

Projektet Ålands kyrkor och murbruksdatering – rapport från en metodutveckling

Av Åsa Ringbom, Jan Heinemeier, Alf Lindroos & Årny Sveinbjörnsdóttir¹

1. Inledning – varför murbruk?

När projektet *Ålands kyrkor* inleddes 1990 var uppfattningen om kyrkornas kronologi närmast kaotisk. Enskilda forskares dateringar av kyrkorna kunde variera med flera sekler.² I stället för att bygga på hållbar faktagrund hade man uppenbarligen på alla fronter ägnat sig åt spekulationer, vilket naturligtvis upplevdes som högst otillfredsställande. Den stora utmaningen blev därför att nå fram till en tillförlitlig kronologi, till en tidsbestämning som vilar på solid vetenskaplig grund. Eftersom kyrkorna är den enda byggnadstypen i landskapet som varit i kontinuerligt bruk sedan medeltiden, och eftersom samtida skriftliga källor praktiskt taget saknas, blir en korrekt tolkning av kyrkornas kronologi avgörande för förståelsen av landskapets medeltida historia (fig.1).

Därför fattades inom projektet redan inledningsvis principbeslutet att man skulle nollställa sig i relation till tidigare forskning. Tanken var att bristen på samtida källor skulle kompenseras med en objektiv ny databank uppbyggd av naturvetenskapliga analysmetoder, nya källor skulle skapas för ny hållbar information.

Saken föreföll enkel. Där det bara var möjligt tillämpades dendrokronologi. Takkonstruktionerna i samtliga kyrkor genomgick dendrokronologisk analys 1991-92.³ Resultatet blev emellertid en besvikelse då denna metod inte kunde erbjuda en tillförlitlig datering av kyrkornas första byggnadsskede. Dendro-

kronologi kunde alltså inte lösa problemet med kyrkornas kronologi. Trots detta har resultaten från dendrokronologin visat sig vara ovärderliga. Sekundära skeden som torn, vapenhus och välvningar har på detta sätt kunnat fastställas, liksom också reparationer efter brand och rötskador. Viktigt är framför allt att dendrokronologisk analys levererar pålitliga data för jämförande analys. På Åland är teglet sällsynt som byggnadsmaterial, vilket gör att man har föga hjälp av termoluminiscens. Inte heller förmår arkeologiska artefakter eller mynt ge en pålitlig datering för murade stenkonstruktioner.

Murbruk däremot skiljer sig från alla andra daterbara material genom att det föreligger i riklig mängd från samtliga olika byggnadsskeden. Därmed kunde en lyckad datering av murbruk innebära en enorm potential, både inom medeltids- och klassisk arkeologi. Inom projektet *Ålands kyrkor* fattades därför redan 1990 beslutet att vidareutveckla och tillämpa denna metod.

1990-1994 tillämpade projektet *Ålands kyrkor* den konventionella ¹⁴C metoden, vilket bl.a. innebar ett behov av oproportionerligt stora provmängder för att möjliggöra koncentration av den lilla bråkdelen av ett prov som väl ägnad till datering. Provresultaten varierade, t.o.m. innanför samma byggnadsenhet. De blev vanligen också för gamla, mättningsresultaten var inexakta och därmed blev felmarginalerna förhållan-

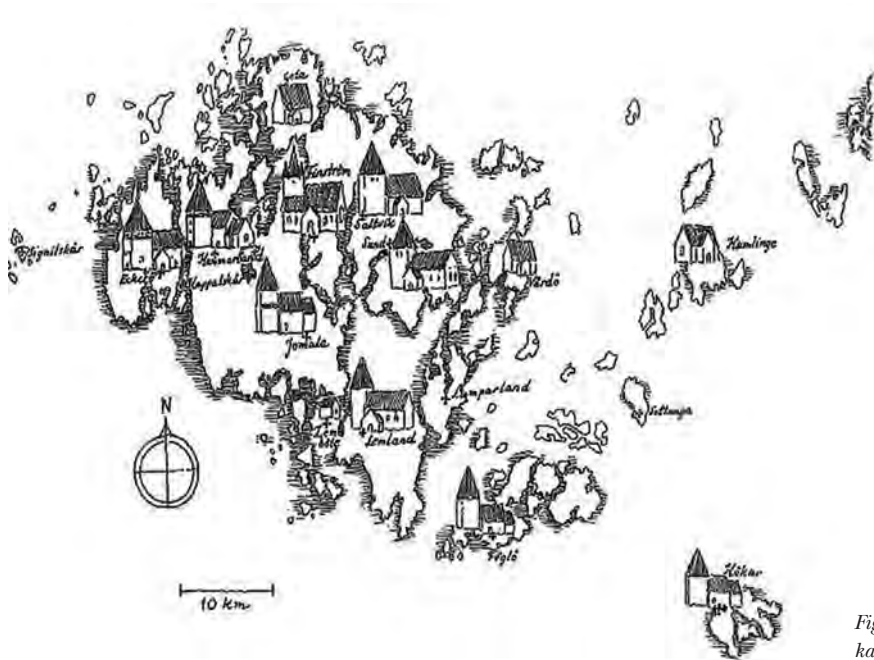


Fig. 1. Ålands medeltida stenkyrkor utmärkta på kartan, ritad av Bo Ossian Lindberg, 1999.

devis stora.⁴ För att råda bot på detta övergick projektet 1994 till att datera murbruket med ^{14}C AMS (Accelerator Mass Spektrometri). Fördelarna var uppenbara. Inte bara så att provmängderna kunde minimeras, och att de därmed blev lättare att hantera. Avgörande var att även den fysiska mätningssäkerheten småningom minskade och att resultaten inom samma byggnadsenhet stämde sinsemellan överens. ^{14}C AMS analysen av Ålands kyrkor utförs vid AMS ^{14}C Dateringscentret, Universitetet i Århus. För att demonstrera fördelarna med ^{14}C AMS analys publicerades 1995 AMS resultaten sida vid sida med tidigare resultat från konventionell datering. Samtidigt fattades det generella principbeslutet att övergå till ^{14}C AMS. Sedan 1995 beaktas alltså överhuvudtaget inte tidigare resultat från konventionellt ^{14}C daterat murbruk.⁵

1997 blev det tvärvetenskapliga nordiska projektet *Ålands kyrkor* internationellt när metoden att datera murbruk började tillämpas inom klassisk arkeologi. Först i turen stod den största romerska villaanläggningen på Iberiska halvön, Torre de Palma i Portugal. Där var murbruket inte olikt åländskt icke-hydrauliskt kalkbruk. 1998 innebar en radikalare utvidgning då metoden även började testas på hydrauliskt pozzolana murbruk, med en helt annan kemi.

Genom systematisk testning av resultat från murbruksanalys mot andra oberoende naturvetenskapliga dateringsmetoder kan vi idag konstatera att det åländska materialet varit ovanligt väl ägnat för denna metod. Av de resultat som kan vägas mot säkert daterade strukturer motsvarar 96% den kända åldern, medan den totala procenten av konklusiva prover

uppgår till 84%. Det är nu hög tid att presentera detta material för en bredare allmänhet. Gärna tar vi också emot kritiska synpunkter, dock helst sådan kritik som vilar på en lika systematisk grund som den vi själva satt som mål för vår forskning.

2. Metod och preparering

Radioaktiv datering, utarbetad av Willard Libby 1947, bygger på det faktum att relationen mellan radioaktiv ^{14}C -isotop och stabil ^{12}C -isotop i levande växter och djurvävnader återspeglar den konstanta koncentrationen av koldioxid i atmosfären. När en organism dör inleds ett radioaktivt sönderfall som innebär att antalet ^{14}C -isotoper halveras inom loppet av 5730 år. Därför kan organiska material dateras genom att man mäter återstoden av ^{14}C -isotopen i relation till den stabila kolisotopen ^{12}C .

Även om murbruk inte är ett organiskt material, fixerar murbruket atmosfärisk koldioxid i karbonatet när det härdar. Sålunda är murbruket ett idealiskt material för ^{14}C datering. Vid produktionen av byggkalk upphettas kalkstenen till minst 900°C för att be-

fria koldioxid och producera kalcium oxid (CaO). När denna kalciumoxid släcks med vatten bildas kalciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), vilket innebär att byggkalk skapas. För att bilda murbruk blandas så byggkalken med aggregat (sand) och vatten. Under den påföljande härdningsprocessen reagerar byggkalken med atmosfärens koldioxid, vilket resulterar i kalciumkarbonat (CaCO_3) (fig. 2). ^{14}C innehållet i ett murbruksprov kan därför ange den tid som passerat sedan byggnadstiden då murbruket härdade. Metoden att datera murbruk har i princip varit känd sedan 1960-talet, men efter flitigt experimenterande förlorade den småningom terräng p.g.a. faktorer, som inverkade störande på resultatet.⁶

Inom projektet Ålands kyrkor var man redan 1990, när projektet inleddes, väl medveten om dessa svårigheter. Därför strävade man till att identifiera och minimera inflytandet av problematiska komponenter, som föråldrande kontaminering av ofullständigt bränd kalk och föryngrande rekristallisering.

Alkaliska prover, som färgas röda vid beröring av fenolftalein, kan absorbera modern CO_2 , och bor-

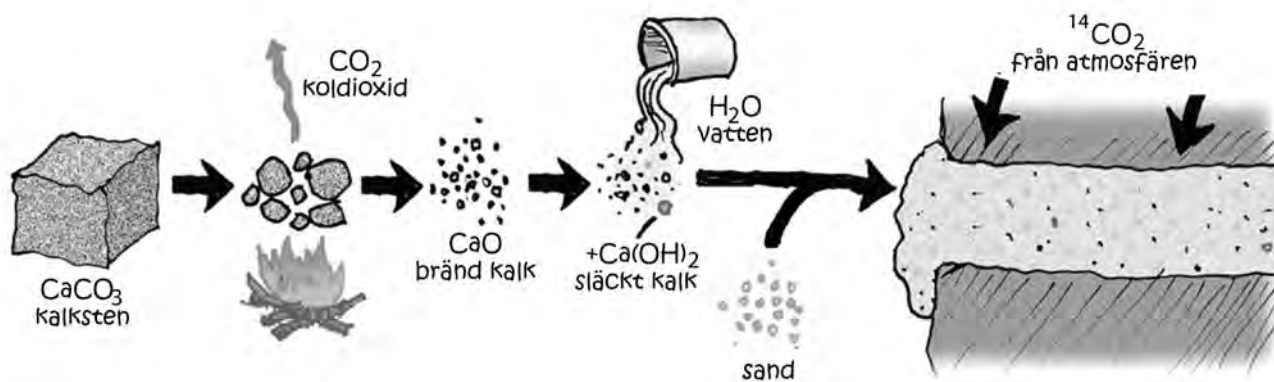


Fig. 2. När murbruk härdar absorberar det atmosfärens koldioxid, vilket gör det till ett väl lämpat material för ^{14}C datering. Ringbom et al. poster, 2003.

de därför uteslutas vid AMS datering. Denna test utförs i fält, och upprepas senare i laboratoriet (fig. 3). I allmänhet rekommenderas vid provtagningen en handfull murbruk. Även om endast bråkdelen av detta krävs för den egentliga analysen, är det viktigt att ha en tillräcklig mängd för arkivering. Det behövs också för att klargöra murbrukets sammansättning genom olika typer av geologiska och kemiska analyser, och – om nödvändigt – även för förnyad ^{14}C analys.

Innan själva ^{14}C AMS analysen verkställs genomgår provet olika typer av mekaniska och kemiska prepareringar. För att bryta upp det porösa och mjuka murbrukskarbonatet och för att lämna den hårdare kontaminerande obrända kalken intakt, genomgår provet först försiktig krossning. Därpå följer mekanisk separering genom sällning i sällserien: 500, 300, 150, 100, 75, 45 och 20 μm (mikroner). De fyra grövsta korn-



Fig. 3. Fragment av ett murbruksprov som färgades rött när det testades för alkalinitet med fenolftalein. Foto Åsa Ringbom, 2008.

storleksfraktionerna torrsiktas och de fyra finaste våtsiktas och torkas. I sällningen lösgörs de små kornen i murbrukskarbonaterna. De passerar de grövre sikten och separeras sålunda från de stora kalkstenskornen, som ingår i aggregatet, inklusive rester av obränd kalk. För dateringen utses vanligen ett fint kornstorleksfönster på 46-75 μm . Genom denna siktning anrikas murbrukets karbonat till 60-80%, medan den procentuella andelen obränd kalk på motsvarande sätt reduceras till mindre än 3%.

För att bestämma mineralkompositionen följer petrografisk mikroskopi, kompletterad med katodluminescens som spårar kontaminerande obränd kalk, inklusive kalk eller marmor som följt med aggregatet in i murbruket. Obränd kalk avslöjas vanligen som lysande fläckar i orange eller rött mot murbrukets bindande karbonat, som framträder som en grå eller brun bakgrund (fig. 4).

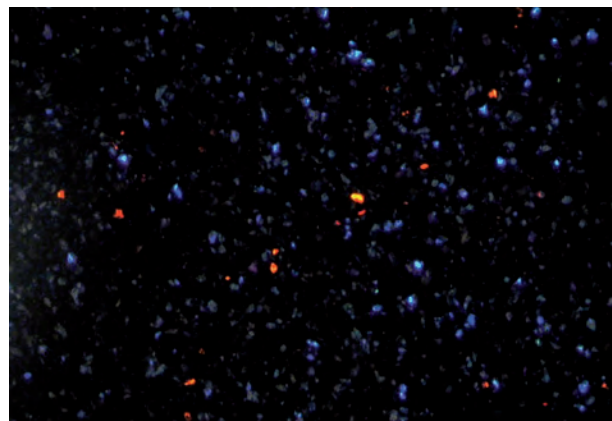


Fig. 4. Katodluminescens analys tillämpat på ett mekaniskt separerat murbruksprov, med en kornstorlek på 46-75 μm . Orangefärgade fläckar avslöjar kontaminering av obränd kalksten, medan de blå fläckarna står för kvartskrystaller utan betydelse för dateringen. Den mörka bakgrundsfärgen återger det bindande karbonatet i murbruket. Foto Alf Lindroos, 1998.

Efter den mekaniska separeringen följer kemisk separering, där den valda kornstorleksfraktionen (oftast 46-75 μm) utsätts för 85% fosforsyra under vakuum, för att sålunda frigöra koldioxid för dateringsanalys (fig. 5). Det är känt att eventuella resterande täta och hårda karbonatkorn av obränd kalk reagerar långsammare med syran än vad som är fallet med murbrukets porösare karbonat. När syran reagerar med provet är initialeffekten häftig. Inom några sekunder frigör den 10-20% av den totala mängden koldioxid. Den första delen av gasflödet isoleras snabbt i en glasampull, och utgör därmed den första CO_2 fraktionen. Därefter avmattas reaktionen. Den andra CO_2 fraktionen, även den på 10-20%, insamlas inom loppet av några minuter, medan efterföljande fraktioner får reagera i lugn och ro, och insamlas under efterföljande timmar.

Eftersom murbrukskarbonat är mera lösligt än kalksten, kommer det att bli kraftigt överrepresenterat i den första CO_2 fraktionen. Denna anses därför vara mindre påverkad av kontaminering av långsamt reagerande obränd kalk, som eventuellt kan spåras i senare CO_2 fraktioner. Murbrukets verkliga ålder återges alltså mera exakt av dateringsresultatet från första CO_2 fraktionen än från den andra CO_2 fraktionen. Fram till 2002 analyserades alla murbruksprouver inom projektet i två CO_2 fraktioner, vardera motsvarande ungefär 30% av det totala koldioxidvärdet, medan återstående sent reagerande koldioxid inte användes för datering.

För AMS analys, där ^{14}C -isotopen separeras från de ofattbart många (ungefär 1.000.000.000.000.000) gånger vanligare stabila ^{12}C - och ^{13}C -isotoperna, krävs en partikelaccelerator som den i Århus (fig. 6).⁷ Jämfört med konventionell datering som kräver flera gram kol, kräver AMS endast en bråkdel, eller ungefär ett milligram.

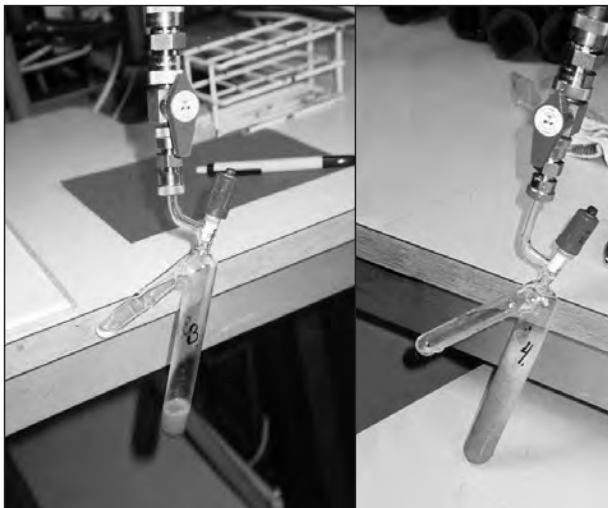


Fig. 5. Kemisk separering med fosforsyra, som reagerar med mekaniskt separerat murbruk i två olika stadier. Till vänster är fosforsyran allttjämt isolerad från murbruket. Till höger avslöjas den häftiga gasbildningen av koldioxid när fosforsyran reagerar med den daterbara komponenten – murbrukets bindande karbonat. Eventuellt föråldrande kontaminander, som obränd kalk, influerar upplösningen först i ett senare skede, när upplösningssprocessen blivit långsammare. Foto Åsa Ringbom, 1996.



Fig. 6. Tandem acceleratorm vid AMS ^{14}C Dateringscentret, Universitetet i Århus. Foto Jan Heinemeier, 2003.

Eftersom karbonatet i murbruket härstammar från atmosfärens koldioxid från den tid då murbruket härdade, måste det givna resultatet, eller ^{14}C åldern, konverteras till kalenderår med hjälp av en kalibreringskurva som är baserad på radioaktiv datering av årsringarna i träd av känd ålder (fig. 7). Vanligen anges ^{14}C åldern som en BP ålder («Before Present», present = AD 1950), och denna ålder avvägs direkt mot kalibreringskurvan. Kalibreringen från ^{14}C åldern till kalenderår beaktar alla variationer i koncentrationen av atmosfärens ^{14}C som förekommit genom åren. Oregelbundenheterna i kalibreringskurvan kan påverka exaktheten i den kalibrerade åldern. Där kalibreringskurvan är brant, är det möjligt att uppnå en felmarginal på endast ± 15 år. Men där kurvan ligger konstant över en längre period blir precisionen lidande. Ibland är det endast möjligt att ange ett visst sekel. Kalibreringskurvans oregelbundenhet på 1300-talet, där den kraftigt vänder sig uppåt, utgör ett

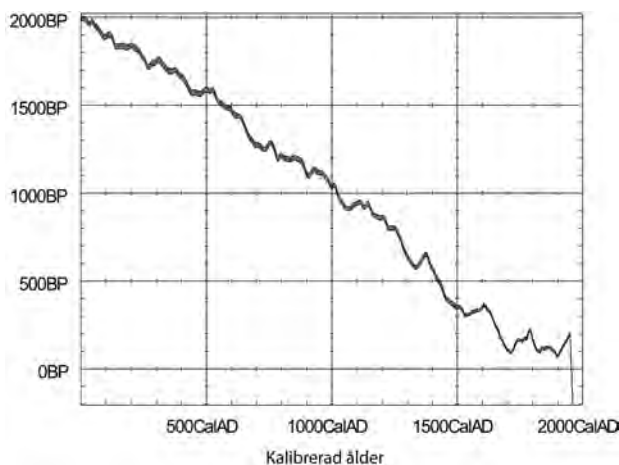


Fig. 7. Kalibreringskurvan utarbetad av Reimer et al. (2005); OxCal v3:10, Bronk Ramsey (2005).¹

ständigt problem för Ålands kyrkor. Detta är emellertid ett problem som gäller samtliga radioaktivt daterade material, inte enbart murbruk.

Småningom visade erfarenheterna (bl.a. från romersk pozzolana) på behovet av att noggrannare följa upplösningsprocessen. För att maximera informationen analyseras sedan 2002 proverna i 4-5 CO_2 fraktioner, som alla dateras separat (fig. 8). Detta innebär att provets hela koldioxidmängd tas tillvara, även den som kommer från mera långsamt reagerande sena fraktioner.

Resultatet blir åldersprofil, som återspeglar upplösningen från den allra första CO_2 fraktionen till den sista (fig. 9). I Basilica Ulpia motsvaras den horisontala platån i mitten av den historiskt kända dateringen. I detta fall avslöjas föryngrande effekter i början av åldersprofilen, medan föråldrande effekt av obränd kalksten märks i den uppåtgående trenden mot slutet av profilen.

3. Erfarenheterna från Åland

Jomala kyrkas västtorn hörde till de byggnadsenheter som kunde dateras exakt dendrokronologiskt. Enligt dendrokronologin är hela tornet, ända upp till tornhuven, uppfört i ett enda byggnadsskede ca 1283 e.Kr. Fem olika murbruksprover från olika nivåer i tornet analyserades i två CO_2 fraktioner, med resultat att samtliga första CO_2 fraktioner sammanföll med den dendrokronologiskt kända åldern. Vid kombinerad kalibrering av de första CO_2 fraktionerna kunde dateringen ytterligare preciseras till perioden 1280-1291, vilket innebär att felmarginalen krympt till ca ± 5 år (fig. 10). En så snäv marginal beror på kalibreringskurvan som stupar brant i slutet av 1200-talet (jfr. fig. 8). I Jomala är relationen mellan torn och långhus komplicerad.

Fig. 8. Kemisk separering i fem CO₂ fraktioner. Schematisk framställning av processen där fosforsyra hålls över det mekaniskt separerade murbruksprovet. Därpå följer en kemisk reaktion, som frigör koldioxid i form av gas. Efter nedkylning avbryts gasflödet i fem separata CO₂ fraktioner, som tillvaratas i glasampuller. Skiss Alf Lindroos, 2003.

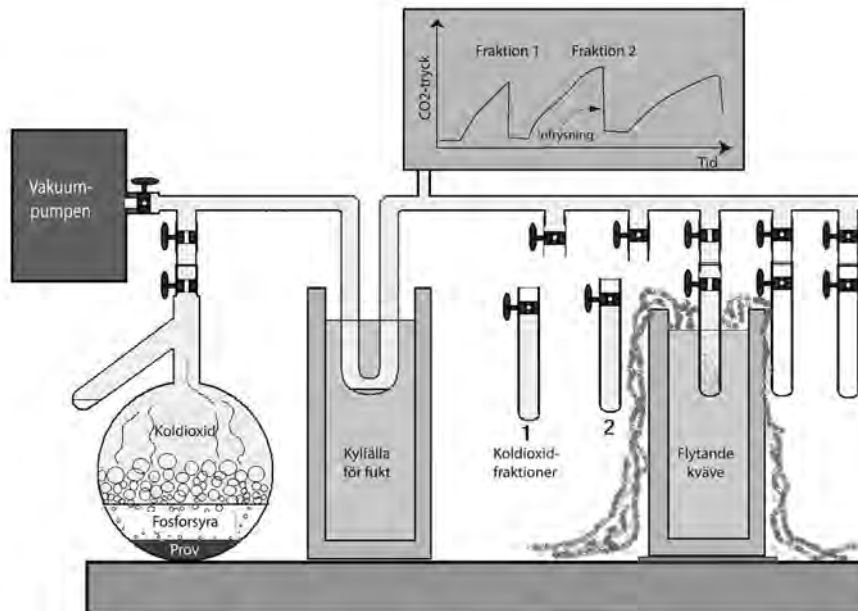
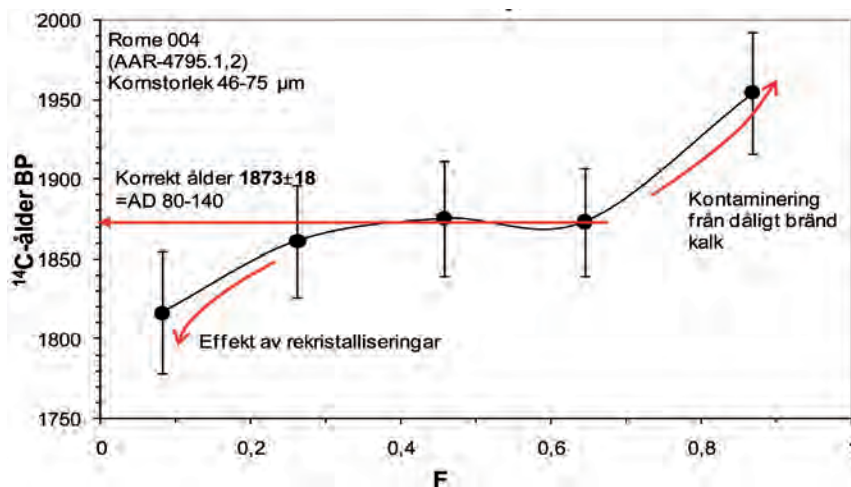


Fig. 9. Åldersprofil från Basilica Ulpia, Rom, där den historiskt kända åldern reflekteras av den horisontala mittplatån. Förnygrande effekt av rekristallisering avslöjas av den nedåtsvängda inledningen av profilen, medan föråldrande effekt av kontaminerande obränd kalk kan följas som en uppåtgående trend mot profilens slut. Y-axeln betecknar BP (before present) medan x-axeln betecknar upplösningsgraden (0 → 1), skiss Alf Lindroos, 2009.



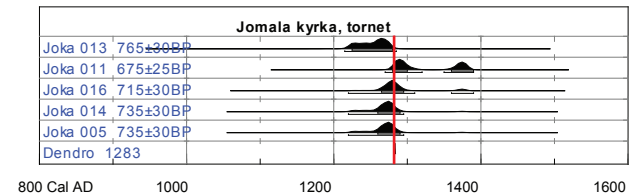
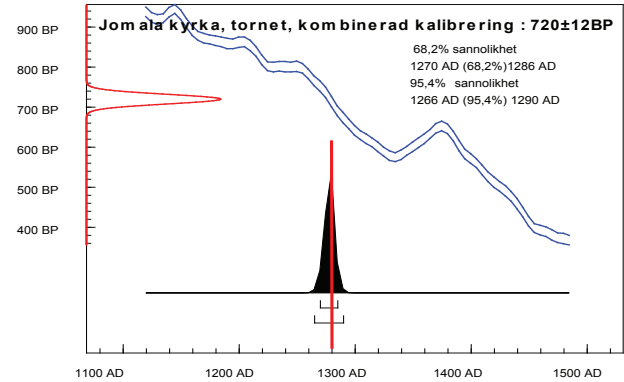


Fig. 10. Jomala kyrkas västtorn. Resultaten från murbruksdatering, där de kalibrerade värdena av de första CO₂ fraktionerna (horisontal grafik) vägs mot resultaten från dendrokronologi (lodrät linje). I detta skede analyserades murbruket allttjämt i två CO₂ fraktioner. De första CO₂ fraktionerna i fem olika prover sammanföll med resultatet från dendrokronologi d.v.s. 1283 e.Kr. Kombinerad kalibrering av murbrukets första CO₂ fraktioner ger resultatet 1270-1285. Foto Åsa Ringbom, 2003. Skisser Åsa Ringbom 2009.

Framtida resultat (proverna är redan tagna) kan förhoppningsvis ge klarhet i frågan om de tillhör samma byggnadsskede.

På detta sätt har dendrokronologisk analys av sekundära byggnadsenheter från Ålands kyrkor presenterat värdefullt oberoende jämförelsematerial för murbruksanalysen. I de 36 fall där en jämförelse överhuvudtaget har varit möjlig, har överensstämmelsen visat sig vara maximal (fig. 11). Figur 11 demon-

strerar även hur kalibreringskurvans oregelbundenhet på 1300-talet inverkar på ¹⁴C analyserat material så att flera alternativa tolkningar blir möjliga. Där jämförande resultat saknas från t.ex. dendrokronologi, måste man nöja sig med att hänföra murbruket till 1300-talet. Men i en kaotisk situation kan placeringen inom rätt sekel vara tillräckligt utslagsgivande.

Enligt samma mönster har fragmentariskt bevarat trävirke från byggnadsställningar och träkonstruktion

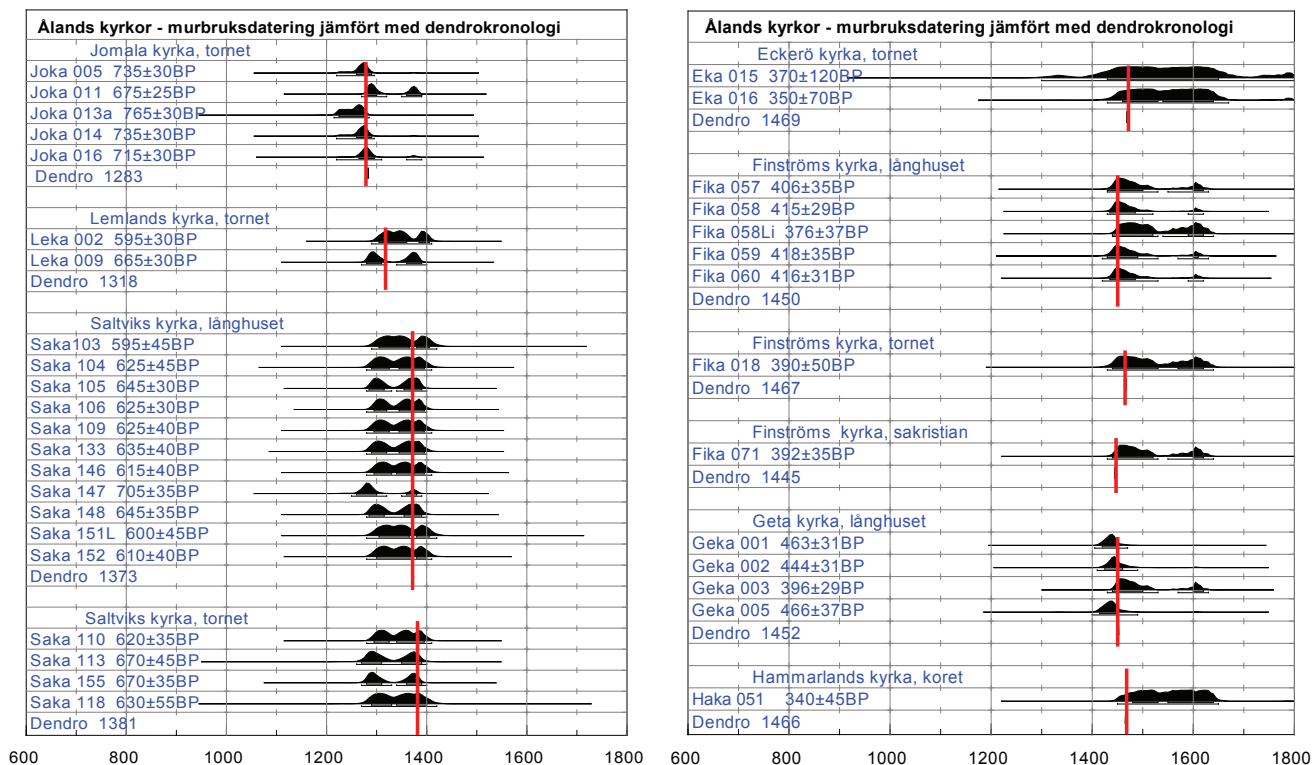


Fig. 11. Resultat från murbruksdatering på Åland (vågrätt i svart) i relation till resultaten från dendrokronologisk analys (lodrätt i rött). Skiss Jan Heinemeier, 2007.

ner, som inte lämpat sig för dendrokronologisk datering, eller träfragment som inkapslats i murbruket, systematiskt genomgått ^{14}C AMS datering. Här får alltså den jämförande dateringen en bredare osäkerhetsmarginal än vid dendrokronologi. Inte heller kan det uteslutas, att man nyttjat äldre virke eller senare utbytta konstruktioner. Igen uppvisar de allra flesta murbruksprover resultat som sinsemellan överensstämmer med omedelbart intilliggande ^{14}C AMS daterade trästrukturer (fig. 12a-b).

Där det föreligger ålderskontroll kan man alltså notera god samstämmighet mellan trä och murbruk. Enstaka gånger tenderar träproverna att ge en datering som skiljer sig från murbruket. De kan bli betydligt äldre (Eka 007W, Haka 024W), eller en aning äldre (Fika 018W, Fika 21W och Fika 063W). Ifall ett enstaka träprov i en enhetlig följd blir yngre (Eka 18W), kan man misstänka att det sekundärt blivit utbytt. I två fall ger murbruket en avvikande, äldre, ålder (Haka 047 och Haka 045). Noteras kan ytter-

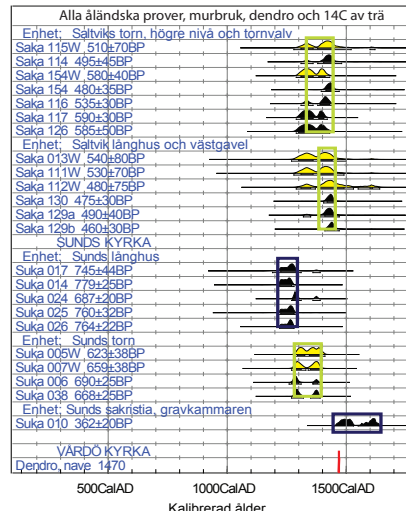
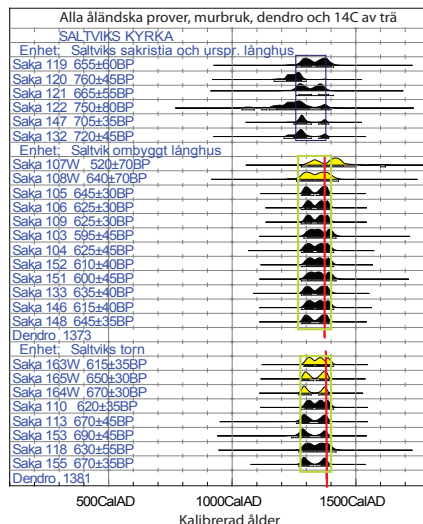
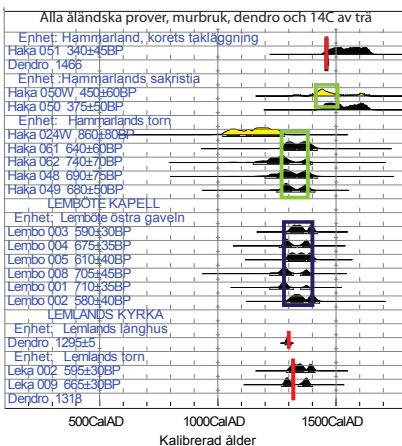
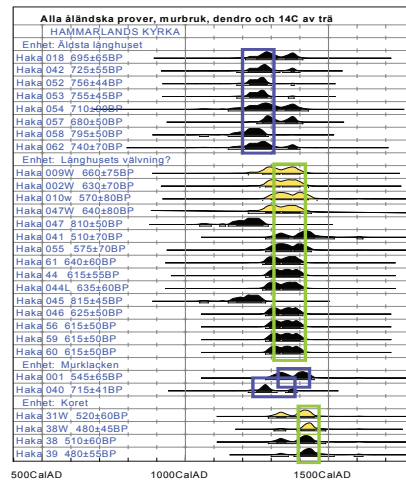
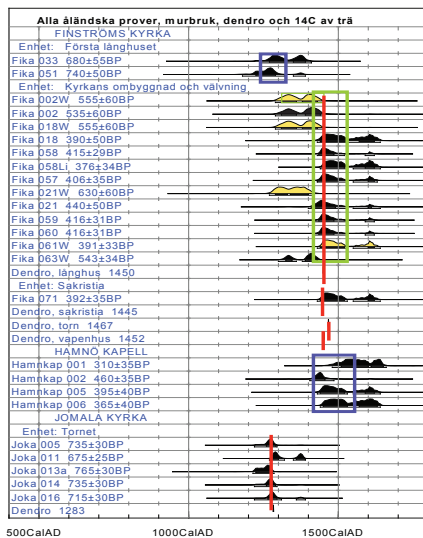
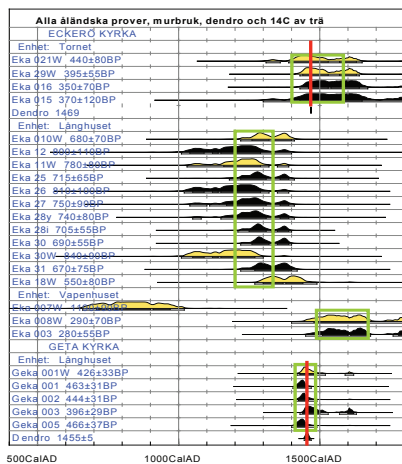


Fig. 12a-b. Jämförande diagram över samtliga analyser från Ålands kyrkor. Kalibrerade resultat av trämaterial (W efter ID-numret) markeras i gult, murbruket i svart och resultat av dendrokronologisk analys med lodräta röda linjer. Grönt inramande rektanglar markerar åldern för enskilda byggnadsenheter, där murbruksprover stöds av 14C analys av trä. Rektanglar i blått anger åldern för byggnadsenheter där murbruk utgjort det enda daterbara materialet. Skiss Jan Heinemeier och Åsa Ringbom, 2009.

ligare att dendrokronologisk datering, där den föreligger från respektive byggnadsenhet, sammanfaller med såväl murbruk som trä.

I denna komparation saknas ^{14}C analys av träkol som inkapslats i murbruket. Vanligen ger de nämligen alltför gamla och ojämna resultat, vilket innebär att de ger en s.k. »old wood effect«. Detta beror på att åtskilliga årsringar utplånas vid brand och att endast stockens inre kärna återstår. Undantagsvis kan träkolpartiklarnas datering även sammanfalla med murbruket, men de skall självfallet inte bli yngre.

I ett intressant experiment, som bekräftar metodens exakthet, kan man placera de BP resultat som överensstämmer med dendrokronologisk analys (fig. 13) utmed kalibreringskurvan. Då framstår en im-

nerande parallellitet, där drygt 68% av proverna infaller innanför sigma 1, vilket alltså exakt motsvarar det förväntade resultatet.

För oberoende jämförande analys föreligger alltså från Åland en betydande databank av resultat från olika metoder och olika material. I denna komparation kan man konstatera att icke hydrauliskt åländskt kalkbruk uppför sig väldisciplinerat. Utgående från detta mångsidiga material har det på Åland varit möjligt att utarbeta olika kriterier för tolkningen av resultat från murbruksdatering, kriterier som är nödvändiga hjälpmedel för en självständig tolkning i de fall då endast resultat från murbruksanalys föreligger. Nedan presenteras fyra olika kriterier anordnade enligt graden av tillförlitlighet:

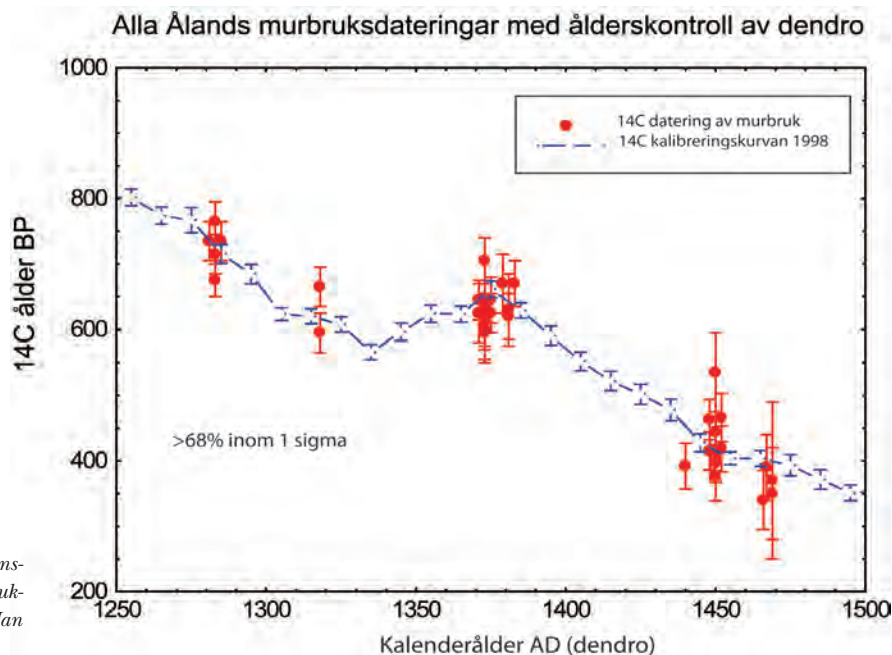


Fig. 13. Resultaten av murbruksprov som överensstämmer med dendrokronologiskt daterade strukturer avvägda mot kalibreringskurvan. Skiss Jan Heinemeier, 2009.

Kriterium I (CI)

Största tillförlitlighet utvisar prover som varken påverkas av föråldrande kontaminering av obränd kalk, eller av föryngrande effekter. Prover som har analyserats i två CO₂ fraktioner uppfyller kriterium I om resultaten i båda fraktionerna sinsemellan överensstämmer. Om proverna analyserats i fullständiga åldersprofiler omfattande 4-5 CO₂ fraktioner, uppfylls kriterium I om resultaten i två eller flera successiva CO₂ fraktioner bildar en horisontal platå, med minimal gradient, eller lutning, i början av profilen. Med icke hydrauliskt kalkbruk händer det endast undantagsvis, d.v.s. med brandskadat murbruk, att den horisontala platån infaller senare i åldersprofilen. I sådana fall förutsätts att flera prover per byggnadsenhet uppvisar samma horisontala platå.

Kriterium II (CII)

Därpå följer prover som uppenbarligen utsatts för kontaminering av obränd kalk, men där mekanisk och kemisk separering i prepareringsskedet förmått eliminera föråldrande effekter i första CO₂ fraktionen. Detta framgår av prover där samtliga första CO₂ fraktioner sinsemellan överensstämmer i en serie av tre eller flera prover från samma byggnadsenhet. Detta är oberoende av om analysen omfattar 2 CO₂ fraktioner, eller om det rör sig om fullständiga åldersprofiler med 4-5 CO₂ fraktioner.⁸

Kriterium III (CIII)

Samma villkor som i kriterium II gäller i princip för kriterium III, men det innebär färre analyserade prover från en och samma byggnadsenhet. En viss kontaminering kan konstateras, men den har inte hunnit påverka de första CO₂ fraktionerna. När resultaten från de första CO₂ fraktionerna sålunda överensstäm-

mer sinsemellan i två olika prover, och när denna ålder harmonierar med dateringen av andra byggnadsenheter inom samma konstruktion uppfylls kriterium III. Detta är oberoende av om analysen omfattar 2 CO₂ fraktioner per prov, eller om provet analyserats i fullständiga åldersprofiler med 4-5 CO₂ fraktioner.

Kriterium IV (CIV)

När den första CO₂ fraktionen i ett enda prov från en byggnadsenhet ger en datering som harmonierar med åldern på andra byggnadsenheter inom samma konstruktion uppfylls kraven på kriterium IV, en kategori som är mindre tillförlitlig än de andra, men som ändå innehåller en viss indikation. Än en gång är det oberoende av om analysen omfattar 2 CO₂ fraktioner, eller om resultatet bygger på en åldersprofil bestående av 4-5 CO₂ successiva fraktioner.

Gemensamt för kriterierna är att de förutsätter en relativt låg gradient (lutning) mellan de två första CO₂ fraktionerna, eller i den horisontala platån. Där gradienten mellan de två första fraktionerna blir så stor att den bildar en brant, närapå lodrätt, nedåttörstande konvex kurva, ger analysen inget utslag.⁹

Totalt har ca 150 murbruksprover analyserats på Åland. Av dessa analyserades dock några prover enbart i experimentellt syfte, då man testade effekterna av murbruk som härdat långsamt inne i muren, och effekten av avsiktligt inblandad kontaminerande kalksten. De övriga 130 proverna fördelar sig (fig. 14) mellan dem som har ålderskontroll och dem som saknar kontroll. Totalt 78 prover kan vägas mot resultat från dendrokronologi och ¹⁴C analys av intilliggande träkonstruktioner, eller av trä som inkapslats i murbruket. Notera den vita stapeln till höger, som visar att endast en tredjedel, eller 33%, uppfyllde de stränga kraven på kriterium I. Trots detta resulterade

75 prover av 78 (96%) i en datering som svarade mot den kända åldern. Endast tre prover föll utanför ramen, d.v.s. detta var prover som objektivt sett borde ha kunnat definieras som konklusiva, men där resultatet av någon tillsvidare okänd anledning avvek från den kända åldern.

Totalt 52 prover saknade ålderskontroll. Av dem uppfyllde 34 prover de striktaste av kriterier, d.v.s. enbart kriterium I och kriterium II. Kriterium I innebär att den aktuella byggnadsenheten är representerad av ett eller flera säkert daterade prover. Av kriterium I proverna uppfyller dessutom större delen samtidigt kraven på kriterium II. Detta innebär att serier bestående av tre eller flera prover per byggnadsenhet uppvisar identiska resultat i sina första CO₂ fraktioner och att de anger en ålder som konsekvent följer byggnadens relativa kronologi. Resten av proverna i den blå stapeln representerar uteslutande kriterium II. Vi

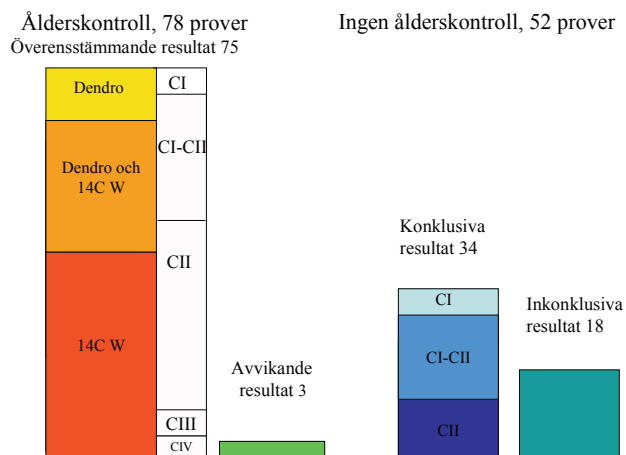


Fig. 14. Diagram över analys av åländskt icke-hydrauliskt kalkbruk, uppdelat i prover med ålderskontroll (dendrokronologi och 14C analys av trä), och prover som saknar ålderskontroll. Skiss Åsa Ringbom, 2008.

kan alltså konstatera att de andra CO₂ fraktionerna i den blå stapeln utan ålderskontroll antingen är identiska med, eller äldre än de första CO₂ fraktionerna och därmed reflekterar den relativa spridningen av obränd kalk som långsamt upplöser sig i murbruksprovet. Totalt sett är alltså resultaten i den blå stapeln konklusiva, och tillsammans visar de båda staplarna att det strängaste kriteriet, kriterium I, är alltför restriktivt då det utesluter ett stort antal användbara data (jfr. s. 142 om kronologin för Torre de Palma, där initialt endast kriterium I accepterades).

18 återstående prover förblir inkonklusiva. De består av brandskadat murbruk med åldersprofiler som inte låter sig tolkas. De kan ha alltför få CO₂ fraktioner analyserade per prov, eller så har alltför få prover analyserats per byggnadsenhet, d.v.s. de motsvarar kriterium III eller kriterium IV, och eftersom ålderskontroll saknas så beaktas de inte. Ytterligare har vi alltså funnit att brand har en tydligt störande effekt på de första CO₂ fraktionerna. Gemensamt för dessa icke konklusiva resultat är att de inte direkt kan klassificeras som misslyckade, eftersom orsaken till de oklara resultaten är känd. De kan tvärtom ses som nyttiga och pedagogiskt varnande exempel på vilken typ av provtagning och preparering som i framtiden borde undvikas vid tillämpningen av ¹⁴C analys av murbruk.

Tidigare hade kriterium II resultat bland åländska prover visat att kontaminering av kalksten kunde spåras i andra fraktionen och att denna därför inte kan användas för datering. Den uppenbara frågan som småningom infann sig var huruvida även den första fraktionen kunde vara påverkad av kontaminering, eller om den rentav kunde reflektera motsatsen – en eventuell föryngring beroende på rekristallisering, eller p.g.a. fickor med alkalinitet, som i ett senare skede reagerat med atmosfären (jfr. s. 131-132). För att kon-

trollera den risken, och för att få full kontroll över upplösningsprocessen, testades tidigare resultat på nytt i fullständiga åldersprofiler, både från romersk pozzolanabetong och från åländskt kalkbruk.

4. Erfarenheterna från murbruksdatering i klassisk arkeologi

Småningom blev också tiden mogen att testa murbruk från andra kronologier och från områden med annan geologi. Under perioden 1997-2000 erbjöd den romerska villaanläggningen Torre de Palma, i Portugal, ett ypperligt tillfälle att pröva metoden inom klassisk arkeologi, i utkanterna av det romerska imperiet, i ett område där murbruk utgjorde det enda daterbara materialet. Här var det än en gång frågan om icke hydrauliskt kalkbruk, inte olikt det åländska, och resultaten förefaller lika väldisciplinerade som någonsin på Åland.

Den stora skillnaden är att proverna från Torre de Palma saknar ålderskontroll av oberoende dateringsmetoder, och av andra daterbara material. Trots detta har man även här, genom att restriktivt godkänna 18 resultat (av totalt 64) som fyller kraven på kriterium I, förmått skapa en tillförlitlig kronologi, från 100-talet till 600-talet e.Kr. för 12 av byggnaderna på platsen.

Vid årsmötet för Archaeological Institute of America i Chicago 1997 föreslog Lynne Lancaster, klassisk arkeolog och expert på romerskt pozzolana murbruk, att metoden att datera murbruk skulle testas på byggnader i Rom, där åldern är välkänd från historiska källor och från tegelstämplar. Valet föll på Trajanus saluhallar, Basilica Ulpia, och byggnader uppförda under Hadrianus i Ostia.

Uppdraget var både viktigt och utmanande, eftersom hydrauliskt pozzolanamurbruk till sin uppbyggnad och kemi radikalt avviker från icke hydrauliskt

kalkbruk.¹⁰ Pozzolanamurbruk, eller pozzolanabetong, består av vulkaniskt bränd aska, blandad med bränd kalk och vatten. Det kan härda under vatten, och är därmed inte beroende av reaktion med atmosfärens koldioxidhalt. Silikater och aluminium som ingår i pozzolana, i kombination med bränd kalk, resulterar i ett murbruk som är betydligt starkare än portlandcement, och det förefaller att producera färdigt lösliga karbonater om det senare utsätts för atmosfärisk koldioxid. Pozzolana är dessutom fullt av rekristalliseringar, och därtill innehåller det ogenomträngliga hydrauliska fickor av murbruk med icke reagerat $\text{Ca}(\text{OH})_2$, som fortsätter att reagera med koldioxid och skapa karbonater när murbruket krossas. Utsikterna att metoden under dessa omständigheter skulle fungera var alltså långt ifrån givna.

Det skulle, inte överraskande, visa sig att hydrauliskt pozzolanamurbruk reagerar annorlunda än gängse icke-hydrauliskt kalkbruk. Svårtolkade resultat framtvängde småningom det nya separeringssystemet, med fullständiga åldersprofiler bestående av 5 CO_2 fraktioner (jfr. figurerna 8-9).

Analysresultat från hydrauliskt pozzolanamurbruk kan erbjuda mera komplicerade tolkningar,¹¹ och resultatet från ^{14}C AMS datering av pozzolanamurbruk kan ännu inte på samma sätt som det åländska materialet presenteras i procentenheter. Majoriteten av proverna har tagits i experimentsyfte, eller från strukturer utan strikt ålderskontroll. Men där ålderskontroll föreligger har flera anmärkningsvärda exempel, som Colosseum, Basilica Ulpia och Trajanus' Saluhallar, kunnat demonstrera att murbruksanalys av pozzolana, trots avvikande kemi, i princip kan fungera.

Erfarenheterna från att tillämpa metoden på pozzolanamurbruk har gett ovärderliga insikter. De har

bl.a. framtvingat systemet med kemisk separering i 4-5 separata CO₂ fraktioner, som numera generellt används vid murbruksdatering för att skapa åldersprofiler. Numera vet vi också rätt väl vad som skall undvikas i samband med provtagningen. För närvarande har metoden att datera pozzolanamurbruk tagit ett stort steg framåt i och med förändringar i prepareringsrutinerna: titrerad saltsyra i stället för fosforsyra i den kemiska separeringen har här gett lovande resultat.¹²

5. Resultat av åldersprofiler från Åland

Även på Åland, där kyrkornas kronologi ofta vilar på murbruksanalys, kändes det angeläget att pröva tidigare publicerade resultat med fullständiga åldersprofiler.

5.1. Eckerö kyrka

Dendrokronologi från Eckerö kyrka ger utslag som är typiska för Åland – i stället för att bestämma långhusets ålder får vi en bred gaffel som omfattar tiden ca 1554 – 1650, en ålder som uppenbart anger sekundära reparationer (fig. 15). Dessa reparationer kan ofta bekräftas arkivaliskt. Uppförandet av tornet, som stöter stumt mot långhuset, kan däremot tidfästas mycket exakt till tiden efter 1469.

Långhusets datering har tidigare baserats på ¹⁴C analys av tre olika material, d.v.s. murbruk, trä och träkol (fig. 16). Den kombinerade kalibreringen av åtta murbruksprover som uppfyller kriterium I och kriterium II ger åldern 1275 och 1300, vilket inom ra-

Fig. 15. Eckerö kyrka. Resultat av dendrokronologisk analys från de olika byggnadsenheterna. De horisontala linjerna anger antalet årsringar. Där linjerna vidtar omedelbart till vänster, intill ID-numret, ligger dock den innersta årsringen utanför bildfältet. Annars markeras den innersta årsringen till vänster och den yttersta årsringen till höger. Där de yttersta årsringarna saknas markeras detta med ett litet vågrätt streck längst till höger. Skiss Åsa Ringbom, 1994.

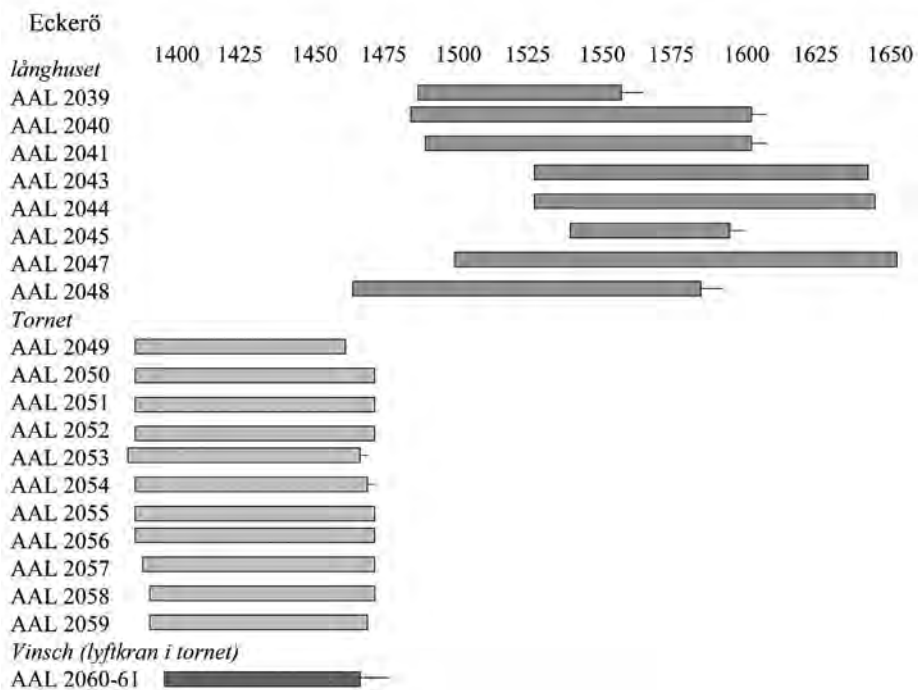
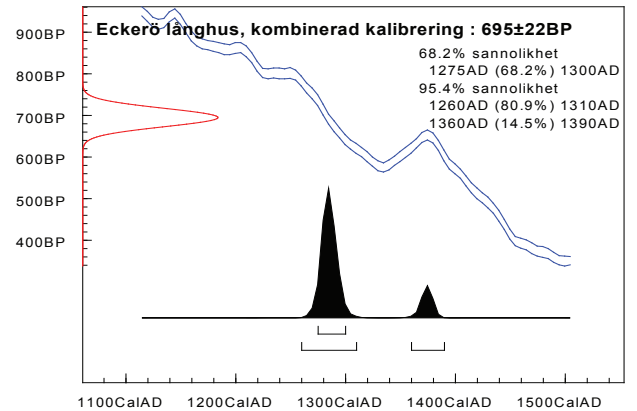
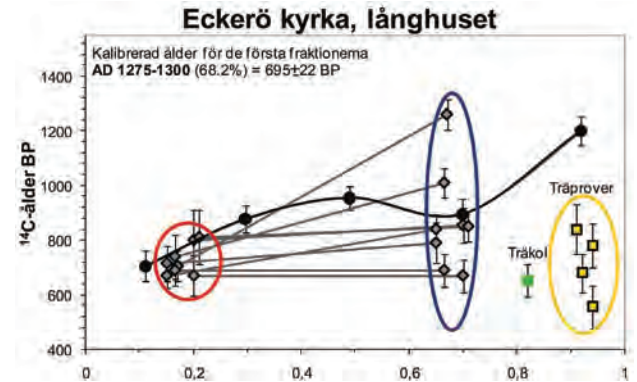




Fig. 16. Långhuset i Eckerö kyrka, resultat av murbruksdatering och ^{14}C analys av träkonstruktioner. Det kalibrerade värdet av första fraktionerna (röda ringen) av murbruksprover, som uppfyller kriterium I och kriterium II, ger åldern 1275-1300, vilket bekräftas av åldersprofilen på Eka 030. Den blå ringen markerar andra fraktionen. Foto Åsa Ringbom, 2006, skisser Alf Lindroos, 2009.

men för felmarginalerna överensstämmer med en i murbruket inkapslad träkolspartikel, jämte två träprover som representerar ett byggnadsställningsfragment och norra remstycket. Det tredje träprovet, inkapslat i murbruket, blir jämförelsevis för gammalt. Ett prov som faller lite utanför ramen när det gäller långhuset i Eckerö, härstammar från södra remstycket (Eka 018W) (jfr. fig. 12a). Antagligen har det senare blivit utbytt. I en förnyad analys i åldersprofil av Eka 30 bekräftas det tidigare resultatet av första fraktionen.



5.2. Hammarlands kyrka

Dendrokronologin i Hammarland kan förefalla mera övertygande, (fig. 17), men det skall visa sig att metoden här ger missvisande resultat för samtliga byggnadsenheter: Tornets datering till 1600-talet bekräftar en senare dokumenterad förnyelse av själva spiran. Långhusets takstolar och remstycken, från tiden efter 1445, daterar reparationerna av en brand som uppenbarligen i början av 1400-talet härjade i kyrkan. Grova brandspår i form av sön-

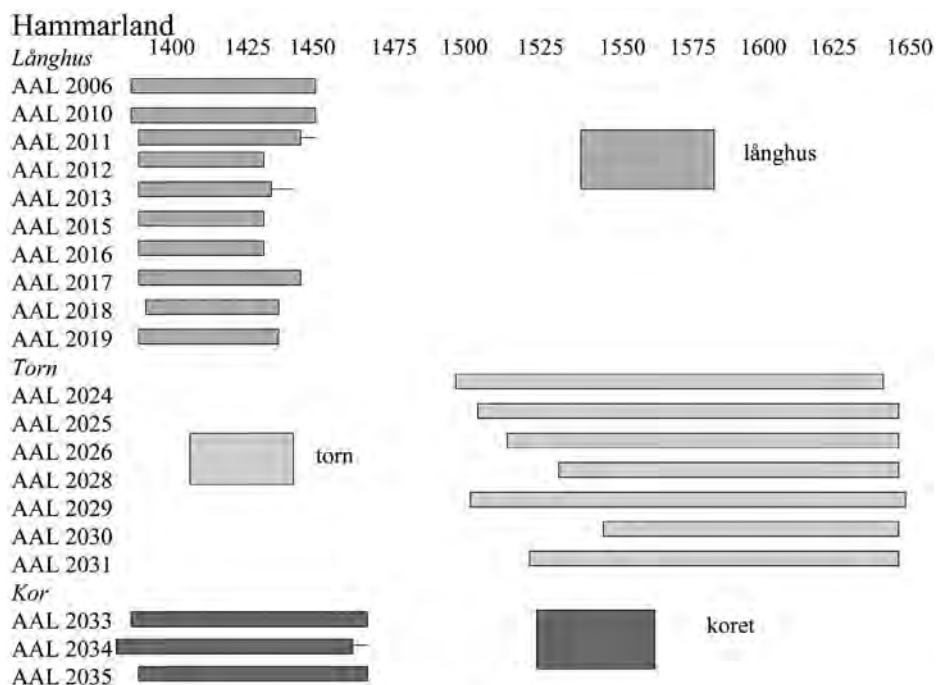


Fig. 17. Hammarlands kyrka, resultat av dendrokronologisk analys, utförd av Thomas Bartholin. Skiss Åsa Ringbom, 1994.

derflagande stenar ovan valven bekräftar branden. Även korets datering till 1466 skall visa sig vara diskutabel.

För långhuset i Hammarland presenterades 1995 fyra alternativa dateringar utgående från murbruksanalys.¹³ Det äldsta alternativet, baserat på kombinerad kalibrering av första CO₂ fraktionerna i samtliga murbruksprover jämte de andra CO₂ fraktioner »som uppvisade en acceptabel skillnad i förhållande till första fraktionen«, gav åldern BP 715±25, eller 1281-1297 e.Kr. Sedermera skulle det visa sig att detta resultat, de facto omspanner två olika byggnadsskedena, som definieras av två separata grupper, omfattande 8, respektive 11 prover, de flesta

tillhörande såväl kriterium I som kriterium II. För att ytterligare definiera den äldre gruppen genomgick ett av proverna förnyad analys i en fullständig åldersprofil (Haka 052). En kombinerad kalibrering av de sammanfallande första fraktionerna visar att långhusets äldsta skede hänför sig till tiden mellan 1265-1285, vilket således innebär en viss justering av tidigare resultat (fig. 18).¹⁴ Vi noterar vidare (utgående från fig. 12a) att två murbruksprover från det yngre skedet, som troligen innebär en välvning av långhuset, faller utanför ramen för de annars mycket enhetliga resultaten. De blir för gamla (Haka 047 och Haka 045), och tillhör därmed den lilla gruppen med avvikande resultat.



Fig. 18. Hammarlands kyrka, exteriör från sydost, jämte resultaten av murbruksanalys från långhusets äldsta byggnadsskede: åtta prover som analyserats i två CO₂ fraktioner, verifierade av en åldersprofil. Den gemensamma kalibrering av de första fraktionerna (röda ringen) ger en datering till 1265-1285, vilket bekräftas av den senare analyserade åldersprofilen. Ett antal kolinklusioner blir betydligt äldre. Foto Åsa Ringbom, 2006, skiss Alf Lindroos, 2009.

C-14 ålder BP

Hammarlands kyrka, långhuset

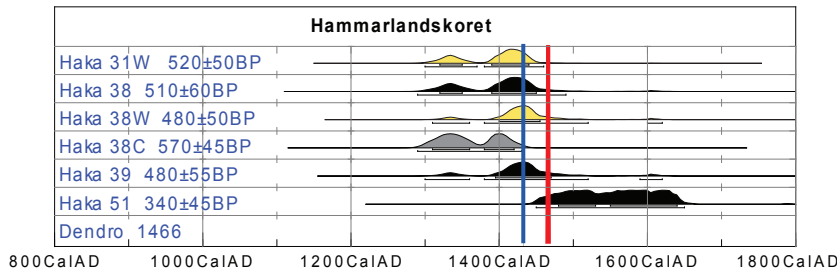
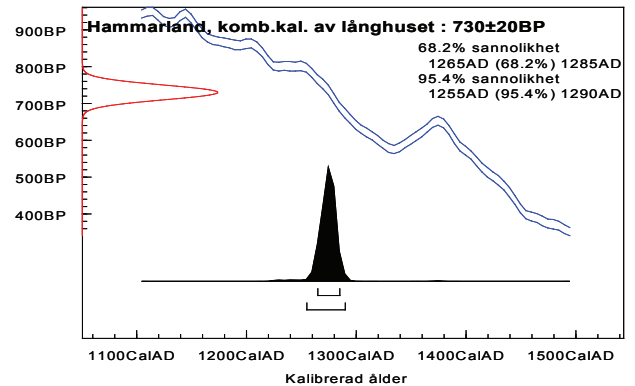
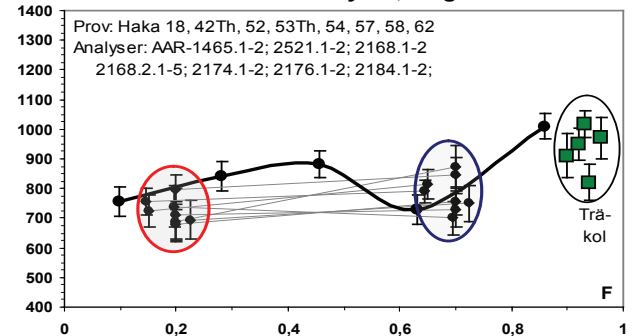


Fig. 19. Koret i Hammarland. Resultat av AMS analys av murbruk, ¹⁴C- datering av trä och kolpartiklar, jämte dendrokronologi, uppvisar en diskrepans på ca 30 år mellan stenkonstruktionen och takstolarna. Den lodräta linjen i blått till vänster anger det kombinerade resultatet av murbruksdatering, den röda längre högerut visar dendrokronologisk datering av korets takkonstruktion. Skiss Åsa Ringbom, 2007.

Det finns anledning att lyfta fram koret i Hammarlands kyrka,¹⁵ som uppvisar stor samstämmighet mellan olika material och olika metoder (fig. 19). Två murbruksprover (Haka 038 och Haka 039) ger samma resultat som ¹⁴C analys av trä, d.v.s. en träbit som inkapslats i murbruket, och en stock som murats igenom hjässan i korvalvet (Haka 038W och Haka 031W). Samtliga ovannämnda prover ger en datering till 1430-40-tal. Ett murbruksprov (Haka 051) avviker tydligt från de övriga. Det är taget omedelbart intill södra remstycket, dendrokronologiskt daterat till 1466. Detta murbruksprov ger en yngre datering, därmed bekräftande att remstycket inmurats vid ett senare tillfälle. Hur skall man då förklara denna diskrepans på 30-40 år? En tro-

lig förklaring är att man hade hunnit fullborda korets stenparti, inklusive välvningen, när den redan omtalade branden på långhusvinden inträffade, och att korets permanenta takläggning därför fick vänta tills man reparerat skadorna efter branden i långhuset.

5.3. Finströms kyrka

Finströms kyrka hör till de bäst bevarade medeltida byggnaderna i hela Finland. Det gäller såväl exteriör som interiör, och den dekorativa utsmyckningen. Samtidigt är den en av de svåraste att bestämma kronologiskt (jfr. fig. 12b). Motstridiga tolkningar har antytt allting från 1100-talets slut till mitten av 1400-talet.¹⁶ Resterna av en äldre träkyrka på platsen har dock

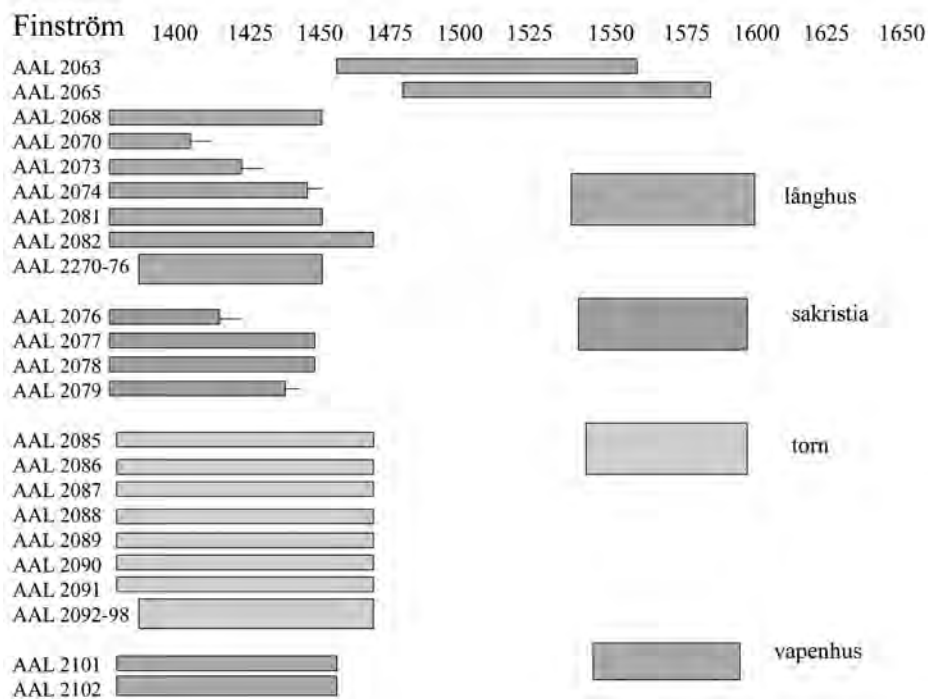


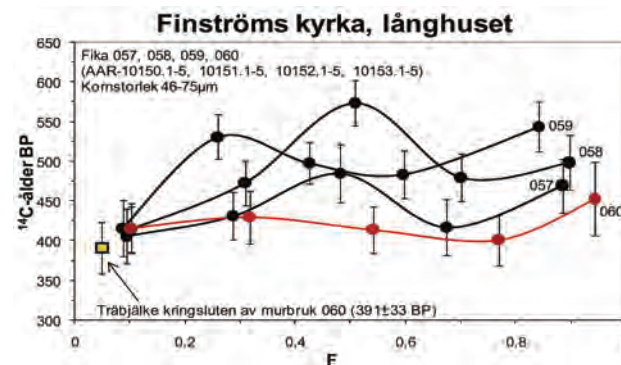
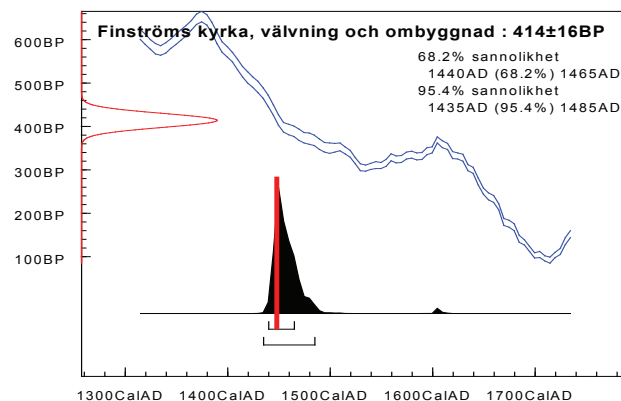
Fig. 20. Finströms kyrka, resultat av dendrokronologisk analys antyder att samtliga byggnadskeden infaller tätt inpå varandra, från 1445 till 1467. Skiss Åsa Ringbom, 2004.

kunnat konstateras arkeologiskt, och troligt är att den uppfördes på 1100-talet.¹⁷ Uppenbart är att Finström innehaft en ledande position i landskapets kyrkliga organisation, och att kyrkans byggnadshistoria är långt mera komplicerad än vad resultatet från dendrokronologi utvisar. Kyrkan är för närvarande föremål för en detaljerad undersökning och den sammanfattande tolkningen får därför vänta. Här presenteras resultaten från dendrokronologi i relation till de murbruksprover som finns tillgängliga, dels från sockelnivå, dels i nivå med, och ovanför, långhusets välvning.



Fig. 21. Finströms kyrka. Exteriör med åldersprofiler från murbruksprover tagna i nivå med valven. Resultatet av den kombinerade kalibreringen av första fraktionerna, 1440-1465, överensstämmer med utslaget från dendrokronologisk analys, d.v.s. 1450. Den nästan horisontala åldersprofilen i rött är ovanligt pålitlig, i total avsaknad av kontaminerande faktorer. Även träbjälken (Fika 060W) passar in i bilden. Den största sannolikheten infaller efter en kombinerad kalibrering mellan 1440-1520. Foto Åsa Ringbom 2006, skisser Alf Lindroos, 2009.

Dendrokronologisk analys från Finströms kyrka ger tydliga utslag för de enskilda byggnadsenheterna (fig. 20). Äldst är sakristians takstolar från 1440-talet. Även om enskilda träprover från långhusets takkonstruktion antyder reparationer under 1500-talet, härstammar det stora flertalet från 1450. Omedelbart därpå infaller vapenhusets takstolar, och sist kommer västtornet med en samstämmig datering till 1467. Denna hänvisning till senmedeltiden för hela byggnaden var överraskande, och i ett försök att fastställa om dendrokronologin kunde markera en omfattande ombyggnadsperiod togs ett



antal murbruksprover från olika partier av långhuset, både från exteriören mot söder, lägre ner i skydd av vapenhuset, och från interiören ovanför valven.

Ur teknisk synvinkel uppför sig resultaten av murbruksanalysen ovanligt väldisciplinerat. Fyra murbruksprover analyserade i fullständiga åldersprofiler ger samtliga identiska resultat för de första CO₂ fraktionerna (fig. 21). De uppfyller alltså kraven på kriterium II. Hälften av dem uppfyller dessutom kriterium I, med en obefintlig gradient mellan de två första fraktionerna, samtidigt som den kombinerade kalibreringen av samtliga första CO₂ fraktioner fullständigt motsvarar långhusets dendrokronologiska datering.

5.4. Geta kyrka

Dendrokronologisk datering av långhuset i Geta, kapellkyrka under Finström, ger en nästan karikerad bild av metodens brister när det gäller att bestämma det första byggnadsskedet av en stenkonstruktion (fig. 22). Varannan takstol härstammar från slutet av 1500-talet, medan resten av virket fälldes 1827, då kyrkan enligt skriftliga källor fick sitt nuvarande höga tunnvalv i trä. En enda stock avviker från mönstret – det norra remstycket hade fällts någon gång strax efter 1450. Eftersom yttersta årsringen saknas förblir det exakta årtalet okänt.

Nästan lika övertygande som profilerna från Finström är de tre åldersprofilerna från långhuset i

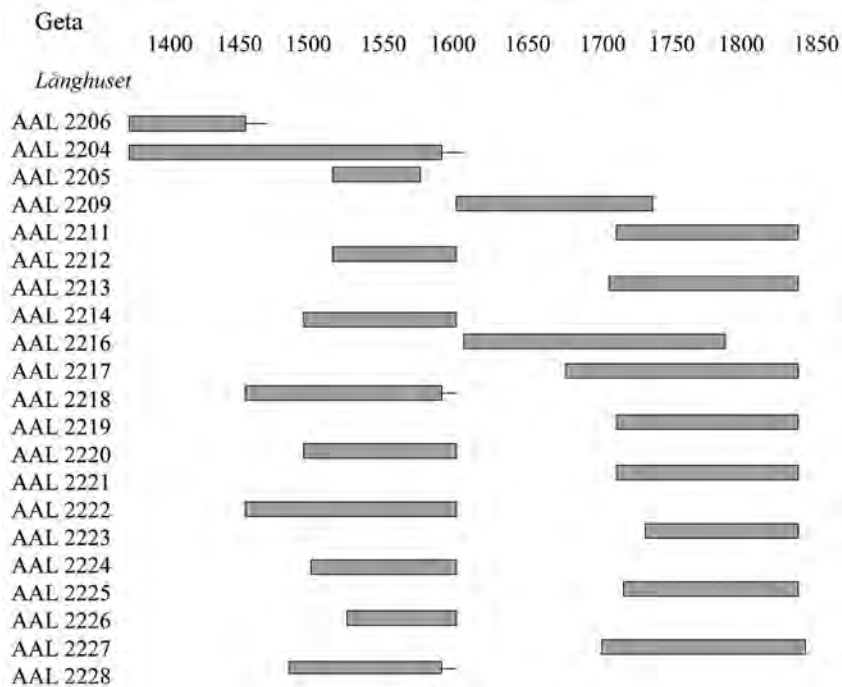


Fig. 22. Geta kyrka, dendrokronologisk analys av takets konstruktion. Skiss Åsa Ringbom, 1994.

Geta. De motsvarar såväl kriterium I som kriterium II, samtidigt som de inom sina marginaler rymmer det dendrokronologiskt daterade remstycket och ett träfragment som inkapslats i murbruket (fig. 23). Vårt allra tydligaste resultat hittills är prov # Geka 002, med sitt inledande horisontala parti som vid kalibrering ger åldern 1425-1460. Ett resultat som sammanfaller såväl med en inkapslad träpartikel som genomgått ^{14}C analys, jämte en inkapslad kolpartikel, och som dessutom överensstämmer med

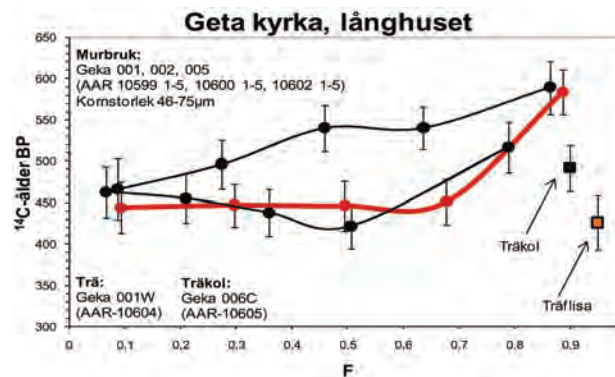
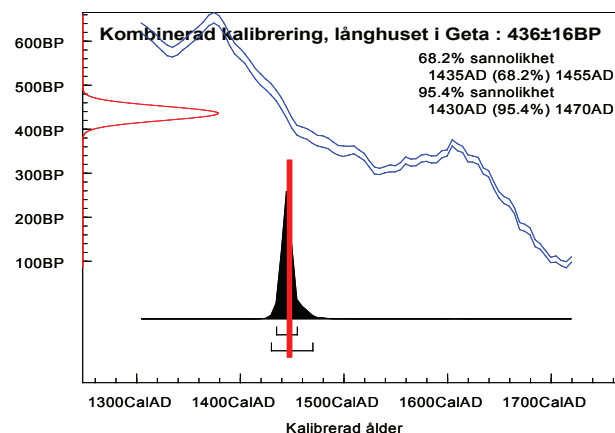


Fig. 23. Geta kyrka, exteriör och tre åldersprofiler av murbruksanalys. Kombinerad kalibrering av de första CO₂ fraktionerna ger åldern 1435-1455. Åldersprofilen för Geka 002 är framhävvd i rött. Den horisontala inledningen, påminner närmast om en teoretisk idealprofil, som dessutom inom samma felmarginal både stöds av en kolpartikel och ett träfragment. Åldersprofilerna från Geta uppfyller ytterligare såväl kriterium I som kriterium II. Foto Åsa Ringbom, 2007, skisser Alf Lindroos 2009.

den dendrokronologiska dateringen av det norra remstycket.

5.5. Sunds kyrka

Från Sunds kyrka föreligger dessvärre inga resultat från dendrokronologisk analys. Allt daterbart trämaterial har nämligen förstörts i upprepade eldsvådor. Det enda som återstår är några förkollnade rester av byggnadsställningar i torntrappan. Även de genomgått ^{14}C datering.



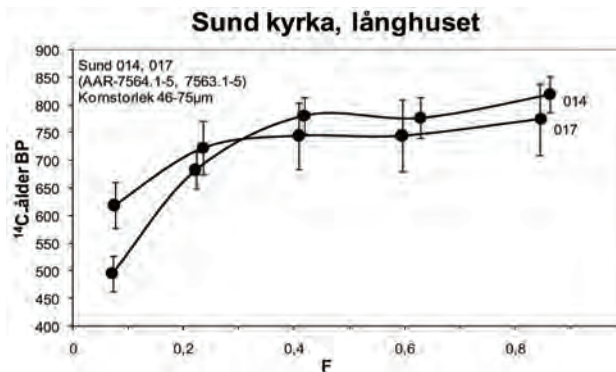
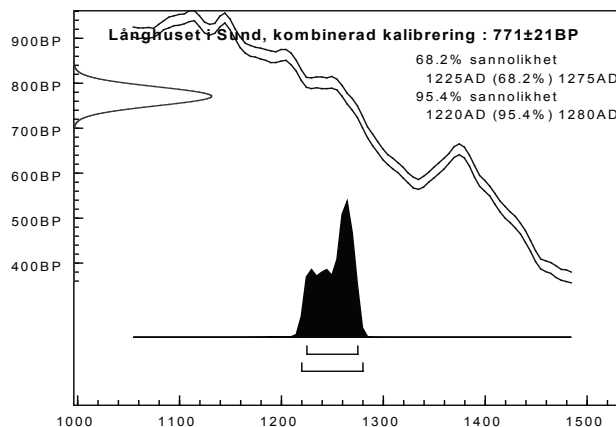
För att fastställa långhusets ålder återstod alltså endast möjligheten att analysera brandskadat murbruk. Från långhuset och dess välvning härstammar totalt fem åldersprofiler, samtliga radikalt avvikande från gängse åländskt mönster. Två av åldersprofilerna påminner närmast om åldersprofilerna från pozzolanamurbruk, med en horisontal plåtå, som fyller kraven på kriterium I mitt i profilen, och som har sinsemellan divergerande resultat i de första CO₂ fraktionerna. Största sannolikhet vid kombi-

rad kalibrering av de horisontala plåtåerna ger åldern 1255-1280 (fig. 24).

Dessa atypiska profiler kräver naturligtvis varsamhet vid uttolkningen, i synnerhet som inga oberoende eller objektiva resultat från andra metoder eller material föreligger från långhuset i Sund. Sedermera har dock erfarenheten från andra brandskadade konstruktioner bekräftat att horisontala plåtåer mitt i åldersprofilerna ofta ger den kända åldern.¹⁸ Erfarenheterna från Sund har gett viktiga insikter i mur-



Fig. 24. Sunds kyrka. Två åldersprofiler av brandskadat murbruk från långhuset, med sammanfallande horisontala plåtåer i mitten, som svarar mot kriterium I. Profilerna ger vid kombinerad kalibrering en datering som kulminerar ca 1255-1280. Foto Augusto Mendes, 2004, skiss Alf Lindroos, 2009.



bruksdateringens möjligheter att identifiera, och datera, brandskadade konstruktioner.

Av intresse denna gång är att dateringen av långhuset, som bygger på två tydliga åldersprofiler som vardera uppfyller de striktaste kriterier, eller kriterium I, kan sättas i relation till kyrkans inventarium. Det är möjligt att gruppens monumentala krucifix, ursprungligen en del av en kalvariegrupp, som dendrokronologiskt kan hänföras till 1250-talet, jämte därtill hörande sörjande Maria från 1260-talet, kan ha införskaffats till invigningen av långhuset.¹⁹

5.6. Vårdö kyrka

I Vårdö togs tre prover från det ursprungliga östra gavelfältet, som bevarats intakt genom alla byggnadsförändringar. Denna gång var dock murbruket starkt kontaminerat av obränd kalk, säkerligen beroende på att en ovanligt grov kornstorlek hade valts för analysering, vilket ledde till att de enskilda åldersprofilerna inte kunde användas arkeometriskt.²⁰ I väntan på en förnyad analys av murbruket i östra gaveln, återstod tidigare för Vårdös del endast två objektiva

naturvetenskapliga dateringar: det dendrokronologiskt analyserade norra remstycket, som daterats till tiden efter 1470, jämte en kolpartikel som påträffades inkapslad i ett murbruksprov, Vaka 005. En kalibrering av kolpartikelns ålder, BP 394±42 ger en bred datering till tiden 1440-1620 (fig. 25). Den grafiska versionen visar att dateringen kulminerar i två toppar, med tydlig dominans för den äldre, som infaller 1440-1520. Kurvans högsta punkt sammanfaller med remstyckets dendrokronologiska datering ca 1470. Vi har nyligen fått resultatet på murbruksanalys av Vaka 005. Åldersprofilen, till vänster i fig. 25, ger vid extrapolering en konklusiv datering som till fullo motsvarar kolpartikelns. Det visar sig alltså att kolpartikeln här är samtida med murbruket. Tillsammans med skriftliga källor blir 1470-talet tillsvidare den rimligaste dateringen. Från 1590-talet finns nämligen bevarade uppgifter om existerande mursprickor på östra gaveln, medan uppgifter från 1630-talet beskriver en alljämt intakt bevarad katolsk inredning. Från samma tid anges att ingen i mannaminne längre kunde erinra sig när man hade uppfört kapellkyrkan i Vårdö.²¹

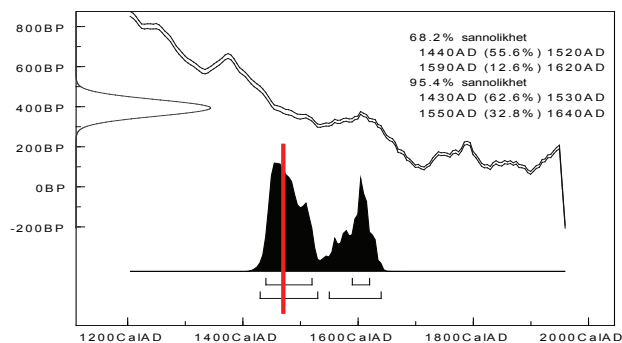
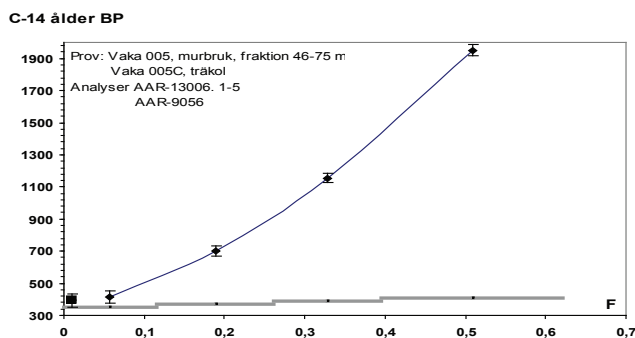


Fig. 25. Vårdö kyrka, kalibrerat resultat av träkol inkapslat i ett murbruksprov i den ursprungliga östgaveln, vägt mot resultat av dendrokronologi av norra remstycket i östra gavelfältet. Båda analyserna sammanfaller vid ca 1470 e.Kr. Skiss Åsa Ringbom, 2009.

6. En kronologi växer fram

Trots metodologiska framsteg höjs alltjämt enstaka kritiska röster gentemot murbruksdatering.²² Ändå vågar vi hävda att vi småningom närmar oss vår målsättning – vi börjar få en helhetsbild av de åländska stenkyrkornas kronologi (fig. 26, jämfört med fig. 12a-b). Det är värt att understryka att kronologin förblir densamma, vare sig den enbart bygger på murbruksdatering jämte dendrokronologi, eller om man dessutom inkluderar ¹⁴C daterade träpartier. Ännu en gång betonas att murbruksanalys ofta är det enda sättet att närma sig de tidigaste byggnadskedena. Vi ser att byggnadsaktiviteten fördelar sig någorlunda jämnt från 1200-talets senare hälft ända fram till slutet av medeltiden.

Moderkyrkorna i Sund, Jomala, Eckerö, Hammarland och Saltvik uppfördes under andra hälften av

1200-talet. Till detta sekel hör även långhuset i Lemland, där en del av takets trävirke hittills kunnat bestämmas med dendrokronologi. I Finströms kyrka antyds en liknande tidig datering från enstaka murbruksprover i långhusets sockelnivå. En tidig stenkyrka kan alltså ha funnits i Finström, delvis med samma sockel som dagens långhus. Dessa tidiga dateringar vilar huvudsakligen på murbruksdatering, på resultat som fullföljer strikta krav på kriterium I eller II, vanligtvis en kombination av båda dessa kriterier. Långhuset i Lemland är det enda från 1200-talet som kan dateras dendrokronologiskt. Det äldsta kyrktornet på Åland är det i Jomala, sannolikt tätt följt av sydtornet i Hammarland.

För 1300-talet är kronologin ännu inte helt klarlagd. Det är som känt ett sekel som inte låter sig exakt preciseras via ¹⁴C analys, och dateringen av skärgår-

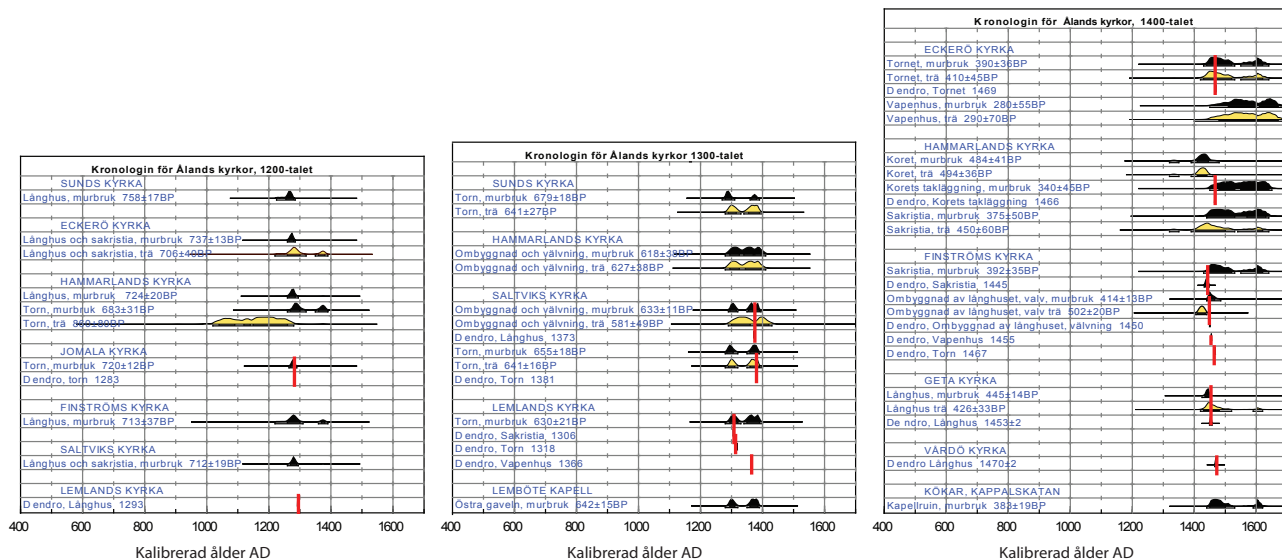


Fig. 26. Kronologin för Ålands medeltida stenkyrkor presenterad från 1200-talet till 1400-talet. Den är baserad på olika naturvetenskapliga dateringsmetoder: ¹⁴C AMS analys av murbruk, ¹⁴C av trä och dendrokronologi. Skiss Åsa Ringbom och Jan Heinemeier, 2009.

dens stenkyrkor, d.v.s. Föglö, Kumlinge och Kökar, är alltså en öppen fråga eftersom murbruksanalysen ännu inte är slutförd. Men i väntan på de resultaten kan vi fastställa att Lemböte kapell hittills förefaller att vara ett kyrkligt nybygge från denna tid. Möjligt är att det tillhör det sista skedet av 1200-talet. Vidare noteras att man på 1300-talet förefaller att ha koncentrerat sig på att foga sekundära byggnadsenheter till redan existerande långhus. I Lemland t.ex. uppförs nu såväl sakristia, torn som vapenhus. Här antyds åldern av dendrokronologisk analys. Sund får sitt mäktiga västtorn någon gång inom loppet av 1300-talet. I Hammarland slås långhusets mäktiga kupolvalv i natursten troligen någon gång under detta sekel. Även Saltviks kyrka blir föremål för en radikal ombyggnad, och här vet vi tack vare dendrokronologin ganska exakt att så skedde under senare hälften av 1300-talet. Då inträffar en genomgripande ombyggnad och förnyad välvning av långhuset. Till samma ombyggnadsskede hör även kyrkans vapenhus och västtorn.

En tredje dynamisk byggnadsperiod på Åland inträffar vid mitten av 1400-talet då vi får bevittna hur långhuset i Finström genomgår en ganska total ombyggnad i samband med välvningen. Ungefär samtidigt byggs även sakristian. Ytterligare vapenhus och torn tillhör detta byggnadsskede. I samma byggnadskampanj har man dessutom inkluderat kyrkan i Geta, kapellförsamling under Finström. Nära varandra i ålder är tornen i Finström och Eckerö, båda med ursprungliga träkonstruktioner intakt bevarade. Sist i raden av de medeltida åländska stenkyrkorna kommer Vårdö kapellkyrka, från senare hälften av 1400-talet. Det lilla kapellet på Kappelskatan, Hamnö, på Kökar, är den enda träbyggnad som har genomgått murbruksanalys. Analys av murbruk från stengrunden visar att det uppfördes överraskande sent, uppenbarligen först vid sekelskiftet 1500.

7. Konklusion

Sedan 1994, i och med tillämpningen av ^{14}C AMS analys, har projektet *Ålands kyrkor*, med parallellprojektet *International Mortar Dating*, varit världsledande inom metodutvecklingen. Det var ett lyckligt sammanträffande att utvecklingen av metoden att datera murbruk inleddes på Åland. Här förelåg möjligheten att ta originalprover från platser som legat välskyddade för väderlek och erosion. På Åland är kalkbruket icke-hydrauliskt och här finns tillräckligt många resultat för jämförande analys, baserade på andra material och andra metoder (se figurerna 11-13). En god sak var också den uppenbara risken för kontaminering av obränd kalksten. Redan från början kunde man därför fokusera på den problematiken, och på betydelsen av en noggrann separering.

Av åländska murbruksprover skulle det visa sig att ca 84% var konklusiva. Av de konklusiva resultaten kan två tredjedelar jämföras med en given ålderskontroll, medan resten uppfyller strikta kriterier som visar att de varken störs av föråldrande kontaminering eller av föryngrande faktorer. 16% av alla prover förblir avvikande eller inkonklusiva, d.v.s. resultaten kan av olika anledningar inte tolkas. Ur metodologisk synpunkt är dessa inkonklusiva resultat, paradoxalt nog, mycket värdefulla, eftersom vi numera genom bred erfarenhet lärt känna orsaken. Vi har därmed tagit ett viktigt steg framåt och lärt oss vad som i framtiden skall undvikas. Endast 4% av resultaten kan klassificeras som direkt oanvändbara, d.v.s. de ger grafiskt normala resultat som trots allt avviker från dateringen i ålderskontrollerade strukturer (fig. 27). Den kronologi som småningom tagit gestalt för Ålands stenkyrkor bygger på en konsekvent tillämpning av olika tillgängliga naturvetenskapliga dateringsmetoder. Där det bara varit möjligt att jämföra murbruksresultaten gentemot andra självständiga dateringsmetoder har samstämmigheten varit maximal.

Man kunde alltså hävda att man rätt långt hade kunnat klarlägga de åländska kyrkornas kronologi även utan murbrukdatering. Men i så fall hade man enbart i undantagsfall nått kyrkornas första byggnadsskede. Och många dateringar av träkonstruktionerna har sedermera kunnat bekräftas av uppbackande resultat från murbrukdatering. Utvecklingen och tillämpningen av murbrukdatering har med andra ord varit förutsättningen för definieringen av enskilda byggnadsskeden och enskilda byggnadsenheter på Åland.

8. Lärdomarna från murbrukdatering på Åland och inom klassisk arkeologi:

Murbruk är ofta det enda daterbara materialet som står till buds när det gäller murade stenkonstruktioner från medeltiden och från klassisk arkeologi.

Utgående från strikta kriterier (kriterium I och kriterium II) fungerar murbrukdateringen som en självständig metod, även där andra daterbara material saknas. De mindre tillförlitliga kriterierna (kriterium III och kriterium IV) beaktas ifall de stöds av andra metoder och av andra material.

Icke-hydrauliskt kalkbruk är väl lämpat för ^{14}C AMS dateringsanalys. Jämfört med hydrauliskt pozzolanamurbruk är det lätt att tolka, det uppför sig väldisciplinerat även vid analys i två CO_2 fraktioner. Ändå analyseras, för säkerhets skull, även icke hydrauliskt kalkbruk efter 2002 i åldersprofiler om fyra eller fem CO_2 fraktioner.

Murbruksanalys intill dendrokronologiskt daterade träkonstruktioner och ^{14}C AMS analys av trävirke kan bekräfta om trämaterialiet tillhör det aktuella byggnadsskedet.

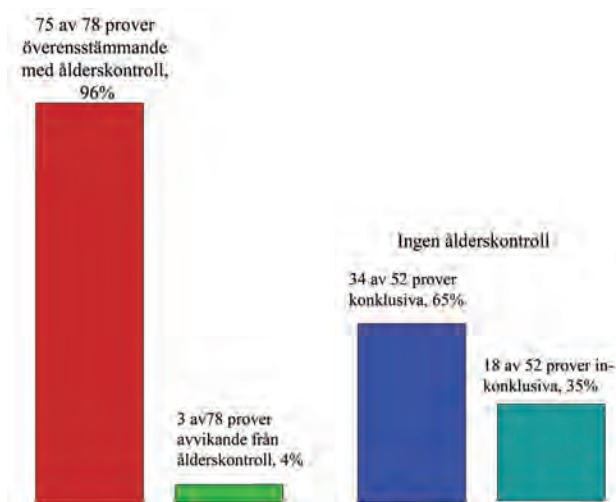


Fig. 27. Diagram över resultaten från murbruksanalys i Åländs kyrkor. Dateringen av åländskt icke-hydrauliskt kalkbruk omfattar tillsvidare 130 prover. Av dem är 109 prover (eller 84%) konklusiva, vilket betyder att de antingen överensstämmer med ålderskontroll bestående av oberoende naturvetenskapliga metoder inom samma byggnadsenhet, eller att de som saknar ålderskontroll, uppfyller kraven på kriterium I eller II. Skiss Åsa Ringbom, 2009.

Murbruk som varit utsatt för brand kan identifieras genom oregelbundna och avvikande åldersprofiler. Även här är det alltså viktigt med fullständiga åldersprofiler i fem fraktioner, eftersom den första CO_2 fraktionen tenderar att bli alltför ung. Den rätta åldern kan ofta identifieras vid en horisontal plåt mitt på åldersprofilen.

Byggnadsenheter av okänd ålder kan självständigt dateras med murbruksanalys. Ett prov som fyller kraven på kriterium I är i princip nog för att datera den aktuella byggnadsenheten, medan minst tre olika prover representerande kriterium II krävs för en pålitlig tolkning av strukturer utan ålderskontroll.

Murbruk som härdat långsamt djupt inne i muren, eller som blockerats av revetering, som t.ex. marmorplattor, skall undvikas.

Murbruk som vid fenoltaleintest uppvisar alkalinitet skall undvikas.

Inom klassisk arkeologi gäller detta ytterligare murbruk som avsiktligt gjorts hydrauliskt genom att krossad keramik blandas in i aggregatet. Denna typ av murbruk bör undvikas eftersom det ständigt ger alltför unga dateringar, d.v.s. åldersprofilernas samtliga fraktioner blir för unga. Också pozzolana som härdat under lager av vulkanisk aska har tillsvidare visat sig ge odugliga resultat.

I framtiden återstår det att se i vilken mån murbruksdatering och annan naturvetenskaplig analys kan lösa frågan om kronologin i övriga finländska medeltida stenkyrkor. Inom ramen för projektet »*International Mortar Dating*«, sponsorerat av Finlands Akademi, har detta arbete redan inletts för kyrkorna i Åbolands skärgård och för Åbo Domkyrka. Hit hör även inledningsprocessen för murbruksdateringen av Gotlands kyrkor.²³

Noter

1. Åsa Ringbom, Konstvetenskap, Åbo Akademi, Finland; Jan Heinemeier, AMS ¹⁴C Dateringscentret, Universitetet i Århus, Danmark; Alf Lindroos, Geologi och Mineralogi, Åbo Akademi, Finland; Ärny Sveinbjörnsdóttir, Háskóla Íslands, Science Institute, Island.
2. Jfr. t.ex. Dreijer 1983 och *Ålands medeltida kyrkor* 1973.
3. Dendrokronologisk analys av takkonstruktionerna i de åländska kyrkorna utfördes av Thomas Bartholin 1991-1992, och 2003.
4. Åsa Ringbom et al. 1996.
5. Ringbom & Remmer 1995, s. 60-68, s. 204-208.

6. För en historisk översikt av metodutvecklingen, se Lindroos 2005, s. 1-7.
7. Numera görs inom projektet analyser även i The Oxford Radiocarbon Accelerator Unit, under ledning av Christopher Bronk Ramsey, och i NSF-Arizona AMS Laboratory, Tucson, av Gregory Hodgins.
8. Jfr. »If the two fractions yield similar ages, this is taken as an indication of a successful removal of any fossil carbonate in the mechanical separation process, rendering the date (of both fractions) particularly reliable. Even in cases where the second fraction gives much higher ages than the first, the dates for the first fraction still appear to be reliable as shown in our data below«, Heinemeier et al. 1997, s. 488.
9. Jfr. t.ex. resultaten från Vårdö kyrka, Lindroos 2005, fig. s. 55.
10. Närmare om pozzolana: Blake 1968, s. 41-44, 308-352; Lancaster 2005, s. 51-65.
11. Ringbom et al. in print.
12. Resultaten från experiment och tillämpning av murbruksanalys på romerskt pozzolanamurbruk kommer att beskrivas mera ingående i Ringbom, Åsa et al., in print och Lindroos, Alf et al., in print.
13. Ringbom & Remmer 1995, s. 65.
14. Två murbruksprover, Haka 042 och 053, som 1994 även i ¹⁴C AMS analys föreföll efter enbart torrsiktning att ge alltför hög ålder. 1998 genomgick de våtsiktning och ny analys, med resultat att dateringen korrigerades. Jfr. Ringbom & Remmer 1995, s. 65, s. 288.
15. Markus Hiekkänen har ständigt framhåvt koret i Hammarland som ett exempel på murbruksdateringens otillförlitlighet, ex. Hiekkänen 1998, 2004 a, 2004 b, 2007, s. 592-593, noterna 139 och 140, 2008. Detta baserar han på diskrepansen mellan dendrokronologisk analys jämfört resultaten från konventionell analys av murbruk från tiden före 1994 och senare resultat från ¹⁴C AMS datering. Trots upplysning (bl.a. Ringbom 2004 a, 2004b), har han alltså ändå inte noterat att de konventionella dateringarna korrigerades redan 1995, och att det därefter är ¹⁴C AMS analys som gäller för murbruket.
16. Dreijer 1979, s. 307-316; Sárkány 1973, s. 19; Hiekkänen 2007, s. 366-371.
17. Två dendrokronologiskt daterade träskulpturer från 1100-talet slut tillhör troligen träkyrkan. Den ena föreställer kyrkans skyddshelgon Sankt Mikael, ek från Baltikum, virket fällt ca 1179, och det andra ett människohuvud i åländsk furu, se-

- kundärt inmurat i tornvalvet, virket fällt på 1180-talet. Den dendrokronologiska analysen utfördes av Peter Klein, Universitetet i Hamburg.
18. Från långhusets västgavel härstammar även Suka 024. Även om denna profil inte är lika tydlig som Suka 014 och Suka 017, understöder den den gemensamma kalibreringen av alla tre åldersprofiler. Två åldersprofiler från valven, Suka 025 och 026, är ännu mera irreguljära: där sammanfaller den högsta punkten med långhusets övriga profiler, medan de sista CO₂ fraktionerna störtar brant nedåt. Erfarenheten från andra brandskadade konstruktioner, med ålderskontroll, har visat att även detta är ett återkommande mönster. För naturvetenskaplig datering av kyrkan i Sund, se Ringbom et al. 2005, och Ringbom & Remmer 2005, s. 321-324.
 19. Ringbom & Remmer 2005, s. 167-177, s. 221.
 20. Ringbom & Remmer 2005, s. 263-264.
 21. Ringbom & Remmer 2005, s. 26, s. 263-265; s. 297.
 22. Se samtliga Hiekkänen publikationer i litteraturförteckningen, speciellt Hiekkänen 2008.
 23. Ranta et al, 2009.

* Projektet tackar:

Projektet finansierades 1990-1997 av Finlands Akademi, därefter av Ålands landskapsregering via Högskolan på Åland och Stiftelsen vid Åbo Akademi. Under namnet *International Mortar Dating* sponsoreras projektet under perioden 2008-2010 återigen av Finlands Akademi, uttryckligen med syfte att kartlägga metodens tillämpningar i olika kronologier och i områden med varierande geologi. Vi tackar alla ovan nämnda institutioner för troget stöd och generös sponsoring genom åren.

** www.c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html-6k-; Cristopher Bronk Ramsey, Radiocarbon Calibration and Analysis of Stratigraphy: *The OxCal Program Radiocarbon 37(2)*, 1995, 425-430; Christopher Bronk Ramsey, Development of the Radiocarbon Program OxCal, *Radiocarbon*, 43 (2A), 2001, 355-363; P.J. Reimer, M.G.L. Baillie, E. Bard, A. Bayliss, J.W. Beck, C. Bertrand, P.G. Blackwell, C.E. Buck, G. Burr, K.B. Cutler, P.E. Damon, R.L. Edwards, R.G. Fairbanks, M. Friedrich, T.P. Guilderson, K.A. Hughen, B. Kromer, F.G. McCormac, S. Manning, C. Bronk Ramsey, R.W. Reimer, S. Remmele, J.R. Southon, M. Stuiver, S. Talamo, F.W. Taylor, J. van der Plicht, and C.E. Weyhenmeyer. 2004 *Radiocarbon* 46, 2004, 1029-1058.

Litteratur

- Blake, Margareth Elizabeth: *Ancient Roman Construction in Italy from the Prehistoric period to Augustus*, Carnegie Institution of Washington, 1947, reprint, New York 1968.
- Drejjer, Matts: *Det åländska folkets historia, I:1 Från stenåldern till Gustav Vasa*, Mariehamn 1983.
- Hale, John R., Jan Heinemeier, Lynne Lancaster, Alf Lindroos & Åsa Ringbom: »Dating Ancient Mortar«, *American Scientist* Volume 91, 2003, s. 130-137.
- Hale, John R., Åsa Ringbom, Alf Lindroos & Jan Heinemeier: »A datação por radiocarbono de argamassas, fazendo uso de técnica AMS (Espectrometra de Massa com Acelerador)«, *A Cidade: Revista Cultural de Portalegre*, Número 13-14, 1999-2000, Câmara Municipal de Portalegre, 2002, s. 145-156.
- Hale, John R. & Åsa Ringbom: »Dating ancient plaster, mortar, and concrete: A new application of C-14 technology (Abstract)«. *American Journal of Archaeology*, volume 102, number 2, 1998, s. 386.
- Heinemeier, Jan, Högne Jungner, Alf Lindroos, Åsa Ringbom, Thorborg von Konow & Niels Rud: »AMS 14C dating of lime mortar«, i: Beam interactions with materials and atoms, *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research, Section B, volume 123, Nos 1-4, March (II)* 1997, s. 487-495.
- Heinemeier, Jan, Åsa Ringbom, John Hale, Lynne Lancaster, Alf Lindroos, and Árný E. Sveinbjörnsdóttir: »AMS mortar dating in Medieval and Classical Archaeology – a decade of development and testing«, *19th International Radiocarbon Conference, Oxford, April 2006, Book of Abstracts*, 94, 2006.
- Hiekkänen, Markus: *The Stone Churches in the Medieval Diocese of Turku, A Systematic Classification and Chronology*, SMYA-FFT 101, Helsinki, 1994.
- *Suomen keskiajan kivikirkot*, Suomalaisen Kirjallisuuden Seuran Toimituksia 1117, Helsinki 2007.
 - »Problemen med ¹⁴C dateringen av kalkbruk«, *Fornvännen*, 1998, 142-145.
 - »Kalkkilaastin ajoitusmenetelmä – arvio epäuskottavuudesta vahvistuu«, *Tieteessä tapahtuu*, 6/2004, 48-49.
 - »Lähdeluetteloiden ja kalkkilaastiajoituksen ongelmat«, *Tieteessä tapahtuu*, 4/2004, 42-45.
 - »Kalkkilaastin 14C-ajoituksen ongelmat – onko niistä ulospääsyä?« *Suomen Keskiajan Arkeologian Seura, SKAS*, 2. 2008, s. 3-18.
- Lancaster, Lynne C., *Concrete Vaulted Construction in Imperial Rome, Innovations in Context*, Cambridge University Press, 2005.
- Lindroos, Alf, *Carbonate Phases in Historical Lime Mortars and Pozzolana Concrete: Implications for 14C Dating*, Department of Geology

- and Mineralogy, Åbo Akademi University, Diss. Åbo 2005.
- Lindroos, Alf, Gregory Hodgins, Åsa Ringbom, Jan Heinemeier & Fiona Brock: »Chemical separation of mortar samples with titration of HCl hydrolysis«, *Proceedings from Building Roma Aeterna, conference in Rome March 23-25 2008, Acta Instituti Romani Finlandiae*, edited by Åsa Ringbom and Robert Hohlfelder, in print.
- Lindroos, Alf, Åsa Ringbom, Jan Heinemeier & Årny Sveinbjörnsdóttir: »Mortar dating using AMS ¹⁴C and sequential dissolution: Examples from Medieval, non-hydraulic lime mortars from the Åland Islands, SW Finland«, *RADIOCARBON Volume 49*, Nr 1 2007, s. 47-67.
- Ranta, Heikki, Joakim Hansson, Alf Lindroos, Åsa Ringbom, Jan Heinemeier, Fiona Brock & Gregory Hodgins: Om dateringen av Gotlands medeltida kyrkor, *hikuin 36*, 2009, s. 85-100.
- Ringbom, Åsa: »The churches of the Åland Islands and 14C dating of mortar«, *Method and theory in Historical Archaeology – Papers of the Medieval Europe Brugge 1997, Conference – Volume 10*, s. 103-112.
- »Markus Hiekkänen ja tieteilisyyks«, *Tieteessä tapahtuu 3/2004*, s. 33-38.
 - »Mortar Dating and Dolphins: Santa Costanza reconsidered, Songs of Ossian«, *Festschrift in honour of Professor Bo Ossian Lindberg, Taidehistoriallisia Tutkimuksia-Konsthistoriska Studier*, 27, Helsinki 2003, s. 22-42.
 - »Ännu en gång Markus Hiekkänen«, *Tieteessä tapahtuu*, 5/2004, s. 44-45.
 - »Murbruksdatering, en ny potential inom klassisk arkeologi«, *Sphinx, årsbok – vuosikirja – yearbook, 2004, 2005, Societas Scientiarum Fennica, Finska Vetenskaps-Societeten-Suomen Tiedeseura-The Finnish Society of Sciences and Letters*, 2005, 93-106.
- Ringbom, Åsa, Jan Heinemeier & Alf Lindroos: Lugnande besked om murbruksdatering. *Suomen Keskiajan Arkeologian Seura, SKAS 4/2008*, s. 50-60.
- Ringbom, Åsa, Jan Heinemeier, Alf Lindroos & Fiona Brock: »Building Roma Aeterna, Mortar Dating and Roman Pozzolana, Results and Interpretations«. *Proceedings from Building Roma Aeterna, conference in Rome March 23-25 2008, Acta Instituti Romani Finlandiae*, edited by Åsa Ringbom and Robert Hohlfelder, in print.
- Ringbom, Åsa, Alf Lindroos, Jan Heinemeier, John R. Hale, Lynne Lancaster & Fiona Brock: »Radiocarbon Dating of Mortar«. *Poster presentation at the Archaeological Institute of America, Annual Meeting 3-6 January 2008, Chicago*.
- Ringbom Åsa, John Hale, Jan Heinemeier, Alf Lindroos & Fiona Brock: »Mortar dating in Medieval and Classical archaeology«, *CHS (Construction History Society) Newsletter 73*, 2006, s. 11-18.
- Ringbom, Åsa, John Hale, Jan Heinemeier, Alf Lindroos & Lynne Lancaster: »Murbruksdatering i klassisk arkeologi«, *Fossa*, 2/2006. Suomen Klassillisen Arkeologian Seura, Sällskapet för Klassisk Arkeologi i Finland, Societas Archaeologiae Classicae Fennica, 2006.
- Ringbom, Åsa & Christina Remmer: *Ålands kyrkor, Volym III, Sund och Vårdö*, Mariehamn 2005.
- Ringbom, Åsa, Thomas Bartholin, Peter Klein, Alf Lindroos, Årny Sveinbjörnsdóttir, Jan Heinemeier, »Naturvetenskaplig datering«, Ringbom & Remmer, *Ålands kyrkor, Volym III, Sund och Vårdö*, Mariehamn 2005, s. 100-110.
- Ringbom, Åsa, Kenneth Gustavsson, Alf Lindroos, Jan Heinemeier & Årny Sveinbjörnsdóttir: Mortar dating – a method with a potential for the future, Bilan et Perspectives des Études Médiévales (1993-1998), Euroconférence (Barcelona, 8-12 juin 1999), *Actes du IIe Congrès Européen d'Études Médiévales édités par Jacqueline Hamesse*, Brepols Tournhout, Belgium, 2004, 195-207, illustrations, s. 718-723.
- Ringbom, Åsa, John Hale, Jan Heinemeier, Lynne Lancaster & Alf Lindroos, When did the Mortar Harden? A new method for dating buildings and other structures through AMS radiocarbon analysis. *Poster presented at the XVI International Congress of Classical Archaeology, The Associazione Internazionale di Archeologia Classica, Harvard University August 24, 2003*.
- Ringbom, Åsa, Alf Lindroos, Årny Sveinbjörnsdóttir, Lynne Lancaster, John R. Hale & Jan Heinemeier: »AMS 14C Dating of Mortar; a Method in Progress for Classical Archaeology«, *AIAC NEWS 29/30, Bollettino informativo dell' Associazione Internazionale di Archeologia Classica*, Roma, Giugno/Settembre 2001, s. 2-4.
- Ringbom, Åsa & Christina Remmer: *Ålands kyrkor, Volym II, Saltvik*, Ekenäs 2000.
- Ringbom, Åsa, Gerhard Hakkarainen, Thomas Bartholin & Högne Jungner: »Åland Churches and Their Scientific Dating«, *Proceedings of the Sixth Nordic Conference on the Application of Scientific Methods in Archaeology*, Esbjerg 1993, Arkeologiske rapporter nr 1, 1996, s. 291-302.
- Ringbom, Åsa & Christina Remmer: *Ålands kyrkor, Volym I, Hammarland och Eckerö*, Mariehamn 1995.
- Sárkány, Tamás: »Finströms kyrka«, *Ålands medeltida kyrkor*, Acta Universitatis Stockholmiensis, Stockholm Studies in History of Art 25, Lund 1973, s.115-134.
- Ålands medeltida kyrkor*, Acta Universitatis Stockholmiensis, Stockholm Studies in History of Art 25, Lund 1973.
- www.kyrkor.ax