



## Middelalderens mørtler

---



**Titel:**

Middelalderens mørtler

**Udarbejdet af:**

Teknologisk Institut, Murværk

Kongsvang Allé 29

8000 Aarhus C

Tlf. 7220 2000

Byggeri og Anlæg

Murværk

Kemiingeniør Helge Hansen og geolog Helle Dam Andersen

## OM MIDDELALDERENS MØRTLER

### Indledning

Som de fleste nok ved blev Mårup Kirke i det vestligste Vendsyssel i efteråret 2008 bevidst forvandlet fra en intakt – om end længe ubenyttet – kirkebygning til en ruin. Beslutningen herom blev taget, da kirken nu var meget tæt på at styrte i havet.



Fig. 1. Mårup Kirke, oktober 2008

I forbindelse hermed blev kirkens murværk omhyggeligt undersøgt af Nationalmuseet. Det gav mange spændende og uventede iagttagelser. Blandt andet viste undersøgelsen, at natursten – ofte opsamlet på stranden – indgik i murværket på linje med teglsten.

Mårup Kirke er en af en række romanske teglstenskirker i Vendsyssel fra tidlig middelalder. Forbilledet for disse teglstenskirker er nok den oprindelige dom- og klosterkirke i Børghlum.

Gennem tiden er Mårup Kirke bygget om flere gange. Den oprindelige kirke er fra 1200. I slutningen af middelalderen, omkring 1500 blev der tilføjet et tårn mod vest. Dette tårn blev revet ned omkring 1700, og vestgavlen blev derefter lukket med nyt murværk.

I forbindelse med nedtagninger benyttede Teknologisk Institut, Murværk og Byggekomponenter lejligheden til systematisk at udtage og undersøge murværksprøver på en måde, der ellers aldrig er mulig.

Der blev udtaget flere typer mørtel, fra flere forskellige positioner og fra forskellige tider.



Fig. 2. Pudsmørtel, kor nordvæg, 1200



Fig. 3. Muremørtel mellem granit natursten, kor nordvæg, 1200



Fig. 4. Mørtel mellem granitsten inderst i kassemur, skib nordvæg, 1200



Fig. 5. Muremørtel mellem teglsten, skib norddør



Fig. 6. Muremørtel mellem teglsten, vestgavl, 1500



Fig. 7. Muremørtel mellem teglsten, skib lukkemur i norddør



Fig. 8. Muremørtel mellem teglsten, vestgavl, 1700

Laboratorieundersøgelserne foretaget hos Teknologisk Institut, Murværk og Byggekomponenter er helt de samme, som rutinemæssigt anvendes til karakterisering af mørtler i forbindelse med renoveringsopgaver, eller for den sags skyld ved skadesundersøgelser af nyt murværk.

Blandingsforhold (kalkindhold og sandindhold) bestemt med kemisk analyse er vist i tabel 1:

Tabel 1. Kalkindhold, sandindhold og densitet

Mørtel	Tid	Kalkindhold vægt%	Sandindhold vægt%	Densitet kg/m <sup>3</sup>
Pudsmørtel kor	1200	40,8	59,2	1445
Muremørtel mellem granitsten kor	1200	33,1	66,9	1549
Mørtel mellem granitsten inderst i kassemur skib	1200	42,9	57,1	1203
Muremørtel mellem teglsten skib	1200	49,9	50,1	-
Muremørtel mellem teglsten vestgavl	1500	27,9	72,1	1578
Muremørtel mellem teglsten skib	1600	41,7	58,3	1781
Muremørtel mellem teglsten vestgavl	1700	30,3	69,7	1457

Resultaterne af de kemiske analyser viser alle meget høje kalkindhold (28-50 vægt%). Dette bekræftes i mikroskopiundersøgelserne figur 10 og 12, hvor det ses, at bindemiddeldelen i mørtlerne udelukkende består af kalk. Mængdeforholdet mellem bindemiddel og tilslagsmateriale er relativt højt.

Mikroskopiundersøgelse viser, at en del af kalken i bindemidlet sidder som kalkklumper. Der er formentlig tale om dele af den brændte kalk, som ikke er blevet læsket på det tidspunkt, hvor man har taget mørtlen i anvendelse. Endelig ses i begge prøver en del organisk materiale, som sandsynligvis stammer fra trækul. Disse observationer er almindelige for mørtler fra den tid og skal sandsynligvis alt sammen tillægges fremstillingsproceduren.

Det er yderligere bemærkelsesværdigt, at analyseresultaterne for opløselig silica ( $\text{SiO}_2$ ) viser lave indhold: 0,32-0,69 vægt%. Opløselig silica er en indikator for hydrauliske bindemidler som hydraulisk kalk eller cement. Der er altså ikke noget indhold af hydrauliske bindemidler i mørtlerne. Dog ligger prøven fra ca. 1700 markant højere: 1,82 vægt%. Muligvis har den anvendte kalk været norsk. På dette tidspunkt var der en livlig skudehandel over Skagerrak mellem Nordjylland og Syd Norge, bl.a. med norsk kalk.

Bestemmelserne af densitet ses også i tabellen. Specielt bemærkes en meget lav densitet for mørtlen mellem granitsten i hulumuren eller kassemuren. Man må derfor forestille sig, at denne mørtel har haft et meget stort vandindhold, så den har været letflydende og har kunnet udfylde mellemrummene mellem granitstenene. Til gengæld får den så meget mindre styrke.

Hvis man opvarmer en mørtel til  $1000\text{ }^\circ\text{C}$ , mister bindemidlerne enhver form for styrke. Herefter kan man let bestemme mørtelsandets kornstørrelsesfordeling ved almindelig sigteanalyse. Disse undersøgelser viste to typiske, men meget forskellige kornstørrelsesfordelinger:

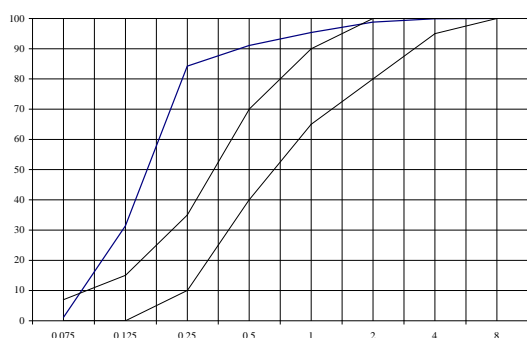


Fig. 9. Kornkurve muremørtel 1200, den blå linje

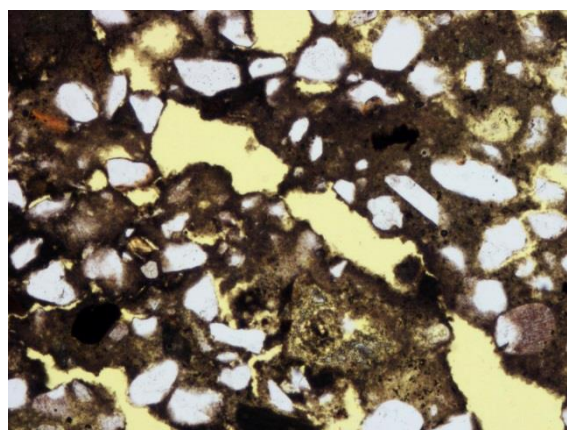


Fig. 10. Mikroskopibillede af muremørtel 1200. Billedbredden er 2,5 mm.

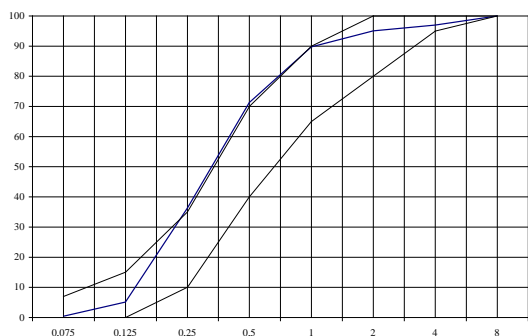


Fig. 11. Kornkurve muremørtel 1500, den blå linje

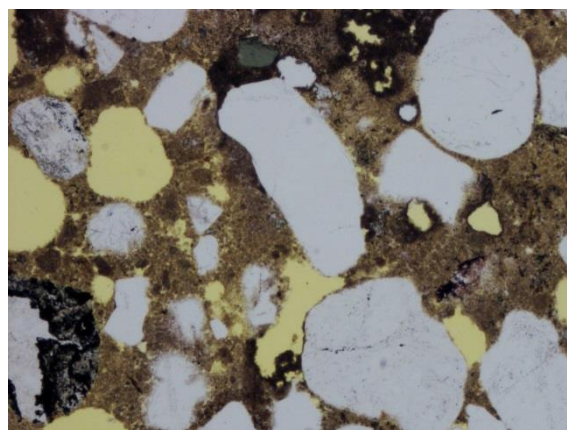


Fig. 12. Mikroskopibillede af muremørtel 1500. Billedbredden er 2,5 mm.

På kurverne ses desuden de nugældende grænser for normmørtelsand angivet ved de sorte linjer i figur 9 og 11.

I prøverne fra det oprindelige romanske murværk fra 1200 viser sigteanalysen en meget stejl kornstørrelsesfordeling, hvor stort set alle sandkorn ligger omkring 0,25-0,5 mm. Som det fremgår af figur 10 bekræfter den mikroskopiske undersøgelse, at tilslaget i en muremørtelprøve fra 1200 er meget ens i størrelse, og at der er tale om relativt finkornet sand. Typen af tilslag er hovedsagelig kvarts, men derudover ses små mængder af feldspat og kalksten. En sådan fordeling kan være karakteristisk for strandsand, men her er der måske snarere tale om klitsand. Da kirken blev bygget, var der jo langt til havet. I de senere mørtler (1500-1700) havde sandet en såkaldt graderet kornstørrelsesfordeling, som typisk findes i bakkesand, figur 11. Fundet bekræftes af mikroskopiundersøgelsen, som igen viser, at hovedparten af tilslagskornene er kvarts, men der er også feldspat, flint, bjergartsfragmenter og kalksten, figur 12.

Forskellen i kornstørrelsesfordeling og typen af tilslag fra de to tidsperioder viser, at der tydeligvis er tale om to vidt forskellige kilder til tilslagsmaterialet. En graderet kornstørrelsesfordeling giver større mørtelstyrke end en stejl kornstørrelsesfordeling. Kan denne erfaring være opnået i løbet af middelalderen? I øvrigt viste Nationalmuseets undersøgelser, at kirken omkring 1500 og fremad blev mere og mere tilsandet. Men kornstørrelsesfordelingen viser, at det ikke var det sand, der blev brugt i mørtlerne.

Hvordan stemmer fundene fra Mårup kirke så med andre analyser af middelaldermørtler? Faktisk helt godt. I tabel 2 ses eksempler fra 4 forskellige landsbykirker fra middelalderen. I disse tilfælde findes ligeledes meget høje kalkindhold stammende fra bindemiddelen.

Tabel 2. Kalk- og sandindhold

Bygning	Bygningsdel	Tid	Kalkindhold %	Sandindhold %
Værløse Kirke	Tårn	1400-tal	24,4	75,6
Farum Kirke	Kirkegårdsmur	1400-tal	35,0	65,0
Åle Kirke (Vesthimmerland)	Kor	Før 1536	37,0	63,0
Rørvig Kirke	Skib	1200-tal	27,3	72,7
Rørvig Kirke	Skib	1200-tal	41,6	58,4

Heller ikke i disse tilfælde findes noget indhold af hydrauliske bindemidler. Der er altså igen tale om rene kalkmørtler med meget høje kalkindhold. Specielt bemærkes, at det også gælder for Rørvig Kirke, der ligger tæt på Klintebjerg, hvor man langt senere – i begyndelsen af 1900-tallet – udvandt Klintebjerg-kalken, der efter brænding fik hydrauliske egenskaber.



Fig. 13. Rørvig kirke, skibets nordmur



Fig. 14. Rørvig Kirke. Middelaldermurværk bag senere puds. Bemærk teglmestermærkerne på munkestenene

I et tidligere samarbejde med Nationalmuseet blev mørtelprøver fra 13 danske middelalderkirker undersøgt kemisk og mikroskopisk.

Også denne undersøgelse viste, at der generelt findes et højt bindemiddelindhold i mørtlerne, sådan at volumenforholdet mellem bindemiddel og tilslagsmateriale ligger på ca. 2:1. I de undersøgte prøver findes kalkklumper i binderen, som er relikter fra den brændte kalk, altså kalk, der ikke har været læsket, da mørtlen blev anvendt. Klumperne varierer i størrelse og har reelt funktion som tilslag. Tilslagsmaterialet i disse mørtler er hovedsagelig kvarts og feldspat, og oftest ses en graderet kornstørrelsesfordeling. Porøsiteten er generelt meget lav og ligger typisk omkring 5 volumen%.

Som nævnt består binderen i disse mørtler normalt af ren kalk, og hærdningen sker udelukkende ved karbonatisering. En undtagelse er dog mørtelprøver fra Østerlars Kirke på Bornholm. Heri er der fundet 5-7 vægt% opløselig  $\text{SiO}_2$ . Da der ikke er fundet tilslagsmateriale i mørtlerne, som kan bidrage væsentligt til koncentrationen af opløselig  $\text{SiO}_2$ , må det stamme fra bindemidlet. Dette viser, at der på Bornholm kan være hydraulisk materiale tilstede i middelaldermørtler. Forklaringen er givetvis, at der på Bornholm findes andre og ældre kalktyper end i det øvrige Danmark. Dansk kalk består normalt næsten udelukkende af calciumcarbonat. Derfor kan der ikke opnås nogen væsentlig hydraulisk virkning i den brændte kalk. Men i nogle bornholmske kalktyper er indholdet af  $\text{SiO}_2$  så højt, at der kan opnås en hydraulisk virkning. Senere – omkring 1800 – blev der da også fremstillet den såkaldte bornholmske cement ved brænding af en bornholmsk kalktype.

Der tegner sig altså et billede af, at man gennem hele middelalderen og faktisk helt til ca. 1700 har anvendt mørtler, hvor bindemiddelandelen set i forhold til senere mørteltyper er relativt højt. Der er typisk tale om rene kalkmørtler, men med anvendelse af forskellige sandtyper, og forskellige vandindhold.

Hvordan er disse kalkrige mørtler så fremstillet? Forsøg har vist, at man med den teknologi, vi traditionelt opfatter som den klassiske til fremstilling af rene kalkmørtler: blanding af læsket kalk/kulekalk med sand, ikke kan komme meget højere op i kalkindhold end ca. 15% uden alvorlige revneproblemer.

Der må altså være tale om en anden mørtelteknologi, og givetvis er der tale om såkaldt læskemørtel. Man er gået ud fra de tørre delmaterialer: sand og brændt kalk som ret let



lader sig blande. Blandingen tilsættes vand, så kalken læskes i sandet. Hvis man lagrer den læskede mørtel inden brug, vil man opnå en bedre læskning og dermed udnyttelse af kalkdelen. Hvis man anvender den læskede mørtel umiddelbart, vil man derimod kunne udnytte evt. hydrauliske komponenter i mørtlen. Men som før nævnt kan der normalt ikke ventes nogen hydraulisk virkning i danske middelaldermørtler.

Man er i øvrigt ikke i tvivl, når man står over for denne type mørtler: De virker stærke og elastiske, de har god vedhæftning og er normalt hvidlige pga. det høje kalkindhold.

Som vi så i Mårup Kirke, anvendtes denne mørteltype her i hvert fald så sent som ca. 1700. I næste afsnit af denne fortælling om mørtlens udvikling i Danmark vil vi se, at mørteltypen anvendes så sent som ca. 1800.

## **Litteratur**

Fra fattig landsbykirke til prestigebyggeri – nedtagningen af Mårup Kirke. Af Thomas Bertelsen. Nationalmuseets Arbejdsmark, 2009.

Renoveringshåndbogen Mur og Tag. Teknologisk Institut, Murværk, 1999.

Murværksundersøgelser Mårup Kirke. Teknologisk Institut, Murværk og Byggekomponenter, 2009. Kan rekvireres/downloades.

Helle Dam Andersen: Mørtel fra middelalderkirker i Danmark, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 2000.