

Vadstena klosterkyrka
Jämförelse av kontrefor N4 och åtgärdad kontrefor N5
Rapport 2012-12-29

Krister Berggren
Krister Berggren Byggekonsult AB

Förord

Utredningen är finansierad av Linköpings stift med stiftsantikvarie Gunnar Nordanskog som handläggare.

Planering, undersökningar och dokumentation är utförda av Per Rydberg, Arkitektkontor à la Rydberg AB och Krister Berggren, Krister Berggren Byggkonsult AB, med Anita Löfgren Ek, Östergötlands museum, som antikvarisk medverkande.

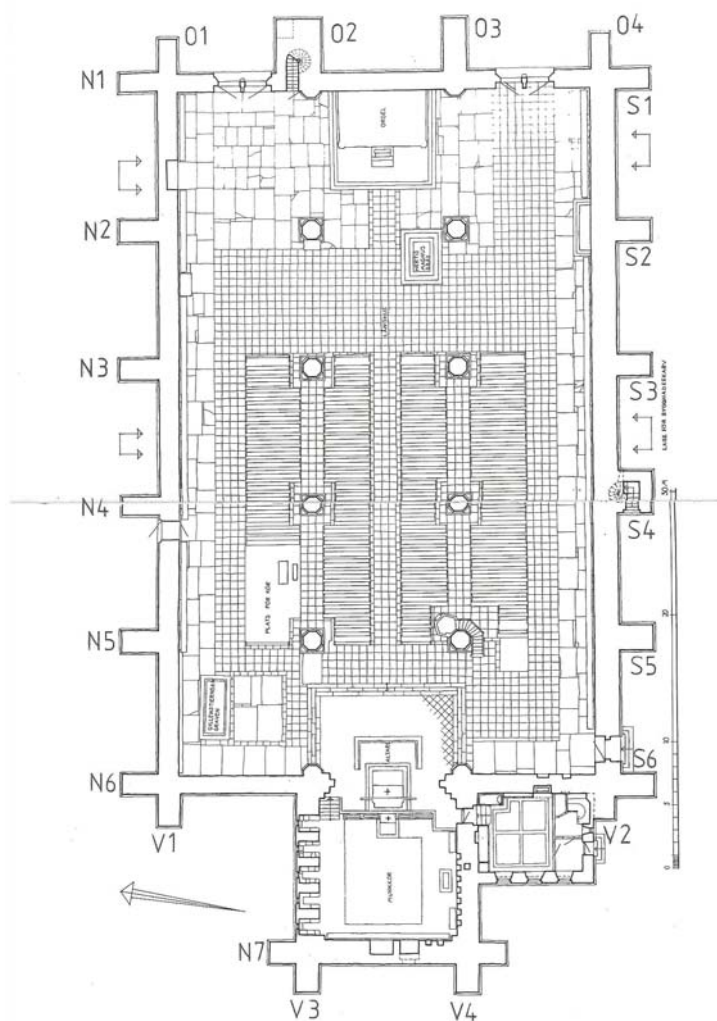
Uttagning av provkroppar med tillhörande stenarbeten har utförts av Närkesten AB med Stefan Aronsson som arbetschef.

Grundundersökningen vid kontrefor S1 har utförts av Hylanders Geo-byrå AB i Norrköping med Johan Hylander som ansvarig.

För övriga mätningar och analyser samt rapport har Krister Berggren ansvarat.

Numrering av kontreforer

I rapporten används följande numrering av kontreforer.



Historik

Kyrkan är uppförd med murar av sten och valv av tegel. Taket är numera belagt med skiffer. Valven och taket vill trycka ut de höga väggarna. Väggarna stabiliseras av kraftiga kontreforer. Väggar och kontreforer har skal av Borghamnskalksten. Kärnan består till större delen av natursten och bruk, men det finns inslag av tegel i kärnan, åtminstone i en tidigare undersökt kontrefor. Kyrkan har sedan länge problem med sprickor i vissa av kontreforeernas skal. Sprickorna är i huvudsak vertikala och finns både på kontreforeernas sidor och i framkant. Man kan på många ställen se att skalen är utskjutna vid sprickorna, vilket kan tyda på att kärnan tryckt ut och spräckt skalen. Detta tillsammans med att det på många ställen rinner vatten ur fogarna efter regn, indikerar att sprickorna kan ha sin orsak i att kärnan fryser sönder och trycker ut skalet. Men detta är än så länge bara en hypotes.

Vatten kan tillföras kärnan på flera sätt. Grundvattenytan står åtminstone bitvis bara någon dryg meter under markytan. Vatten kan tänkas sugas upp kapillärt i kärnan från grundvatten eller annat markvatten. Vatten kan vid slagregn sugas in kapillärt via fogarna. Eftersom avdunstningen från de smala fogarna är mycket långsammare än insugningen kan man anta att vatten att anrikas i kärnan tills den är kapillärt mättad. Men eftersom fritt vatten rinner ut efter regn kan kapillär insugning inte vara hela problemet. Fritt vatten kan vid slagregn pressas in via otäta fogar. Kontreforererna är täckta med blyplåt. Blyplåt drabbas ofta av utmattningssprickor, vilket leder till läckage. De på flera kontreforer kraftiga kalkutfällningarna närmaste metern under krönen tyder på att det finns läckage i avtäckningen på flera kontreforer.

Vid undersökningar 1994 konstaterades att fuktkvoten i tegelstenar högst upp i en kontrefor på norra sidan (kontrefor N5) låg mycket nära kapillär mättnad, det vill säga på den nivå där tegel kan tänkas frysa sönder. Då startades ett försök med att torka ut kärnan i kontreforen genom att borra två vertikala ventilationshål med diameter ca 100 mm genom kontreforen och ventileras bort fukten. I dessa kanaler installerades värmekabel för att öka luftflödet och ventilationsluftens fuktupptagningsförmåga. På övre delen av kontreforen gjordes nya fogar med en kapillärbrytande luftspalt innanför det synliga fogbruket. Fogen försågs med hål mot uteluften för tryckutjämning, ventilation och dränering. Resultatet av dessa åtgärder har inte kunnat följas upp hittills. Det ha vi nu gjort och redovisar i denna rapport.

Den mest skadade kontreforen finns på sydsidan vid det sydöstra hörnet (kontrefor S1). Den största sprickan finns på västra sidan. Sprickan har mätts sedan mitten av 90-talet. Under den första tioårsperioden skedde ingen tillväxt, men därefter har sprickbredden tillväxt med ca 2 mm. Det sydöstra ribbvalvet i kyrkan är det enda valvet som har några sprickor av betydelse. Sprickorna visar att den södra ytterväggen har tippat ut mot söder. Den östra väggen har sprickor som visar att väggens södra del också följt med åt söder i sin övre del. Denna rörelse kan bero på att kontreforens yttre del satt sig i förhållande till muren eller att kontreforen eller dess grundkonstruktion deformerats. Den aktuella kontreforen har åtminstone delvis murats om på slutet av 1800-talet. Denna kontrefor vill vi undersöka ytterligare och samtidigt åtgärda sprickorna.

Syfte med undersökningen

Huvudsyftet med den nu genomförda undersökningen har varit att klarlägga om åtgärderna på kontrefor N5 haft avsedd effekt och samtidigt konstatera om

kontreforerna är tillräckligt blöta för att orsaka frysskador på beklädnadsstenen. Under projektets gång har det dykt upp en ny hypotes om att det skulle kunna vara rostande järnkramlor som orsakat sprickorna.

Tillvägagångssätt

Den åtgärdade kontreforen (N5) har jämförts med kontreforen närmast öster om den åtgärdade (N4). Ställning byggdes runt båda kontreforerna och försågs med väderskydd. Samma provtagningar utfördes parallellt på båda med ett undantag. Beklädnadssten togs bort på kontreforernas öst och västsida högt upp i skift 50 över sockel. En beklädnadssten togs bort på en mellannivå i skift 20-23 på båda sidor av båda kontreforerna. På enbart kontrefor N5 togs en beklädnadssten bort i skift 1 på östra sidan. Provtagning utfördes på kärnan på ett par olika djup vid varje borttagen skalsten. Vid varje provtagningsställe togs prov av sten, bruk och tegel. Uttagna prover inspekterades med avseende på synliga frostsador. Aktuell fuktkvot och mätnadsfuktkvot mättes med gravimetrisk metod (noggrann vägning). Kapillära mätnadsgraden i procent beräknades som aktuell fuktkvot dividerat med mätnadsfuktkvot gånger 100. Resultaten analyserades för att se om någon effekt av de tidigare vidtagna åtgärderna kan påvisas. Skadorna lagades och ny sten monterades i skalet. Kröntäckningarna inspekterades och åtgärdades.

Under större delen av entreprenadtiden mättes uttorkningen genom att mäta luftflödet i kanalen och fukttinnehåll vid inlopp och utlopp till en av de vertikala kanalerna med datalogger.

Kontreforerna undersöktes med metalldetektor för att se om det fanns något samband mellan metallförekomst och sprickor. Även från marken åtkomliga delar av andra kontreforer undersöktes. Kontreforerna märktes med kryss där metalldetektorn indikerade metallförekomst.

En utskjuten sten på sydsidan av kontrefor O2, där vi misstänkte att den kan ha skjutits ut av rostande järn, demonterades. En beklädnadssten i skift 3 på västra sidan av kontrefor S1, där metalldetektorn indikerat metall i anslutning till en spricka, togs bort.

Härutöver har en grundundersökning utförts vid kontrefor S1 i syfte att finna orsaker till sprickorna i sydöstra valvet.

Analys av resultat

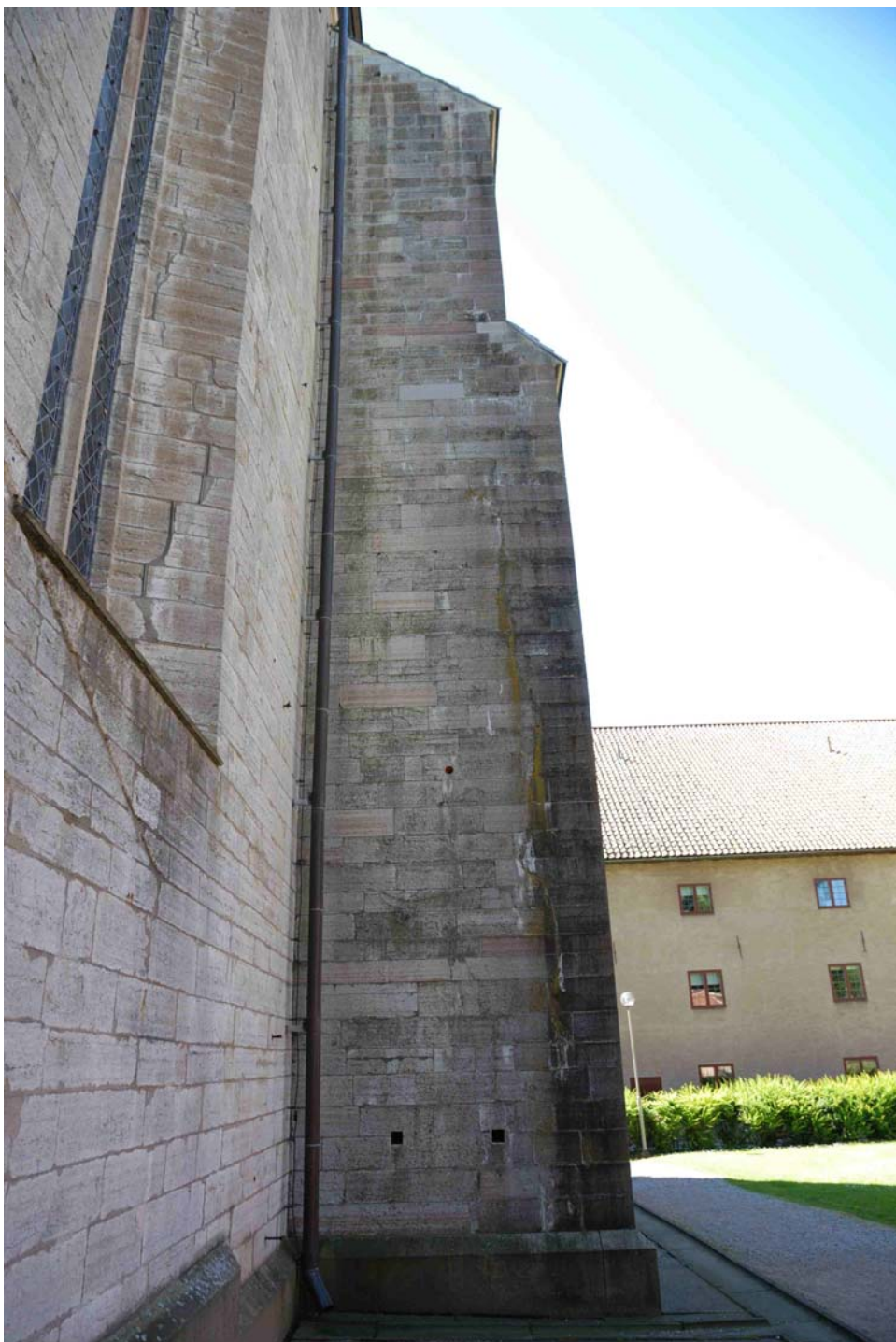
Kontreforens uppbyggnad

De aktuella kontreforerna är ungefär 1,8 m breda och 3,0 m djupa i nedre delen. På nivån ca 10,5 m över mark trappas djupet ner till ca 2,5 m. Den totala höjden är ca 16,5 m över mark. Dessa måttuppgifter är skalmätta ur A Hildebrands uppmättningsritningar från 1986.

Kontreforerna är byggda med skal av Borghamnskalksten. Skalens djup (tjocklek) varierar mellan ungefär 25 och 40 cm. Skalen är i fasad och yttre del av kantsidor släthuggna med bredmejsel eller någon form av yxa. Övriga sidor är bara grovt tillyxade. Skalstenen smalnar av inåt. Den triangulära spalt som bildas i inre del av stötfog och delvis även i liggfogar är utfylld med tegelbitar och bruk, huvudsakligen kalkcementbruk. Kärnan består i huvudsak av kalksten och kalkcementbruk, med vissa inslag av tegel och sandsten. Kalkcementbruket bedöms ha en styrka ungefär motsvarande dagens kalkcementbruk C (KC 2:1:12 i volymdelar). Skalet har visat sig

vara kramlat med järnkramlor. Vi vet inte på vilket sätt och hur omfattande kramlingen är. Men på kontrefor S1 påträffades en horisontell sträckkramla, typ hakkrampa, mellan två skalstenar i liggfoggen över det kramlade skiftet. Undersökningen med metalldetektor tyder på en relativt omfattande kramling, men inte i varje stötfog..

Ett relativt stort antal stenar i skalet är lågerhuggna. Man kan ana att dessa är yngre. Det har tolkats som att de är utbytta 1890 eller senare. Även våra ersättningsstenar har räfflats maskinellt för att likna lågerhuggna.



Kontrefor N5 sedd från öster. Notera inloppshålen till ventilationskanalerna i tredje skift och utloppshålen längst upp.

Fukt i olika material

Man kan ha olika åsikter om vilket mått på fukttillståndet man bör använda vid en utvärdering av detta slag. De storheter som ligger närmast tillhands inom det fuktområde som det här rör sig om torde vara:

Fuktkvot, kg/kg torrt material eller %

Fukthalt, kg/m³

Kapillär vattenmättnadsgrad, 1 eller %

Absolut mättnadsgrad, 1 eller %

Den fjärde varianten, absolut vattenmättnadsgrad, torde vara den bästa när det gäller risken för sönderfrysning, se t ex FAGERLUND: Kritisk vattenmättnadsgrad i samband med frysning av porösa och spröda material, Lund 1972. Men det är ganska besvärligt att bestämma fuktkvoten vid absolut mättnad, varför vi valt att utgå från kapillär vattenmättnadsgrad, vilket anger hur nära kapillär mättnad man befinner sig. När det gäller tegel och bruk vet man att man normalt bör upp till eller över kapillär mättnad innan materialet fryser sönder. Men det finns stora avvikelser beroende på materialens porstruktur och styrka. Kalksten är så stark att den normalt inte fryser sönder ens vid mättnad om det är frågan om ren kärnsten.

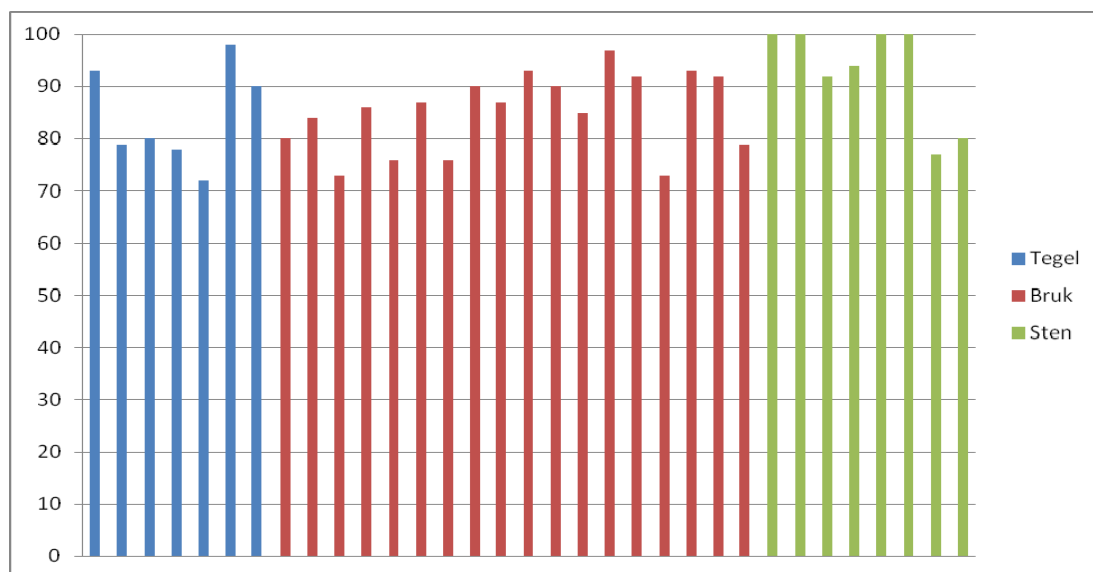
Den genomsnittliga kapillära mättnadsgraden (KMG) för uttagna prover var i detta fall:

Tegel	84 %
Bruk	85 %
Sten	93 % (flera uppmättes till över 100 % men redovisades som 100 %)

Inte någon uttagen provkropp har visat prov på sönderfrysning. Detta talar mot vår hypotes om att skalén spräckts genom frysning i kärnan.

Teglets mättnadsfuktkvot var genomsnittligt 15,0 % (12,2-16,9 %) och brukets 14,4 % (9,1-20,7 %).

Stenens mättnadsfuktkvot var bara ca 0,6 % (0,4-0,8 %). Eftersom den inte är särskilt intressant i detta sammanhang har den uteslutits i den vidare analysen.



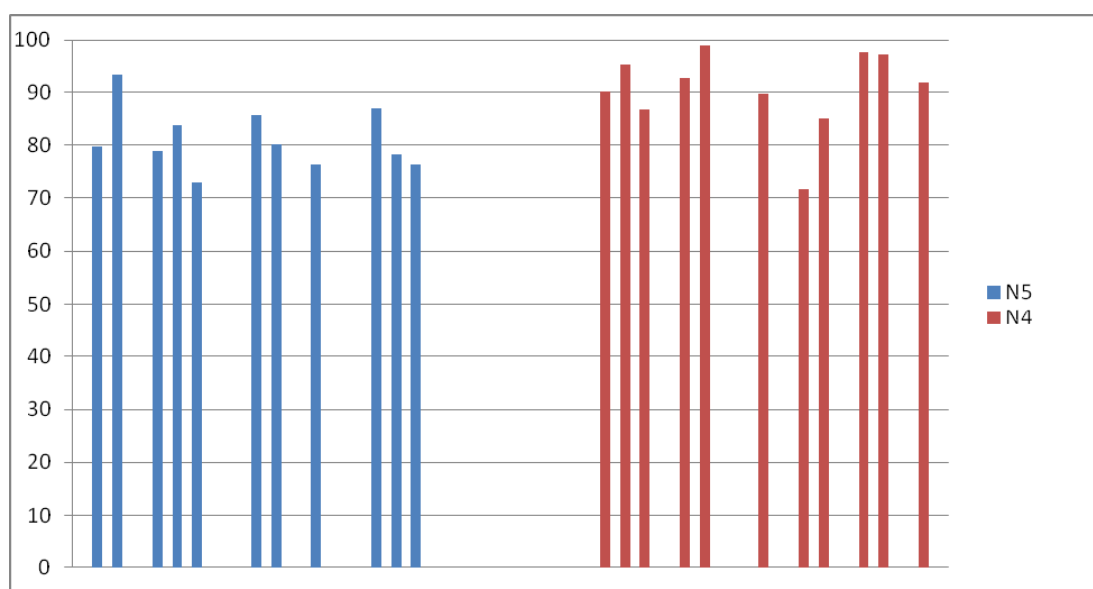
Kapillär mättnadsgrad i uttagna prover fördelat på olika material.

Jämförelse N4 och N5

Genomsnittlig KMG för tegel och bruksprover var:

N4	81 %
N5	91 %

Skillnaden är så stor att den är svår att förklara på annat sätt än att åtgärderna som utfördes 1994 har haft effekt. Men uttorkningen har inte alls gått så långt som vi beräknade då. Enlig beräkningarna från 90-talet skulle fuktkvoten nu vara nere i det hygroskopiska området, vilket torde röra sig om KMG av storleksordningen maximalt 20-30 %. Uttorkningen har alltså inte alls gått i den takt vi beräknade. Det kan bero på att avdunstningsytan i de borrade kanalerna är en bråkdel av den vi räknade med genom att en stor del av mantelytan består av tät ogenomtränglig kalksten. Det kan också vara så att vatten hela tiden tillförs utifrån genom fogarna i en takt som nästan kompenserar uttorkningen.



Kapillär mätnadsgrad i uttagna prover fördelat på kontrefor N5 och N4.

Om man däremot väljer att jämföra fuktkvoter ur uttagna prover från de två kontreforerna blir skillnaden mindre.

N4	12,8 %
N5	11,6 %

Det beror på att mätnadsfuktkvoterna är genomsnittligt högre i N5. Vi utgår från att kapillära mätnadsgraden är ett bättre mått på fuktsituationen i kontreforerna.

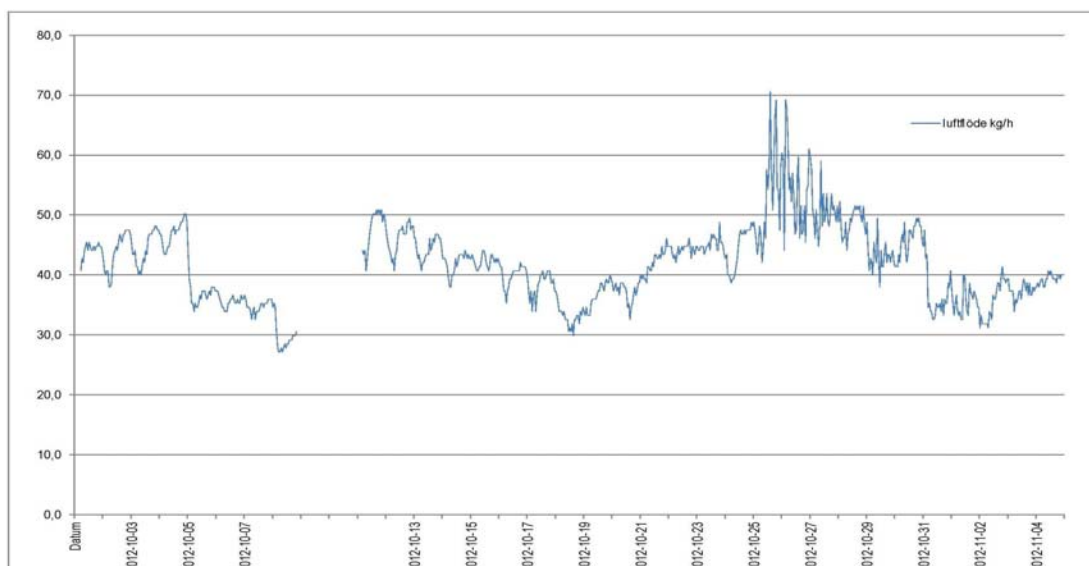
Pågående uttorkning

Genom att mäta luftflödet i de uppborrade ventilationskanalerna i kontrefor N5 samt fuktinnehållat i in och utströmmande luft, får man ett mått på hur mycket fukt som ventileras bort från kontreforen via luftkanalerna. Man kan konstatera att skillnaden mellan ut- och ingående luftens fuktinnehåll är mycket liten och ligger inom mätmetodens felmarginal. Under första mätperioden som pågick i knappt 8 dygn uppmättes en

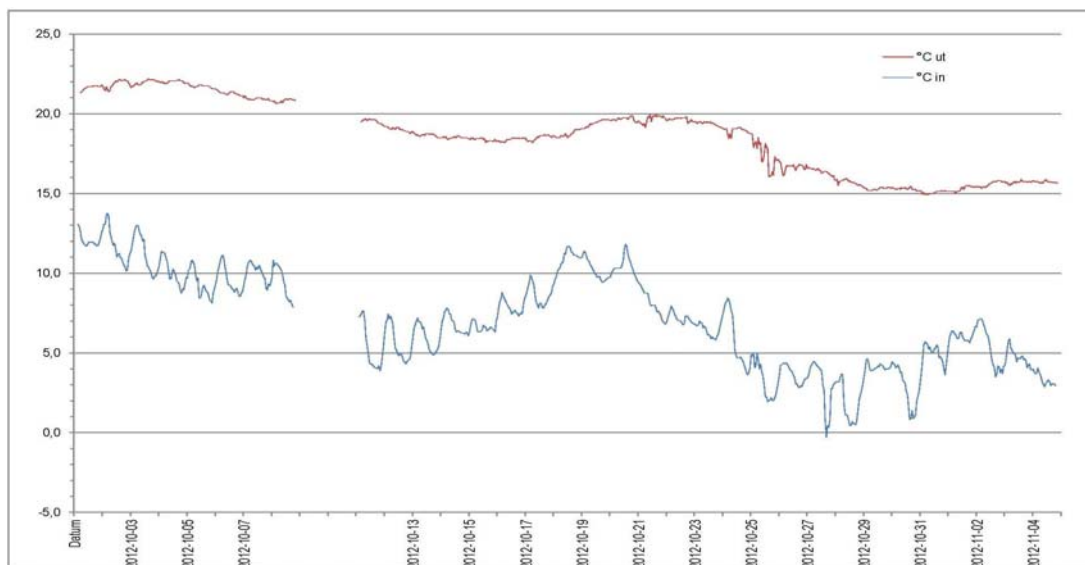
uppfuktning av kontreforen på 473 g vatten. Under den andra mätperioden, som pågick i knappt 26 dygn, skedde en uttorkning på 891 g vatten. Till saken hör att fukt- och temperaturloggrarna i in- och utlopp bytte plats mellan de två mätperioderna. Ett litet mätfel i loggrarna kan möjligen förklara varför en uppfuktning skedde under första delen av perioden. Men det kan också bero på att utetemperaturen och därmed fukttätheten i uteluften var högre under första perioden.

Troligen sker det en mycket liten uttorkning genom ventilationen. Att den är så liten trots att det finns mycket fukt kvar i kontreforen kan bero på att en stor del av kanalväggen består av tät kalksten. Bara en mindre andel utgörs av bruk och tegel genom vilken uttorkningen kan ske.

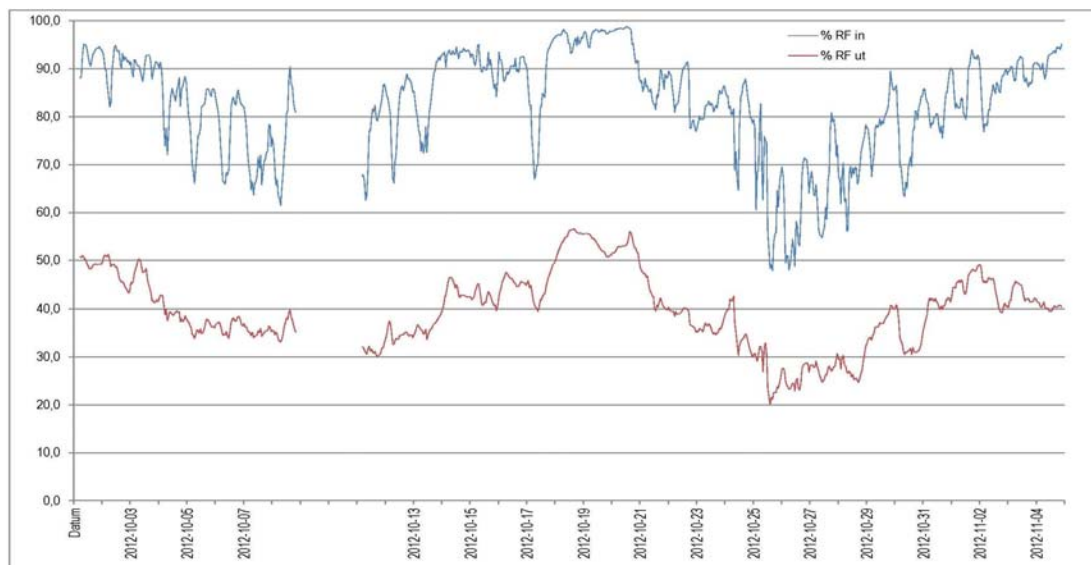
Installationen av värmekablar i de båda borrarade kanalerna bidrar effektivt till den möjliga uttorkningen på två sätt, dels höjer den temperaturen i kanalen med totalt ca 10 °C mellan ut- och inlopp, det vill säga i genomsnitt med ca 5 °C, vilket ger en skorstenseffekt, dels ökar den luftens fuktupptagningsförmåga och därmed avdunstningen genom temperaturhöjningen.



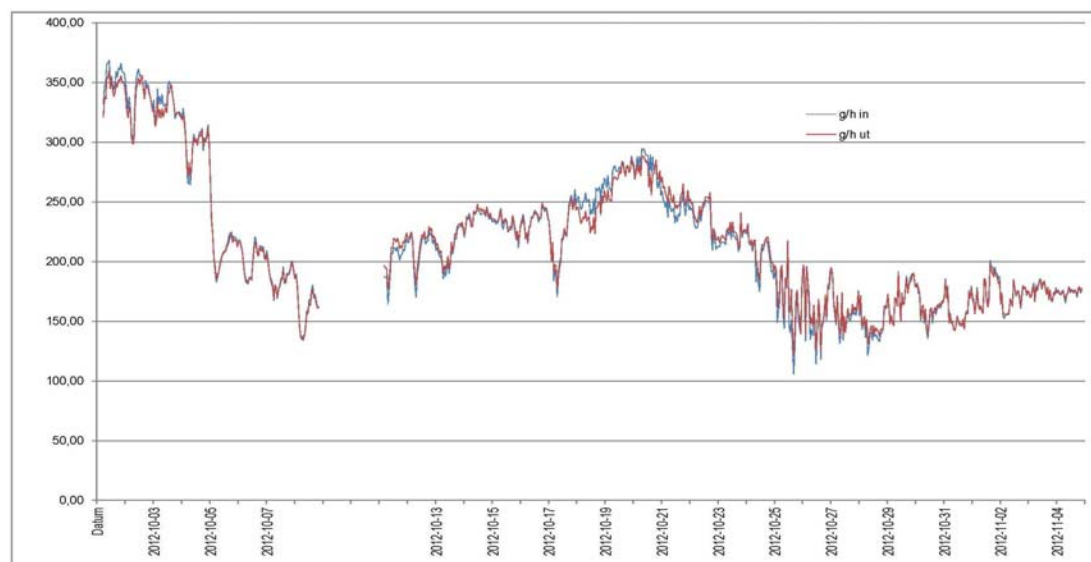
Luftflöde genom de två borrarade kanalerna i N5.



Temperatur vid inlopp och utlopp till borrarad kanal. Temperaturhöjningen är ca 10°C.



Relativ fuktighet vid in- och utlopp. RF sjunker med cirka 40 %-enheter på vägen genom kanalen på grund av uppvärmningen.



In- och utgående fukt i ventilationskanalerna. Skillnaden är mycket liten.

Effekt av kapillärbrytande fog

Mätningar på uttagna prover kan inte påvisa att de kapillärbrutna fogarna som finns på övre del av kontrefor N5 (vid skift 50) haft någon effekt. Kapillär mätnadsgrad är till och med något högre vid skift 50 än vid de lägre nivåerna.

Skift 50	87 %
Skift 20-23	85 %
Skift 1	85 %

Det skulle möjligen kunna tyda på att vi tidigare överskattat effekten av fuktillförsel utifrån via fogarna.

Rostsprängning

På många ställen har metallförekomst detekterats. Relativt ofta detekterades metall i närheten av fogarna (vita kryss på fotot).

Ett detekterat metallföremål frilades genom borthuggning av en del av en beklädnadssten (svart kryss) på västsidan av kontrefor S1. Det visade sig vara en hakkrampa av järn. Men just denna kramla var inte inborrad i direkt anslutning till sprickan. Det är därför inte troligt att just denna kramla kan ha orsakat sprickan. Men förekomsten av järnkramlor har därmed verifierats.



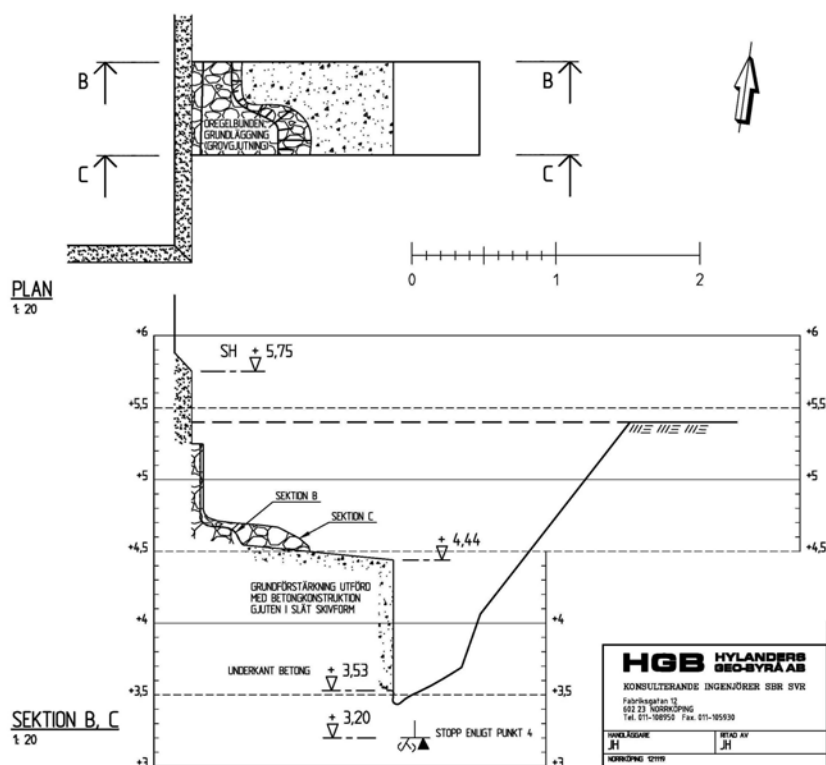


Den rostiga järnkramlan syns i urbilningens överkant.

Den utskjutna stenen vid kontrefor O2 var en dåligt utförd lagning. Stenbiten har plockats ner så att den inte riskerar att falla och skada någon.

Grundläggning kontrefor S1

En grundundersökning har utförts vid kontrefor S1. Den redovisas separat i sin helhet. Den visar att det inte finns något som tyder på att nu pågående rörelser beror på dålig grundläggning i dagsläget. Kontreforen har grundförstärkts genom pågjutning och eventuellt undergjutning med betong. Genom att betong påträffades även vid provgrop, som utfördes på 90-talet, på norra sidan kan man inte utesluta att pågjutning utförts runt hela kyrkan.





Provgrop vid kontrefor S1.

Resultat, tänkbara orsaker till sprickorna och åtgärder

De borrade ventilationskanalerna i N5 har medfört en uttorkning. Men den har inte alls varit så stor som vi räknar med. Det beror troligen på att mantelytan på de borrade kanalerna till stor del består av tät kalksten som förhindrar avdunstning.

Inte i något prov har sönderfrysning av material konstaterats. Inte något prov, bortsett från kalksten, har varit kapillärt mättat. Även om man inte kan bortse från möjligheten, är det tveksamt om sprickorna i N4 och N5 kan ha orsakats av frysning som vi tidigare trott. Sönderfrysning kan sannolikt ske i närheten av uppkomna sprickor där det kan pressas in vatten.

Genomförda undersökningar har lett till en ny hypotes om att det skulle vara rostande järn i form av kramlor eller stag som skulle kunna vara orsak till sprickorna. Om denna hypotes skulle kunna bekräftas skulle åtgärdandet kunna bli mycket billigare än om hela kontreforerna skulle göras om på ett sätt som skyddar mot framtida sönderfrysning.

Fortsatta undersökningar

Under början av nästa år utförs noggranna arkivstudier för att skaffa bättre kunskap om vad som hänt historiskt med kyrkan.

Innan ytterligare platsundersökningar utförs, föreslås ett seminarium med inbjudna deltagare som kan förväntas ha kunskaper och synpunkter inom området. Resultatet av detta seminarium kan komma att påverka uppläggningsen av det fortsatta arbetet.

Hypotesen om att det är rostande järn som orsakat sprickorna utreds med utgångspunkt från kontrefor S1. Då studeras även om det skett sönderfrysningar i områden där det trängt in fritt vatten.