



Mørtel og kvartsmel

Anders Nielsen

Stenmel (kvartsmel eller kalkfiller) kan anvendes til at forbedre kalkmørtels bearbejdelse og styrke. I dette notat videregives nogle tanker om og erfaringer med at anvende kvartsmel til disse formål.

Kalkmørtels styrke

I Danmark kan man købe færdigblandet kalkmørtel i plastsække. Man kan få mørtel af strandsand eller bakkesand med 6 %, 9 % eller 12 % kalk. Disse færdigblandede mørtler er ikke særligt stærke. Det skyldes for det første, at der ikke er særligt meget bindemiddel i. For det andet har de sandtyper, som anvendes, kornkurver, som følger de nordiske grænsekurver for mørtelsand, hvilket betyder, at der stort set ikke findes korn under 0,125 mm (figur 1). Det betyder igen, at der fremkommer ret stor porøsitet i den hærdede mørtel, fordi bindemidlet ikke kan fylde hullerne mellem gruspartiklerne ud. Ved at tilsætte kvartsmel, eller en anden type filler, kan man formindske porøsiteten. Når porøsiteten formindskes forbedres styrken, som det skal forklares i det følgende.

Tilslagsmaterialer til beton og mørtler skal have korn, som passe ind imellem hinanden, således at stenskelettet bliver så kompakt som muligt. Det fører til, at kornkurverne skal være jævnt faldende. Suenson (1911) anviser en metode til at blande tre forskellige grus og stentyper for at opnå maksimal tæthed. I moderne betontechnologi anvendes tilsvarende metoder i pakningsprogrammer for at sammensætte tilslaget optimalt. Disse programmer opererer imidlertid kun med kornstørrelser ned til 1/8 mm eller 1/16 mm. Grus til mørtel og beton indeholder kun få korn under disse størrelser. Tanken er at hulrummene skal udfyldes med bindemiddel og vand. I beton udfyldes hulrummene med cementpasta, hvis v/c bestemmer styrken (Bolomeys formel). For kalkmørtlernes vedkommende sætter man traditionel ikke så meget bindemiddel til, at hulrummene kan udfyldes. Der er mest vand og luft. Det betyder at man får et svagt materiale. Man kan mindske hulrummet i mørtlerne ved at tilsætte materiale med kornstørrelse mindre end 1/8 mm. Det svarer til at forlænge den jævne kornkurve langt ned i det fine område (jf. figur 1). Ideen med at tilsætte stenmel (kvartsmel eller kalkstensmel) er anvendt af Thorborg von Konow (Afhandling, Åbo 1997) i hendes arbejde med at udvikle kalkmørtler anvendelige til restaureringsformål.

Bestemmelse af en kalkmørtels styrke er et problem, fordi karbonatiseringen går langsomt, og fordi mørtelens tæthed, og dermed egenskaberne, afhænger af den kapillarsugning, som mørtlen udsættes for ved opmuringen. I dette notat er valgt at illustrere styrkeegenskaberne gennem den sammenhæng der findes mellem styrke og porøsitet, som det bl.a. er opstillet af Ryschkewitch, figur 2. Det ses af figuren, at styrken falder eksponentielt med porøsiteten. De ovenfor omtalte mørtler har porøsitet omkring 40 %. Aflæses på den viste kurve fås en relativ styrke på 8 %. Hvis porøsiteten kan formindskes til 29 % fås ifølge denne teori en relativ styrke på 16 %, dvs. en fordobling af materialets styrke.

Volumenforholdene i en kalkmørtel kan beregnes i et skema, som vist nedenfor. Opstillingen i skemaet svarer til den, som anvendes ved proportionering af betonblandinger. Princippet illustreres med et eksempel.

Eksempel

Der ønskes et skøn over volumenforholdene i en 9 % kalkmørtel, indkøbt på et bygemarked. 9 % svarer til normens standardbetegnelse K 100/1000.

Betegnelser

Tilslagets korndensitet	$\rho_t = 2,65 \text{ kg/l}$
Kalkhydrats korndensitet	$\rho_{CH} = 2,34 \text{ kg/l}$
Kvartsmels korndensitet	$\rho_S = 2,65 \text{ kg/l}$
Vands densitet	$\rho_W = 1.00 \text{ kg/l}$
Kalkmørtlens densitet	ρ_M

Materiale	Masse	Densitet	Omregning	Volumen	
	kg	kg/l		l/l	%
Tilslag	1,439 ⁴⁾	2,65	1,5/2,65	0,543	54
Hydratkalk	0,144 ³⁾	2,34	0,144/2,34	0,061	6
Vand	0,237 ²⁾	1,00	0,237/1.00	0,237	24
Luft	-	-	-	0,158 ⁵⁾	16
Mørtel	1,820 ¹⁾			1,000	100

1) Densiteten af mørtlen i sækken måles til $\rho_M = 1,820 \text{ kg/l}$.

2) Det antages at vandindholdet, V, i mørtlen er 15 % af tørstofindholdet, dvs.
 $V = \rho_M \cdot (15/115) = 1,820 \cdot (15/115) = 0,237 \text{ kg}$

3) Restmassen skal fordeles som 1:10:
 Hydratkalkmassen = $(1,820 - 0,237) (1/11) = 0,144 \text{ kg}$

4) og
 Sandmassen = $(1,820 - 0,237) (10/11) = 1,439 \text{ kg}$

5) Nu beregnes volumen af tilslag, kalk og vand. Resten af volumen op til 1 liter må være luft, dvs.

$$\text{Luftindholdet} = 1,000 - (0,543 + 0,061 + 0,237) = 0,158 \text{ l/l}$$

Herefter kan porøsiteten beregnes.

I den karbonatiserede mørtel er kalkhydratet omdannet til calciumkarbonat. Volumen af den dannede calciumkarbonat er imidlertid så lidt mindre end volumen af det oprindelige calciumhydrat, at der på baggrund af antagelsernes usikkerhed ses bort fra denne volumenændring.

Porøsiteten, p, bliver derfor summen af vandets og luftens volumen, dvs.
 $p = 0,237 + 0,158 = 0,395 \text{ l/l}$, svarende til 40 %.

Der tilsættes nu 1/3 liter kvartsmel, som har en kornhobsdensitet (bulkdensitet) på 0,88 kg/l. Dvs. at der tilsættes $0,88/3 = 0,293 \text{ kg}$. Det fylder $0,293/2,65 = 0,111 \text{ l}$. Stenmelet finder plads i luftlommerne, således at porøsiteten nu bliver
 $p = 0,395 - 0,111 = 0,284$, dvs. lidt under 30 %.

Ud fra figur 2 må man forvente, at mørtlen med stenmel er dobbelt så stærk som udgangsmørtlen. Det har ikke været muligt at trykprøve mørtlen, men en kvalitativ hårdhedsprøvning på hærdede fuger indikerer, at forventningen holder.

En anden fordel ved tilsætning af stensmel er, at mørtlen får en "federe" konsistens, og at den hænger bedre fast på skeen, end den oprindelige mørtel gør.

En yderligere fordel ved at anvende forstærket kalkmørtel er, at man altid kan have en mørtel stående klar, og at man ikke, som ved anvendelse af cementmørtel, behøver at smide resten af mørtlen ud, når arbejdet er slut.

Kapillarkræfternes virkning

I et porøst materiale, som tørrer, vil der dannes et kapillært undertryk i vandet i porerne, jf. figur 3. Det gælder også for friske mørtler. Undertrykket overføres til partiklerne i mørtlen og medvirker til at pakke den sammen.

Undertrykket, p , kan vurderes ved hjælp af formlen

$$p = - 2\sigma/r,$$

hvor r er radius i den krumme vandoverflade, og σ er vands overfladespænding, som kan sættes til 0,07 N/m.

Det hydrauliske undertryk er bestemt af de mindste korn i blandingen. Jo mindre korn, jo større undertryk. For at få et skøn på størrelsesordenen af de kræfter, der er på spil, kan man sætte radius i vandet i den udtørrende mørtel til samme størrelse som partiklerne ved 10 % gennemfald på kornkurven (figur 1).

For normsandsmørtlen ligger 10 % gennemfald ved 0,125 mm. Undertrykket bliver derfor

$$p = - 2 \cdot 0,07 / (0,5 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3}) = - 0,002 \text{ MPa}$$

For mørtlen med kvartsmel ligger 10 % gennemfald ved 0,015 mm. Undertrykket bliver

$$p = - 2 \cdot 0,07 / (0,5 \cdot 0,015 \cdot 10^{-3}) = - 0,019 \text{ MPa.}$$

Det betyder, at den kraft denne mørtel presses sammen med er ti gange større end den som normsandsmørtlen udsættes for. Det betyder noget for den kraft, hvormed kornene i mørtlen pakkes sammen og dermed for mørtlens styrke.

Afslutning

Der er ovenfor med et eksempel redegjort for, hvorledes kalkmørtels styrke kan forbedres ved tilsætning af kvartsmel. Metoden bør gøres til genstand for yderligere udredning, som måske kan føre så langt, at man ændrer kornkurverne i de kommercielle mørtler.

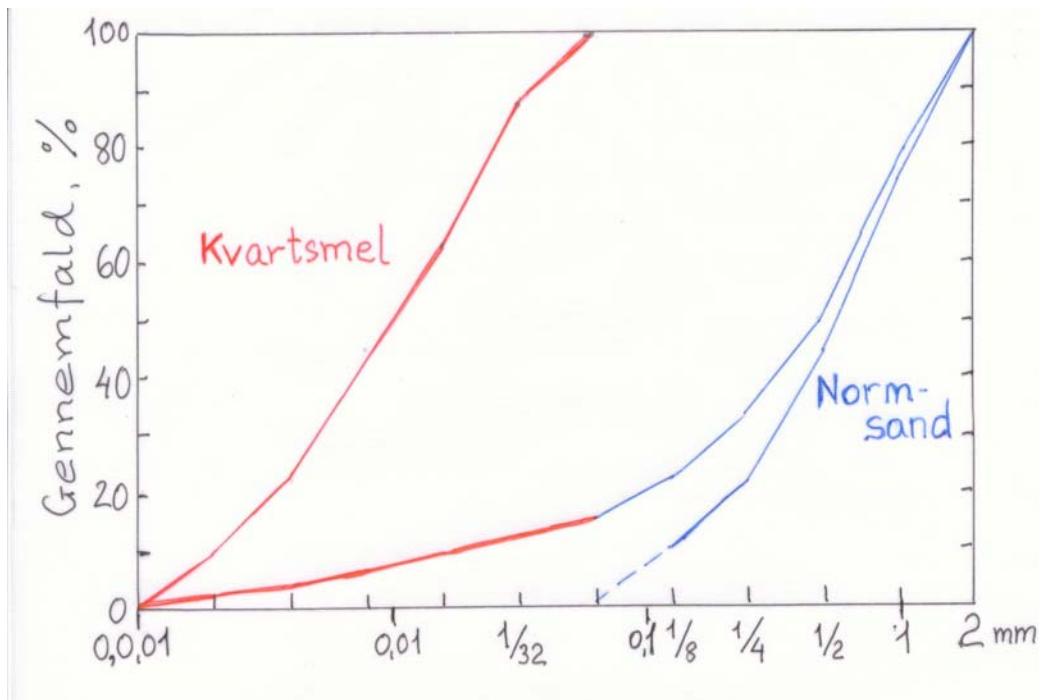
Forfatteren

Anders Nielsen Civilingeniør, tekn dr
Hjortekærbakken 7, DK-2800 Lyngby

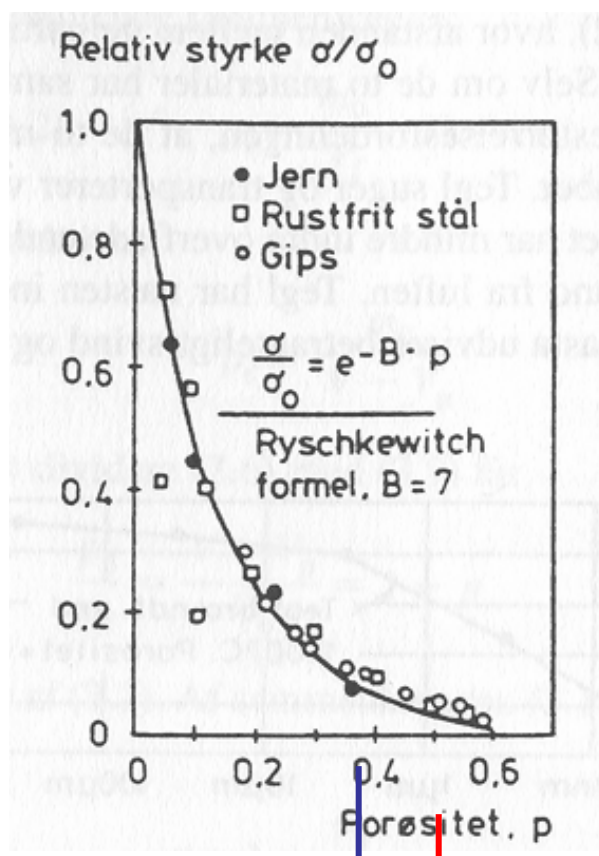
Telefon +45 4588 4027

kiogan@webspeed.dk

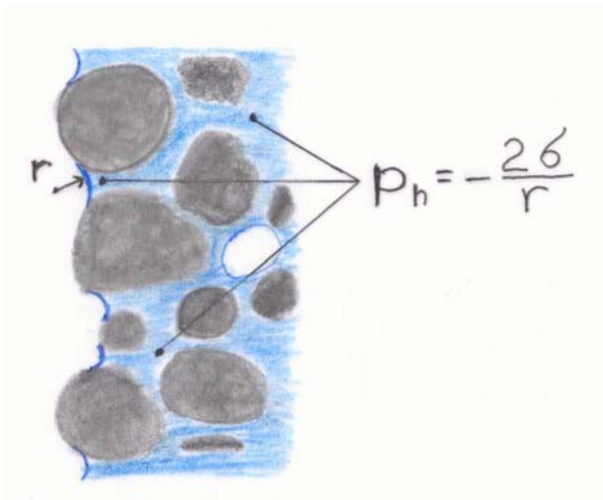
Har undervist i bygningsmaterialer på DTU.



Figur 1.
 Blå: Kornkurver for "normsand", som ligger i det område, som anbefales i de nordiske retningslinier (SBI-anvisning 64, 1981).
 Rød: kornkurve for kvartsmel 100 - 200 fra Ormslev kvartsværk.
 Blå + rød: S sammensat kornkurve ved blandingsforhold 85:15.



Figur 2. Ryschkewitch' formel til vurdering af porøse materialers styrke. (Gottfredsen og Nielsen, 1997)



Figur 3. I en mørtel som tørrer, vil der dannes krumme vandoverflader, menisker, under hvilke der vil være et hydraulisk undertryk. Dette undertryk vil forsøge at trække stenskelettet sammen. Undertrykket, p_h , bestemmes af meniskens krumningsradius, som igen er bestemt af gruspartiklernes størrelse. Der vil være et større indre sug i et finkornet, end i et grovkornet materiale.