Bygningstekniske og arkeologiske bemerkninger om trekirker i Norge i vikingtid og middelalder

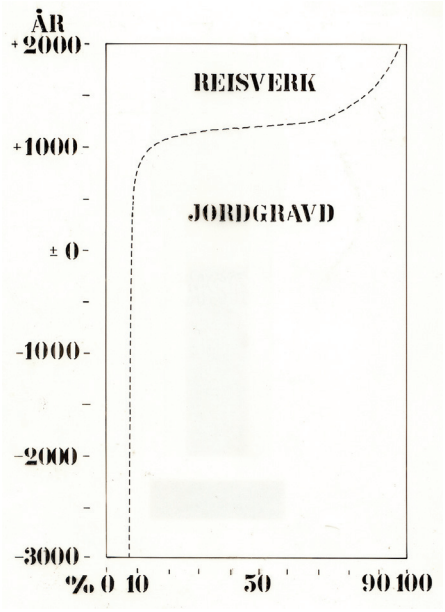
Jørgen H. Jensenius

The greater number of the churches in Norway, before the 12th century were probably post-frame buildings. Then timber-frame buildings with a heightened superstructure gradually were preferred as churches. This article intends to present and analyse the two foundation techniques used. In terms of durability, performance and cost, the low-rise post-frame church building may have been seen as a viable church concept. They may have been disassembled when and because the naves and chancels had become too narrow for practical use. When the superstructure was to be changed, the foundation would also have to be changed as well. Or, said in another way, the accurately levelled and squared floors and plumb staves made the new height possible. The constructional safety generated by this accuracy was the precondition for the building of high-rise timber framed churches in Norway. There is no doubt, however, that many builders still found the post-frame buildings suitable for their purpose through medieval times.

Problemstilling

Fundamentering av trebygninger med stolper avstivet i groper i bakken eller satt på stein på bakken, var vanlig i hele Nord- og Sentral-Europa fra de eldste tider. Arkeologene Robert A. Meeson og Christopher M. Welch viser til sentral- og nordeuropeisk forskningslitteratur og argumenterer for at trebygninger på mur gradvis erstattet bygninger med jordgravde stolper på 1200-tallet.[1] Det ble gradvis reist færre bygninger med jordgravde stolper. Den tyske arkeologen W. Haio Zimmermann har synliggjort forholdet mellom de ulike måtene å fundamentere på ved en graf, basert på et stort arkeologisk materiale (fig. 1).[2] En slik oversikt fremkommer nødvendigvis ved bruk av skjønn og er ikke uten metodiske problemer, men i denne sammenhengen blir den brukt for å antyde en tendens. Modellen blir bekreftet av at grafen kan ses som bygningsvarianten av sosiologen Everett M. Rogers generelle s-kurve for teknologisk forandring som sosial prosess.[3] Vannrett akse angir forhold i

[1] Meeson and Welch 1993: 2.
[2] Zimmermann 1998: 172- 174.
[3] Rogers 1995: 322-325.



Figur 1
Skjema for utbredelse av byggemåter, tegnet av J. H. Jensenius etter H. Zimmermann 1998: 15, bilde 1.

prosent mellom bygging med jordgravde stolper (Pfostenbau) og varianter av reisverk (Ständerbau), mens loddrett akse angir tid. Den glattede kurven har et knekkpunkt som viser at inntil år ± 1000 er jordgravde stolper en foretrukket løsning.[4] Grafen er relevant i denne drøftingen fordi den også tar med trebygninger som ble innviet til kirker i Norge.[5]

Man vet hverken hvor lenge det ble reist stolpekirker i Norge eller når de siste ble revet, og forhistorien til stavkirker med grunnstokker er heller ikke kjent.[6] Når det er omtalt trekirker i tekster, som kirker reist av Håkon den gode,[7] Olav Tryggvason[8] eller Olav den hellige,[9] er det ikke sagt noe om måten kirkene ble fundamentert på. Zimmermann viser at det var en samvariasjon, en gradvis overgang fra jordgravde stolper til reisverk, men han gir ingen enkel forklaring på hvorfor dette skjedde.

I diskusjonen i Norge har man en alminnelig godtatt forklaring på hvorfor en eldre byggemåte ble erstattet av en ny. Håkon Christie forklarer overgangen fra stolpekirker til stavkirker på denne måten:

[4] Higham and Barker 2006: 244.
[5] Bekreftet av W.H.Zimmermann i privat samtale september 2008.
[6] Lent 1978: 23-25.
[7] HGs, kap 13; Hødnebø og Magerøy I, 1979: 87-88.
[8] OTs, kap. 47; Hødnebø og Magerøy I, 1979: 159.
[9] OHs, kap. 53; Hødnebø og Magerøy I, 1979: 241.

> Kirkene med jordgravde stolper hadde imidlertid den fundamentale svakhet at stolpene råtnet i terrengnivå. Det later til at slike kirker ikke har klart seg stort mer enn hundre år før de ség overende.[10]

Denne aksepterte "Råtehypotesen" hevder at å spenne inn bærende stolper i bakken er selve defekten i slike bygninger. Det er antatt at ved nedgraving blir stolpene så raskt svekket av råte at kirkebygningene måtte falle over ende etter en tid. Problemet ble ikke løst før man satte de takbærende stolpene på fundament over bakken; i dette ligger det at stavkirken på alle måter var en bedre konstruksjon.[11] Den stadig gjentatte forklaringen er hverken analysert, fortolket eller sannsynliggjort.

Min drøfting tar utgangspunkt i at en bygnings konstruksjon og form langt på vei blir bestemt av grunnforholdene, og at fundamentet som blir valgt legger føringer for resten av bygningen. Det blir spurt om når og hvorfor man gikk fra én måte å fundamentere på til en annen. For å finne svar blir det beskrevet handlinger som håndverkerne sannsynligvis må ha utført i planleggingen, ved tillagingen og ved monteringen. Mye innen håndverk og materialegenskaper er lite forandret gjennom hundreårene. Behovet for å planlegge før arbeidet tar til er tidløs, og en øks kan bare holdes og brukes på visse måter for å oppnå et ønsket resultat. Stein, metall og tre har i dag de samme egenskapene som de hadde i vikingtid, når det gjelder stivhet, bøying, strekk og trykk, bruddstyrke, kraftretninger og skjærkrefter, og tyngdekraften virker på samme måte.

Tuften

Kirker ble gjerne lagt på tufter som var tilgjengelige og byggbare. Man måtte justere krav og forventninger etter klima, topografi, tiltakets plass i plan og høyde, eksisterende bebyggelse, arealbrukslinjer, eiendomsgrenser, kirkegård og adgang til vei eller brygge. Etter kirkelig tradisjon på 900-tallet skal koret helst være i øst og inngangen i vest, men selv om retningen av bygningens hovedakse i utgangspunktet var et ideologisk vilkår, viser praksis at bygninger også kunne bli lagt i forhold til topografien. Tuften kan ha blitt lagt på både dyrket mark, på myr og på fjell. Derfor må fasthet, setningsegenskaper og gjennomgang av vann i grunnen bli vurdert ved slik planlegging. Kanskje var det bra å legge kirker på ikke dyrkbare nes og høyder, slik at de lå

[10] Christie 1981: 192.

[11] Christie 1961: 64; Hauglid 1976: 180 ff.; Lidén 1997: 214; Ahrens 2001: I, 465; Storsletten 2002: I, 396.

på fast grunn. På tufter med fall er det gjerne naturlig avrenning, men grøfting kan også ha vært nødvendig. En kirkegårdsmur kan være lagt som grensen mellom to eiendommer, og være som en rettslig bekreftelse. Men fysisk sett var et steingjerde med på å stabilisere bakken og hindre jordsig, et eksempel på dette er kanskje Lomen kirkegårds mur. Før bygging ble nok avkapp og huggflis fra en eventuell eldre, revet kirke fjernet for å hindre fukt og råte, og eldre stolpehull ble gjerne gjenfylt. Så ble tuften avrettet og komprimert, slik det ble dokumentert ved undersøkelsen i Ringebu i 1981.

Planlegging og tilhugging

Arkitektur har en formal synlighet som et grunnleggende prinsipp: det som er tenkt og planlagt blir gjerne bygget. Dette gjelder ikke minst trekirker, fordi tidsrommet mellom planlegging og montering er kort. Prosjekteringen av kirker besto neppe av kunnskap som var hemmelig, vanskelig eller mystisk, det kan ha vært en åpen faglig erfaring som nye generasjoner håndverkere ble lært opp i.[12] Overføringen av kunnskapen var nok den gang som senere mer eller mindre tilfeldig, avhengig av tid, sted, miljø og oppdrag. Kirkene er planlagt og designet ut fra en oppsamlet erfaring: et slikt prosjekt er en selvstendig form for kunnskap.[13] Selv i sin enkleste form krevde planlegging en avveining mellom brukskrav, overliggende form, nødvendige konstruksjoner og de mulighetene og begrensningene materialene gir. Noen initierte, noen bekostet og ledet, noen planla og designet, og noen laget til og monterte de bygningene som skulle innvies til kirker.

Ved oppdraget med å lage en mindre trekirke hadde antagelig håndverkeren få parter ut over tiltakshaver å forholde seg til, og begrenset økonomisk ansvar og risiko. Lederen av foretaket kan ha påtatt seg rigg og drift og det å inngå avtaler med de som felte og kjørte tømmeret, med tømrere, smed, steinhugger, sponmakere, treskjærer og tjærebreier. Selv mindre byggeforetak forutsatte spesifisering av bygningen. I dag trengs mange svar: Var håndverkeren forpliktet til å ha lagt fundament og sviller innen en viss frist? Skulle bygningen være under tak før et avtalt tidspunkt? Skulle kirken være ferdig til overlevering til bygherren på en bestemt dato? Ved avtale om ferdigstillelse kan man ha tatt med en vurdering om når det passet for biskopen og hans følge å komme for å innvie kirken. Var det vanlig med en tidsgaranti om det ble oppdaget mangler etter at bygningen var tatt i bruk?

[12] Coyne and Snodgrass 1991: 129ff.
[13] Med design menes mål og forhold i plan, oppriss og detaljer.

Kirkerommet kan ha blitt målsatt med et areal som var tilpasset antallet brukere da kirken ble planlagt, men det er ikke kjent hva som var tanken bak bygningenes ulike høyder. Både stein- og trekirker er satt sammen av tilnærmet rektangulære former både i flaten og i rommet; formene var nok tenkt regulære. Adderte feil i målsetting, tilhugging og montering har ført til avvik. Den som ledet arbeidet må ha laget seg et inntrykk av bygningens struktur, form og størrelse, antallet delelementer, og elementenes mål og plassering. Uten tydelige angivelser av målepunkter kan man ikke forestille seg bygningen i full størrelse. Valgene av hovedmål og hovedforhold omfattet addisjon av enkeltelementenes mål og forhold, derfor måler man ikke bygningene fra delene, men fra det planlagte målesystemet. Dersom beskrivelsessystemet ikke består av grafiske hjelpemidler, bør ikke bygningen være mer kompleks enn det man kan se for sitt indre øye. Alle kirker har ulike mål, blant annet fordi de var laget med ulike målestokker. Men hoveddimensjonenes forholdstall, det vil si forholdene mellom lengde, bredde og høyde, kan ha liknet. De mange mulighetene ble gradvis redusert til én løsning med mål og forhold. Eventuelle vriene sammenføyninger kan ha blitt vist som modeller eller skisser, om man da ikke har ventet med slike deler til de kunne tilpasses på stedet.

Man måtte stipulere en tidsplan, annet sesongarbeid kunne forårsake avbrekk i byggingen og mange steder måtte man nok helst være ferdig før vinteren. Det måtte avtales pris for transporter, for lønn for arbeidet og en totalpris. For å lage de ulike overslagene må noen ha behersket en praktisk variant av elementær aritmetikk og geometri formulert av og for tømrere av trebygninger, slik den danske matematikeren Jens Høyrup har drøftet om bruken av praktisk matematikk gjennom historien.[14] Matematikken var verktøy til å løse daglige problemer med, man kunne ikke mestre handel, landmåling, utstikking og bygging uten måle- og regnekunnskaper. Praktisk matematikk er ikke bare studiet av en ting, men beskrivelse av forholdet mellom handlinger, som ved prosjektering og design av en kirke. Med sin anvendte matematikk kunne håndverkerne *ordne* en plan eller et oppriss av trekirkene ut fra sin kunnskap om hvilke mål som var tilstrekkelige eller nødvendige. Man kan ha brukt geometriske figurer som middel til å finne målepunkter, ved bruk av sirkel, kvadrat og trekant. De var derfor ikke bare illustrasjoner til en bygnings form, de var del av argumentets logikk. Håndverkerne måtte beregne størrelser og mengder på alle deler av kirken ut fra sin erfaring fra andre bygninger for å lage sine rekkefølgeregler. De enkelte delene av bygningen er neppe planlagt og designet i den rekkefølgen de er tenkt montert; alle deler er tilpasset den overliggende konstruk-

[14] Høyrup 1989: 64-67.

sjonen. Ut fra designen var det på forhånd bestemt hvor og hvordan delene måtte bli montert, derfor kunne montørene ikke lage en annen bygning av de gitte delene. Hvis den som planla designen også var med på tillagning og montering, var det neppe tvil om hvor og i hvilken rekkefølge de enkelte elementene og gruppene av elementer skulle monteres. At konstruksjoner er noe ulike, at elementer eller sammenføyninger varierer i de bevarte kirkene, viser at det i samtiden var flere aksepterte, gode løsninger. Man kan lage ulike konstruksjoner med det samme verktøyet, men noen variasjoner i trebygningene kan også tilskrives verktøyet som var tilgjengelig. Ulike økser ble brukt til å kløyve, kappe og forme emner med. Huller ble boret med navar, nøter ble tatt ut med meisel, profiler ble skrapt med høveljern, overflater ble glattet med skjøve, syl og kniv ble brukt til småarbeid.[15] Formen på stokkene og tverrsnittet av sviller, staver, tiler og stavlegjer ble variert, man fant frem til flere mulige skjøter, utsparinger og selvlåsende sammenføyninger.[16]

Håndverkerne var del av et løst felleskap med ulike erfaringer.[17] Selv om man ikke brukte våre begreper var nok kirkebygging formalisert etter lang erfaring; man benytter ord og begreper som var utviklet i håndverket. Formidling er ikke nødvendigvis avhengig av forklaring med fullstendige setninger, viten om arbeidsmåter er samlet som manuell ferdighet ved praktisk trening i rekkefølgekunnskap. Dette er definert av Norsk handverksutvikling som *handlingsbåren kunnskap*.[18] Erfaringer med materialer og konstruksjoner blir utviklet over tid i arbeidet med problemer ved planlegging og bygging som må løses. Rekkefølgekunnskapen gjør arbeidet forutsigbart og garanterer resultater. Fagspråket og huskereglene kan være tette, det vil si korte og presise og nesten uten forklaringer, slik det blant annet er vist i porteføljen til Villard de Honnecourt.[19]

A. Kirker med jordgravde stolper

Utstikking

I dokumentasjon har man ofte lett etter en antatt, regional måleenhet som kan ha vært brukt i en valgt bygning. Sannsynligvis har man lokalt ikke brukt en lengde som var nøyaktig kalibrert til et slikt offisielt mål. Ved utstikking av planen og i alle mål på elementene kan man ha brukt en selvvalgt målepinne, en lengdeenhet fastsatt for byggeperioden. Alle mål satt med den samme målepinnen ville gi den nødvendige

[15] Petersen 1951: 188-262.
[16] Christie 1974; Bjerknes/Lidén 1976.
[17] Shelby 1977: 6-8.
[18] Godal 2007: 14-17; Martinussen 2007: 56.
[19] Barnes 2009: 16-19.

presisjonen så lenge bare denne ene målepinnen ble brukt. I tillegg til aritmetikk må noen også ha mestret en praktisk geometri for å sette ut retninger og beregne høyder for bygninger, og for å utføre arbeidsstikking og innmåling. For å avsette rette vinkler kan man ha brukt trekanter med sider på 3, 4 og 5 enheter, for eksempel utmålt med knutesnor.[20] Det kan ha blitt stukket ut kryssende akser for å fastsette midtpunktet for de planlagte stolpegropene.

Stolpegrop, sand og bunnstein

Når kulden kommer om høsten er porene i jorden fylt med vann som fryser til is og utvides, man får telehiv i bakken. Der de tenkte sentra for stolpene ble markert, ble det gravet groper i bakken, men ikke til frostfri dybde (fig. 2). Om man traff fast fjell eller steinblokker slik at bunnen ikke ble horisontal, måtte man fylle i løsmasse eller justere bunnen sideveis. Hver slik handling kan ha gitt avvik for stolpenes plassering, og summen av disse avvikene kunne gjøre det vanskelig å overføre den tenkte planen til bakken.

Fyllmasse av jord kan belastes mindre enn god leire eller tykk sandfyll, fjell kan belastes 7-10 ganger så mye som jord. I Lom er grunnen sandig, mens i bunnen av stolpegroper i Kinsarvik ble det funnet sand som må ha vært tilført. Sand fungerer som drenering og utjevning (fig. 2). Det er påvist bunnsteiner i minst 12 stolpegroper i antatte kirker i Norge. En slik stein vil fordele vekten av stolpen over et større areal, så stolpene ikke skal synke i grunnen. Steinen kan også redusere fukt som måtte stige opp nedenfra. Da steinene ble dokumentert lå de i ujevn høyde, og slik var de antagelig også lagt opprinnelig.[21] Stolpegropene har ikke samme areal, og de varierer også i den enkelte kirken. Noen groper er nesten rørformede i snitt, mens andre er skjevt kone med en åpning på 1,0–1,5 m i diameter. Dette har en betydning for reisningen av stolpene.[22]

Stolper og reisning av dem

Stolper og sviller overfører lasten fra bygningen til grunnen. Ulike treslag er brukt i stavkirker, som eik i Eide kirke i Lillesand og bjerk i enkelte deler i Urnes stavkirke, men i de bevarte kirkene synes furu å ha vært vanlig. Emner for stolper av furu fantes

[20] Shelby 1972.
[21] Jensenius 2001: 121-171.
[22] Olsen 1968: 160-163.

i ulike dimensjoner over store deler av landet. Furu har fast malmet ved av gulrød farge og lite geite, det nye treet som ligger like under barken. Basisegenvekt på tre er gjerne oppgitt til 440 kg/m³, men tømmer varierer sterkt i vekt etter innholdet av fuktighet og kjerneved. Et tettvokst stykke furu tatt fra en eldre kirke er målt av arkeologen Ole Egil Eide til bortimot 800 kg/m³.[23] De anvendte stolperestene som er dokumentert, viser at stolpene kan ha hatt diametre fra 0,2 til 0,4 m. En stolpe med snittdiameter 0,3 m og en lengde på 5,0 m kan derfor ha veid mer enn 280 kg. Det kan ha gått en tid fra treet ble merket og til det ble felt og fraktet til tuften. Den eventuelle lagringstiden på tuften kan ha vært avhengig av når materialene ble skåret og hva slags værforhold det var under skjæring og lagring.

En alminnelig erfaring er at man må sette en stolpe dypt i en grop for at skoning og tilbakeførte masser skal kunne hindre sidebevegelser. Dokumenterte stolpegroper fra antatte stolpekirker har ulike dybder, gjerne fra 0,2 til 0,8 m, også innen samme bygning. Ingeniøren og arkeologen Jochen Komber viser, ut fra det norske husmaterialet, at stolper over 1,80 m ikke kunne ta bøyningsmomenter om hullenes bunn bare lå fra 0,2 til 0,4 m under bakkenivået.[24] Et forsøk i Fyrkat på Jylland, utført av den danske arkitekten Holger Schmidt, viste at selv ikke en nedgravning på 1,0 m var nok til å avstive stolper med lengde på 4,0 m.[25] Det er funnet spor etter en bygning i Uppåkra i Skåne i Sør-Sverige, som hadde vært i bruk og blitt ombygget fra 200- til 800- tallet. Den hadde et areal på ca 13 x 6,5 m, med to indre stolper som var gravet omtrent to meter ned i bakken. Innspent i så dype hull kan stolper ha stått uten staging.[26] Ut fra sitt tyske materiale påpekte bygningsarkeologen Adelhart Zippelius at stolper i grunne groper må ha hatt vinkelsikringer lenger oppe i bygningen; noe som antagelig ble brukt i Sentral-Europa før år 500 f.v.t.[27]

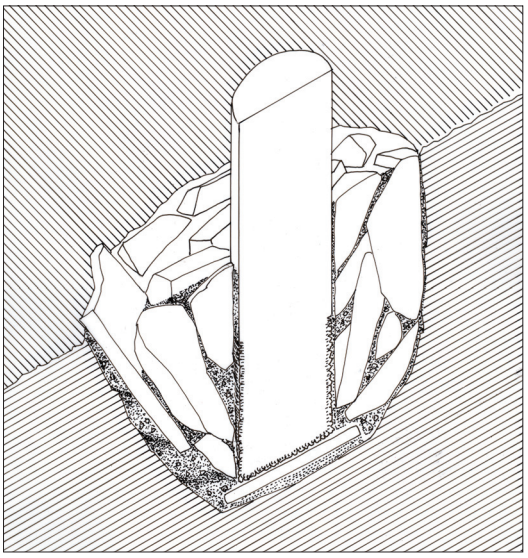
Siden stolpegropene i de avdekkede veggfluktene i stolpekirkene har ulike dybder, kan neppe stolpene ha hatt samme lengde under en stavlegje som lå i vater; de kan derfor ikke ha blitt reist samlet. Én måte å reise en enkelt stolpe på er å legge den ned på den avtrappede forkanten av stolpegropen, på et sklibrett. Enden blir satt i butt mot en stein i motsatt gropvegg, som er gravet loddrett inn mot skip eller kor. Jo bredere en stolpegrop er, desto høyere kommer aksen stolpen skal dreie rundt og desto mindre blir dreiemomentet. Om flere mann legger skuldrene imot og går fremover under stolpen kan den skyves på plass i loddrett stilling i gropen. Deretter kan

[23] Personlig opplysning 2007.
[24] Komber 1989: 42.
[25] Olsen og Schmidt 1977: 134, n. 28.
[26] Larsson 2006: 144.
[27] Zippelius 1953: 37-38.

den bli rettet inn horisontalt i to retninger og justert i lodd, før den blir staget og fastholdt i fotpunktet av en skoning av stein satt på høykant i tilbakefyllingen (fig. 2). Skoningen kan også virke som et glidesjikt så eventuell tele får mindre tak sideveis. Det er påvist deler av antatt steinpakning i 89 av de minst 160 avdekkede stolpehullene.[28] Man kan ut fra dette anta at de fleste grunt jordgravde stolpene i trekirker i Norge var ment å bli stabilisert *noe* ved innspenning av fotpunktet, men at stolpen i hovedsak var forutsatt å bli holdt fast lenger oppe i konstruksjonen (fig. 2).

Avdekkede stolpehull

Stolpehull er negative avtrykk av stolper i de tilbakeførte massene i stolpegropene. Dokumentasjon fra 17 antatte stolpekirker funnet mellom 1956 og 2002 i Norge viser at stolpehullene har ulik form i flaten.[29] Noen hull viser at stolpen kan ha vært tilnærmet kvadratiske i planen, mens andre er runde; men alle kan ha hatt en annen form over bakkenivå. Mange dokumenterte stolpehull er skadet i kantene. Stolpene i disse kan ha seget ut av lodd *før* rivning, de kan ha blitt trukket opp i vinkel til loddlinjen *ved* rivning, eller hullet og/eller gropen kan ha blitt skadet *etter* rivningen. Noen stolpehull er omgravet, kanskje fordi stolper ble skiftet ut mens bygningen sto.

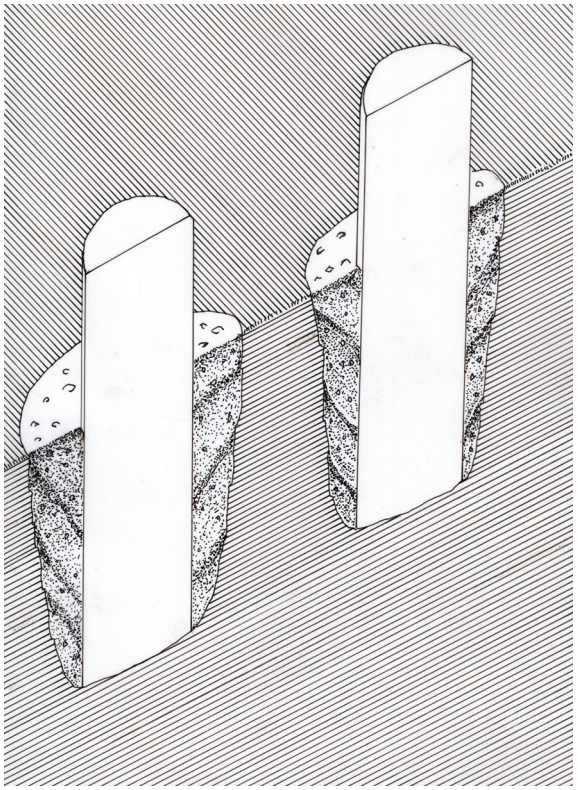


Figur 2
Stolpe i stolpehull, med skoning, i prinsipp. Tegning: J. H. Jensenius 2008.

En stolpekirkes grunnplan ble nok helst *tenkt* som en horisontal flate, symmetrisk om midtakser, med regulære

[28] Jensenius 2001: 85.
[29] Jensenius 2001: 121-171.

mål og forhold. I praksis har ofte de enkelte bygningsdelene ulike mål, blant annet på grunn av forskjeller på stokkenes rot- og toppende. Elementenes overflater var kanskje ikke helt plane og kantene var ikke helt rette. Ved overføring av en tenkt form til bakken oppstår det også lett feil og avvik, og etter at stolpene er satt ned med steinskoning i gropene er det vanskelig å gjøre om på ujevnheter i de planlagte veggfluktene. Både den danske arkitekten Holger Schmidt og den tyske ingeniøren Hans Lent peker på det ekstraarbeidet som må til for å justere fagene mellom skjevstilte stolper i en slik vegg.[30] Aktørene rundt bygging av disse kirkene må nok ha godtatt at fyllingsvegger både kunne komme ut av akse i to retninger i flaten, og ut av lodd, slik at det ble ulike avstander mellom stolpenes sentra. De avdekkede sporene etter antatte kirker med jordgravde stolper viser at det kan ha vært brukt enten svillestykker mellom stolpene eller sviller som spente mellom hjørnestolpene. Hensikten med en svill er å holde de takbærende stolpene og veggplankene på plass og fordele vekten av tak og vegger jevnt over murene de ligger på. Både byggherre og håndverker har nok akseptert en viss pasningstoleranse, det vil si summen av de enkelte delenes toleranse. Derfor



Figur 3.
Stolper i stolpegroper uten skoning, i prinsipp. Tegning J.H. Jensenius 2008.

[30] Lent 1980: 144; Schmidt 1985: 52.

har man forberedt at konstruksjonen i nivå med stavlegjene kunne ta opp i seg ujevnheter fra fundamenteringen og tillagningen, uten at det nødvendigvis påvirket bygningens stabilitet.

Gulv av jord, stein eller tre?

Om en ny kirke skulle reises, kan rester av eldre gulv ha blitt fjernet. Gulv i trekirker kan være en jordplate på et drenert underlag. Hvis man legger inn halm som forsterkning, blir platen seigere og mer isolerende; et slikt innlegg vil hindre krymping.[31] Ved stamping blir partikler av jord, sand og leire vibrert og presset sammen. Med for mye leire og for lav fuktighet bærer ikke overflaten punktbelastinger, men sprekker opp og støver. Med for høy fuktighet vil jordlaget bli for mykt å gå på. På steder der det er mest trafikk og det kommer væte, som utenfor og innenfor dører, kan det ha vært lagt steinheller. Tettheten i materialet i bakken kan gjøre at et jordgulv tar opp varme om sommeren og gir det fra seg ut over høsten. Et jordgulv er billig å lage til, det krever liten transport av masser og gir ikke noe avfall som kan råtne. Dessuten brenner det ikke, det er lett å reparerer og kan vare kirkens brukstid ut ved jevnt vedlikehold. Kanskje var det lagt flytende tregulv på lunner, eller steinheller, i noen av stolpekirkene. I Røldal kirke er det rester av et eldre gulv på bakken i nåværende kryperom under skipet; det er grove, uregelmessige heller lagt ned i leire.[32] For rengjøring kan man ha brukt tørr kost på jordgulv i stolpekirkene, mens steinheller og tregulv kunne vætes.

Råte på treverk

Råte i en trebygning er ikke bare et strukturelt problem; man kan bare til en viss grad løse råteproblemet teknisk. Furuens harpiks vil gjerne konservere tømmeret når det er felt, da kan indre deler av treet bevare sin styrke i lang tid. Mange jordgravde stolper vil over tid få råteskader i terrengnivå. Selv om man finner ulike måter å begrense slike skader på, kan man ikke forhindre dem, og årsaken er ikke nødvendigvis at løsningene er dårlige. Utgravninger viser at fundamentering med stolper er søkt løst på ulike måter. Mange er laget med så god drenering at fuktighet ikke påvirket stolpene; de sto tørt og kunne trekkes opp ved riving. Andre jordgravde stolper var skiftevis utsatt for våte og tørre forhold, særlig i bakkenivå. Det må også ha vært

[31] Forfatterens observasjoner ved diverse jordgulv.
[32] Jensenius 1998.

stolpegroper uten tilstrekkelig drenering, hvor det til stadighet sto fuktighet, slik at deler av stolpen ble angrepet av råte og svekket over tid.

Forkulling er med på å forsinke vannopptak i treverk og dermed kolonisering av mikroorganismer. Den romerske ingeniøren Vitruvius sier at stolper av svarthyll, oliven eller eik kan settes i fuktig jord når de er gjort harde ved brenning.[33] Den britiske arkitekten og oppmåleren F. Reinnel skriver i sin bok fra 1854 om "Charring timber" at om man svir enden av en stolpe og deretter avkjøler den med vann, vil den ved nedgravning stå imot fukt lenger enn om den var smurt inn med bek.[34] Skogforskerne Barry T. Clarke og R. C. Boswell har ved forsøk i Storbritannia reist tvil om en kullfront på stolpeenden forlenger jordgravde stolpers holdbarhet i særlig grad.[35] I minst 22 av stolpehullene fra antatte kirker i Norge er det påvist trekull (fig. 2). Dette kan være løse trekullbiter som er lagt ned rundt stolpeenden, eller rester av selve stolpeenden. Tanken må ha vært at cellelaget på stolpeenden innenfor en 1-2 cm dyp kullfront blir lukket og beskytter treet mot fuktighet; ved det kunne stolpen beholde stivhet og bæring lenger. Treteknologene Per-Otto Flæte og Olav Høibø kom også til at forkulling av stolpeenden ikke hindrer, men nok utsetter at fukt trenger inn i treet.[36] Konklusjoner etter slike forsøk med forkulling kan ha begrenset gyldighet for eldre situasjoner, til det er det for mange tids- og stedsbestemte avhengigheter, for eksempel kan mikroklimaet på stedet påvirke resultatene.

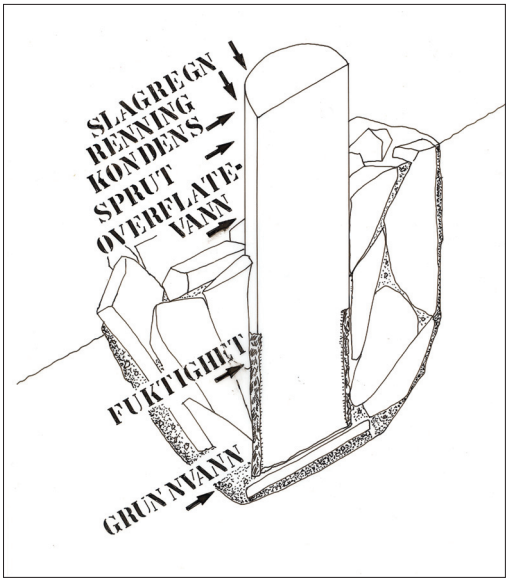
Et eksempel på bevaring av tre i Norge er Raknehaugen på Romerike, hvor tre lag tømmer var stablet og dekket av ulike lag matjord, myrjord, leire og sand som hadde forseglet og bevart mye av treverket. Ved Sigurd Griegs undersøkelse i 1939-40 kom han til at 94 % av 175 stokker var felt samme vinter, resten 1-2 år tidligere. En av stokkene som er bevart i Kulturhistorisk Museum i Oslo er datert til å være felt mellom år 533 og 551 e.v.t.[37] En gruppe forskere fra Europarådet har undersøkt arkeologisk materiale fra Tyskland, Nederland, Storbritannia, Italia og Sverige. De viser at nedgravd tømmer kan ha beholdt sin styrke selv etter 6-10 000 år. Konklusjonen deres er at det ikke kan sies noe generelt om varighet i år på tømmer som ligger i jord, tidslengden avhenger av treslag, jordsmonn, klima, drenering og konstruksjon.[38]

[33] Vitruvius 3,4,2; Rowland and Howe 1999: 51; Schmidt 1985: 52.
[34] Reinnel 1854: III, 20.
[35] Clarke and Boswell 1976: 13.
[36] Flæte og Høibø 1999: 9, 15.
[37] Skre 1997: 31.
[38] Baztura 2003: 2001-00043.

Fuktighet og bæreevne

Selv om kirkene etter tradisjonen skal være orienterte og dører derfor gjerne blir satt i veggene i vest og sør i kirkene, må man i deler av Norge også ta hensyn til hvor regnet og snedriften kommer fra lokalt. Der vindhastigheten er størst, vil det dannes minst fonner, mens mye vind og en snebar tomt gjør at telen går dypere. Når kirker er lagt parallelt med kotene og langveggene står på tvers av stigende lende, kan overflatevann renne inn under gulvene og samle seg der. Hvis terrenget skråner ut fra bygget blir det mindre oppsprut av tak- og regnvann. Vann fra taket faller i stille vær ned i takdryppet og suges opp av jorden, men vind kan redusere farten og tvinge vannet inn mot veggen. Da har takvannet mindre horisontal slagkraft enn regn som kommer fra stor høyde, derfor blir det gjerne mindre fukt på veggen fra takdrypp enn fra slagregn (fig. 4).

Fuktigheten i luft går over til vann når luften blir avkjølt, for eksempel når den treffer en kald flate. Nord- og østvegger i kirkene får gjerne mindre solvarme enn de søndre og vestre, så fuktighet i luften kan her binde seg til veggflatene som vanndråper. I vinterhalvåret kan derfor vegger på øst- og nordsiden av kirker være konstant på duggpunktet. Ved smelting og frysing i bakkenivå kan jordgravde stolper være særlig utsatt for råte her. Fukt i grunnen blir suget opp i endeveden av en vertikal stav både under og over bakken på grunn av ulikt trykk i porevannet og omgivelsenes totaltrykk. Mengden av fukt avhenger av om snittet er saget, hugget eller oppsplintret.[39] Råte svekker treverket inntil det blir komprimert og sakte gir etter, slik at vekten

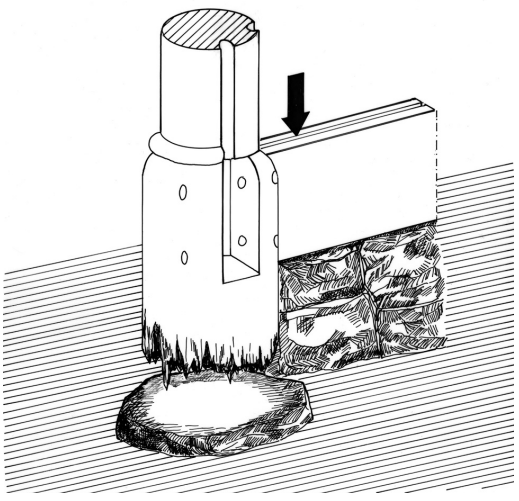


Figur 4. Ulike påvirkninger på stolpene. Tegning J. H. Jensenius 2008.

[39] Almeida and Hernández 2007: 34.

av stolpen og det den bærer blir ledet til svill og ringmur. Resultatet av dette kunne man dokumentere i Røldal kirke før 1913. Da hjørnestolpene her ga seg, ble vekten fra taket omlagret til svillene, som enda hadde reserver i bæreevnen.[40] I Ringebu kirke ble det i 1982 vist at fukt på fundamentsteinen hadde trukket opp i omgangens nordøstre hjørnestav og svekket den slik at den hang på svilleenden (fig. 5). Så lenge svillen bærer staven, er veggen stabil. Først når vekten blir flyttet over på deler som er mindre motstandsdyktige, vil dreiemomenter og tyngdekraften kunne bryte ned deler av bygningen.

Hulråte, der mye virke er borte og det bare er bevart trerester eller tydelig trestruktur i bunnen og langs kantene, er dokumentert i minst 66 av de avdekkede stolpehullene fra antatte trekirker i Norge.[41] Slike trerester i bunnen av stolpehull *kan* være deler av løse stabber som har blitt stående igjen, slik også Jon B. Godal har foreslått.[42] Når det gjerne blir antatt at dette er restene etter takbærende stolper, er det fordi så mange stolpehull er uten trerester, og at stolpehullet er fylt av nedrast masse fra overflaten. En forklaring på stolperester er at man ikke har visst hvor dypt stolpene sto i gropen når bygningen skulle rives. Man kan derfor ha hugget stolpene av over bakken, i sammenføyningen mellom svill og stolpe, der stolpene hadde minst volum. Mens den øvre delen av stolpen kunne bæres vekk fra tuften, ville den nedre resten av stolpen bli stående igjen i hullet. Noen ganger kan den ha blitt trukket opp, andre ganger har man bare fylt over restene av den. Om treresten var frisk, noe råtten, delvis råtten, eller helt råtten ved



Figur 5
Ringebu stavkirke, omgangens hjørnestav i prinsipp. Tegning: J. H. Jensenius 2008.

[40] Jensenius 1998.
[41] Jensenius 2001: 121-171.
[42] Godal et al 2009: 138.

rivning kan ikke fastslås i vår tid. En slik råtten trerest i et stolpehull kan derfor være et falskt positivt funn, fordi treet kan ha råtnet i løpet av hundreårene fra kirken ble revet.

Funksjonell brukstid og rivning

Kirken var både universell og lokal samtidig, på en slik måte at fremmede tradisjoner nokså usystematisk ble blandet med lokale vaner. Kirken hadde ingen nedskreven, normativ mening om nye kirker, og innvielsen fungerte som biskopens godkjenning. Innvielsen var den samme uavhengig av bygningenes materiale, størrelse, utstyr og form. På et symbolsk plan er biskoppelig innvielse av alter og bygning ideell ved at den gis for tid og evighet. Men en kirke kan som enhver annen bygning rives og bli tatt ut av bruk når som helst, slik at dens status opphører. Dette kan virke selvmotsigende, om man ikke tar med at meningen med innvielsen av alteret er å synliggjøre at det bare skal brukes til feiring av messen. Men selv om det ikke blir bygget en ny kirke samme sted ved nedleggelse, kan tuften ha blitt søkt bevart ved inngjerding, fordi den stadig ble sett på som et helligsted, og også fordi gravene ble liggende. Ønsker man en bygning med lang brukstid, må man velge løsninger som bare sakte slites ned. Materialene må ha høy kvalitet og gode egenskaper, designen må være god, med vekt lagt på detaljer, og utførelsen må være god. Borgartings og Eidsivatings eldre kristenretter viser til tolkningsregler for dette i området rundt Oslofjorden.[43] Når det i Eidsivatings eldre kristenrett står at *"kirkia fællr niðr"*, er det uklart om det menes at hele eller bare deler av en kirke er forfallen, om den er til nedfalls, om kirken er i ferd med å falle ned, eller om den allerede ligger sammenrast.[44] Rettsreglene beskriver bare en erfart, generell tilstand for kirkene. Teksten er derfor holdt teknologinøytral; den skiller ikke mellom ulike byggemåter og går ikke i detalj om bygningenes tilstand.

En kirkebygning er ikke permanent, den blir stadig forandret av bruken, av ombygging og av sakte slitasje på grunn av klimaet. I denne artikkelen blir treverkets holdbarhet betraktet overgripende, og ikke bare som en egenskap ved et materiale; holdbarheten av kirken blir definert i forhold til hvor lenge bygningen kunne brukes. I dag vet man ikke hva forventet brukstid for en trekirke kan ha vært fra innvielsen. Uansett kunne håndverkerne neppe anslå eller garantere en antatt brukstid, siden den avhang av bygningens soliditet, det fremtidige vedlikeholdet, drift, bosetting,

[43] Halvorsen og Rindal 2008: xviii, xxiv.
[44] E. 34.1, NGL I, 387; Halvorsen og Rindal 2008: 36-37.

økonomisk evne og vilje, bruksforandring og nye behov. De bevarte trekirkene, og spor etter nedrevne trekirker, viser hvordan håndverkerne har søkt å forebygge fuktskader ved å drenere, ved å unngå å lage horisontale flater og vannfeller, og ved å reise svalganger og andre skjermende overbygg. Alt dette viser til en omfattende planlegging, en overlevert forutseenhet, et bevisst forsøk på å utsette nedbrytingen og forlenge brukstiden for bygningen.

En del stolpehull uten trerester viser at stolpene som ble trukket opp fra dem stadig må ha hatt en fast overflate ved rivningen. Slike tomme stolpehull ble blant annet avdekket i Kaupanger II, Eidskog, Høre I, Ringebu I og Bø I. Håkon Christie skriver om en av de antatte stolpekirkene i Urnes:

> Den kan heller ikke være blåst overende, for da ville stolpehullene bli ganske annerledes ødelagt.[45]

Han mener antagelig at stolpens ende ville løfte og skyve til side steinpakning og tilbakeførte masser i den delen av stolpehullet som lå motsatt fallretningen for stolpen. Stolpehullets kant under den fallende stolpen ville bli trykket ned og til siden. Resultatet ville uansett bli et omrotet område, selv om kanskje ikke hele hullet ville bli omrotet. Med det antyder han at stolpene ble trukket opp av hullene ved rivning av kirken.

Man må kunne anta at trekirker ble funnet uegnet til liturgisk bruk lenge før de falt ned; når råte og mekaniske påvirkninger hadde laget hull i tak og vegger og svekket sammenføyninger. I Eidsivatings eldre kristenrett sies det at tømmer skulle føres til tuften, og tømmer trengs ikke bare ved nyreisning, men også ved reparasjon, vedlikehold og ombygging.[46] Når forfallet ikke lenger kunne godtas, måtte man enten vedlikeholde, reparere, bygge om eller rive og bygge nytt. En bygning som ikke brant, ble tatt av flom eller ras eller blåste overende, må ha blitt revet for hånd når den skulle erstattes.

Fortsatt bruk av stolpekirker

Man hadde rimeligvis gjerne praktiske grunner til ombygging. Abbed Suger i St. Denis utenfor Paris skriver at det i år 1137 var nødvendig å bygge om for å få flere og

[45] Christie 1958: 72.

[46] B. 8, NGL I, 343-344; E. 35,36, 39, NGL I, 387-388; Halvorsen og Rindal 2008: 41-43; 133-135.

større dører i vest og for å øke arealet i kloster- og pilegrimskirken fra år 775.[47] En undersøkelse av bygninger i Warwickshire i England viser en samtidighet mellom økt folketall og økt gulvareal i hele perioden fra 1200–1535. Påvisning av en slik sammenheng kan virke banal, men den er hverken entydig eller selvfølgelig. En rask øking av areal ved ombygging forutsetter både vilje og ressurser, og det må ha vært gode grunner til en slik ombygging.[48] Om man ønsket et større volum, kan man ha bygget om og bygget til, så langt det var hensiktsmessig. Dersom kostnadene for reparasjon og ombygging ble ansett å være for høye, gikk bygget ut på dato. Å fornye, forbedre og sette i stand er et gode i seg selv, og det kan ha vært ønske om både å modernisere og å synliggjøre og øke kirkelig innflytelse.

Ulik økonomi og ulike behov førte til variasjon i byggeprogrammene. Da erkebispedømmet i Nidaros ble opprettet fra år 1152–53, var det i Norge i bruk *små* stolpe-, stav- og steinkirker, *middels store* stav- og steinkirker og *store* steinkirker. Ingen av disse ulike kirkene kan sies å være riktigere teknisk løst enn andre; de kan heller ses som optimale løsninger ut fra antatte behov og ønsker, og ut fra tilgjengelige ressurser og oppfatninger. En kirke av god kvalitet kan bli definert som en bygning som tilfredsstiller oppdragsgivers og brukers spesifikasjoner, behov og forventninger. Men det er nok ulike meninger om bruksegenskaper, teknisk kvalitet og estetisk kvalitet. Hvis man ønsket en ubrutt liturgisk praksis, måtte ny kirke reises før eller samtidig med at man rev den eldre. I noen kristenretter er det fastsatt bøter for ikke å reise ny kirke til erstatning for den nedrevne innen gitte tidsfrister.[49] Når de tidlige stolpekirkene i Urnes, Mære og Kaupanger ble erstattet av nye stolpekirker med omtrent samme areal, kan det bli tolket som at tiltakshaver fant at jordgravde stolper og bygningenes størrelse stadig var velegnet. At man har stått overfor valg, vises ved at det ble planlagt og reist kirker med ulike fundamenteringer på omtrent samme tid. Da man bygget en stavkirke i Urnes i siste halvdel av 1130-årene, var det kanskje bare noen år før reist en stolpekirke i Ringebu. Dette må kunne forstås som at overgangen fra stolpe- til stavkirker ikke foregikk samtidig over hele landet, og at verken Kirken sentralt eller lokale tiltakshavere hadde et felles syn på byggemåte. Stolpekirkene før stavkirkene i Lom, Høre, Ringebu og Kaupanger, og før steinkirkene i Mære, Bø og Kinsarvik, ble antageligvis revet etter delvis eller hel ferdigstillelse av den nye kirken, og det foregikk på ulike tidspunkter i siste halvdel av 1100-tallet.

[47] Panofsky 1979: 43-45.
[48] Proudfoot 1983: 244-246.
[49] E. 39, NGL I: 388; B. 8, NGL I: 343-344; Halvorsen og Rindal 2008: 43; 133-135.

På Kyrkjevodden under gården Åknes i Åseral er det avdekket et antatt kapell, der mellomstolpen i veggen er radiologisk datert til år 1210–1270, som vist av arkeologen Frans-Arne Stylegar.[50] Arkeologen Gaute Reitan formoder at en antatt stolpekirke i Skien, kalt Faret II, kan være reist sent i middelalderen.[51] Måten Røldal kirke er bygget på er blitt sammenlignet med Finnesloftet på Voss, som er datert til etter år 1295. En treringdatering finnes ennå ikke for Røldal kirke.[52] Ved ombygging av kirken i 1913 ble antagelig to hjørnestolper kappet og satt på steiner over deres gjenfylte stolpehull. Hvis dette er en riktig tolkning, var Røldal en rimelig sent reist stolpebygning.[53]

Lorentz Dietrichson laget en liste over 322 navngitte trekirker. I 1892 kunne han ikke kjenne til kirker med jordgravde stolper; derfor antok han at alle omtalte trekirker liknet på de bevarte stavkirkene han hadde sett.[54] I følge Dietrichsons liste var det bevart 271 stavkirker i 1650. Hvor mange av disse stavkirkene hadde jordgravde, takbærende stolper? På hvilket tidspunkt kan valget ha stått mellom to like mye brukte byggemåter? Hvor mange stavkirker revet rundt år 1800 var egentlig stolpekirker?

Ut fra det som er dokumentert ble det fortsatt reist stolpekirker gjennom middelalderen. De tidlige stolpekirkene ble nok vedlikeholdt og brukt inntil de ble revet og erstattet av en ny, gjerne større og mer moderne, tre- eller steinkirke. Det er derfor ikke rimelig å anta at råteskader var den eneste og viktigste årsaken til at man valgte å reise stavkirker på holdsteiner fremfor stolpekirker.

B. Stavkirker

Utskiftingen av stolpekirker kan ha tatt tid, fordi bygningserfaring, synet på penger, valg av materialer, tilgang på arbeidskraft og estetisk oppfattelse bare ble sakte forandret over tid. Det samme gjelder nok for valg av bygningenes form og størrelse, den overførte kunnskapen, måten å sammenføye på, materialenes dimensjoner og rekkefølgen delene ble montert i. Tross ulikheter må det gamle og det nye ha hatt en felles basis i prosjektering og håndverkspraksis, i sosial og økonomisk praksis for bygging. Ulike forutsetninger for initiering av kirkereisning er blant annet drøftet av Jan Brendalsmo.[55] Hvordan materialer er valgt, målsatt og tilhugget er beskrevet av Harald Bentz Høgseth.[56] Lignende bæresystemer for trebygninger for annen bruk

[50] Stylegar 2001.
[51] Reitan 2006: 264–265.
[52] Berg 1995: V, 227-240.
[53] Jensenius 1998.
[54] Dietrichson 1892: 440-512.
[55] Brendalsmo 2006.
[56] Høgseth 2007.

i Norge er vist av Jon Bojer Godal og andre.[57] Den endelige monteringen av de tilhuggete materialene er omtalt blant annet av Håkon Christie i hans bok om Urnes stavkirke.[58]

En stor del av konstruktive løsninger, materialvalg, tillaging og montering for en bygning med jordgravde stolper kan ha gjeldt også for bygninger med hjørnestaver på mur, og de med holdsteiner og grunnstokker; langt på vei er nok stolpekirker også stavkirker. Hva kalte man i samtiden disse stavbygningene med hevet midtrom, for å skille dem fra stolpebygningene? Man kan ha tatt vare på materialer fra nedrevne kirker, materialer som stadig var friske og som kunne bli gjenbrukt. Hvis den nye kirken hadde noenlunde samme konstruksjon og mål som den nedrevne, ville man kunne gjenbruke materialer med mindre tilpasninger. Urnes er et eksempel på at man for den stående kirken valgte en noe annen byggemåte enn de tre foregående bygningene på tuften, og med andre mål. Det gjorde at gjenanvendte materialer fra kirken som var reist ca år 1060–1070 og kanskje revet i siste halvdel av 1130-årene, måtte justeres kraftig for å passe til den nye bygningens mål og forhold.[59]

Tuften

For å reise en ny trekirke på en tuft måtte man gjerne flytte jord- og steinmasser. Om det hadde stått en kirke der før, måtte man gjenfylle stolpegroper og avrette tuften. I de kirkene som er dokumentert, har man ved nyreising ofte, men ikke alltid, fulgt den eldre kirkens orientering.[60] I Lom stavkirke er grunnstokkene lagt omtrent rett over de gjenfylte stolpegropene. Én grunn til avvik fra en eldre kirkes plassering eller retning kan ha vært behovet for en justering av lengdeaksen fordi tuften skrånet, som i Ringebu.

Holdsteiner og mur

For å reise en stavkirke med et definert midtrom, må man også fundamentere for stavene i midtromsveggene. Fire punkter som danner hjørnene på et rektangel, blir stukket ut; her blir det gravet groper som det blir lagt holdsteiner nedi. Holdsteinene har ujevn form, med en diameter på kanskje én meter, steinenes overside er lagt i

[57] Godal et al 2009.
[58] Christie 2009.
[59] Christie 2009: 105-108; Krogh, i trykken.
[60] Jensenius 2001: 83-84.

samme høyde (fig. 6). Rommet mellom bakken og gulvet og svillene er gjerne fylt av en enkeltvanget tørrmur av rydningsstein i en grunn grøft, i tilnærmet forband.

Grunnstokker og gulvplanker

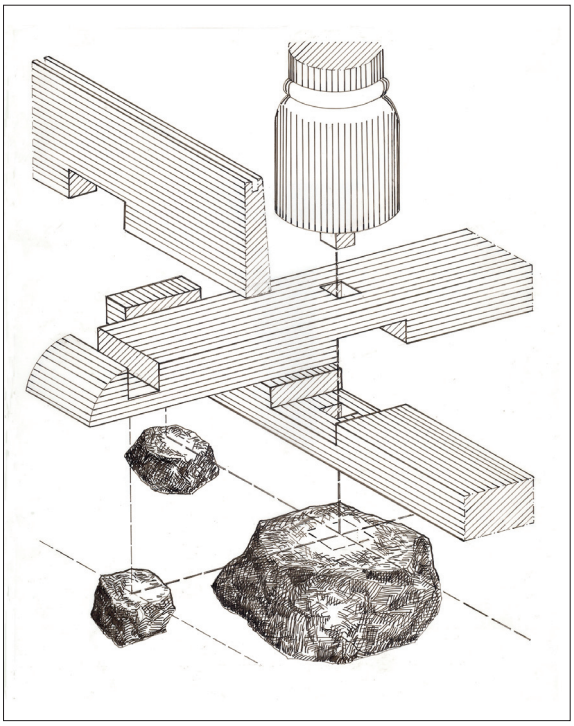
I en bygning med et høyere midtrom måtte også gulvet være laget på en annen måte enn i stolpekirkene. Bjelker med rektangulært tverrsnitt, grunnstokkene, er lagt på bredsiden og felt sammen med bladskjøt i kryss (fig.6). Kryssene er lagt i samme høyde på de fire holdsteinene; man kan ha brukt en loddestokk for vatring av stokkene. Der gulvbordene er halvkløvninger, er hver ende gjerne festet med trenagler i falser i grunnstokkene. Halvkløvningene er fintelgjet på margsiden som vender opp, mens undersiden kan være grovhugget eller bare barket. Grunnstokkene har minst elleve egenskaper, hvor flere funksjoner er kombinert:

- Et fundament med grunnstokker reagerer delvis fritt på terrenget.
- Grunnstokkene fordeler vekten av bygningen jevnt over en større flate.
- De kan gis nøyaktige mål, som minsker pasningstoleransen for resten av bygningen.
- De er både bjelkelag og opplegg for gulvplankene.
- De holder hverandre og veggsvillene fast, i rett vinkel.
- De hever bygningen over bakken, som et etasjeskille over kryperommet.
- Konstruksjonen kan gi seg i flere retninger uten å sprekke opp.
- Gulvet i skipet kan ha vært brukt som sperremal og for avbinding.
- Fotpunkter på staver kan holdes i samme høyde med fast avstand.
- Grunnstokkene støtter ved reisning av stavene.
- Grunnstokkene er som del av gulvet en referanseflate som loddlinjer og høyder kan bli justert fra ved monteringen.[61]

En variant finnes i Uvdal og Nore. Her er det grunnstokker, men kirken har ikke høyt midtrom. De korte grunnstokkene understøtter derimot en femte stokk som bærer midtstaven for takrytteren.

Når løsningen med bladskjøtte grunnstokker og staver med endetapp i utsparing i grunnstokkene kom i bruk i norsk husbygging er ikke kjent. Andre steder i Sentral- og Nordeuropa var dette en gammel løsning; byggemåten er dokumentert i det

[61] Jensenius 1988: 41-48.



Figur 6
Holdsteiner, grunnstokker, sviller og staver, i prinsipp. Tegning: J. H. Jensenius.

romerske legionfortet i Inchtutil nær Dunkeld i Skottland, fra rundt år 85 e.v.t. Fortet, som dekket 22 hektar, hadde bygninger i reisverk.[62]

Det er vrient å overføre en tenkt form målriktig til bakken for bygninger med jordgravde stolper. I en bygning i reisverk derimot kan hovedmål mellom fastsatte punkter i grunnstokker og sviller bli justert ved kontroll med utlagte diagonalmål før knær blir naglet på i hjørnene. Høyden av gulvet kan justeres på holdsteinene. Ved utgravningen i 1981 i Ringebu stavkirke ble høyden på grunnstokkenes oversider i kryssene målt med et vertikalt avvik på ± 1,5 cm over et år. Ved hjelp av en valgt alenstokk eller et fotmål kan man oppnå en slik nøyaktighet. Håndverkerens tilfeldig kalibrerte alenstokk vil være like presis ved hver gjentatte måling og utstikking, selv om den ikke nødvendigvis overfører designens nøyaktige dimensjoner til bygningen. Man oppnår presisjon, men man får ikke nødvendigvis den planlagt nøyaktigheten.

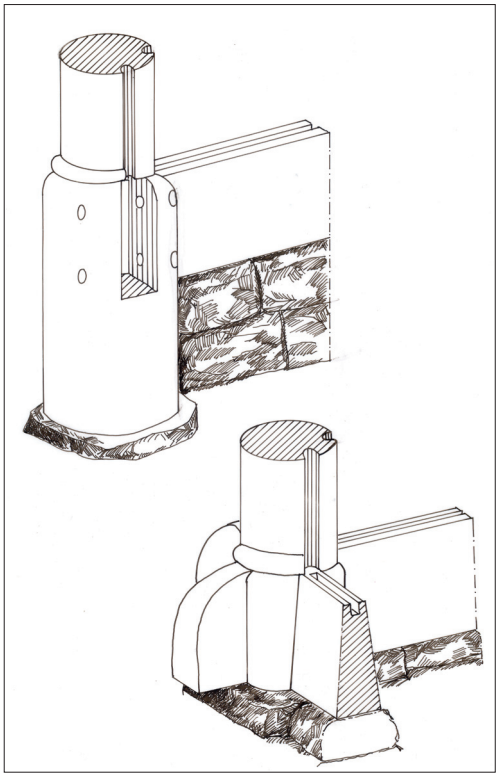
Omgangsveggens sviller og hjørnestaver

Omgangens sviller er spent mellom hjørnestavene og blir gjerne båret av en enkel

[62] Shirley 2000: 63-65.

tørrmur (fig. 7). Svill, stavlegje og hjørnestaver danner en fireleddet ikke-stiv ramme. Tilene er derfor ofte avstivet med kryssende skråbånd på innersiden av veggen. De ligger utenpå veggtilene, men er felt inn i stavene og festet med trenagler; de tar strekk. Stavene har en base med tverrmål på 0,35–0,50 m som utligner noe for utsparingen for svillene. Svillene er gjerne hugget av én stokk med høyt, trapesformet tverrsnitt og kan ta store vertikale laster. Svillenes undersider er kammet ned i en fure i enden av grunnstokkene. I oversiden står veggtilene føyet sammen i en not (fig. 6).[63] Sviller som er festet inne i hjørnestavenes baser kan hindres i å vri seg, og avstanden mellom hjørnene kan fastlegges med rimelig nøyaktighet.

Det er kjent to måter å føye sviller og staver sammen på (fig.7). For det første kan svillene være laftet mens hjørnestavene er gaflet ned over dem. Stavklørne kan være av ulike lengder, men prinsippet er det samme i Hopperstad, Kaupanger, Urnes, Lom, Undredal, Garmo, Fantoft, Haltdalen og Høyjord. For det andre kan svillene være gjæret sammen og felt inn i hjørnestavenes baser. Der har de et rektangulært tverrsnitt med innhakk, kalt en bladtapp med én skulder. En slik løsning er valgt i Flesberg, Nore, Uvdal, Reinli, Hedal, Borgund, Høre, Lomen, Torpo, Gol, Ringebu, Heddal, Øye, Rødven, Rollag og Kvernes kirker. Avstanden fra underkant



Figur 7
To løsninger av hjørnestaver, i prinsipp. Tegning: J. H. Jensenius 2008.

[63] Sviller fra 900-tallet med not ble avdekket i Skeldergate, se Addyman 1979.

av svill til underkant av base er ca. 0,20 m i Flesberg, Nore, Uvdal, Reinli, Hedal og Borgund, ca. 0,25 m i Høre og Torpo, og ca. 0,30 m i Lomen og Ringebu. Forlengelsene av staven under svillen er neppe statisk nødvendig, men kan i det minste bidra til mindre oppsprekking av basen. Svillene er gjerne holdt fast i rett vinkel av horisontale knær, som er hugget til rundt stavbasene og festet til svillene med gjennomgående trenagler. Hullene er boret med navar, men trenaglene kan være vridd, være stjerneformet eller mangekantet slik at hjørnene kommer i spenn i veden. I en splitt i enden av naglen er det ofte drevet inn en motkile som presser naglen fast i hullet.

En slik trebygning skal være stiv, men ikke for stiv. Kreftene vil alltid følge den stiveste veien; alle sammenføyninger bør derfor kunne ta deformasjon før et brudd.[64] Det kan være vanskelig å forarbeide bygningsdeler nøyaktig til et bestemt mål, man kan bare vente at målet ligger mellom visse grenser, største og minste mål. Mens mange av forbindelsene har klaringspasning, det vil si en klaring mellom de to delene, er gjerne tappene større enn hullene, der har man en presspasning.

Midtrommet

En form for makt er å kunne bestemme hvordan kirker skal designes, bygges og utstyres; en annen hvordan bygninger skal beskrives og tolkes.[65] Enkelte forfattere legger vekt på hvilken rolle makt og økonomi spiller ved kirkebygging og hvordan store og kostbare bygninger også blir reist ut fra et ønske om å demonstrere sosial makt i tillegg til å være et politisk signal.[66] Synlighet er gjerne del av enhver logikk for institusjonalisering, godtakelse og symbolsk integrasjon; kirker med et definert midtrom kan ofte ha virket som signalbygg i et landskap.

Noen bygningsdeler er definert ved betegnelsen *midtrommets*: staver, buefelt, øvre og nedre tenger, andreaskors, plankevegg, bete, buekne, ås, sperre, saksesperre, hanebjelke og mønsås. Andre er stedsdefinert ved betegnelsen *midtromsveggens:* svill, stavlegjes underligger og overligger, raftestokk. Selv om terminologien er etablert i litteraturen, særlig av Håkon Christie, er den ofte ikke opprinnelig, og den er ikke tidløs, entydig og uten alternativer. Midtrommet er forstått som rommet avgrenset av den indre stavrekken. Det er entydig fra mønet og ned til underkant av midtromsveggens svill, men derfra og ned til gulvet er det uklart. Hvor går romavgrensningen

[64] Rønningen 1990.
[65] Sedlmayr 1950; Bandmann 1951; Jones 2000.
[66] Brendalsmo 2006: 263-284.

i høyde med buefelt, tenger og andreaskors? Hvor slutter midtrommet og hvor begynner omgangen nede på grunnstokkene? Er det ved en linje trukket parallelt med stavenes yttersider, med deres innersider, eller går den gjennom stavenes tapper? Kan hende ble målene for midtrommet satt i raftet og midtromsveggens sviller.[67]

Stavene i midtrommet, reisning

Trekirker med høye midtrom er en komplisert variant; ønsket om å lage slike bygninger krevde spesielle løsninger. Stavene i midtrommet i flere kirker er rundt 8-10 m høye. Spørsmålet har neppe vært hvor høy en stavkirke *kunne* lages, men heller hvor høy den *trengte* å være. Høyden på kirker er ikke funksjonelt betinget, det var hverken krav eller behov for å bygge høyest mulig ut fra liturgi eller trospraksis. Kan hende kom man frem til en høyde som var innenfor økonomiske og praktiske grenser; der det var ikke bryet verdt å bygge høyere.

Staver av massivt tre har god stivhet og bæreevne. For å reise en stabil konstruksjon på 10-12 meter trenger man en byggeflate som ligger i vater og ikke gir etter i noen retning. Stavene som står på grunnstokkene er gjerne barket og skavet rundtømmer, men tverrsnittet kan også være ovalt. I de kirkene der stavene har baser, blir stavenes vekt fordelt over et større areal på grunnstokkene (fig. 6). Bæresystemet for midtrommet blir støttet av omgangene. Det har ingen deler som tar strekkrefter; det er leddet i stavlegjene og ved grunnstokkene. En firkantet eller rund tapp i enden av hver stav er trædd ned i et hull i grunnstokkene, dette holder stavene i jevn avstand to veier. Hullet kan være sirkulært, eller rektangulært som i Urnes.[68] Tappene har ulike lengder og er lik høyden på grunnstokkene, ± 1-2 cm. Noen tapper er rett avskårne, andre har en avfaset kant for å kunne gli ned fra én side ved monteringen. I Lom er minst én stav forkilt fra undersiden, noe som kan ha vært gjort mens staven lå nede. Ut fra dette er det foreslått at de lengste stavrekkene ble vinsjet opp som ramme over en bukk mellom stavrekkene.[69] Ved gravningen i 1973 i Lom ble det ikke dokumentert avtrykk i bakken *mellom* grunnstokkene som kunne skrive seg fra et slikt vindespill. Kan et vindespill ha vært lagt *på* de grunnstokkene som først ble lagt ut? Dette varierte, de korte grunnstokkene ble lagt ut først på holdsteinene i Lom,

[67] Jensenius 1988: 54-55; Godal et al 2009: 28-29, 226.

[68] Christie 2009: 66-67.

[69] Et forenklet forsøk ble utført i Lom i juni 2008 på P-plassen foran kirken (Sørumgård et al 2008). Slike forsøk viser kanskje mer hvordan noe *ikke* kan ha vært gjort enn hvordan det kan ha vært gjort. Men en liknende måte å reise 1100-talls-bygninger på i Essex er foreslått av Hewett 1966: 68.

Kaupanger, Urnes og Borgund. I andre kirker, som i Gol, Torpo, Flesberg, Ringebu, Hedal, Lomen, Høre og Hopperstad ble de lengste grunnstokkene lagt ut først. Stavene kan også være reist enkeltvis og avstivet. Spørsmålet om i hvilken grad og på hvilken måte stavene er brukt som del av stillas under monteringen, er også relevant og krever en grundigere drøfting. Men stillas blir revet, utsparinger blir spunset og naglehull blir tildekket når en bygning blir ferdigstilt. Derfor kan det være vanskelig å finne spor og påvise sammenhenger mellom eventuelle bevarte spor, og om de kan skrive seg fra midlertidige hjelpekonstruksjoner.

Stavenes lengder kan i utgangspunktet være bestemt ut fra tilgang på tømmer, antatt vindtrykk og vekten av takverket, og etter forbilder. Når spennet over kirkerommet øker, øker tverrsnittet på sperrene kvadratisk og vekten av dem kubisk. Om planen dobles, økes vekten av bygningen åtte ganger. En stor bygning må derfor prosjekteres, konstrueres og dimensjoneres annerledes enn en mindre.

Avslutning

I denne artikkelen er det vist til at ulike grunnforhold gjerne førte til ulike konstruksjoner. Dessuten at forskjellige ønsker, behov og ressurser ga kirker med ulikt areal og form. Det er også pekt på at både sagatekster og Dietrichsons liste over trekirker er konstruksjonsnøytrale; ut fra disse kildene vet man i dag ikke om kirkene var stolpe- eller stavkirker. Det blir argumentert for at forskjellen mellom de to måtene å fundamentere på ikke er at den ene er bedre enn den andre; begge løsninger kan sies å være teknisk rasjonelle og optimale ut fra sine betingelser. Selv om man gradvis gikk over til fundament på holdstein, fortsatte man å reise kirker med jordgravde stolper gjennom hele middelalderen.

Det blir derfor foreslått at den antatte stolpekirken i Urnes fra ca år 1070 må ses som en etterligning av eldre, lokale forbilder med jordgravde stolper. Den stående kirken i Urnes fra 1130-årene kan være etterligning av eldre, lokale, stavkirker med grunnstokker på holdsteiner. Men inntil spor etter eldre kirker med forhøyet midtrom blir funnet, må dette ses på som en hypotese.

Artikkelen er en utvidelse av et innlegg på engelsk til ære for Erla Bergendahl Hohler i Vitenskapsakademiet i Oslo 01.12.2007. Takk til Hans Olav Aanensen, Gry Alfredsen, Leif Anker, Jan Brendalsmo, Håkon Christie, Ole Egil Eide, Anders Frøstrup, Jon Bojer Godal, Harald Bentz Høgseth, Knud Krogh, Øivind Lunde, Terje Planke, Gaute Reitan, Bjørn Sandaker, Mona Bramer Solhaug, Frans-Arne Stylegar, Sverre Sørumgård og W. Haio Zimmermann for verdifulle kommentarer til ulike utkast av artikkelen.

Bibliografi

Addyman, Peter 1979. "Vernacular buildings below ground". *Archeological Journal*, v. 136: 69–75.

Ahrens, Claus 2001. *Die frühen Holzkirchen Europas.* Bd. I–II. Stuttgart.

Almeida, Giana and Roger E. Hernández 2007. "Influence of the pore structure of wood on moisture desorption at high relative humidities", *Wood Material Science and Engineering,* vol. 2: 33 – 44.

Anglert, Mats, Magnus Artursson & Fredrik Svanberg (red.) 2006. *Kulthus & Dödshus. Det ritualiserade rummets teori och praktik.* Stockholm.

Askerøy, E. og O. Eikeland 2006. *Som gjort, så sagt? : yrkeskunnskap og yrkeskompetanse.* Høgskolen i Akershus.

Bandmann, Günther. [1951]1989. *Mittelalterliche Architektur als Bedeutungsträger*. Berlin.

Barnes, Carl F, jr. 2009. *The Portfolio of Villard de Honnecourt. A New Critical Edition and Color Facsimile.* Ashgate, Surrey.

Baztura, Joanna (ed.) 2003. The City of Tomorrow and Cultural heritage, Environment & Sustainable Development, Key Action 4. FP5 Projects, EU: 2001–00043, Chapter 2.

Berg, Arne 1989-1998. *Norske tømmerhus frå mellomalderen*, Bd. I–VI. Oslo.

Bjerknes, Kristian og Hans-Emil Lidén 1976. *Kaupanger stavkirke og dens konstruksjon*, Riksantikvarens skrifter, vol. 2. Oslo.

Brendalsmo, Jan 2006. *Kirkebygg og kirkebyggere. Byggherrer i Trøndelag ca. 1000–1600.* Oslo.

Christie, Håkon 1958. "Urnes stavkirkes forløper belyst ved utgravninger under kirken." *ÅFNFB*. Bd. 113: 49–74.

Christie, Håkon 1961. "Kinsarvik kirke og dens restaurering." *ÅFNFB*. Bd. 116: 47–112.

Christie, Håkon 1974. *Middelalderen bygger i tre.* Oslo.

Christie, Håkon 1981. "Stavkirkene – arkitektur." I: *Norges Kunsthistorie*. Bd. I: 139-252. Oslo.

Christie 2009. *Urnes stavkirke. Den nåværende kirken på Urnes*. Oslo.

Clarke, J.C. & R.C. Boswell 1976. "Tests on round fence posts." *Forest Record,*108: 1–44.

Coyne, R. and A. Snodgrass 1991. "Is designing mysterious? Challenging the dual knowledge crisis." *Design Studies*, vol. 12, no. 3, pp. 124–131.

Dietrichson, Lorentz 1892. *De norske stavkirker.* Kristiania.

Falk, Eivind (red.) 2007. *Festskrift: Jon Bojer Godal 70 år: Norsk handverksutvikling -*

NHU 20 år. Maihaugens Årbok.
Flæte, Per O. og Olav A. Høibø 1999. *Tradisjonsbåren materiallære – bruk i den skogbaserte verdiskapningskjeden. En litteraturgjennomgang. Forprosjekt. Oppdragsrapport fra Norsk institutt for skogforskning,* Ås.
Godal, Jon B. 2006. "Handverkaren sine abstraksjonar med døme frå båtbygging og låvebygging." I: Askerøy, E. og O. Eikeland: 173–184.
Godal, Jon B. 2007. "Hjelper omgrepet handlingsboren kunnskap oss til framtid for handverket?" I: Falk: 11–24.
Godal, J. B., S. Moldal, T. Oalann og E. Sandbakken 2009. *Beresystem i eldre norske hus*. Trondheim.
Guðmundur Ólafsson (red.) 1983. *Hus, gård och bebyggelse.* Reykjavik.
Halvorsen, Eyvind F. og Magnus Rindal 2008. *De eldste østlandske kristenrettene.* Oslo.
Hauglid, Roar 1976. *Norske stavkirker. Bygningshistorisk bakgrunn og utvikling.* Oslo.
Hewett, Cecil A. 1966. "Jettying and floor-framing in medieval Essex." *Medieval Archaeology,* vol. 10: 89–112.
Higham, Robert and Philip Barker 2006. *Timber Castles.* Exeter.
Hødnebø, Finn og Magerøy, Hallvard (red.) 1979. *Noregs Kongesoger*, bind I- IV. Oslo.
Høgseth, H.B. 2007. «*Håndverkerens redskapskasse». En undersøkelse av kunnskapsutøvelse i lys av arkeologisk bygningstømmer fra 1000-tallet.* Doktoravhandling 2007:246, NTNU. Trondheim.
Høyrup, Jens 1989. "Sub-Scientific Mathematics: Observation on a Pre-Modern Phenomenon." *History of Science*, vol 27: 63–87.
Haavardsholm, Jørgen.(red.) 1997. *Nytt lys på middelalderen,* Oslo.
Jensenius, Jørgen H. 1988. *Lomen stavkirke. En matematisk analyse.* Oslo.
Jensenius, Jørgen H. 1998. "Røldal stavkirke eller...?" *Viking*. Bd. 61: 131–145.
Jensenius, Jørgen H. 2001. *Trekirkene før stavkirkene. En undersøkelse av planlegging og design av kirker før ca. år 1100,* Con·Text 6, Arkitekthøgskolen i Oslo. Oslo.
Jensenius, Jørgen H. 2006. Lorentz Dietrichsons "De norske stavkirker": en klassiker. *Viking,* bind LXIX: 275–288.
Jones, Lindsay. *The Hermeneutics of Sacred Architecture.* Vol. I-II. Cambridge, Massa.
Komber, Jochen 1989. *Jernalderens Gårdshus. En bygningsteknisk analyse.* AmS-Varia 18. Stavanger.
Krogh, Knud J.: *Urnesstilens kirke. Forgængeren for den nuværende kirke på Urnes*. Oslo. I trykken.
Larsson, Lars 2006. "Hall, harg eller hof. Et kulthus i Uppåkra." I: Anglert, Artursson & Svanberg: 129–142.

Lent, Hans 1978. *Über den Ursprung der norwegischen Stabkirchen, eine bautechnische Untersuchung.* Kleine Schriften aus dem Vorgeschichtlichen Seminar Marburg. Heft 4. Marburg.

Lent, Hans 1980. "Om de norske stavkirkenes opprinnelse." *FNFMB Årbok*. Bd. 134: 141–155.

Lidén, Hans-Emil 1997. "Kirkene bygges." I: Haavardsholm, Jørgen.(red.): *Nytt lys på middelalderen,* Oslo: 209–219.

Linstow, H.D.F. 1829. *Udkast til Kirkebygninger paa Landet i Norge: til Veiledning for de Kirke-Eiere som uden Architects Hjelp ville opføre Kirker hensigtsmæssigen og med Oeconomie.* Christiania.

Martinussen, Atle O. 2007. "Norsk handverksutvikling si stipendiatordning i tradisjonelle handverk. Prøveordning for høgare utdanning av handverkarar 1995-2006". I: Falk, E.(red.): 53–66.

Meeson, Robert A. And Christopher M. Welch 1993. Earthfast Posts: "The Persistence of Alternative Building Techniques." *Vernacular Architecture,* vol. 24: 1–17.

Milne, Gustav (ed.) 1992. *Timber Building Techniques in London c.900-1400.* London & Middlesex Archaeological Society, Special Paper 15. London.

NGL. *Norges gamle Love indtil 1387,* 1846–95, vol. I–V. Udgivet ved R. Keyser, P.A. Munch, G. Storm og E. Hertzberg. Christiania.

Noregs kongesoger, Hødnebø, F. og H. Magerøy (red.), bind 1–4, Oslo.

Olsen, Olaf 1968. "Om at udgrave stolpehuller." *Nationalmuseets Arbejdsmark* : 155-170.

Olsen, Olaf og Holger Schmidt 1977. *Fyrkat. En jysk vikingeborg.* Bd. I. *Borgen og bebyggelsen.* København.

Panofsky, Erwin. 1979. *Abbot Suger and the Abbey Church of St. Denis and Its Art Treasures.* Princeton.

Petersen, Jan 1951. *Vikingetidens redskaper.* Oslo.

Proudfoot, L. J. 1983. "The extension of parish churches in medieval Warwickshire." *Journal of Historical geography*, vol. 9/3: 231–246

Reinnel, F. 1854 (1876). *The Carpenter's, joiners, cabinet makers, and gilders' companion: Containing rules and instructions in the art of carpentry, joining, cabinet making, and gilding.* London.

Reitan, Gaute 2006. "Faret i Skien – en kristen gravplass fra vikingtid og nye innblikk i tidlig kirkearkitektur." *Viking,* Bd. 69: 251–274.

Rogers, Everett M. 1995. *Diffusion of Innovations.* New York.

Rowland, Ingrid D. and Thomas N. Howe 1999. *Vitruvius. Ten Books on Architecture.* Cambridge.

Rønningen, Gunnar 1990. *Kirketårn og takryttere fra 1621–1802 - i Hamar stift: et studium av 1600- og 1700-tallets tårnoppbygg. En teknisk/håndverksmessig gjennomgåelse av konstruksjonene.* Avhandling (mag.art.) - Universitetet i Oslo.
Schmidt, Holger 1985. "Om bygningen af et vikingetidshus på Fyrkat." *Nationalmuseets Arbejdsmark:* 48–59.
Sedlmayr, Hans 1950. *Die Entstehung der Kathedrale.* Zürich.
Shelby, Lon R 1972. "The Geometrical Knowledge of Medieval Master Masons", *Speculum,* vol. 47: 395–421.
Shelby, Lon R. 1977. *Gothic Design Techniques*. London and Amsterdam.
Shirley, Elizabeth A.M. 2000. *The Construction of the Roman Legionary Fortress at Inchtuthil.* BAR British Series 298, London.
Skre, Dagfinn 1997. "Raknehaugen. En empirisk loftsrydding." *Viking,* vol. 60: 7–42.
Stang, Margrethe C. 2009. *Paintings, patronage and popular piety. Norwegian altar frontals and society c. 1250–1350.* Oslo.
Storsletten, Ola 2002. *Takene taler, Norske takstoler 1100-1350, klassifisering og opprinnelse.* Con-Text, avhandling 10, Arkitekthøgskolen i Oslo.
Stylegar, Frans-Arne. 2001. "Bidrag til en sagnkirkes arkeologi. Et stolpebygget kapell fra høymiddelalderen i Åseral." *Fortidsminneforeningens årbok*. Bd. 155: 125–136.
Sørumgård, Sverre, Jon Godal, Anders Frøstrup, Edvin Espelund 2008. *Vind og tvinn. Reising av stavkirkerammer. Rapport fra fullskalaforsøk med reising av stavrammer i Lom lørdag 14.juni 2008.* 18 s. Stokk & Stein AS, Lom.
Wood, S. 2006. *The Proprietary Church in the Medieval West.* Oxford.
Zimmermann, W. Haio 1998. "Pfosten, Ständer und Schwelle und der Übergang vom Pfosten – zum Ständerbau – Eine Studie zu Innovation und Beharrung im Hausbau." *Probleme der Küstenforschung im südlichen Nordseegebiet.* Bd. 25: 9–241.
Zippelius, Adelhart 1953. "Das vormittelalterliche dreischiffige Hallenhaus in Mitteleuropa." *Bonner Jahrbücher.* Bd. 153: 13–45.

Summary

Structural and Archaeological Observations on Wooden Churches in Viking and Medieval Norway

The main objective of this research is to identify the architectural *consequences and possibilities of different ways of foundations.* As a premise is shown a graph from an article written by the German researcher Haio Zimmermann, a graph I have retraced as a mean of clarity (Fig. 1). Here is shown a rough proportional relationship in percentage between post-frame buildings and timber-frame buildings, used in Northern

and Central Europe. The important point is the arch of the curve around the year 1000, marked here with an arrow. This bending of the curve coincides with the introduction of Christianity to Norway and the subsequent church building projects. Zimmermann has no simple explanation on the fact that timber-frame buildings gradually were preferred to the post-framed.

After the site had been levelled and the top soil had been removed, there were dug a series of individual holes down to the dense subsoil around the oriented perimeter of the design. For some buildings, the holes are just wider than the posts, like in this illustration, in other churches they may be 1,0- 1,5 meter in diameter. In the bottom of the more elaborate holes it may have been spread a layer of sand as drainage and levelling. On this, it may have been placed a stone footing, for the distribution of weight mainly (Fig.2). Around the lower end of the posts there were some times placed charcoal, or the charcoal found may be from the charring of the end of the post itself. It is a question if this way of treatment really could prevent decay. The end of the post was fixed by a bracing of stones to keep the post plumb after the erection, then packed tight with stones and tamped earth. An embedment depth of 0.3 to 0.9 m is far from being adequate to take the required lateral thrusts, so the stability of the edifice is not more than partly dependent on this fixing of the posts. The diaphragm effects of wall planks, however, would stiffen building connections, in addition to knee braces. The posts were placed in the deepest part of the hole and aligned two ways with the rest of the posts in the wall. All posts should be perfectly plumb and be placed in a straight line along a wall; all building corners should be perfectly square. A 4 to 5 m post may have had a weight of about 280 kg. To get all the posts aligned and with a regular on-centre spacing seems to have been of some difficulty, and the churches may also be out-of-square (Fig.3). It may be guessed that when such a church was in use, the floors were slanting out of level and the walls were leaning out of vertical. Soundness is the least culturally encoded of the principles of design. The builders *had* to follow the law of gravity, the limitation of the materials and the demand of the climate, and design the buildings accordingly.

Development of controlled site drainage for water runoff must have been an important part of the site design; moist soils were a major threat to wooden constructions. The timber would absorb moisture and so produce fungi which decomposed the wood (Fig.4). So, as the illustration indicates, the rot in the lower part of any wooden wall may have several causes. How much there were of which type of humidity, or when the materials decayed may be difficult to describe. There is no doubt, however, that many builders still found the post-frame buildings suitable for their purpose. New post-frame buildings replaced older ones in Urnes, Kaupanger, Mære

and Faret. Other churches were replaced by stone churches or timber-frame buildings. The building of a new church therefore gives the date of the dismantling of the post-frame building. One may guess that new post-frame churches were erected as long as the advantages with the post-frame construction were greater than the drawbacks. Fig. 5 shows two solutions of corner joints in the timber-frame churches. The connections between stave and sill in the uppermost drawing may resemble those in some of the post-frame buildings. When the plans of the excavated churches are examined, one thing becomes clear: all post-frame churches were succeeded by a new building with larger nave and chancel. In my opinion therefore, the post-frame buildings were dismantled, *when* and *because* the naves and chancels had become too narrow for practical use. They were then replaced, regardless of their over all condition. There was no ecclesiastical demand that churches had to be tall from a liturgical point of view, as the liturgy was primarily focused on the celebration of the Eucharist at the altar. The will to build lofty must have been a cultural and a social one. Structural safety must have presented a special concern, and nothing indicates that the construction had to be of the greatest possible height. In any case, to plan for the structural integrity of a high-rise, one had to select an alternative foundation to the post-frame, for the building to be both horizontally and vertically located.

To stabilize the inner posts in the nave, therefore, one had to fix them uniformly, and this was done in the raft beams. The foundation consists primarily of four structural quoins, that is boulders set in the ground. To carry the weight of the superstructure, the upper faces of the four stones had to be exactly level, they then acted as a datum line. On the four boulders were placed the joints of the four raft beams of the nave, made to form a rectangle (Fig.6). The raft beams had three functions. Firstly, they diminished the risk of subsidence of the ground. Secondly, they kept the finished floor of the building higher than the surrounding site, thus reducing the possibility of a flooded building during heavy rainfall or snow melting. Thirdly, they supported the edifice structurally by keeping the floor level. The height of the superstructure was the outcome of the planning process, the accuracy employed made the height possible. The principal posts falled in the joints of the raft beams. Gravity was its greatest asset. The lower post to beam connection was not subject to any critical forces, but its contact pressure to the raft beams should be as uniform as possible. A rounded or squared tenon in the end of the post was mortised into the full depth of the beams, which was sufficient to resist any lateral movement.

To sum up in three points. First, the greater number of the churches of Norway before the 12th century were probably post-frame buildings. In terms of reasonable durability, performance and cost, the low-rise post-frame church building may have

been seen as a time-honoured viable church concept. A weak point may have been the trouble of transferring the design to the site, with deviation from measured values as a result. Second, the known post-frame churches were, in all likelihood, disassembled when and because the naves and chancels had become too narrow for practical use. This may have been hastened if parts of the buildings needed an overhaul. However, no documentation shows buildings to be derelict or abandoned when replaced. The replacement of the post-frame church buildings seems to have been performed very slowly, over a period of maybe hundred years. Also, the act of improving, expanding, enlarging or refining the post-frame and the timber-frame churches must have been parallel developments through the centuries. Features held in common may have developed independently. Third, a building with an extended area combined with a heightened superstructure, would make great demands on a foundation. If the superstructure was changed, the foundation would also have to be changed. Or, said in another way, the accurately levelled and squared floors and plumb staves made the new height possible. The constructional safety generated by this accuracy was the precondition for the building of high-rise timber framed churches in Norway.

Sivilarkitekt, Dr. ing. Jørgen H. Jensenius (f. 1946) er spesialist på oppmåling og dokumentasjon av middelalderens trekirker i Norge. Han har arbeidet hos Riksantikvaren og ved Norsk Institutt for Kulturminneforskning i Oslo, og er tilknyttet Kulturhistorisk Museum, Universitetet i Oslo.