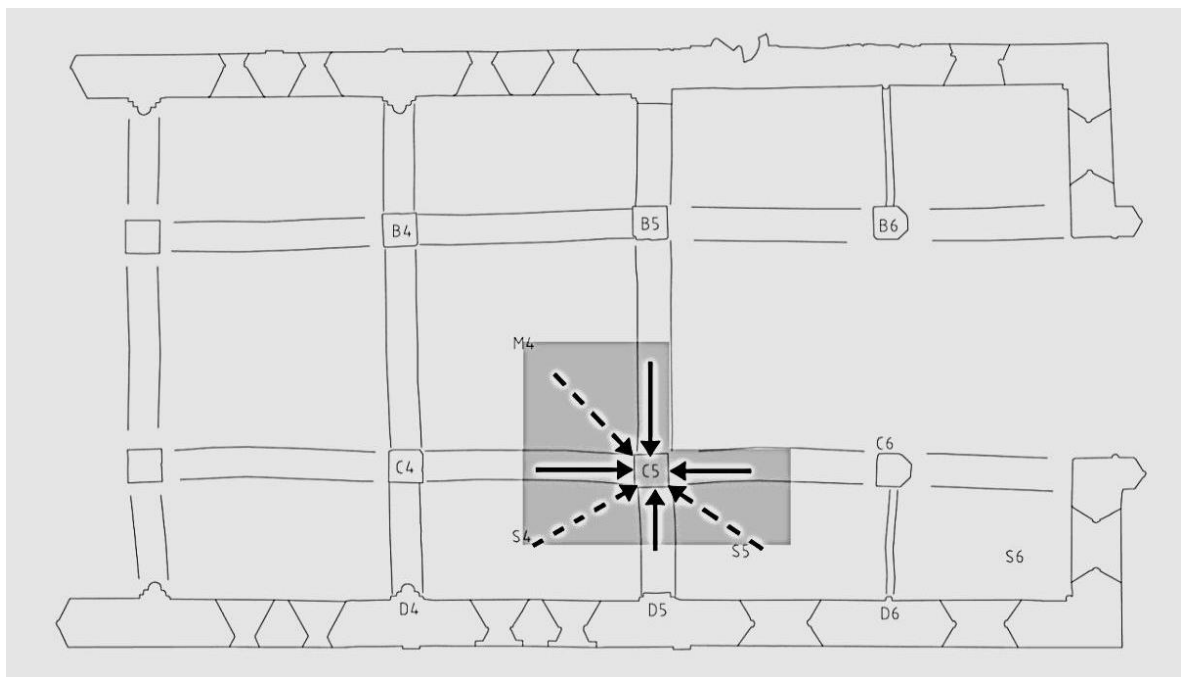
Figur 7.41. Det skräfferade området visar vilken del av gördelbåge D6C6 som belastar pelare C6. Vg står för vertikal last från gördelbåge. Hg står för horisontell last från gördelbåge. Vvs5, Vvs6, Hvs5 och Hvs6 står för vertikal respektive horisontell last från valv S5 och valv S6. Vsc5c6 och Vsc6c7 står för vertikal last från sköldbåge C5C6 och C6C7. Vp står för den vertikala lasten av själva pelarens egen tyngd.

Pelare C5 har liksom ruinens övriga pelare utom C6 och B6 en fyrkantig planform, se figur 7.42. Krafterna som ska föras ner i pelare C5 kan delas in efter samma mönster som för pelare C6 ovan. I figur 7.43 redovisas ungefärligt det område av ruinen som bärs upp av pelare C5. Lasten som ska föras ner i pelaren utgörs dels av vertikal last från murverkets egentygnd inom området markerat i figur 7.43 och dels av horisontella uttryckningskrafter från valv S4, S5 och valv M4 samt gördel- och sköldbågarna som möter pelaren. De horisontella krafterna tar till stora delar ut varandra.

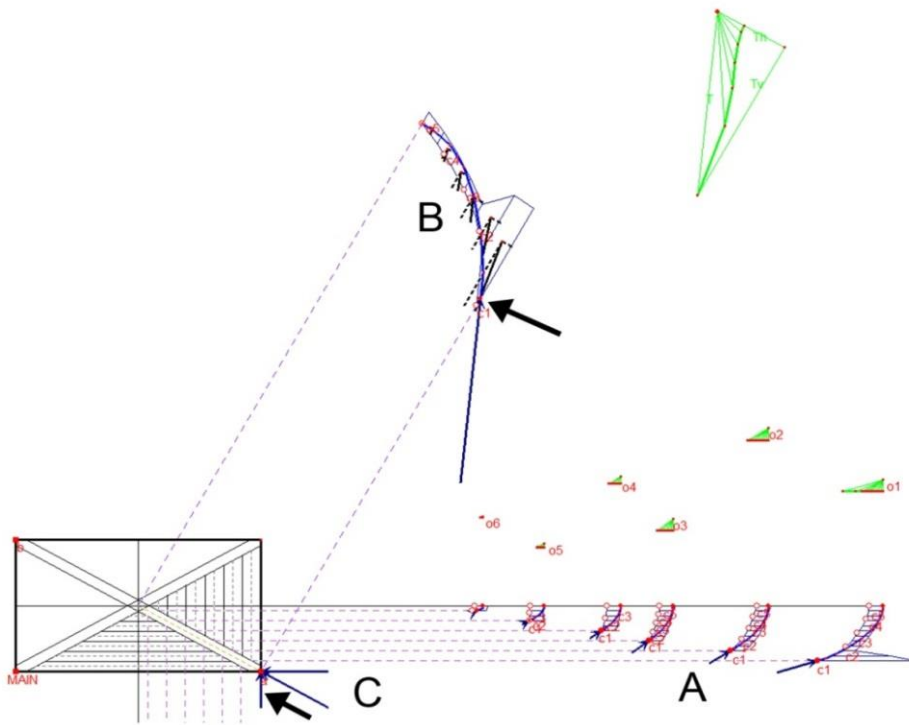
Kraftspelet för pelare C5 i byggnadens tvärriktning blir betydligt mer komplicerat än för pelare C6 då den påverkas av horisontella uttryckningskrafter från valv på båda sidor. Eftersom mittvalven är bredare ger de större uttryckningskrafter (ungefär det dubbla). Under förutsättning att valv M5 hade funnits kvar skulle det innebära att uttryckningskraften från mittvalven skulle bli större än uttryckningskraften från sidovalven. Sidovalven och gördelbågarna över sidoskeppen behöver i en sådan situation få en mer "aktiv" trycklinje för att balansera mittvalven. Eftersom valv M5 saknas blir uttryckningskrafterna mer jämna i "viloläge".



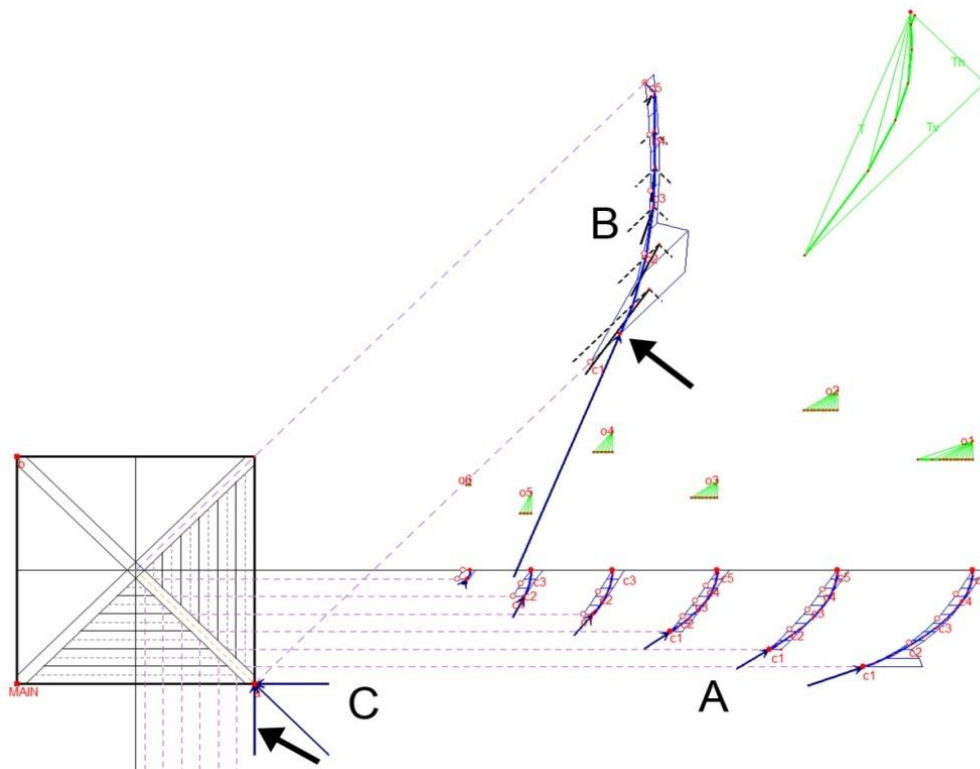
Figur 7.42. Pelare C5 med dragstag.



Figur 7.43. Det gråmarkerade området visar ungefär det område i ruinen som bärs upp av pelare C5. Pilarna illustrerar de horisontella krafter som belastar pelaren.



Figur 7.44. Parametrisk trycklinjeanalys med strimmetoden av valv S5. Analysen är inriktad på att ge minsta möjliga horisontella uttryckningskraft mot pelare C6 som kan rymma trycklinjerna inom valvets geometri. Vid A anges trycklinjernas placering i respektive valvstrimma. Tryckbågen ges en så hög bana som möjligt. Vid B anges trycklinjens placering i valvribban med så hög bana som möjligt. Pilen anger platsen där trycklinjen lämnar valvet och går in i pelaren. Vid C visas den horisontella uttryckningskraftens komponenter där pilen visar den som ger en uttryckningskraft mot pelare C6.



Figur 7.45. Parametrisk trycklinjeanalys med strimmetoden av valv M4. Vid A anges trycklinjernas placering i respektive valvstrimma. Vid B anges trycklinjens placering i valvribban. Pilen anger platsen där trycklinjen lämnar valvet och går in i pelaren. Vid C visas den horisontella uttryckningskraftens komponenter där pilen visar den som ger en uttryckningskraft mot pelare C5 tvärs byggnadens längdriktning.

PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS

Pelare C6 bär upp delar av valv S5 och S6 och pelare C5 bär upp delar valv S4, S5 och M4. Valven har analyserats med strimmetoden, se figurer 7.44 och 7.45. Analyserna ger svar på ytterligheterna av trycklinjens möjliga placering inom valvens geometri. I figur 7.44 redovisas en analys som ger minsta möjliga horisontella uttryckningskraft mot pelare C6 och i figur 7.45 redovisas en analys som ger minsta möjliga horisontella uttryckningskraft mot pelare C5 från valv M4.

Eftersom pelaren C6 står fritt mot mitskeppet kommer trycklinjen att befinna sig i vila och därför är det rimligt att anta att valvet belastar pelaren med minsta möjliga horisontella uttryckningskraft. För pelare C5 är det rimligt att anta att trycklinjen för valv M4 kommer att befinna sig i vila och därför är det rimligt att anta att valv M4 belastar pelare C5 med minsta möjliga horisontella uttryckningskraft.

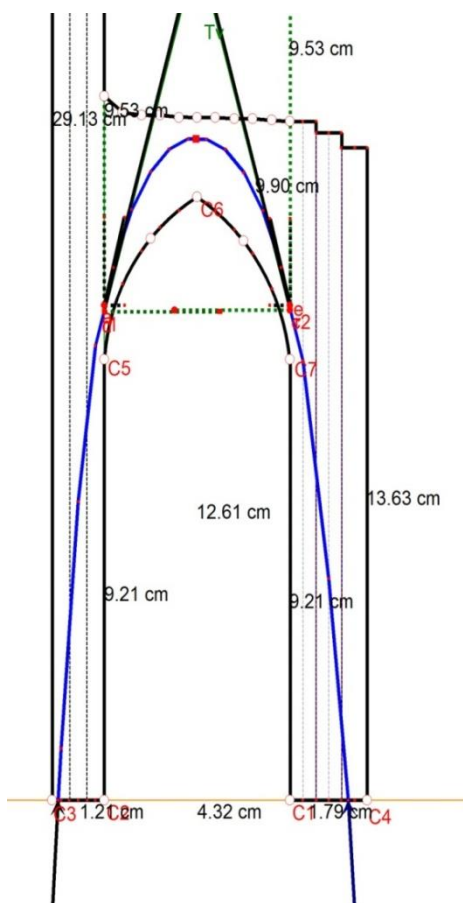
Resultatet av analysen för pelare C6 innan det nya taket och det nya dragstaget fanns på plats ger att trycklinjen kommer ner utanför den mittersta tredjedelen, cirka 0,13 m från pelarens ytterkant, se figur 7.46. Det innebär att det finns risk för sprickbildning på pelarens motsatta sida men samtidigt att det fanns vissa marginaler till instabilitet i konstruktionen.

Säkerheten i konstruktionen kan uttryckas på olika sätt. Till exempel går det under dessa förutsättningar att öka den horisontella lasten med cirka 17 % innan trycklinjen går utanför pelarens geometri. Man kan också ange en geometrisk säkerhetsfaktor som anger de geometriska marginalerna mellan trycklinjen och konstruktionens form. För

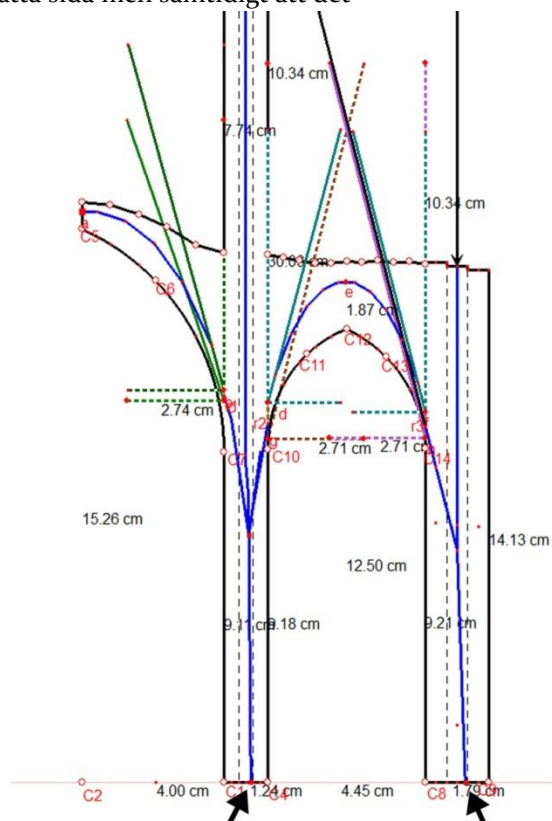
pelarens bas blir den geometriska säkerhetsfaktorn under dessa förutsättningar 1,27. Värdet måste överskrida 1 för att konstruktionen ska vara i den säkra regionen. Ett rekommenderat värde på den geometriska säkerhetsfaktorn från litteraturen angående studier av bågar och broar pekar på att värdet bör vara två för det värsta lastfallet som kan uppträda.

Resultatet för pelare C5 blir betydligt mer komplicerat än för pelare C6 eftersom pelaren bär upp last från både sidoskeppsvalven och mitskeppsvalvet. Då ytterväggens förmåga att ta upp den horisontella uttryckningskraften från både mittvalv och sidovalv påverkar kraftspelet behöver en bedömning av hur stor del av ytterväggen som bidrar göras. I analyserna antas en bredd på 4,5 meter av ytterväggen (muren mellan fönsteröppningarna) bidra till konstruktionens bäring av valvens horisontella uttryckningskraft. Kontrollberäkningar med en mindre del av ytterväggen visar att det också fungerar.

Resultatet av analysen för pelare C5 utan nytt tak och



Figur 7.46. Trycklinjens placering i pelare C6 (till vänster i figuren), gördelbåge D6C6 och ytterväggen (till höger i figuren). Figuren visar resultatet av analys på pelaren utan belastning från nytt tak och utan nuvarande dragstag. Volymen ovanför pelaren som delvis syns i figuren simulerar den extra vertikala lasten som kommer

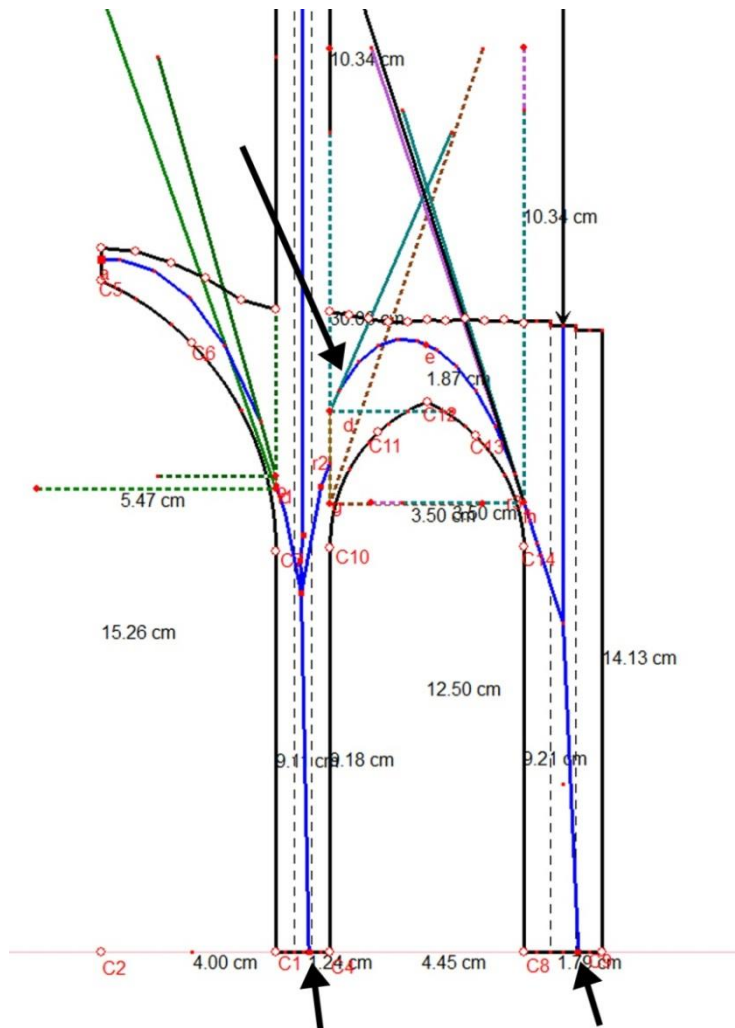


Figur 7.47. Trycklinjens placering i pelare C5, gördelbågar D5C5B5 och yttervägg. Pilarna nedtill visar att trycklinjen ryms inom geometrin mittersta tredjedel både för pelaren och ytterväggen. Volymen ovanför pelaren simulerar den extra vertikala lasten som kommer från sköldbågarna C4C5 och C5C6.

utan dragstag visar att valven kring pelare C5 utan problem kan balansera varandra och säkra trycklinjens placering inom konstruktionens geometri, se figur 7.47. Den geometriska säkerhetsfaktorn blir under dessa förutsättningar upp mot 4 till 5.

Om valv M5 funnits kvar skulle det påverkat resultatet enligt figur 7.48. Trycklinjen i sidovalven hade behövt ta en mer aktiv position för att motverka den ökande uttryckningskraften från mittvalven.

Resultaten av analyserna för pelare C5 visar att konstruktionens ursprungliga utseende har stora möjligheter att ta upp olika krafter. Detta beror på sidoskeppens valv och gördelbågars förmåga att fungera som stråvpelare mot mittvalven där trycklinjen kan ta en olika aktiv bana.

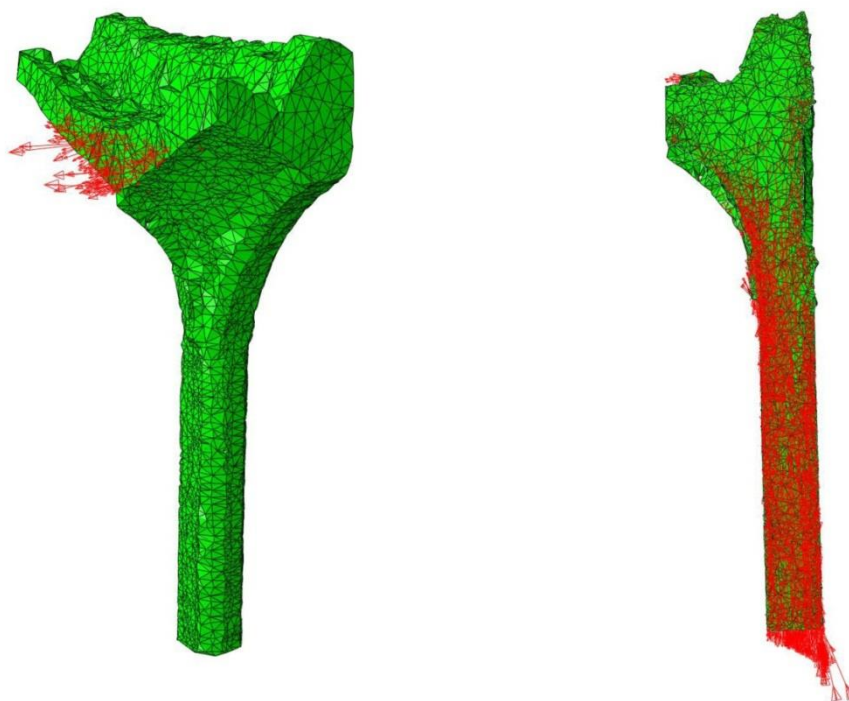


Figur 7.48. Trycklinjens placering i pelare C5, gördelbågar D5C5B5 och yttervägg under förutsättning att valv M5 funnits kvar. Den övre pilen visar att trycklinjen i gördelbåge D5C5 behöver ta en mer aktiv bana för att motverka den ökade uttryckningskraften från mittskeppens valv. Även trycklinjerna i sidoskeppens valvkappor kommer ta en mer aktiv bana. Sidoskeppen fungerar som en stråvkonstruktion för mittskeppet och för över en del av uttryckskrafterna till ytterväggarna. Det gör att trycklinjen hamnar något längre ut i ytterväggen, se den högra pilen i figuren. Dock är det inga problem att med god marginal rymma in trycklinjen inom konstruktionens geometri. Volymen ovanför pelaren simulerar den extra vertikala lasten som kommer från sköldbågarna C4C5 och C5C6.

FEM ANALYSER

Vid framtagandet av 3d-modellerna av S:t Nicolai för import till beräkningsprogrammet (Abaqus) visar det sig att störningar i det skannade punktmolnet som gräs eller större "hål" där det saknas punkter eftersom delar av ruinens ovansida varit i "skugga" vid laserskanningen har stor inverkan på arbetsinsatsen för att få en fungerande 3d-modell. Vid stora håligheter krävs manuellt arbete för att fylla i modellen.

I figur 7.49 visas resultat från analys av pelare C6 i form av sprickutbredning och tryckflödet (minimal huvudspänning). Sprickornas placering i modellen stämmer väl med teorin och det är troligt att det finns strukturella sprickor där i ruinerna även om de inte syns från marken. Tryckflödet som anger trycklinjens placering blir under de rådande förutsättningarna motsvarande den från den parametriska trycklinjeanalysen som redovisas i figur 7.46.



Figur 7.49. FEM-analys pelare C6. I modellen är området markerat med grått i figur Bilden till vänster visar uppkomsten av sprickor i gördelbågens (D6C6) underkant och bilden till höger visar flödet av tryckkrafter centriskt i pelaren. I bilden går det att utläsa att trycklinjen ligger nära pelarens högra kant vid pelarens bas.

7.5.3 SAMMANFATTNING S:T NICOLAI

Metoderna som undersökts och utvecklats i projektet har testats på kyrkoruinen S:t Nicolai i Visby. Parallellt med projektet har metoderna också använts i skarpt läge för analyser relaterade till det pågående byggprojektet S:t Nicolai Kultudral.

Att använda laserskanning för att få geometriska indata till beräkningsmodeller skapar förutsättningar för både ökad effektivitet och ökad kvalitet i analyserna. Med en traditionell uppmätning skulle det krävas en avsevärd arbetsinsats för att få en hög noggrannhet som ändå inte skulle kunna mäta sig med den som laserskanningen ger. Till exempel visar det sig att de tidigare uppmätningarna av ruinen från 1930-talet felar på upp emot en meter i vissa delar.

Att få punktmoln med lite störningar i form av till exempel gräs eller avsaknad av punkter är avgörande för den arbetsinsats som krävs för att få fram 3d-modeller som kan importeras till beräkningsprogrammen.

Parametrisk trycklinjeanalys och icke-linjär FEM-analys kompletterar varandra och ger en bra beskrivning av konstruktionens verkningssätt och resultaten är jämförbara. Trycklinjeanalysen ger en tydlig överblick över vilka faktorer som spelar in på verkningssättet och den ger möjligheten att undersöka deras påverkan i realtid.

7.6 RESULTAT OCH DISKUSSION

Utvärdering och förståelse av verkningssätt är en avgörande faktor för bevarande och användning av det byggda kulturarvet. Det kan röra sig om uppenbara skador som behöver repareras eller att byggnaden kommer att få en ny användning som innebär nya förutsättningar för konstruktionen. I en ruin blir frågor kring hållfasthet, hållbarhet och säkerhet ställda på sin spets. Projektet har syftat till att finna och utveckla metoder som är effektiva och praktiskt tillämpbara för analys av verkningssättet i historiska murverkskonstruktion-

er. I detta har ingått att undersöka användningen av laserskanning för att fånga den ofta komplexa geometrin i murverkskonstruktioner.

Med hjälp av laserskanning är det möjligt att få en mycket noggrann beskrivning av komplicerade murverkskonstruktioners geometri på ett effektivt sätt. Trots att processen från laserskanning till beräkningar och analys av konstruktioner i vissa fall kräver omfattande handpåläggning bedöms metoden vara fullt tillämpbar och konkurrenskraftig. Vi har funnit att det är viktigt att vid planeringen av laserskanningen ha en nära kommunikation mellan de som genomför själva laserskanningen och de som ska använda punktmolnet för olika syften. I jämförelse med traditionell uppmätning är förmodligen metoden tidseffektiv samtidigt som den ger förutsättningar för ett resultat av högre kvalitet. På köpet fås ett skannat punktmoln av objektet som kan användas för många olika applikationer som dokumentation, framtagande av ritningar, VR-modeller, virtuell akustik med mera.

De metoder för analys av historiska murverkskonstruktioner som vi undersökt i projektet är dels baserade på trycklinjeanalys med hjälp av grafisk analys (parametrisk trycklinjeanalys) och dels baserade på ickelinjär analys med Finita ElementMetoden (FEM).

Parametrisk trycklinjeanalys är en visuell och intuitiv metod för att undersöka murverkskonstruktioners stabilitet och verkningssätt. Genom modellernas konstruktion utsluts den risk för fel som kan uppkomma vid en traditionell grafisk analys som görs för hand. Modellerna ger användaren möjligheten att experimentera med trycklinjens placering beroende på förändringar av last, geometri och upplagsvillkor och få resultat i realtid. Metoden blir ett verktyg för att undersöka hur olika faktorer påverkar konstruktionens verkningssätt.

Genom att parametrisk trycklinjeanalys ger en direkt respons till användaren kring hur lasten påverkar trycklinjens form ges möjligheten att snabbt kunna göra jämförelser mellan olika konstruktioner och hur olika faktorer påverkar verkningssättet. Detta kan användas både för att finna lämpliga åtgärder vid problem eller för att göra byggnadshistoriska studier genom till exempel jämförelser mellan olika konstruktioner.

Av de program som testades för ickelinjär FEM-analys i kombination med hanterande av komplicerade tredimensionella geometrier fungerade Abaqus bäst. Abaqus är ett kraftfullt beräkningsprogram där det finns många möjligheter att göra olika inställningar för att utveckla och förbättra beräkningsmodeller av historiska murverkskonstruktioner. Det ställs höga krav på beräkningsingenjören för att kunna tolka och utvärdera resultaten från de ickelinjära analyserna och vid behov revidera analysen.

Projektet visar att metoderna kompletterar varandra genom att de ger olika beskrivningar av verkningssättet som tillsammans ger en fullständigare bild av konstruktionens sätt att bära sin last och de faktorer som påverkar bärförmågan.

Båda analysmetoderna bekräftar det som tidigare studier visat att det är geometrins form som är avgörande för historiska murverkskonstruktioners verkningssätt och bärförmåga.

Följande steg rekommenderas ingå i processen för att förstå verkningssätt och fånga geometrin med hjälp av laserskanning vid undersökning och restaurering av historiska murverkskonstruktioner:

- Byggnadsundersökning för att få indata till analyser och få en beskrivning av byggnadens skick med de eventuella skador och deformationer som finns i byggnaden. Litteratur och arkivstudier för historisk, strukturell och arkitektonisk undersökning.
- Planering av laserskanningen med samarbete mellan de som ska genomföra själva skanningen och de som ska använda punktmolnet för olika applikationer.
- Inmätning av stomnät.
- Laserskanning.
- Registrering av punktmoln.
- Sammanställning av resultaten av byggnadsundersökning och beskrivning av byggnadens anamnes.
- Överföra punktmolnet till format som kan hanteras av beräkningsprogram. För trycklinjeanalys behöver sektioner plockas fram och för ickelinjär FEM-analys behöver 3d-modeller skapas.
- Upprättande av beräkningsmodeller.
- Beräkningar och analyser med exempelvis CABRI II Plus och Abaqus.

- Analys av resultatet och verifiering mot resultat från byggnadsundersökning.
- Identifiering av orsak och verkan bakom skador (diagnos).
- Värdering av byggnadens säkerhet.
- Beslut om eventuella åtgärder och sammanställning av en förklarande rapport.

Ett viktigt resultat av projektet är att det nu lagts en grund för vetenskapliga studier av historiska murverkskonstruktioner och deras verkningssätt i Sverige. Genom projektet har flera delområden inom forskningsfältet identifierats där fortsatt forskning är önskvärt.

7.6.1 FORTSATT FORSKNING

INVENTERING AV SVENSKA VALVKONSTRUKTIONER

Det finns inga studier där valvtyper och valvkonstruktioner i Sverige har inventerats och analyserats som konstruktioner. En systematisk beskrivning av de valvtyper som finns och deras verkningssätt är önskvärt. En sådan genomgång skulle syfta till att öka kunskapen om verkningssättet hos historiska valvkonstruktioner vilket kan underlätta i restaureringssituationer.

VIDAREUTVECKLA PARAMETRISK TRYCKLINJEANALYS

De CABRI II Plus modeller som utvecklats i projektet behöver vidareutvecklas och förfinas. Ytterligare grundvarianter behöver tas fram för att täcka in fler typer av konstruktioner. Av modellerna kan också Java-applets skapas med hjälp av Cabri Java Project (2012) där analyser kan genomföras oberoende av programmet CABRI II Plus.

UTVECKLA ANVÄNDANDET AV STRIMMETODEN

I projektet har en variant att dela in 3-dimensionella valv med strimmetoden använts för de parametriska trycklinjeanalyserna. För de genomförda studierna har indelningen gett resultat på den säkra sidan men för vissa valvformer kan andra indelningar vara fördelaktiga och ge en bättre beskrivning av valvens verkningssätt. Att undersöka hur olika indelningar påverkar resultatet av trycklinjeanalyserna för att finna optimala indelningar för olika former skulle kunna ge skarpare analyser.

THRUST NETWORK ANALYSIS (TNA)

De tredimensionella trycklinjeanalyserna med hjälp av strimmetoden ger ett konservativt resultat och tar inte hänsyn till möjliga gynnsamma effekter av mer avancerade bärverksmönster. Metoden Thrust Network Analysis (TNA) som utvecklats vid MIT (Block & Oschendorf 2007 och Block 2009) är en tredimensionell utveckling av trycklinjeanalys. Metoden finns beskriven i detalj men det finns ingen tillgänglig programvara för dess användning vilket innebär att om metoden ska gå att använda behöver en utveckling av den för svenska förhållanden göras.

MATERIALEGENSKAPER HOS HISTORISKA MURVERK

Det saknas en koncis sammanställning av materialegenskaper för historiska murverk i Sverige. För att kunna göra bättre modeller av konstruktioners verkningssätt och för att kunna göra vederhäftiga bedömningar av säkerheten hos konstruktioner behövs mer kunskap om de ingående materialen. För att få ökad kunskap om materialens egenskaper kan provningar i laborationsmiljö, provningar in situ och olika analysmodeller tillämpas.

HANTERING AV OSÄKERHETER

Att finna metoder att hantera osäkerheter rörande material, hållfasthet, geometri, grundläggning etc. skapar en bättre grund för objektiva sätt att bedöma säkerhet hos historiska konstruktioner. Att överföra probabilistisk analys som idag används för avancerade moderna konstruktioner till analys av historiska murverkskonstruktioner för att hantera osäkerheter är ett tillvägagångssätt som utvecklats vid Katholieke Universitet Leuven (Schueremans 2006, Schueremans & Verstryng 2008). Metoden vore intressant att undersöka och utveckla för svenska förhållanden.

RÖRELSER I MURVERKSKONSTRUKTIONER

Metoderna som använts i projektet har varit inriktade på statisk analys. Då problem i historiska murverkskonstruktioner ofta är relaterade till rörelser i grundläggningen behöver metoder som tar hänsyn till sådana rörelser och visar hur de påverkar verkningssättet utvecklas. Hur påverkar till exempel eftergivliga upplagsvillkor analyserna? Metoder att göra analyser på uppskattad ursprunglig geometri och stödvillkor för att se om deformationer och sprickbild som finns i konstruktionen går att återskapa i modellen är ett sätt att verifiera att modellen och antaganden är rätt.

ICKELINJÄR FEM-BASERADE ANALYSER

En noggrann genomgång av forskningsläget behövs för att undersöka alternativa materialmodeller och analysförutsättningar. Vilka alternativa beräkningsverktyg används för analyser av murverkskonstruktioner?

UNDERSÖKNING AV MURVERKSKONSTRUKTIONER MED GEORADAR

I historiska murverkskonstruktioner är det ofta oklart hur tjocka murar ser ut inuti. Finns det håligheter eller olika material är det viktig information inför analyser av konstruktionen. Samtidigt är det oftast inte möjligt eller önskvärt att genom förstörande metoder undersöka skicket. Därför är så kallade icke-förstörande metoder intressanta att undersöka. En sådan metod är att använda georadar för att försöka kartlägga den interna strukturen i byggnader.

MÄTNING OCH ÖVERVAKNING

Vid strukturella skador i historiska murverkskonstruktioner uppkommer ofta frågan om skadan är pågående eller avstannad. För att undersöka detta och övervaka rörelser krävs avancerad mätutrustning och system för kontroll. Att utvärdera och utveckla metoder för övervakning och kontroll av deformationer och rörelser i historiska byggnader är därför av intresse.

KÄLLFÖRTECKNING

- 3Dresaper. (2012). [Datorprogram]. Technodigit. <http://www.3dresaper.com/> [2012-02-20].
- Allen, E. (red.), Zalewski, W. (2010). *Form and forces: designing efficient, expressive structures*. Hoboken: Wiley
- Andersson, K. & Hildebrand, A. (1988). *Byggnadsarkeologisk undersökning: det murade huset*. 2., rev. uppl. Stockholm: Informationsenheten, Riksantikvarieämbetet.
- Andersson, R. & Söderberg J. (1934-35 och 1974). *Uppmåtningsritningar av St Nicolai*.
- Akash, T. & Quinterro, M. S., (red.) (2010). *Proceedings of the Seventh International Conference on Science and Technology in Archaeology and Conservation & The CIPA Workshop on Documentation and Conservation of Stone Deterioration in Heritage Places*. Amman, Petra, Jordanien, 7-11 december 2010.
- Archie-M. (2012). [Datorprogram] Obvis Ltd. <http://www.obvis.com/archie-m/> [2012-02-20].
- ATENA engineering. (2012) [Datorprogram] Cervenka Consulting. <http://www.cervenka.cz> [2012-02-20].
- AutoCAD. (2012). [Datorprogram] Autodesk. <http://www.autodesk.se> [2012-02-20].
- Bálint, S. (2005). *Illustrated Dictionary of Historic Load-Bearing Structures*. Cluj-Napoca, Rumänien. Utilitas.
- Balksten, K. (2007). *Traditional lime mortar and plaster: reconstruction with emphasis on durability*. Diss. Göteborg : Chalmers tekniska högskola, 2007.
- Berggren, K. & Humble, O. (red.) (1990). *Åldre murverkshus: reparation och ombyggnad : [handbok]*. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Björk, C., Reppen, L. & Kallstenius, P. (1992). *Så byggdes husen 1880-1980: arkitektur, konstruktion och material i våra flerbostadshus under 100 år*. 4. uppl. Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Block, P. (2005). *Equilibrium Systems: Studies in masonry structures*. MS thesis. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.
- Block, P., Ciblac, T. & Ochsendorf J. A. (2006). "Real-time limit analysis of vaulted masonry buildings." *Computers and Structures* 84 (29-30), 1841-1852.
- Block, P. & Ochsendorf, J. A. (2007). "Thrust Network Analysis: A new methodology for three-dimensional equilibrium." *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, Vol. 48 (2007), No. 3 December n. 155.
- Block, P. (2009). *Thrust Network Analysis: Exploring Three-dimensional Equilibrium*. Diss. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA.

- Brigade+. (2012). [Datorprogram] Scanscot Technology. <http://www.scanscot.com/products/brigadeplus/> [2012-02-20].
- CABRI II Plus. (2012). [Datorprogram] Cabriolog. <http://www.cabri.com> [2012-02-20].
- Cabri Java Project. (2012). [Hemsida/datorprogram]. <http://www.cabri.net/cabrijava/> [2012-02-21].
- D'Ayala, D. F. (2007). Numerical modelling of masonry structures. I Forsyth, M. (red.), *Structures & Construction in Historic Building Conservation*. England, Blackwell Publishing.
- Dührkop, H. (1966). *Bruk - murning - putsning*. Stockholm: Svensk byggtjänst (distr.).
- Ehlton, F., Sundberg, B., & Grahn Andersson, A. (2008). *Vårdprogram för S:t Nicolai ruin i Visby*. Studentarbete. Visby: Högskola på Gotland.
- Eurokod 0 och 1, Grundläggande dimensioneringsregler och laster. (2004). Stockholm: SIS
- Eurokod 6, Murverkskonstruktioner (2005). Stockholm: SIS.
- Greenwood, S. & Allen, E. (2001). Active Statics [Datorprogram]. <http://acg.media.mit.edu/people/simong/statics/data/> [2012-02-20].
- Handboken Bygg. T, Byggtabeller*. (1983). Stockholm: LiberFörlag.
- Hantverkets bok. 4, Mureri*. (1936). Stockholm: Lindfors
- Hesselman, G. (1945). Från skråhantverk till byggnadsindustri: om husbyggen i Stockholm 1840-1940. Stockholm: AB Tidskriften Byggmästaren
- Heyman, J. (1966). "The Stone Skeleton." *International Journal of Solids and Structures*, 2, 249-279.
- Heyman, J. (1969). "The safety of masonry arches." *International Journal of Mechanical Sciences*, 11, 363-385.
- Heyman, J. (1995). *The Stone Skeleton: Structural Engineering of Masonry Architecture*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Heyman, J. (1996). *Arches, Vaults and Buttresses: Collected Essays*. Aldershot: Ashgate Publishing.
- Heyman, J. (1998). *Structural Analysis: A Historical Approach*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Hooke, R. (1675). A Description of Helioscopes, and Some Other Instruments. London: J. Martyn.
- Huerta, S. (2008). "The Analysis of Masonry Architecture: A Historical Approach." *Architectural Science Review* Vol. 51.4: 297-328.
- Jones, D. M. (red.) (2007). 3D Laser Scanning for Heritage: Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. English Heritage. Wyndeham Westway Ltd.
- Karlsson, A. M. (1986). *Stjärnvalv i det senmedeltida Sverige*. Diss. Stockholm : Stockholms Univ.
- Killian, A & Ochsendorf J. (2005). Particle-spring systems for structural form finding. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures* 46(2), 77-85.
- Kurrer, K.-E. (2008). The History of the Theory of structures: from arch analysis to computational mechanics. Berlin: Ernst & Sohn.
- LAS-format. (2012) [fil format]. http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/lidar_exchange_format.html [2012-02-20].
- Leica Cyclone. (2012). [Datorprogram]. Leica Geosystems. http://hds.leica-geosystems.com/en/Leica-Cyclone_6515.htm [2012-02-20].
- Lindberg, S. & Menander, H. (2009). *Byggnadsarkeologisk undersökning på Läckö slott*. Riksantikvarieämbetet (UV Öst Rapport 2009:44).
- Persson, M. (2008). *Terrester laserskanning eller totalstation – en jämförelse vid inmätning i stadsmiljö*. Examensarbete. GIS-ingenjörsprogrammet löpnummer 2008:02. Karlstad: Karlstads universitet.
- Pointools. (2012). [Datorprogram]. Pointools Ltd. <http://www.pointools.com/> [2012-02-20].
- Riksantikvarieämbetet (2012). http://www.raa.se/cms/extern/kulturarv/kulturvard/forskning_och_projekt/3d_scanning_av_clara_kyrka.html [2012-02-20].
- Ring (2012). [Datorprogram]. Limitstate Ltd. <http://www.limitstate.com/ring> [2012-02-20].
- Schueremans L. (2006). "Assessing the safety of existing structures using a reliability based framework: possibilities and limitations", *International Journal of Restoration of Buildings and Monuments*, Vol.12, No.1, pp. 65-79.
- Schueremans, L. & Vangenechten, B. (2008). "The use of 3D-laser scanning in assessing the safety of masonry vaults – A case study on the church of Saint-Jacobs", *Optics and Lasers in Engineering* 47 (2009) 329-335.
- Schueremans, L. & Verstryngne, E. (2008) "Use of reliability methods for evaluating safety of historic structures" *Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*. 2-4 July 2008, Bath, UK, pp. 1321-1329.
- Sjömar, P. (2000). *Byggnadsuppmätning: historik och praktik*. 1. [uppl.] Stockholm: Riksantikvarieämbetets förl.
- SketchUp. (2012). [Datorprogram]. Google. <http://sketchup.google.com/> [2012-02-20].
- Smars, P. (2000). Etudes sur la stabilité des arcs et voûtes. Confrontation des méthodes de l'analyse limite aux voûtes gothiques en Brabant. Diss. Katholieke Universiteit Leuven, Leuven Belgien.
- Stenkartoteket: Svensk-Norskt Stenkartotek (2003). *En handbok om natursten*. Kristianstad: Sveriges Stenindustriförbund.
- Theelin, C. (2006). Medieval timber roof structures: Conceptual methods for investigation and evaluation of structural behavior, with the horizontal thrust problem as an application. Diss. Göteborg: Chalmers tekniska högskola, 2006.
- Theelin, C. (2008). *St Nicolai – utredning av konstruktionen*. Rapport Tyréns uppdrag 217074, Växjö.
- Theelin, C. (2012). *S:t Nicolai Kulturdal – ruin med nytt tak*. Rapport Tyréns uppdrag 230361, Växjö.
- Ungewitter, C.G. (1901). Lehrbuch der gotischen Konstruktionen: IV Auflage neu bearbeitet von K. Mohrmann (4th ed). Leipzig: Chr. Herm. Tauchnitz.
- Wolfe, W. S. (1921). *Graphical Analysis: A handbook on graphic static*. New York: McGraw-Hill Book Company.

8. PÅ KOMFORTENS BRANT – KLIMATET I RUINER

Text & foto: Tor Broström, Magnus Wessberg, Högskolan på Gotland & Håkan Nilsson, WSP Environmental

8.1 INLEDNING

En förutsättning för att kunna använda ruinen som det är tänkt är att klimatet i ruinen kan modereras i förhållande till utomhusklimatet för att ge en acceptabel komfort. Det handlar framför allt om luftrörelser, men även om temperatur.

Komfort definieras som ”det sinnestillstånd som uttrycker tillfredsställelse med inomhusklimatet”. Det innebär att komfort, såsom den uppfattas av var och en, är en komplex interaktion mellan kropp, sinne och omgivning. Att skapa komfort i en ruin tillför ytterligare ett element; bevarande och upplevelse av en kulturarvmiljö. Klimatet i en ruin kommer av nödvändighet att utmynna i en kompromiss mellan olika faktorer.

Syftet med projektet är inte bara att öka kunskapen om inomhusklimat och komfort rent generellt, utan att undersöka kompromissen som helhet, väga olika faktorer mot varandra. Forskning på klimat i ruiner är mycket begränsad. Det som ligger närmast till hands är att jämföra med studier gjorda på historiska byggnader, framförallt kyrkor. Men i ett öppet rum som ruinen tillkommer luftrörelser som kan vara extrema. Delprojektet har undersökt hur ett bättre klimat kan uppnås genom ett minimum av både åtgärder och energiförbrukning.

Komfortundersökningarna inom ramen för detta projekt har fokuserat på två områden:

- Mätning, analys och åtgärder avseende luftrörelser i ruinen
- Beskrivning av klimatupplevelsen i nuläget med hjälp av enkäter.

8.2 VINDRÖRELSE I RUINEN

8.2.1 PROBLEMBESKRIVNING

Vid olika evenemang i ruinen har det visat sig att det är mycket stora luftrörelser i ruinen. Speciellt problematiskt är förhållanden på scenen där bl. a. notblad och annan viktig rekvisita vid flertal tillfällen har blåst av scenen. Vid bröllop och liknande tillställningar har blomsterarrangemang, dukar och matservis flyttats runt av de starka luftrörelserna i ruinen. Mer allmänt ger luftrörelser (drag) sämre komfort för publiken. Komfortundersökningarna nedan visar att luftrörelserna har stor betydelse.

I ruinens västra gavel finns tre stora fönsteröppningar, se bild 8.1. Den största har en area som är mer än 30 m². I den södra långsidan finns ett antal fönsteröppningar varav den västra öppningen är belägen i höjd med scenens främre del. Öppningarnas nedre kant är 4 m ovanför marknivå och ca 2,5 m ovanför scenen.

Då den förhärskande vindriktningen är från sydväst är dessa stora öppningar en kraftigt bidragande orsak till luftrörelserna i ruinen.



Bild 8.1 Fönsteröppningarna i västra gaveln, S:t Nicolai

8.2.2 EJEKTORVERKAN

I Ruinens östra del, över det gamla koret, är valven nedrasade sedan länge. Se bild 8.2 nedan. Öppningen i taket kan orsaka s.k. ejetektorverkan, dvs. att vinden som drar förbi hålet skapar ett undertryck som suger ut luft genom hålet. Luftrörelsen i ruinen förstärks ytterligare genom att vinden, som ofta kommer från sydväst, skapar ett övertryck på ruinens västra sida. Det här innebär att det ofta är kraftigare luftrörelser inne i ruinen än utomhus

För att minska luftrörelserna i ruinen har Exners arkitektbyrå föreslagit att vindbrytande nät sätts upp i de största fönsteröppningarna. Genom att använda nät i stället för t ex glas kan luftrörelserna reduceras medan känslan av att sitta i ett öppet rum ändå bevaras. Näten föreslås vara höj- och sänkbara så att rådande vind styr hur mycket fönsteröppningarna som behöver täckas av näten.

Delprojektets övergripande fråga är alltså om montering av vindbrytande nät i de stora öppningarna kan reducera luftrörelserna i ruinen. Frågan gäller också om tillräcklig effekt uppnås om näten endast monteras i en begränsad del av fönsteröppningen, i ett begränsat antal öppningar.



Bild 8.2 Hålet i taket på ruinens östra sida.

8.3 GENOMFÖRANDE



Undersökningen av luftrörelserna i ruinen omfattade följande steg:

- Kartläggning av luftrörelser i ruinen före åtgärder
- Val av principlösning: Vilka fönster ska täckas, hur stor del av fönsterytorna behöver täckas
- Val av nät
- Mätning av luftrörelser före och efter installation av vindbrytande nät.

Bild 8.3 Den västliga vinden har stark genomströmning i ruinen

8.3.1 KARTLÄGGNING OCH MÄTNING AV LUFTRÖRELSE I RUINEN FÖRE ÅTGÄRDER

Med hjälp av en rökmaskin och rökfacklor gjordes en kartläggning av luftrörelserna i ruinen. Detta för att få en kvalitativ förståelse för hur luftrörelserna i ruinen ser ut och vad som orsakar dem. Vinden kom från väst och sydväst med en hastighet av 2-5 m/s.

Försöken med rökgeneratoren, se bild 8.3, visar att det blåser rakt genom ruinen. Intrycket var att det blåste mer inne i ruinen än ute. Över scenen är det stundvis kraftig turbulens. Lufthastigheten och turbulens avtar något i bakre delen av ruinen.

8.3.2 VAL AV PRINCIPLÖSNING

För få ett grepp om hur olika insatser påverkar luftrörelserna monterades en presenning provisoriskt i det stora fönstret mot väst. Den täckte cirka en tredjedel av fönsterytan, se bild 8.5.

Vindavskärmningen gav en mycket tydlig effekt, se bild 8.6 och 8.7. Den axiella, längsgående komponenten av luftrörelserna försvann nästan helt, trots att vinden tilltog under försöket. Den kraftiga turbulensen försvann. Effekten är märkbar i större delen av ruinen ända fram till koret.

Detta enkla försök visar att vindavskärmning, även i begränsad omfattning, har en positiv effekt på luftrörelserna. Det uppstod inga negativa sidoeffekter i form av ökad turbulens eller att luftrörelserna förstärks i andra delar av ruinen.

Resultaten ledde till att projektgruppen beslutade att prova en ganska begränsad lösning för vindavskärmning. Nät skulle sättas upp enbart i fönsteröppningarna på den västra gaveln.

Samtliga tre öppningar finns i det sydvästra hörnet av ruinen. Två nät i de två största öppningarna på västra gaveln samt ett nät i en öppning på den södra långsidan. Vindnäten täckte ca 60 % av öppningarna se bilder nedan.

Syftet med detta försök var att prova principlösningen. Installationerna var provisoriska utan någon ambition till arkitektonisk anpassning.



Bild 8.4 Längre fram på scenen är den västliga luftrörelsen fortfarande stark. Försök med rök i maj 2010.



Bild 8.5. Vindavskärmningen täckte cirka 1/3 av fönsterytan.

8.3.3 VAL AV NÄT

På marknaden finns det ett antal leverantörer av vindbrytande nät. Näten används ofta i moderna djurstallar för lösdrift, maskinhallar och garage men även för att skapa lä vid golfbanor, åkrar och foderplatser. Näten är gjorda av flätade polyestertrådar som är begjutna med färgad pvc. Se bild nedan. Till försöket valdes en grå nyans så att näten "sticka ut" så lite som möjligt.

Den 15 juni 2010 monterades vindbrytande nät i de tre största fönsteröppningarna.



Bild 8.6 Röken avstannar en bit från rökgeneratoren och stiger sedan sakta upp.



Bild 8.7 Trots en kraftig vind i västlig riktning rör sig luften sakta mot söder.

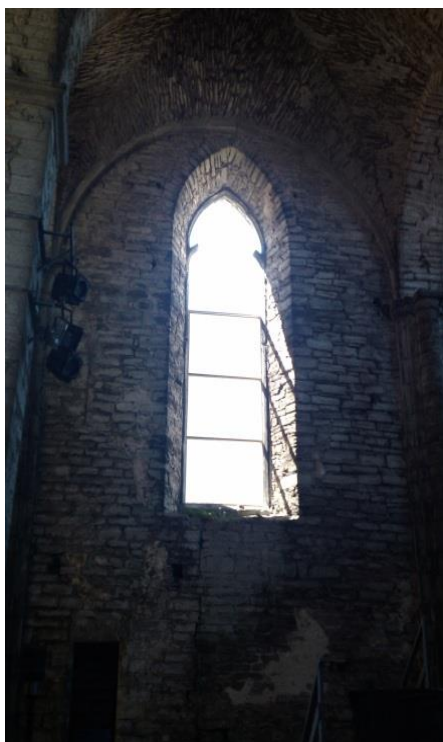


Bild 8.8-8.10 Vindnäten monterade i fönsteröppningarna.

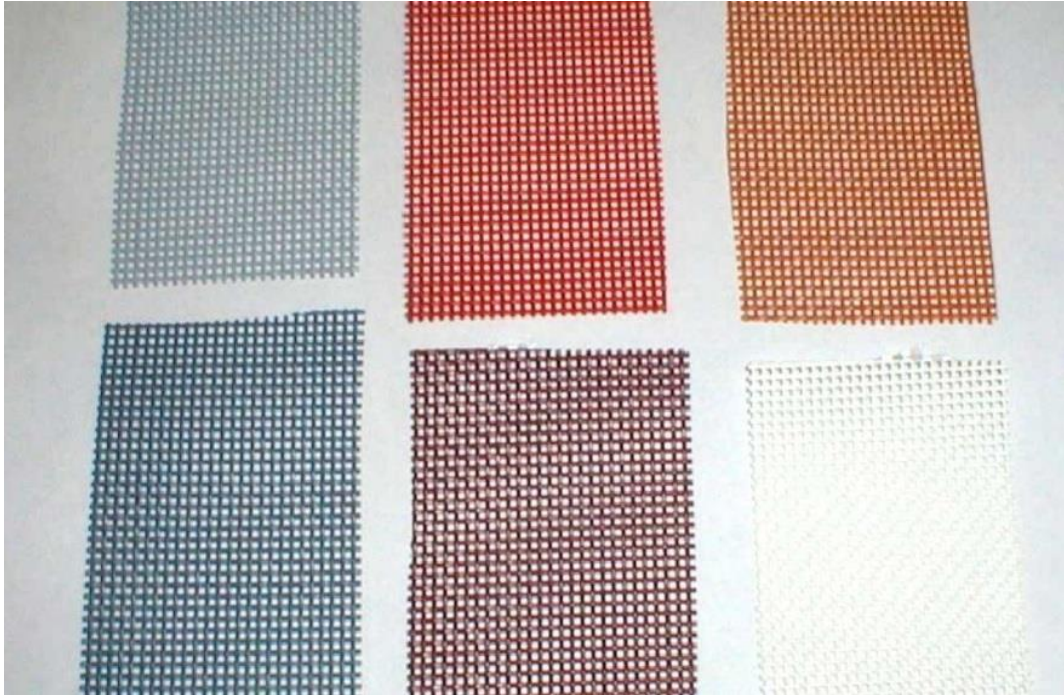


Bild 8.11 Vindnätssprover med olika vindreduktionsgrad och i olika kulörer.

8.3.4 MÄTNING OCH ANALYS AV LUFTRÖRELSER

I maj 2010 placerades fyra st. vindmätare, s.k. anemometrar, ut i ruinen. Tre anemometrar inuti ruinen samt en anemometer på ruintaket. Se figur nedan. Anemometrarna mäter vindhastigheter i intervallet från 1 m/s upp till 67 m/s och riktning med en upplösning om 22,5 grader.

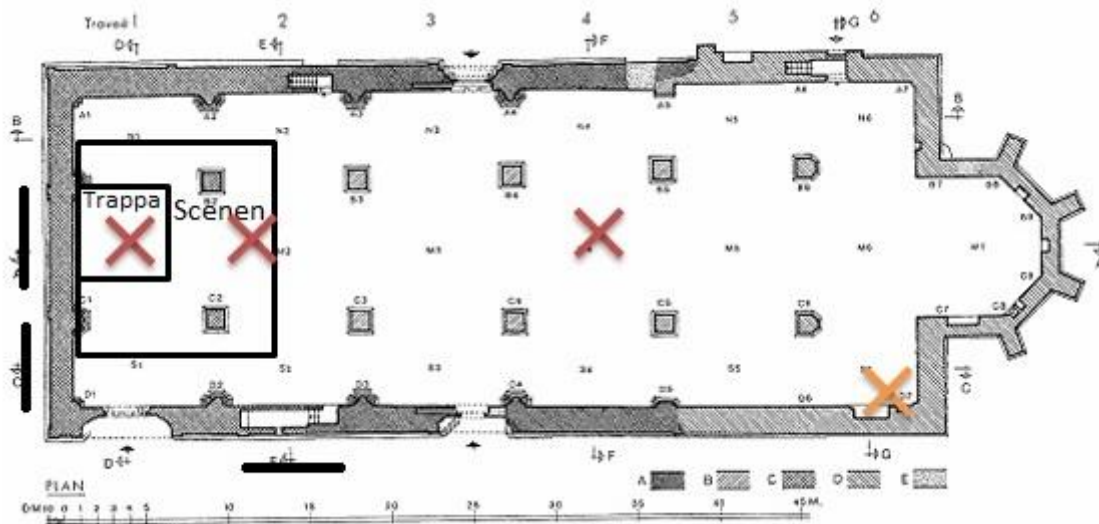


Bild 8.12 Vindmätarnas och vindnätens placeringar.

8.4 RESULTAT

Näten monterades upp den 15 juni 2010 satt kvar till den 19 augusti 2011. Mätningar med anemometrar gjordes från den 4 maj till den 20 oktober 2010. Kompletterande mätningar utan nät gjordes perioden 19 augusti 2011 till den 31 augusti 2011. Den 31 augusti 2011 upphörde försöket och all mätutrustning togs ned.

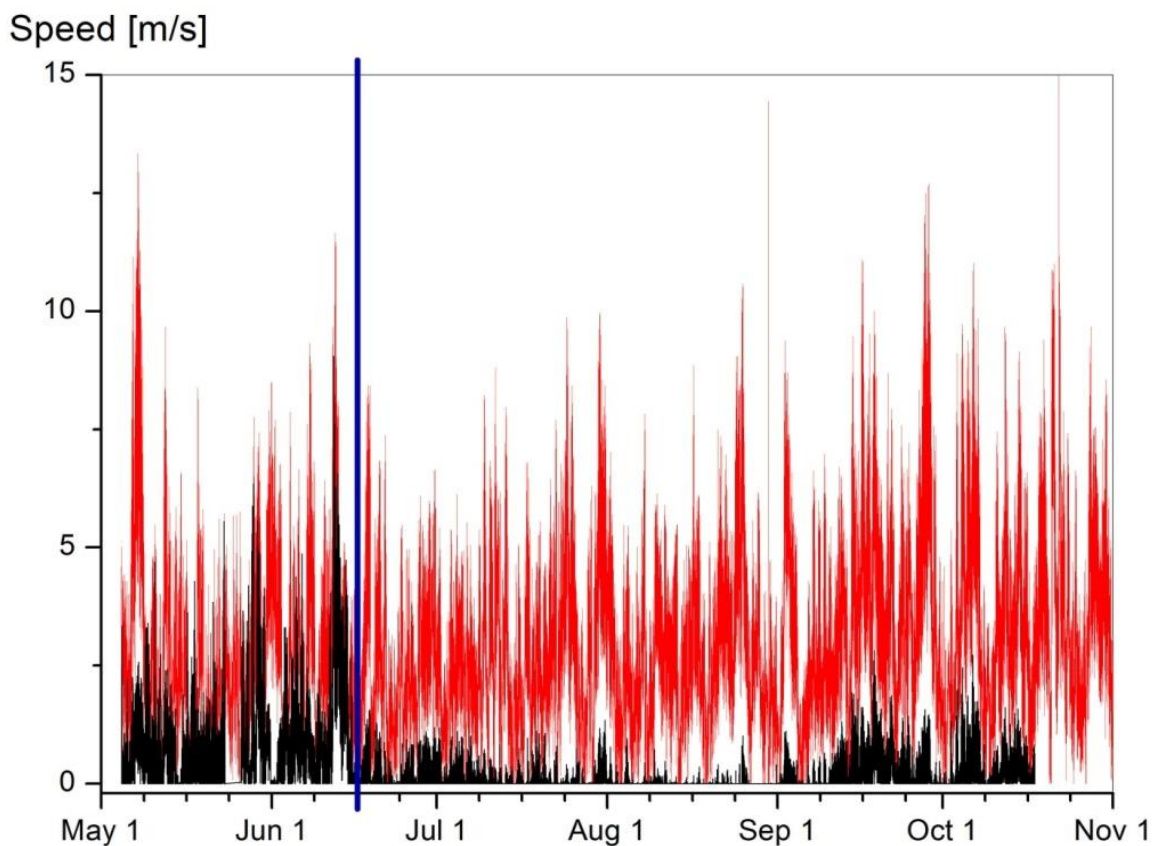


Bild 8.13. Den röda grafen visar uppmätt vindhastighet ovanpå ruinen (vind). Den svarta grafen visar lufthastigheten vid den västra och även största öppningen (kallad trappan).

8.4.1 LUFTHASTIGHET

Följande resultat observerades: Det syns tydligt att lufthastigheten vid trappan avog markant den 15 juni då vindnäten monterades. Lufthastigheter om tidigare 5 till 10 m/s reduceras till nivåer under 2,5 m/s.

Som ett mått på lufthastighetsminskningen beräknas medelvärdet av lufthastigheterna före och efter det att vindnäten monterats. Sedan divideras dessa medelvärden med medelvärdet av vindhastigheten (utomhus) under samma period. Då fås en normerad medellufthastighet som kan användas för att jämföra lufthastigheterna före och efter uppsättning av vindnäten.

Vid västra fönsteröppningen var luftens medelhastighet 0,84 m/s före uppsättningen av vindnäten och 0,091 m/s efter nätuppsättningen. Om dessa medelvärden divideras med respektive medelvärden av vindhastigheten under samma period fås $0,84/2,79 = 0,30$ respektive $0,09/2,87 = 0,031$ m/s. Detta kallas här de normerade lufthastigheterna eftersom hänsyn tas till vindhastigheten. Den normerade medelhastigheten (lufthastighet delat med vindhastighet) vid den stora västra fönsteröppningen minskade 10 ggr då näten sattes upp.

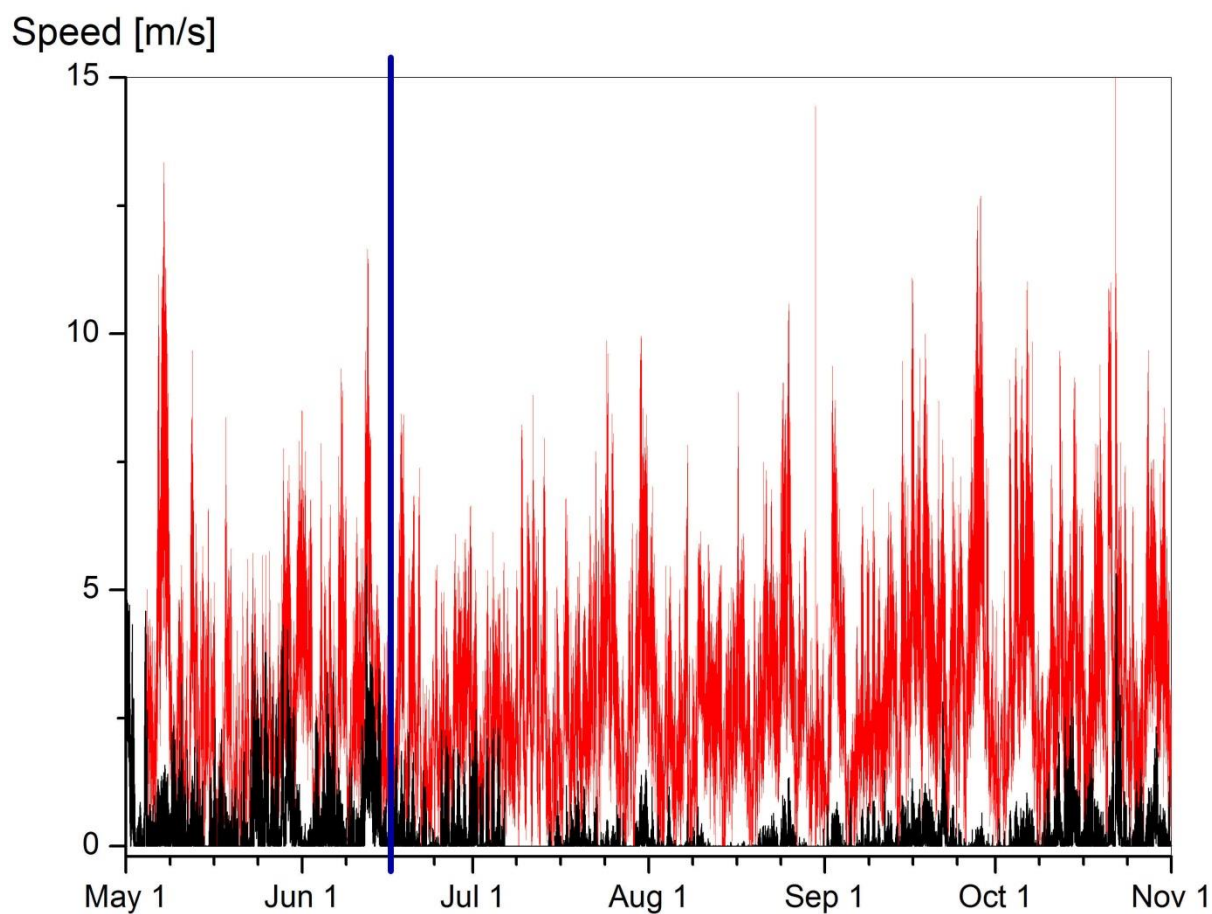


Bild 8.14 Den röda grafen visar uppmätt vindhastighet på taket. Den svarta grafen visar lufthastigheten på den lägre och främre delen av scenen (mot publiken).

Även här ser vi en viss reducering av lufthastigheten då näten monteras den 15 juni men inte alls i samma grad som vid den stora öppningen.

Medelvärdet av lufthastigheten på scenen var 0,48 m/s före nätuppsättningen och 0,088 m/s efter. Om vi delar dessa medelvärden med medelvärdet av vindhastigheten under samma period får vi $0,48/2,79 = 0,17$ respektive $0,088/2,87 = 0,031$ m/s. Den normerade luftmedelhastigheten minskade ca 5,5 ggr.

Speed [m/s]

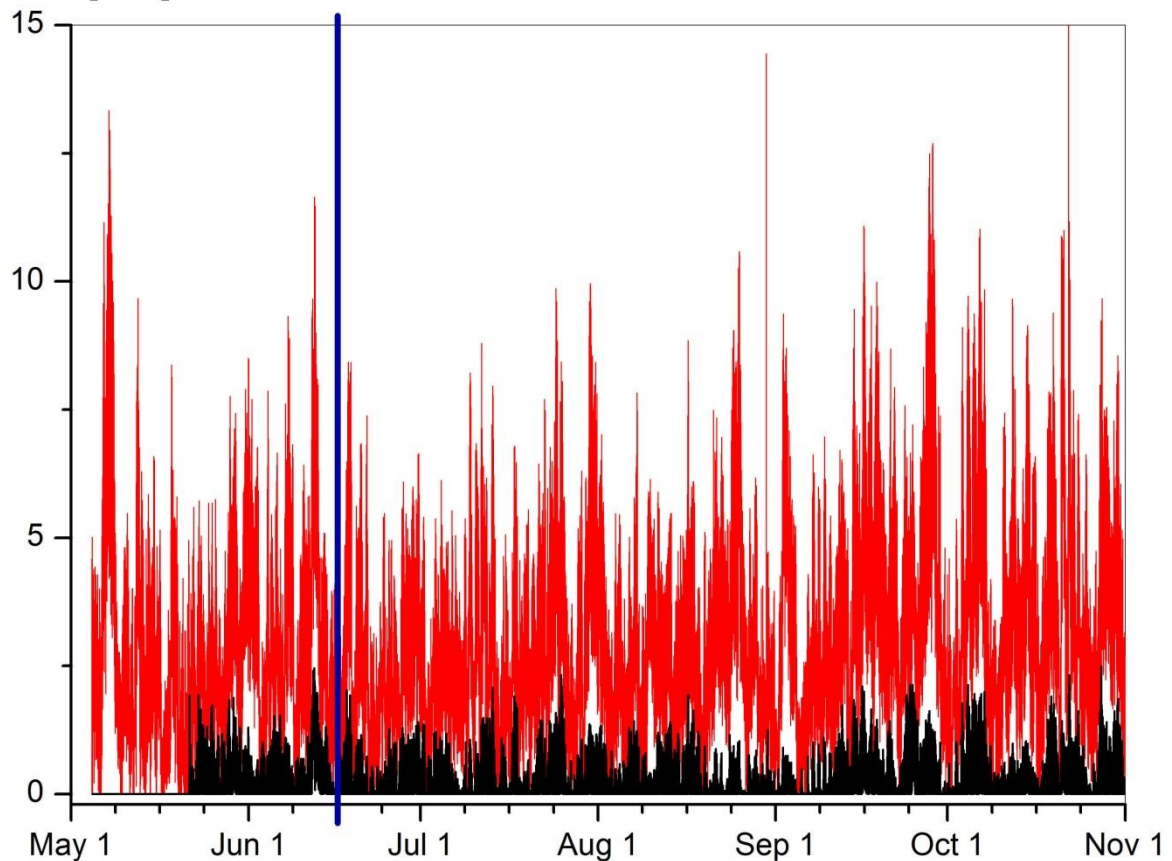


Bild 8.15 Den röda grafen visar den uppmätta vindhastigheten på taket. Den svarta grafen visar lufthastigheten ca 15 m från scenen bland publikbänkarna.

Reduceringen av vindhastighet är mindre här. I detta diagram går det inte att se någon reduktion alls. Hastigheten på luftrörelserna efter det att näten monterats är ungefär lika som hastigheten före nätmontaget.

Beräkningarna nedan visar dock en lite hastighetsreduktion. Medelvärdet av lufthastigheten vid publikbänkarna var 0,25 m/s före nätuppsättningen jämfört med 0,17 m/s efter. Om vi som tidigare delar dessa medelvärden med medelvärdet av vindhastigheten under samma period får vi $0,25/2,79 = 0,090$ respektive $0,17/2,87 = 0,059$ m/s. Den normerade medelhastigheten minskade alltså ca 1,5 ggr.

8.4.2 RIKTNINGSBEROENDET

Eftersom det i ruinen finns fönsteröppningar åt alla riktningar så har vi undersökt vindriktningens inverkan på lufthastighet i ruinen. Nedanstående grafer visar normerad lufthastighet, dvs. lufthastighet delat med vindhastighet, presenterat i respektive vindriktning.

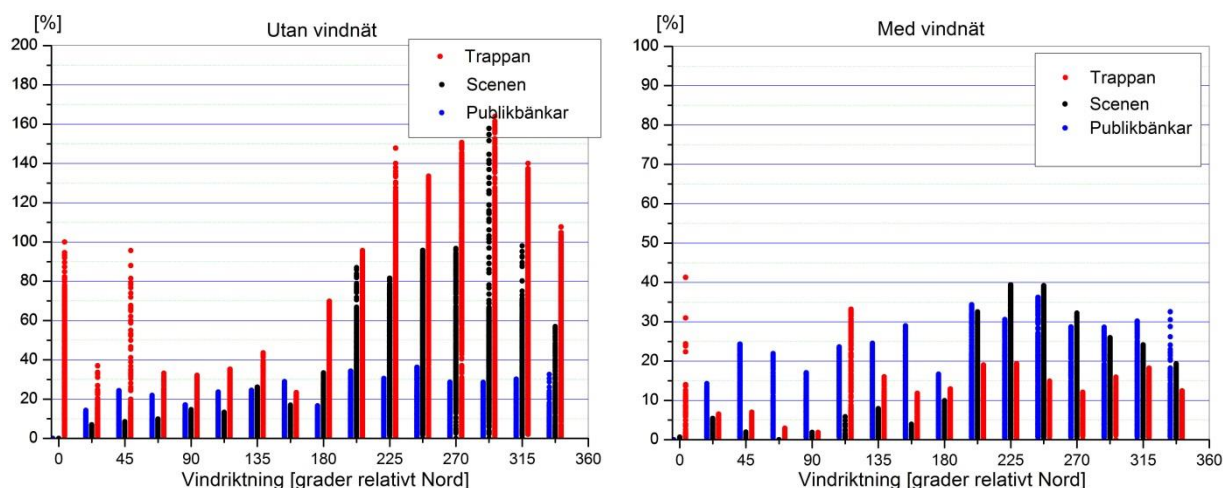


Bild 8.16 & 8.17. Till vänster normerad lufthastighet i ruinen före nätmontage, till höger efter nätmontage. X-axeln anger vindriktningen och punkterna anger normerad lufthastighet i ruinen i de tre olika mätpunkterna. Observera att det är olika skala på y-axeln.

Med normerad lufthastighet menas uppmätt lufthastighet i mätpunkten delat med den aktuella vindhastigheten. Diagrammen ser ut som stapeldiagram men staplarna består av enskilda mätvärden presenterade som en punkt uppdelade i den vindriktning som rådde vid mättillfället. Höjden på punktstaplarna visar alltså maximal lufthastighet i mätpunkten vid något tillfälle. De andra punkterna i stapel representerar alla andra mätvärden normerade med vindhastigheten och presenterade i vindens riktning.

Vindar från väst gav den högsta lufthastighet i ruinen. I den största fönsteröppningen uppmättes lufthastigheter ända upp till 1,6 ggr (160 %) vindhastigheten och vid några enskilda tillfällen så även i mätpunkten på scenen. Detta fenomen inträffar då luften trängs ihop och pressas igenom fönsteröppningarna samtidigt som den tidigare nämnda ejetektorverkan suger ut luften ur ruinen från andra sidan. Efter det att vindnäten sattes upp uppmättes lufthastigheter om högst 40 % av vindhastigheten på dessa mätpunkter.

Längre bak vid publikdelen har vindnäten betydligt mindre betydelse. Som beskrivits tidigare så sjönk medelhastigheten ca 1,5 gång men i riktningsdiagrammen ovan ser vi att det är i stort sätt samma hastigheter före som efter nätuppsättningen. Det har en rad olika orsaker. Dels så ligger publikbänkarna lägre än scenen och trappen, dels så finns det ingen trång kanal som luften måste ta sig igenom utan tvärt om så är publikbänkarna utplacerade i ett stort brett och högt utrymme och luften undergår en expansion vilket medför att hastighet blir lägre där. Det är vindar från öst och sydväst som har mest genomslag i publikbänkarna men ändå på väldigt låga nivåer.

8.5 SLUTSATS

Försöket med vindbrytande nät i de sydöstra fönsteröppningarna gav följande resultat: I västra fönsteröppningen gick lufrörelsernas medelhastighet ned med en faktor 10 jämfört med mätningar gjorda innan näten monterades. De snabba lufthastigheterna som beror på att luft trängs ihop i öppningen försvinner helt och det är mycket små lufthastigheter innanför vindnätet.

På scenen gick medelhastigheten ned med en faktor 5,5. Trots att näten satt upp i de västra öppningarna var det vindar från sydväst som fick mest genomslag på scenen. Den normerade maxhastigheten gick ned från tidigare 100 % till som mest 37 %.

I publikområdet märktes minst reduktion av hastigheten. Visserligen sjönk medelhastigheten med en faktor 1,5 men detta var med utgångspunkt från redan låga lufthastigheter. Även den normerade lufthastigheten var ungefär samma med som utan vindbrytande nät. Vi såg inte heller någon reduktion av lufthastigheten vid västliga vindar utan hastigheterna vid publikbänkarna var riktningsverkan ungefär samma med som utan näten. För publiken komfort har alltså vindnäten inte dramatisk betydelse som för artisterna. Men även små re-

duktioner av lufthastigheten ger märkbara positiva effekter på komforten för sittande publik.

Rent allmänt kan man säga att alla besökare som vi under försöket kom i kontakt med var väldigt positiva till försöket och nöjda med resultatet av vindnäten. T ex restauratören som genomför evenemang i ruinen var mycket nöjd med effekten av näten. De menade att förhållanden blivit mycket bättre och att de störande lufthastigheterna har försvunnit. Med vindbrytande nät i fönsteröppningarna blir det helt andra förutsättningar för framtida arrangemang i ruinen.

8.6 KOMFORTUNDERSÖKNINGAR

8.6.1 INTRODUKTION

En viktig del i ruinprojektet har varit att bygga upp kunskapen om hur den mänskliga upplevelsen av klimatet i ruinen påverkas av olika vädertyper och klimatförbättrande åtgärder. Inom projektet har klimatmätningar kombinerat med enkäter i St. Nicolai ruin utförts för att ringa in hur besökare upplever komforten vid olika typer av klimat. Det handlar om att fastställa vilka krav på komfort som kan ställas i den här typen av byggnadskonstruktion och hur man utan att förvanska ruinen kan förbättra villkoren för besökarna.

Magnus Wessberg och Tor Broström har i dessa föreställningar försökt begränsa luftrörelserna i ruinen genom att sätta finmaskiga nät i en del av de större fönsteröppningarna. Luftrörelser inne och utanför ruinen har mätts både med och utan nät. Tabell 1 och 2 nedan visar att luftrörelserna minskat avsevärt jämfört med värden från Visby flygplats.

8.6.2 GENOMFÖRANDE OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

Under ledning av Håkan Nilsson har ett antal komfortundersökningar gjorts där publik vid olika evenemang har fått fylla i enkäter om sin klimatupplevelse. Under 2010 gjordes tre st. (14/7, 6/8 och 28/9) enkätundersökningar i St. Nikolai ruin för att undersöka besökarnas komfortupplevelser. Denna rapport redovisar resultat och bedömningar (skattningar, AMV) från totalt 174 besökare (46, 77 och 51 personer) från dessa tre tillfällen. Samtidigt som försökspersonerna har fått svara på frågor om klimatupplevelsen har kontinuerlig loggning av temperaturer, luftfuktighet och lufthastigheter utförts.

För att ta reda på hur försökspersonerna upplevde sin vistelse i St. Nicolai ruin hade ett skattningsprotokoll med skattningar för ett skattningstillfälle per person sammanställts. Skattningen genomfördes i pausen vid varje föreställning. Enkäten inleds med frågor om rörande faktorer som t ex vad man druckit innan, om man har gått raskt eller långsamt, klädsel osv. Detta för att dessa faktorer påverkar utvärderingen av resultaten.

Svaret på den första frågan på andra sidan i enkäten (nr 9) är besökarnas AMV (Actual Mean Vote - Medelbedömning), från resultatet av den kan sedan APD (Actual Percentage Dissatisfied - Antal missnöjda) tas fram. Som ett extra säkerställande av om besökarna upplever kylan eller värmen som positiv eller inte har fråga 10 adderats.

Därefter kommer fråga 11 med två olika aspekter på upplevelsen av den omgivande luften. Fråga 12 är med eftersom man kan känna sig komfortabelt kall utan att nödvändigtvis vilja ha det varmare. Till sist fråga 13 som är den klassiska Bedford (1936) eller MTV (Mean Thermal Vote) skalan och andelen missnöjda PD där komfortupplevelsen inkluderats i frågeställningen.

Tabell 2. Omgivningsbetingelser från lokala mätningar.

Utomhus	14/7	6/8	28/9
Medeltemperatur (°C)	23	19	10
Medelluftfuktighet (%)	65	-	60
Medellufthastighet (m/s)	0,2	0,5	0,3

Tabell 3. Försökspersonernas åldersfördelning i de 3 grupperna.

Datum	Min ålder (år)	Medel ålder (år)	Max ålder (år)	Antal personer
14/7	26	56	79	46
6/8	3	59	88	77
28/9	26	48	67	51
Alla	3	54	88	174

I den svenska standarden SS-EN ISO 7730 finns rekommendationer på att PMV ska vara mellan -0,5 och + 0,5, vilket innebär ett PPD på mindre än 10 %. I denna undersökning har försökspersonerna själva fått beskriva vilka kläder de har på sig under föreställningen. Beklädnad hör till de faktorer som har stor påverkan på upplevelsen av klimatet. Beklädnadsisolationen var genomgående något högre allt eftersom sommaren övergick till höst. Några personer har uppgett att de varit nakna (0 clo) dessa artefakter har tagits bort vid utvärderingen.

Tabell 4. Beklädnadsisolationen för de 3 olika försökstillfällena.

Datum	Min (clo)	Medel (clo)	Max (clo)
14/7	0,3	0,6	1,3
6/8	(0!) 0,4	0,9	1,7
28/9	(0!) 0,3	1,4	2,3

I försöken finns ingen utpräglad åldersfördelning varför ett medelvärde på värmealstringen har satts till 75 W/m² har använts. Tabellerna nedan visar att

Tabell 5. Sammanställda medelvärdesresultat från St. Nicolai ruin 2010. Alla lufthastighets och temperaturmätvärden är tagna mellan 20.00 - 22.00 konserterna började 20.00 i alla fallen. 120 mätvärden i varje omgång (1 per minut).

Datum	Tid	Luft-temp (°C)	Op-temp(°C)	Luft-hast. (m/s)	Sdev (m/s)	Rel. Fukt (%)	AMV (-)	APD (%)	PMV (-)	PPD (%)
14/7	20:00	23	(28)	0,250	0,082	65	1,3	46	1,1	31
6/8	20:00	19	(24)	0,158	0,209	69	0,4	22	0,4	8
28/9	20:00	10	(15)	0,403	0,223	60	-0,5	20	-0,5	10

Eftersom genomgående cirka 80 % av besökarna har någon annan besökare nära sig har en korrigerad av den upplevda operativa temperaturen gjorts med en höjning med 5 °C relativt omgivningen. Vi erhåller då en förvånansvärt bra överensstämmelse med medelvärdet av besökarnas skattningar av klimatupplevelsen. En stor del av de positiva resultaten kommer från de vindbegränsande åtgärder som vidtagits. Dock kan det sägas att i julifallet skulle publikum ha fått en något bättre upplevelse om vinden låtits fläkta lite mer (3 m/s borde reducerat antalet missnöjda pga. värme med cirka 25 %).

8.6.4 SLUTSATSER

Termisk komfort är i grunden en subjektiv upplevelse, där en person uttrycker tillfredsställelse med en viss termisk miljö. Denna upplevelse kan påverkas av en uppsjö av omgivningsfaktorer, trots detta är en persons avkänning av termisk komfort ett resultat av i första hand ett värmeutbyte med omgivningen. Detta värmeutbyte påverkas primärt av sex parametrar. Fyra parametrar utgör den termiska miljön, lufttemperaturen, strålningstemperaturen, luftfuktighet och lufthastigheten, samt två personliga parametrar, personens beklädning och aktivitet.

Klimatet i en ruin kommer av nödvändighet att utmytna i en kompromiss mellan olika faktorer. Syftet är inte bara att öka kunskapen om inomhusklimat och komfort rent generellt, utan att undersöka kompromissen som helhet, väga olika faktorer mot varandra. Forskning på klimat i ruiner är mycket begränsad. I ett öppet rum som ruinen tillkommer vindrörelser, som kan vara extrema.

Delprojektet komfort har bl.a. undersökt:

- Vilket ruinklimat som är önskvärt
- Hur detta klimat kan uppnås genom ett minimum av åtgärder.

Utifrån mätningar av lufttemperaturer, luftfuktigheter och lufthastigheter har beräknade PMV-värden jämförts med verkliga skattningar från ruinbesökare (AMV). Resultaten visar att användning av komfort indexen PMV och PPD enligt standarden SS-EN ISO 7730 kan generellt sägas stämma överens med de skattningar, AMV och APD, om man förutsätter att den operativa temperaturen ligger 5 °C över omgivningstemperaturen pga. närheten till andra besökare.

Resultaten visar att aktivitet och framförallt klädsel spelar en mycket viktig roll även om man får hjälp med att minska lufthastigheten. Med hjälp av de erfarenheter som dessa tre studier har redovisat har vi nu en bra grund för att anpassa lufthastigheter och klädsel till rådande betingelser vid olika årstider och arrangemang.

Det finns fortfarande data i dessa studier som kan analyseras. Vad har alkoholintag för betydelse för upplevelsen? Vad har placeringen i bänkarna för betydelse? Vilka åtgärder gav vilka resultat? Finns skillnader i upplevelse mellan kvinnor och män som inte beror på klädsel? Hur kan ruinen utnyttjas vintertid? Dessa undersökningar kräver dock utökad finansiering.

Eftersom varje åtgärd har betydelse för att öka komforten är målet att kunna ge ett bättre svar på frågan: Vilket ruinklimat som är önskvärt (utan andra åtgärder än vinddämpning och mer kläder)?

Efter denna underökning av klimatet i St. Nicolai ruin kan man säga att klimatupplevelsen sommartid översiktligt kan bestämmas med hjälp av svensk standard och de värden på metabolism, klädsel som redovisas i denna rapport kombinerat med vindhastighet mätt i ruinen och övriga väderdata hämtade från Visby flygplats.

KÄLLFÖRTECKNING

Bedford T (1936) The warmth factor in comfort at work. MRC Industrial Health Board Report HMSO, London, UK, vol 76.

SS-EN ISO 7730 (2005) "Ergonomi för den termiska miljön - Analytisk bestämning och bedömning av termisk komfort med hjälp av indexen PMV och PPD samt kriterier för lokal termisk komfort", SIS Förlag AB, 118 80 Stockholm.