

HYDRAULISKA KALKTYPER I MEDELTIDA BYGGNADER



**Föredrag på seminarium om Domkyrkoruinen
i Kirkjubøur, Färöarna 12-14- juni 2007.**

Föredrag på seminarium om Domkyrkoruinen i Kirkjubøur, Färöarna 12-14 juni 2007:
HYDRAULISKA KALKTYPER I MEDELTIDA BYGGNADER

Inledning

Jag arbetar med ett projekt om hydrauliskt kalkbruk, som bl.a. resulterat i en doktorsavhandling.

Avhandlingen i dess helhet, dvs. den 2006 presenterade doktorsavhandlingen jämte den 2004 framlagda licentiatavhandlingen, handlar om produktion och användning av hydrauliskt kalkbruk inklusive naturligt cement och puzzolankalkbruk vid byggande i de nordiska länderna, särskilt Sverige, från medeltid till nutid. Avhandlingen täcker ett fält där kunskaperna är bristfälliga.

Huvudsyftet med projektet i dess helhet har varit att undersöka strävan bakom, och varför man i de nordiska länderna under äldre tid producerade och använde hydrauliskt kalkbruk inklusive naturligt cement och puzzolankalkbruk. Strävan att framställa bruk med hydrauliska egenskaper, ledde även till utvecklingen av portlandcementet. Författaren är av den uppfattningen att det funnits en sådan strävan under lång tid, i Sverige åtminstone sedan 1700-talet. Detta har undersökts och belagts genom en kartläggning av produktion och användning av hydrauliskt kalkbruk samt naturligt cement och puzzolankalkbruk genom tiderna.

De undersökningar som ingår i doktorsavhandlingen baseras på egna och andra tillgängliga byggnadsarkeologiska undersökningar och iakttagelser, samt bruksundersökningar. Byggnadsundersökningarna är gjorda i samband med restaureringsarbeten och fasadrenoveringar. Bruksundersökningarna består av kvantitativa och kvalitativa mikroskopiska analyser av tunnslip samt kemiska analyser, så att den hydrauliska modulen kan beräknas, samt i begränsad omfattning SEM/EDS- och XRD-analyser (svepelektronmikroskopi/energidispersiv röntgenspektrometri och röntgendiffraktion).

Det omfattande antalet tunnslipsanalyser (78 stycken) och kemiska (39 stycken) analyser samt antalet analyserade komponenter är unikt för undersökningar av hydrauliska kalkbruk i Sverige. Analyserna ger därmed en helt ny information om dessa bruk.

Begrepp och definitioner

Genom att den hydrauliska kalken innehåller hydrauliska komponenter, kiseldioxid SiO_2 , aluminiumoxid Al_2O_3 och järnoxid Fe_2O_3 , hårdnar den i samband med släckningen initialt genom tillsatsen av vatten, hydratisering och vidare vid brukstillverkningen. Detta hydrauliska hårdnande går snabbt och leder till ett ökat mått av styrka i jämförelse med luftkalkbruk som hårdnar genom karbonatisering. Full hållfasthet ernås dock även för hydrauliskt kalkbruk genom långsam karbonatisering. Höghydrauliska bindemedel ger bruk som enbart hårdnar genom hydratisering. På grund av att den kemiska processen för hydraulisk kalk skiljer sig från den för luftkalk blir även den förenklade kalkcirkeln annorlunda.

Den hydrauliska effekten kan beräknas bl.a. genom den hydrauliska modulen - även benämnd Cementindex CI - enligt Boynton m. fl., dvs. enligt följande:

$$H_m = \frac{2,8 \times \% \text{SiO}_2 + 1,1 \times \% \text{Al}_2\text{O}_3 + 0,7 \times \% \text{Fe}_2\text{O}_3}{\% \text{CaO} + 1,4 \% \text{MgO}}$$

Den hydrauliska modulen för luftkalk är omkring 0-0,3, för *svagt hydraulisk kalk* 0,3-0,5, för *moderat hydraulisk kalk* 0,5-0,7, för *höghydraulisk eller stark hydraulisk kalk* 0,7-1,1 och för *naturligt cement* över 1,1 (Se licentiatavhandlingen 2.4 Hydraulisk effekt). Här till kommer *subhydraulisk kalk* som har en hydraulisk modul av 0,15-0,3 enligt Jan Erik Lindqvist och författaren.

Huvudresultat

Gjorda undersökningar och observationer, som redovisas i avhandlingen, tyder på att bruken under äldre tid generellt tillkommit genom god kunskap om produktion och användning. Denna uppfattning, om den generellt höga kvaliteten och hållfastheten hos bruken i gamla byggnader, delas av många forskare. En sådan forskare som tidigt beskrev brukens höga kvalitet under äldre tid i Sverige var Henrik Kreüger. Han visade i en uppsats 1916 att flera av dessa äldre bruk är mer eller mindre hydrauliska, liksom betonade betydelsen av långsam karbonatisering för hållfastheten. Den kalksten som kan antas ha nyttjats, dvs. särskilt ortoceratitkalksten, har normalt en hög hydraulisk modul och har förutsättningar för att resultera i hydrauliska bruk. Flertalet kalkbruk med hydrauliska komponenter före 1700-talet är subhydrauliska enligt föreliggande undersökning. Detta måste som antagits, innebära att rena kalkstenar valdes selektivt vid brytning för kalkbränning och att kalken brändes vid så låg temperatur och kort tid att de hydrauliska komponenterna inte aktiverades. Bruken innehåller kalkklumpar, delvis mörka hydrauliska klumpar vilka, tyder på att kalken släcktes genom stukasläckning. I övrigt kan denna kalk produceras och användas på samma sätt som ren luftkalk.

Undersökningarna visar att hydrauliskt kalkbruk är ett traditionellt byggnadsmaterial som har intagit en viktig roll vid byggandet i Sverige från medeltid till nutid. Samma sak gäller även för Danmark och Norge. Flertalet kalkbruk med hydrauliska komponenter före 1700-talet är subhydrauliska enligt föreliggande undersökningar. Under andra hälften av 1700-talet utvecklades kunskapen om hydrauliskt kalkbruk. Då kunde den hydrauliska effekten öka och 1770 uppfanns "det svenska cementet", skifferkalkbruket. Naturligt cement importerades från England under 1800-talet, huvudsakligen för tillverkning av fasaddekorationer. (Fig. 1). Författarens slutsatser om de äldre brukstypernas utveckling i Sverige stämmer väl överens med bl.a. professor Franco Massazzas slutsats om utvecklingen internationellt, att fram till 1800-talet, var kalkpuzzolana-blandningar de enda hydrauliska bruk kapabla att hårdna under vatten.

Enligt kraven på autenticitet och kompatibilitet vid vården av kulturhistoriskt värdefulla byggnader är det viktigt att som utgångspunkt använda hydrauliskt kalkbruk vid de mureri- och putsarbeten där detta har använts ursprungligen. Hydrauliskt kalkbruk kan även användas av tekniska skäl t ex i utsatta lägen, även om luftkalkbruk använts ursprungligen. Det senare kan gälla domkyrkoruinen i Kirkjubøur.

I licentiatavhandlingen ingår två undersökningar. Den första omfattar kunskaps- och forskningsläget rörande produktion och användning av hydraulisk kalk, hydrauliskt kalkbruk, naturligt cement och puzzolankalkbruk i ett historiskt perspektiv. Den andra omfattar förekomster och täkter med kalksten som har kunnat nyttjas för produktion av naturligt hydraulisk kalk, liksom av råvaror användbara för tillverkning av naturligt cement och puzzolankalkbruk såsom bl.a. tegel för tegelmjölskalkbruk och bränd alunskiffer för skifferkalkbruk. Den visar att det i Sverige finns en stor potential för produktion av hydrauliskt kalkbruk. Samma sak gäller Danmark under äldre tid, särskilt i Skåne, samt på Bornholm och förmodligen vid Mariagerfjorden på norra Jylland, och i Norge, särskilt i Oslo- och Trondheimsområdena (Fig. 2:1-2). Även Shetlandsöarna, tillhörande Norge till 1468, kan det finnas kalksten användbar för tillverkning av hydraulisk kalk. De har en berggrund besläktad med den i Norge och Skottland. Skotsk kalksten alstrar generellt svagt hydraulisk kalk, och i annat fall både ren kalk och starkt hydraulisk kalk.

I doktorsavhandlingen knyts framställningen av kalk och övriga material till användningen i befintliga byggnader och anläggningar i Sverige inom nuvarande gränser, dvs. även Skåne och Bohuslän, tidigare tillhörande Danmark respektive Norge. Här ingår en detaljerad redogörelse för kalkbrukens sammansättning samt materialegenskaper liksom för produktion. Detta sker genom fyra delundersökningar, som omfattar fyra typer av bruk: (1) naturligt subhydrauliskt och hydrauliskt kalkbruk, (2) naturligt cement, (3) tegelmjölskalkbruk samt (4) skifferkalkbruk. Avsikten är att med undersökningarna karaktärisera och visa varför och för vilka ändamål som dessa material har använts, dvs. till vilka objekt, med fördelning på användning som mur-, fog- och putsbruk, liksom för tillverkning av t.ex. fasaddekorationer. Naturligt subhydrauliskt och hydrauliskt kalkbruk användes redan under medeltiden.

Här skall jag även översiktligt ta upp produktion och användning av naturligt hydrauliskt och subhydrauliskt kalkbruk i Danmark, Norge och Shetlandsöarna, samt avsluta med det bruk som användes för Domkyrkan i Kirkjubøur enligt den senast utförda bruksundersökningen.

Hydrauliskt kalkbruk i medeltida byggnader

Sverige inkl Skåne, Bohuslän och Jämtland

I Sverige har kalkbruk producerats och använts sedan 1000- eller 1100-talet med hydrauliska komponenter, i regel som naturligt subhydrauliska eller svagt hydrauliska bruk. Detta gäller exempelvis det gulbeige murbruket på Gudhems kloster i Falbygden i Västergötland (C14-daterat till perioden 1019-1160), samt det vitgrå/svagt beige fog- och putsbruket till kalkmålningarna i Fornåsa kyrka i Östergötland (1100-talets mitt). Dessa är förmodligen subhydrauliska eller svagt hydrauliska.

I föreliggande undersökning ingår två murbruk från tidig medeltid som är subhydrauliska, nämligen det brungrå bruket på Ornungas gamla kyrka i Västergötland (1200-talets början), och det gråbeige/gulaktiga bruket på Franciskanerklostret i Stockholm (1270-92; Fig. 3-5, 6 och 7). Kalken till Ornunga gamla kyrka kan knytas till ortoceratitkalkstenen på Kinnekulle, dvs. ett av västgötabergen, och till Franciskanerklostret kom kalken från Runmarö i Stockholms skärgård (Fig. 8 resp. 9 och 10). Kinnekulle är en stor kalkförekomst, och Runmarö en liten. Man måste beundra dem som under äldre tid

ansvarade för sökandet efter naturresurser, att överallt leta reda på och utnyttja dessa små och ofta moräntäckta kalkförekomster.

Det i undersökningen äldsta daterbara klart hydrauliska kalkbruket är från tiden omkring 1600. Detta gäller det vita murbruket med tillsats av slagg till Våghuset i Stockholm (1595-1603; Fig. 11 och 12). Det är svagt hydrauliskt, men har förmodligen hanterats på samma sätt som luftkalkbruk och subhydrauliska bruk, t.ex. genom selektivt urval av kalkstenen i kombination med stukasläckning. Vid denna tid hade kalktillverkningen utvecklats till ett förindustriellt stadium. På Runmarö i Stockholms skärgård, varifrån kalken till Våghuset kan ha kommit, fanns på 1500-talet ett kalkbruk för tillverkning i stor skala av kalk (Fig. 9). Runmarökalken blev 1691 omtalad i positiva ordalag av lantmäteridirektör Gripenhjem, med hänvisning till användningen på Slottet Tre Kronor.

I Stockholmsområdet finns en grupp subhydrauliska och svagt hydrauliska kalkbruk från 15- och 1600-talen. Den närmaste kalkproducenten var Runmarö kalkbruk, men kalken härifrån var förmodligen förbehållen kronans byggprojekt som t.ex. Slottet Tre Kronor pga. att kronan ägde detta kalkbruk och den stora kalkbristen i Stockholm. Beroende på kalkbristen förekom en betydande import. Kalk med hydrauliska komponenter, känd som oren kalk, togs från Åland, Estland (Dagö), Livland och Öland. På Dagö och Öland finns ortoceratitkalksten som normalt ger hydraulisk kalk. I avhandlingen redovisas flera byggnader med sådan kalk såsom Rydboholms slott (1550-1730; Ålands-, Livlands- och Ölandskalk samt Gotlandskalk; Fig. 13).

Den skånska Andrarumskalken har en karaktäristisk brunaktig färg, men kan även vara grå och vitgrå. Den spreds över en stor del av dåtida Danmark under 15- och 1600-talen. Ett mur- och fogbruk från kastalen vid Benestads kyrka (1350-1549) har undersökts av författaren (Fig. 14-16). Samtliga undersökta bruk baserade på Andrarumskalk är subhydrauliska. Produktion av kalk i stor skala förekom i den danska kronans regi i Andrarum under perioden 1550-1642; Fig. 17). På Bornholm har samma typ av kalk använts sedan 1100-talet, bl.a. i rundkyrkorna, såsom Ols kyrka, där detta bruk är bevarat på vinden, och på Hammershus, där det användes till portrummet i Manteltornet vid 1500-talets slut (Fig. 18 resp. 19). Det benämns Bornholmscement under 1700-talet, vilket även avser ett under 1800-talet producerat naturligt cement.

Bohuslän saknar kalksten, och med undantag för att kalk kunde utvinnas från skaldjur samlade i skaldjursbankar, var området beroende av kalkimport. Under lång tid importerades kalk från närbelägna Osloområdet, vilken ofta benämns Norgekalk. Detta gällde förmodligen sedan medeltiden och i varje fall till 1700-talets slut. Bruk från några byggnader från medeltid och framåt har här undersökts bl.a. för att konstatera huruvida den förmodade Norgekalken var hydraulisk. Det gäller bl.a. ett ursprungligt bruk från Bärfendals kyrka i mellersta Bohuslän uppförd omkring 1200 (Fig. 20 och 21). Den undersökta kalken visade sig vara ren.

Att det använts hydraulisk kalk i Jämtland framgår bl.a. av den bruksundersökning av den invändiga bemålade putsen i Ragunda gamla kyrka, som utförts genom konservator Misa Asp. Putsen tillkom då kyrkan försågs med kalkmålningar vid 1600-talets början och bedöms vara svagt hydraulisk (Fig. 22 och 23). Ett liknande, förmodat hydrauliskt bruk användes även då kyrkan uppfördes omkring 1500. Detta bruk är fragmentariskt bevarat utvändigt, bl.a. vid ett par bomhål åt norr och väster, som förmodas vara från

byggtiden (Fig. 24). Det bör röra sig om kalk baserad på ortoceratitkalksten från Brunfloområdet (Fig. 25).

Danmark

Enligt bl.a. Teknologisk Instituts undersökningar av medeltida bruk i Danmark tillhör hydrauliska bruk tiden efter 1800, inte medeltiden, pga. den krävande produktionsteknik som erfordras. Några redovisade analyser, av bruk, från de medeltida kyrkorna i Tandrup, Veng, Mørkøv och Åle, visar att bruken i regel är subhydrauliska eller svagt hydrauliska (Fig. 26). Den subhydrauliska och svagt hydrauliska kalken torde vid denna tid ha hämtats från flera producenter i Danmark, t.ex. från Skåne, Andrarumskalk, vilken beskrivits tidigare. Vid denna tid är produktionen i Klintebjerg på norra Själland inte känd, den kom igång först 1752, liksom förmodligen inte heller import från Bornholm, i varje fall fr.o.m. 1741. Tegelmjölslinblandad kalk förekommer redan under medeltiden, men import av t.ex. trass verkar inte ha kommit igång på allvar förrän under 16- och 1700-talen. Regeringsrådet Niels Friis på Nykøbings slott använde 1591 begreppen "den skånska kalken" dvs. Andrarumskalk, samt "Cementkalk". Det senare kan vara importerad trass från Holland.

Norge

Författarens bruksundersökningar av Norgekalk från Osloområdet i Bohuslän visar att denna kalk var ren. Britt-Alise Hjelmelands undersökningar tyder på att Osloområdets hydrauliska kalk utnyttjades först under 1600-talet i militära projekt. Thorborg von Konows undersökningar av Nidarosdomens i Trondheim bruk visar att två av fyra analyserade medeltidsbruk är svagt hydrauliska. Potential för tillverkning av hydrauliska bruk i Norge finns i Osloområdet, bl.a. på Bygdö och Langön, samt vid Hamar och i Trondheimsområdet, men förmodligen i liten utsträckning även utefter västkusten i t.ex. Bergensområdet.

Shetlandsöarna

De i förhållande till Färöarna närmaste kalkförekomsterna finns på Shetlandsöarna. Berggrunden är nära besläktad med den i Norge och Skottland varför kalkstenen bör kunna användas för produktion av hydraulisk kalk. Med tanke på att öarna tillhörde Norge från 800-talet fram till 1468 är Shetlandsöarna en möjlig leverantör av den kalk som kom till användning vid uppförandet av domkyrkoruinen. Närmare undersökningar bör utföras.

Domkyrkoruinen i Kirkjuður (Fig. 27)

Murverket är uppfört i skalmursteknik och uppmurat av grovhuggna block av lokal basalt, med kvaderhuggna stenar vid hörnen. Stenarna är lagda i ett kalkbruk, och fogarna är skolade med tunna, horisontella stenskrävor av basalt. På särskilt skyddade platser i ruinens inre finns ännu bevarade rester av väggputs.

Jørn Bredal-Jørgensen på Konservatorsskolan i Köpenhamn utförde 1998 en tunnslipsanalys av ett bruksprov av okänt ursprung från domkyrkoruinen. Den analysen visar att det sannolikt rör sig om ett kulekalksbruk huvudsakligen baserad på en ren kalk. Men det förekommer i pastan även bruna till mörkbruna kalkklumpar med hydrauliska

egenskaper. Brukets ballast består dels av musselskalsfragment, dels fragment av lokala vulkaniska bergarter i form av strandsand. Punkträkningen med 33,2 % pasta, 5,2 % kalkklumpar (ohydratiserat bindemedel), 48,5 % ballast och 13,1 % luft, visar att bruket är fett.

För att få en bra bild av de i domkyrkoruinen ursprungligen använda bruken bör det tas ett flertal, förslagsvis omkring tio bruksprover av mur-, fog- och putsbruk för bl.a. tunnslips- och kemisk analys. Syftet är bl.a. att besvara frågan om varifrån kalken kan ha hämtats och att få fram lämpliga restaureringsbruk.

Sammanfattning

De i licentiatavhandlingen planerade fortsatta undersökningarna har i stor omfattning genomförts inom ramen för doktorsavhandlingen. Flertalet naturligt subhydrauliska och hydrauliska kalker och bruk av högt utforskningsvärde har undersökts av författaren. Detta gäller bl.a. *Runmarö- och Andrarumskalkerna samt Västgötabergens kalk*, liksom *den kalk som använts i Bohuslän*. Den rikt använda *Ölandskalken* är väl känd genom andra forskares undersökningar.

Sammanfattningsvis har naturligt hydrauliskt kalkbruk utvecklats under en mycket lång tid, från i huvudsak subhydrauliska bruk före 1700-talet, till svagt och moderat hydrauliska kalkbruk och puzzolankalkbruk på 17- och 1800-talen. Naturligt hydrauliskt kalkbruk används fortfarande, framför allt vid restaureringar. Användningen har varit mycket bred, framför allt som mur-, fog- och putsbruk i fuktutsatta lägen i husbyggnadssammanhang och som ingrediens i puzzolankalkbruk.

Undersökningsbehov och fortsatt forskning särskilt rörande medeltiden

Det aktuella forskningsläget har inte möjliggjort mer omfattande undersökningar av *Lenakalken*, vilken haft stor betydelse bl.a. under medeltiden. Bl.a. erfordras tillgängliga byggnadsarkeologiska undersökningar med bruksundersökningar av Gamla Upsala kyrka och Uppsala domkyrka. Forskningsläget tillåter inte heller undersökningar av hur *de potentiellt hydrauliska kalkerna i Östergötland, Närke, Siljansområdet och Jämtland* har nyttjats, och samma sak gäller *Komstads- och Bjärsjölagårdskalkerna i Skåne* samt *Slitelagermargeln och -kalkerna vid Slite på Gotland* under äldre tid. För den jämtländska kalkens del har undersökningar inletts av bruken i Ragunda gamla kyrka (omkr. 1500 och 1600).

Härtill kommer att kunskapen om de i denna avhandling behandlade, delvis medeltida kalkerna, behöver fördjupas genom nya forskningsinsatser. I några fall har författaren för avsikt att fortsätta med nya bruksundersökningar av ovan redovisade kalker. I flertalet fall måste denna forskning ske av andra, och i samarbete med andra engagerade forskare. Författarens avsikt har varit att stimulera intresset för sådana insatser.

Författaren har för avsikt att fortsätta undersökningarna av *Runmarökalken* med stöd bl.a. från det pågående marinarkeologiska Runmaröprojektet. Användningen av Runmarökalken bör kunna undersökas i t.ex. resterande delar av Slottet Tre Kronor. *Lenakalkens användning* står också högt på listan över sådana kalker. Det bör vara möjligt att undersöka bl.a. Sätuna säteri i Uppland i det hänseendet. *Andrarumskalkens användning i hela dess spridningsområde*, dvs. i Danmark, bör undersökas genom

samarbete med danska forskare. Erbjuds möjligheten till undersökningar som belyser produktion och användning av hydrauliskt kalkbruk utanför Sverige, närmast i övriga Norden, är sådana undersökningar mycket välkomna. Det gäller t.ex. den aktuella undersökningen av bruken på domkyrkoruinen m.fl. byggnader på Färöarna.

I flera avseenden erfordras ny kunskap om brukens egenskaper ur bl.a. teknisk synpunkt och hur de har hanterats allt från brytning till applicering. Det är exempelvis viktigt att jämföra den hydrauliska effekten och styrkan hos historiska bl.a. medeltida subhydrauliska och hydrauliska kalker med de kalker som finns på marknaden nu för tiden.

Författaren påbörjade i samband med arbetet med föreliggande avhandling arbetet med att göra en *sammanställning av i Sverige tillgängliga hydrauliska kalker*. Denna sammanställning föreligger i en preliminär version för bearbetning och presentation i lämplig form.

Det är även viktigt att *utveckla skyddet av kulturhistoriskt värdefulla brukstyper*. Det gäller bl.a. att ange *hur dessa bruk lämpligen vårdas, repareras och restaureras*. En viktig fråga är att utveckla metoder och material för konservering av historiska kalkbruk.

Litteratur

Bredal-Jørgensen, Jørn, *Kirkjubøur Múrurin. Undersøgelse af mørtelprøve*. Rapport Konservatorsskolen Köpenhamn. Köpenhamn 1998.

Johansson, Sölve, *Hydrauliskt kalkbruk. Kunskaps- och forskningsläge. Tillgången på kalksten med hydrauliska komponenter, naturligt cement och hydrauliska tillsatsmaterial för byggande i Sverige från medeltid till nutid*. Licentiatavhandling i miljövetenskap Göteborgs universitet, Göteborg 2004.

Johansson, Sölve, *Hydrauliskt kalkbruk. Produktion och användning i Sverige vid byggande från medeltid till nutid*. Doktorsavhandling i miljövetenskap Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 2006.

Johansson, Sölve, *Hydrauliskt kalkbruk. Produktion och användning i Sverige vid byggande från medeltid till nutid*. Göteborg Studies in Conservation 20. Reviderad version av doktorsavhandlingen i miljövetenskap vid Chalmers Tekniska Högskola Göteborg 2006. Göteborg 2007. Distribution: Acta Universitatis Gothoburgensis, P.O., Box 222, SE-405 30 Göteborg, Sweden. www.ub.gu.se/service/acta/univ/gsc.xml

Konow, Thorborg von, "Nidarosdomens historiska mur-, puts-, och fogbruk". I: *Nyhedsbrev Nordisk Forum för Byggningskalk 2003/2004*. Köpenhamn 2004, s 19-27.

Murværkskemi: Hærtningsforhold. Statusrapport. Sagsnr: 252-8-1005. Murværkscentret Teknologisk Institut, Hasselager. Hasselager januari 1999.

Bilddilaga

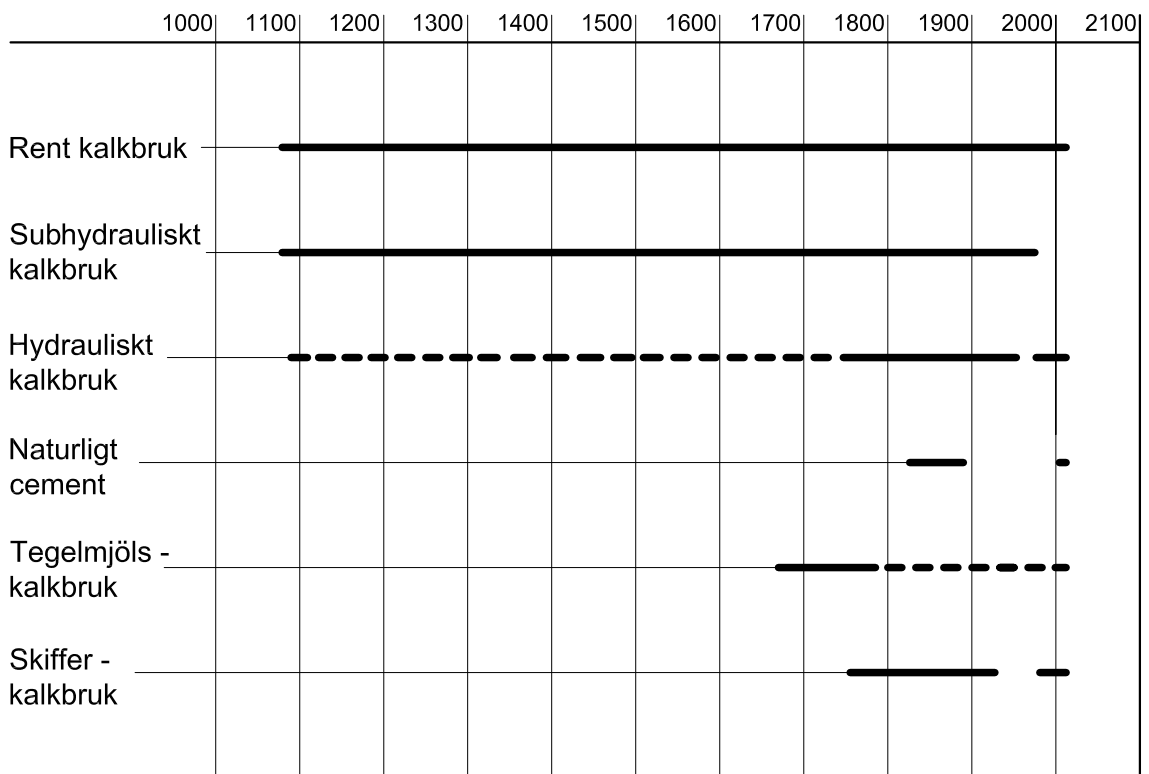


Fig. 1. De äldre brukstypernas utveckling. Enligt Sölve Johansson 2007.

Förklaringar:
 ————— Kontinuerlig utveckling.
 - - - - - Sporadisk utveckling.

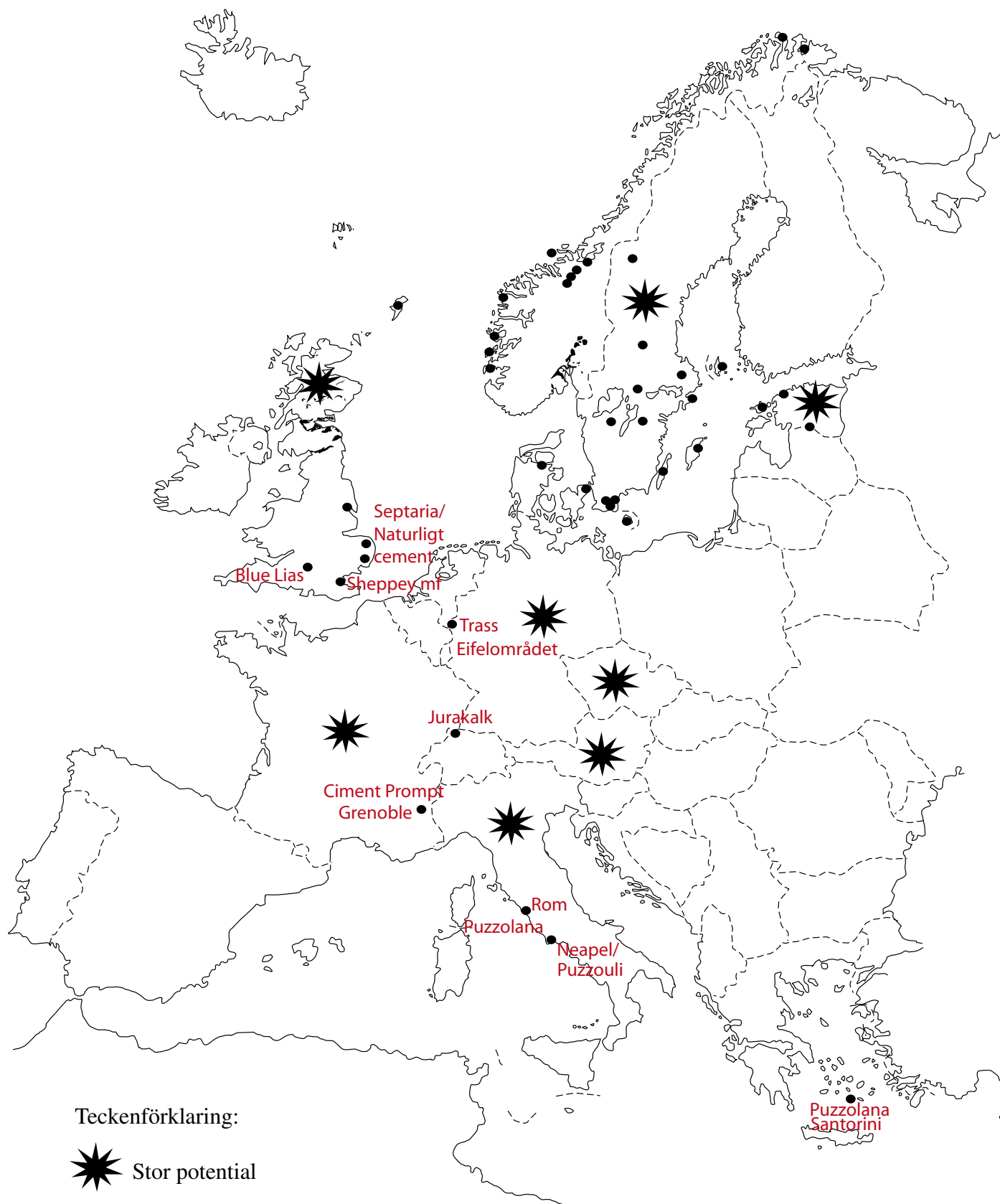


Fig. 2:1. Preliminär förenklad karta med förekomster i Europa av naturligt subhydraulisk och hydraulisk kalk, naturligt cement (septaria och kalkmärgel), puzzolana (inkl Trass) m.m. Sölve Johansson 2007

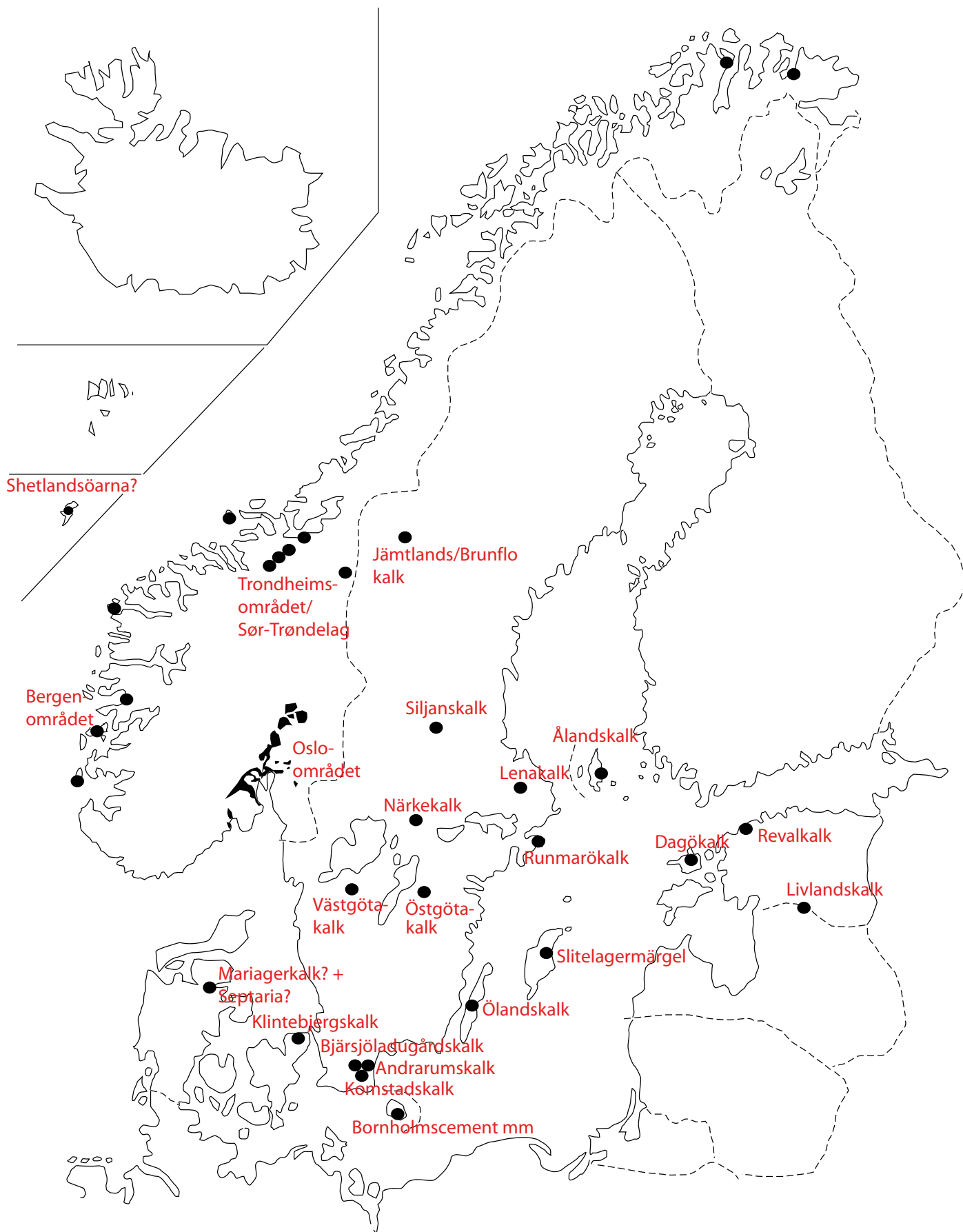


Fig. 2:2. Preliminär förenklad karta med förekomster i Norden av naturligt subhydraulisk och hydraulisk kalk, naturligt cement (septaria och kalkmargel) m.m.
Sölve Johansson 2007

Fig. 3. Översiktsbild av norra fasaden med stötfog mellan 1700-talsmurverk och medeltida murverk väster om sakristian.
Foto:
Sölve Johansson 1992.



Fig. 4. Mikroskopifoto, Ornungas gamla kyrka prov hanband södra fasaden. Bilden visar olika typer av kalkklumpar i bruket. Bilden motsvarar ca 8,3 x 6,3 mm.
Foto: SP 43 2.

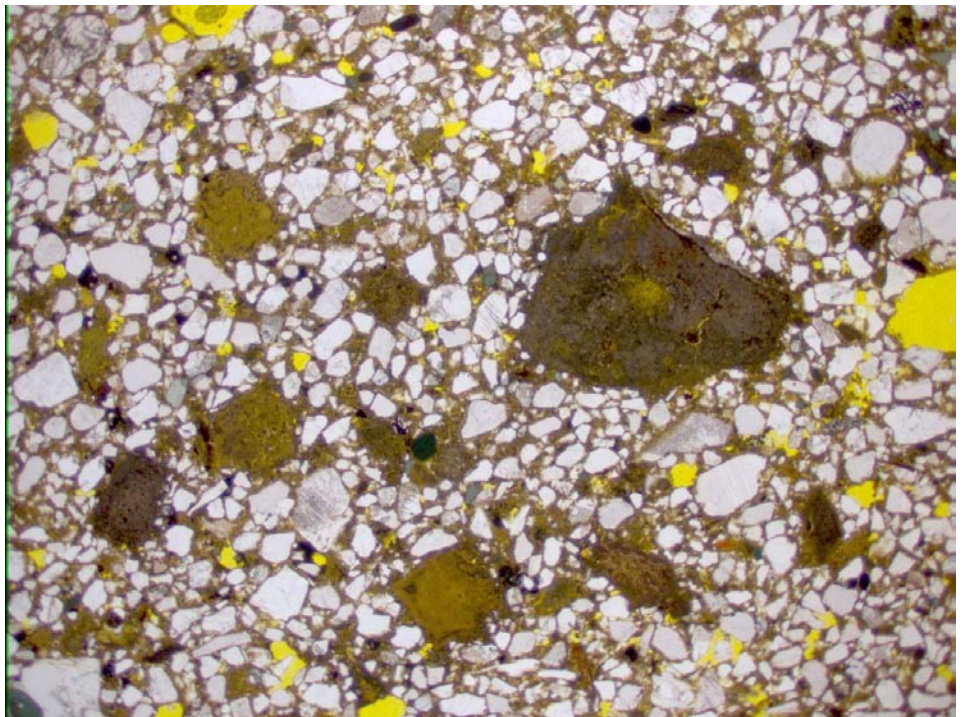


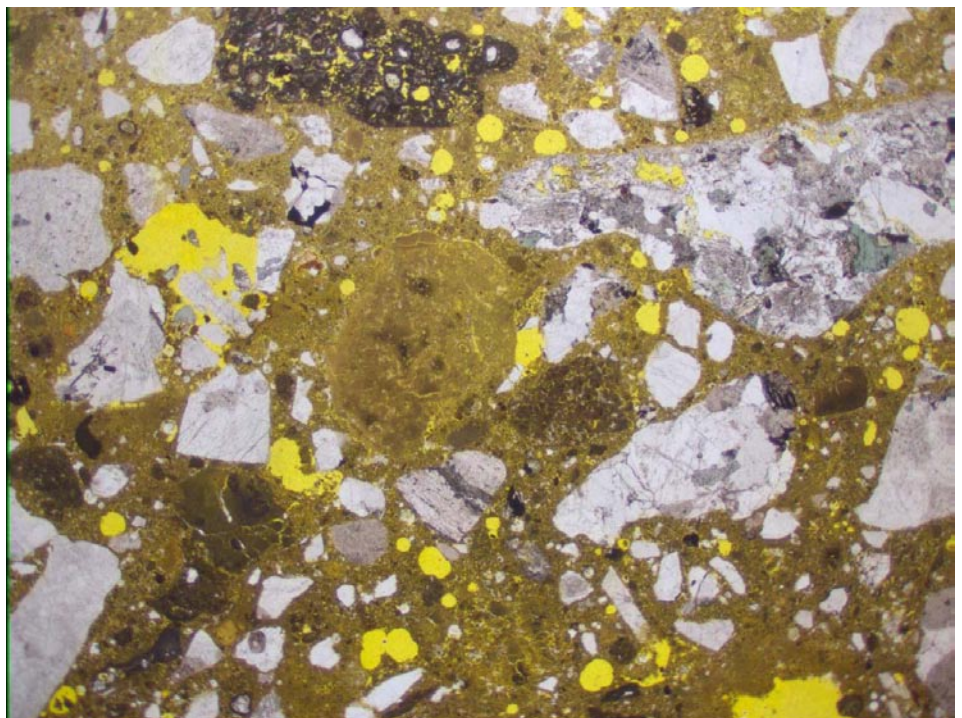
Fig. 5. Mikroskopifoto, Ornungas gamla kyrka prov hanband södra fasaden. Bilden visar en kalkklump med kvarvarande fossil. Bilden motsvarar ca 5,3 x 4,0 mm.
Foto: SP 43 4.



Fig. 6. Riddarholmskyrkan
f.d. Franciskaner-
klostret i Stockholm
åt sydväst.
Foto:
Sölve Johansson 2005.



Fig. 7. Mikroskopifoto,
Franciskanerklostret
prov. Bilden visar
mörka och ljusa
kalkklumpar samt i
den övre bildkanten en
slaggpartikel.
Bildytan motsvarar
ca 8,3 x 6,3 mm.
Foto: SP 53 3.



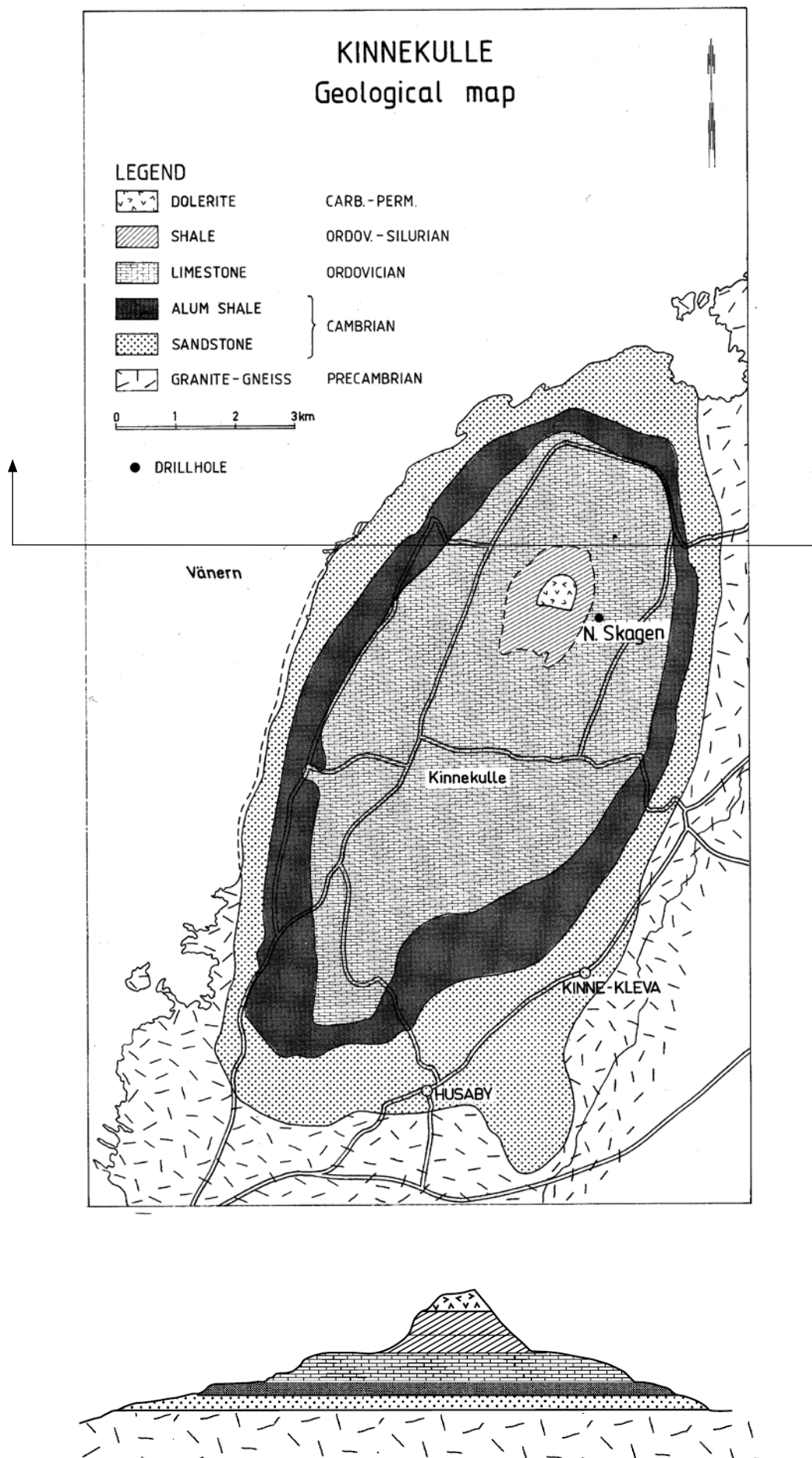


Fig. 8. Geologisk karta över Kinnekulle i Västergötland (Andersson m fl 1985, s 19) med schematisk profil med bergets lagerföljd.

Fig. 11. Södra Bancohuset
i Stockholm åt sydväst,
i vilket ingår rester
av Våghuset.
Foto:
Sölve Johansson 2006.



Fig. 12. Mikroskopifoto,
Våghuset prov. Bilden
visar delvis uppsmält
silikatmaterial i form av
slagg. Den mörka kanten
kring kornet är orsakad
av puzzolanreaktion.
Bildytan motsvarar
ca 1,3 x 1,0 mm.
Foto: SP 21minglas10.

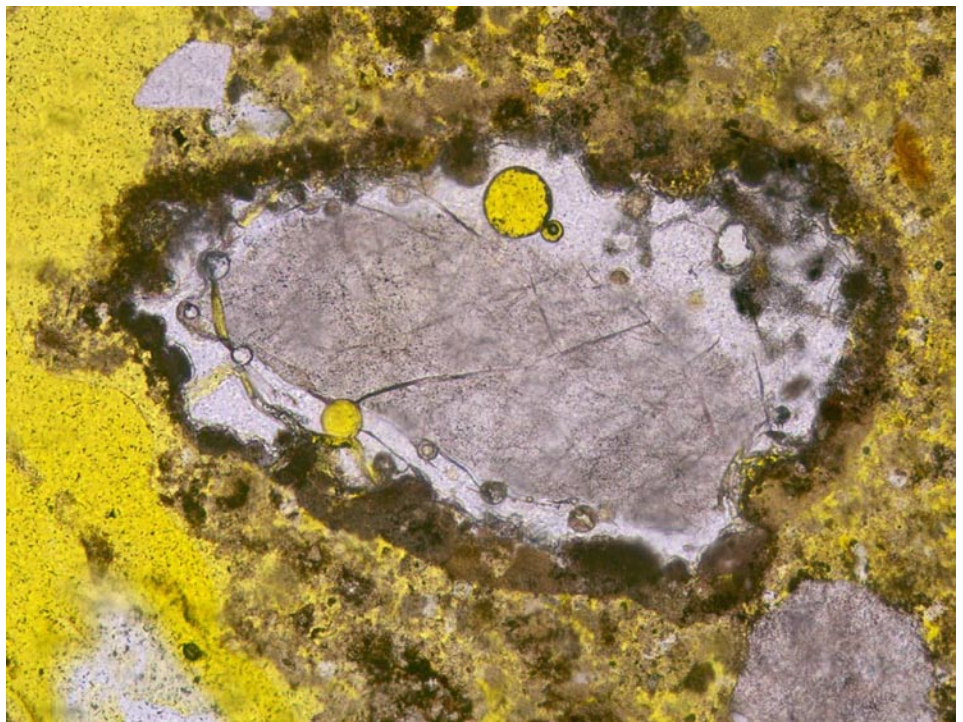


Fig. 13. Rydboholms slott med
Vasatornet åt söder.
Foto:
Riksantikvariämbetet,
Bengt A. Lundberg 1997.



Fig. 14. Benestads kyrka med kastal åt nordost.
Översiktsbild.
Foto:
Sölve Johansson 2005.



Fig. 15. Kastalen vid Benestads kyrka. Interiör med murverk fogat med ett brunaktigt kalkbruk, förmodligen baserat på Andrarumskalk.
Foto:
Sölve Johansson 2005.



Fig. 16. Mikroskopifoto, kastalen vid Benestads kyrka prov.
Bilden visar en kalkklump med orenheter i form av brunfärgade ler/järnförbindelser (Kh). Mikrokristallin kalk (MK). I orenheterna ses kristallinakorn av ferrit (C4AF) (→). Bildytan motsvarar ca 0,75 x 0,5 mm.
Foto: Seir 051112 foto 1.

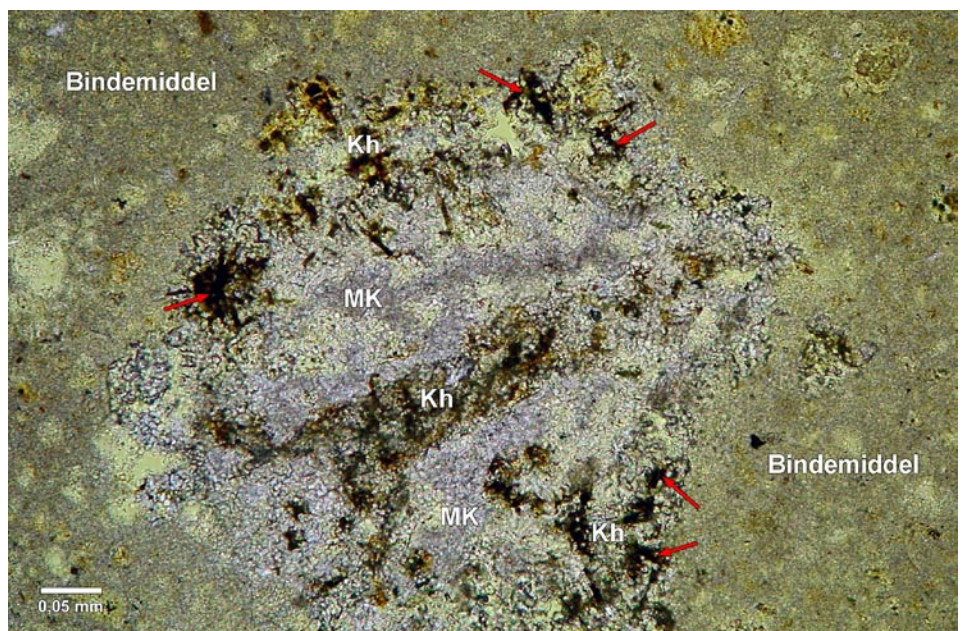


Fig. 17. Orsten s k Andrarums-kalksten i ett kambriskt alunskifferlager i Stora brottet vid Andrarums alunbruk. Foto: Sölve Johansson 2003.



Fig. 18. Vinden på Ols kyrka på Bornholm med ursprungligt brunaktigt bruk i form av utstruken fog. Foto: Sölve Johansson 2005.



Fig. 19. Detalj från valvet till portrummet i Manteltornet på Hammershus på Bornholm med brunaktigt bruk förmodligen baserat på Andrarumskalk. Foto: Sölve Johansson 2005.



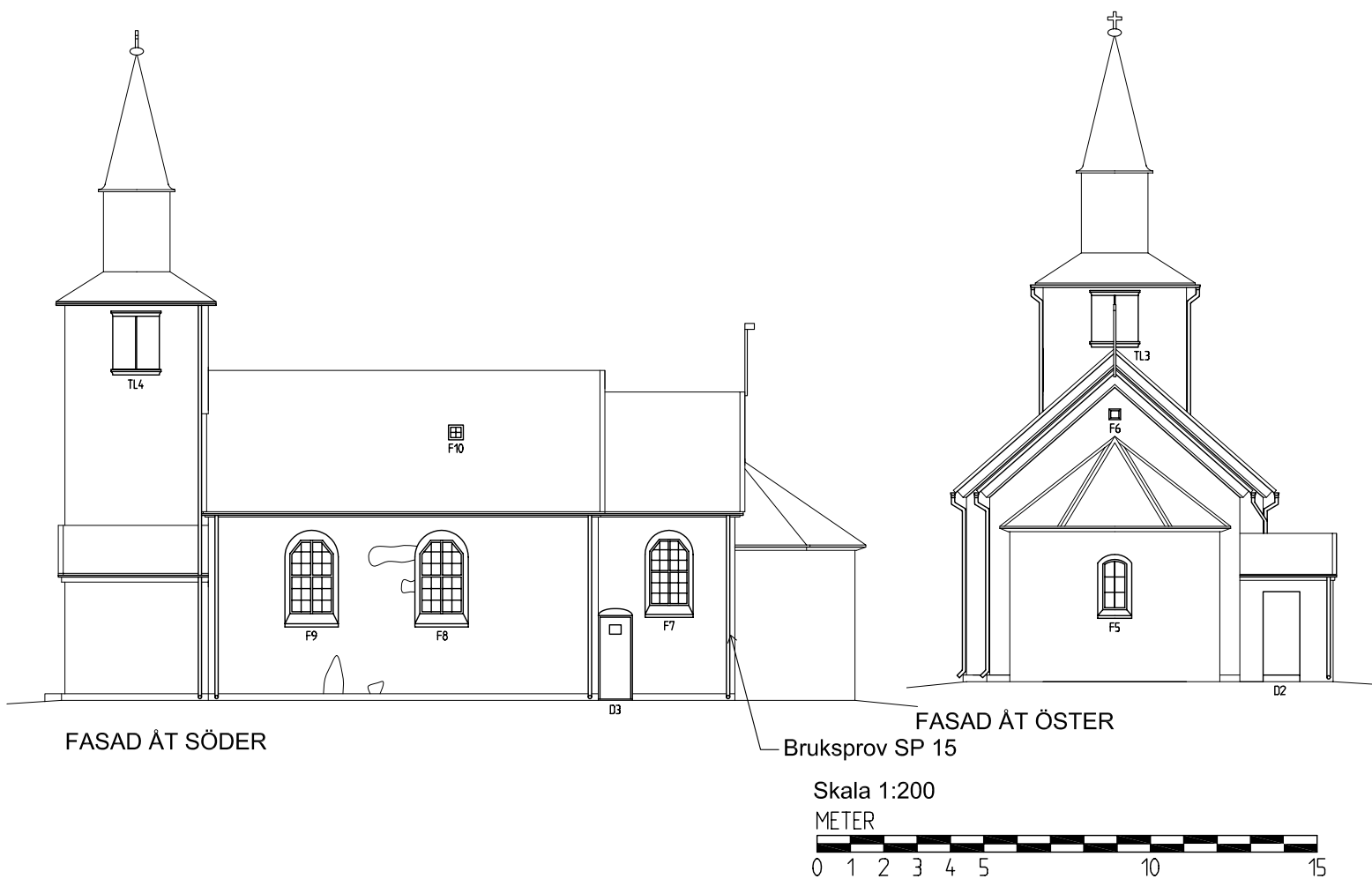


Fig. 20. Fasadritningar åt söder och öster med markering var bruksprov SP uttogs. Byggkonsult Sölve Johansson AB, Trollhättan 2000.

Fig. 21. Mikroskopifoto, Bärfendals kyrka i Bohuslän prov. Bilden visar bl.a. luftporer där nybildade kalcitkristaller bildats vid porväggen. Detta tyder på att bruket varit utsatt för hög fukthalt under lång tid. Bildytan motsvarar ca 2,7 x 2,0 mm. Foto: SP 15C5.

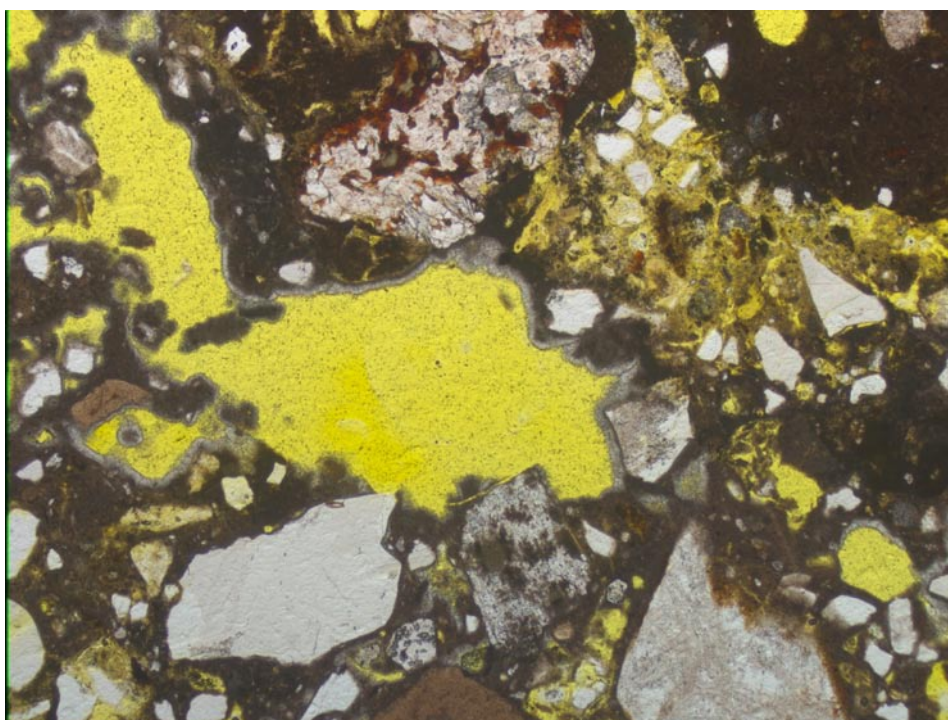


Fig. 22. Ragunda gamla kyrka
i Jämtland. Exteriör från
sydost.
Foto:
Sölve Johansson 2006.



Fig. 23. Bomhål på västra gaveln
på Ragunda gamla kyrka
i Jämtland.
Foto:
Sölve Johansson 2006.



Fig. 24. Mikroskopifoto, invändig
puts Ragunda gamla kyrka
i Jämtland.
Foto:
Seir-Materialeanalyse
2005.

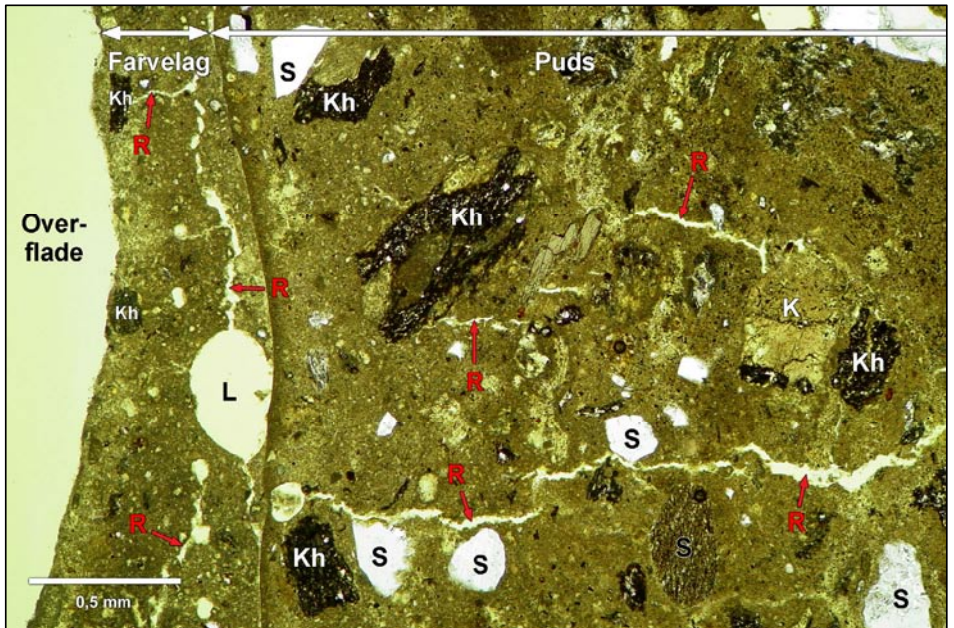


Fig. 25. Ortoceratitkalksten vid
väg utanför Brunflo
i Jämtland.
Foto:
Sölve Johansson 2006.



Tabel 5.1

Prøve	Tid ca.	Ca(OH) ₂ %	Op. SiO ₂ %	Kalk %	Hydraulisk kalk %	Sand %	KKh	Hydraulisk indeks
Tamdrup kirke	1050 efter 1050	40,4 30,7	- -				K K	- -
Veng kirke	1100	26,3 26,9	0,7 0,4	22,3 25,1	4,8 1,8	72,9 73,0	KKh 82/18/269 KKh 93/7/270	0.035 0.020
Mørkøv kirke	1200 1400	32,4 37,7	2,0 1,0	22,8 33,2	11,6 5,4	65,6 61,4	KKh 66/34/191 KKh 86/14/159	0.082 0.035
Åle kirke	Middelald.	32,7	0,43	35,1	2,0	62,9	KKh 95/5/170	0.017
Chr. IV Bryghus	1600 - t	18,0 24,5	0,50 1,03	17,2 22,1	2,4 5,6	80,4 72,3	KKh 88/12/410 KKh 80/20/261	0.037 0.056
Rundetårn	1642	33,9	1,2-2,1	27,9- 32,4	5,9-12,6	59,6- 61,7	KKh 69-85/15- 31/147-161	0.047-0.082
Røde byg- ning	1700	27,3	0,98	25,8	5,2	68,9	KKh 83/17/222	0.047
Møntmes- tergård	1684	28,2 29,1	0,54 0,66	29,1 29,6	2,6 3,3	68,3 67,1	KKh 92/8/215 KKh 90/10/204	0.025 0.030
Bernstoff- palæ, puds	1750	17,3	0,65	15,7	3,3	81,0	KKh 83/17/427	0.050

Fig. 26. Tabell med bruksundersökningar på några danska objekt varav flera bruk är subhydrauliska och svagt hydrauliska (Statusrapport Murværkskemi 1999, tabell 5:1).



Fig. 27. Domkyrkoruinen i Kirkebøur på Färöarna åt sydväst.
Foto: Sölve Johansson 1970.