

TEGL

TEGL - MØRTEL - MURVÆRK



EGENSKABER

FORORD

Formålet med denne pjece er at redegøre for tegls egenskaber. Emnet er imidlertid så omfattende, at nærværende pjece kun kan behandle stoffet i meget grove træk. De nødvendige forudsætninger i fysik for at kunne forstå fremstillingen findes som marginaltekst med petit, og på omslagets bageste inderside findes en oversigt over de i pjecen anvendte bogstavsymboler; disse svarer til de overalt i fysik og materiallære anvendte tegn. Pjecen skulle derfor kunne finde anvendelse som en kortfattet materiallære i tegl inden for den byggetekniske undervisning. Det har været et hovedsynspunkt i pjecen at behandle selve teglmaterialets egenskaber uafhængigt af tegls almindelige formater og almindelige anvendelser. Pjecen kan derfor tages som et oplæg til mindre traditionsbunden anvendelse af tegl. Dette er en naturlig konsekvens af, at undervisningen i byggeteknik må baseres på funktionskrav til bygningskomponenterne og deraf afledede krav til de indgående materialer. Hvorledes materialerne kan opfylde disse krav, er det materiallærens opgave at oplyse om. Pjecen peger således fremad til en mere kyndig og mindre traditionsbunden anvendelse af det keramiske materiale tegl.

I denne udgave (andet oplag) er anvendt SI-enheder og foretaget enkelte mindre ændringer og tilføjelser (bl.a. er afsnittene om varme- og lydisolering udvidet).

Litteraturliste: Se omslagets bageste inderside.

Bogstavsymboler og enheder: De i pjecen anvendte symboler og enheder findes i oversigtsform på omslagets bageste inderside.

August 1980

TEGLINFORMATION

Ti er oprettet af Kalk- og Teglværksforeningen af 1893 og er teglindustriens fælles informationskontor.

Adr.: Teglbækvej 20, 8361 Hasselager, tlf. (06) 28 38 11.

INDHOLD

	side
Tegl – et keramisk materiale	1
Tegls porestruktur	2
Porøsitet – porevidder – luftgennemtrængelighed	
Tegl og fugt	3
Hygroskopicitet – kapillaritet og minutsugning – permeabilitet – vandoptagelse og vandafgivelse – vandgennemtrængelighed	
Tegls densitet, rumfangsbestandighed og brandfasthed	7
Tegl og varme	8
Varmeledning – varmfylde og varmeakkumulerings-evne	
Tegl og kulde	9
Tegls styrke	10
Muremørtler	12
Muremørtlers egenskaber	14
Provning af mørtel	15
Bearbejdelse – vandudskillelse – vandholdeevne – styrke – vedhængning m. v.	
Murværks egenskaber	16
Styrke og elasticitet	16
Deformation og rumfangsbestandighed	17
Vandgennemtrængelighed	18
Fortætning	19
Diffusionstæthed	20
Luftgennemtrængelighed	21
Varmeisolering og varmeakkumulering	22
Lydisolering og lydabsorption	23
Brandfasthed	24

Manuskript: Civilingeniør C. Falk, Kalk- og Teglværkslaboratoriet.

1. oplag 20.000 eksemplarer (januar 1967)

2. oplag 10.000 eksemplarer.

Tryk: Tarm Bogtryk & Offset A/S

Sats: Helvetica

Eftertryk tilladt med kildeangivelse.

TEGL – ET KERAMISK MATERIALE

Tegl er brændt ler. Selve fremstillingen er behandlet i pjecen
TEGL 1: FREMSTILLING (februar 1977).

Et teglmateriale's egenskaber afhænger af råmateriale, form og brænding. Brændingsprocessen har bl. a. stor indflydelse på teglets poreforhold, og poreforholdene er af afgørende betydning for de brændte produkters egenskaber. En lang række fysiske og kemiske processer foregår, efterhånden som temperaturen stiger under brændingen, bl.a.: afgivelse af hygroskopisk bundet vand, afgivelse af kemisk bundet vand, iltnings- og spaltningsprocesser ved bortbrænding af eventuelle organiske bestanddele i lermassen samt spaltningsprocesser ved omdannelse af forskellige karbonater, f.eks. CaCO_3 , der afgiver CO_2 . De nævnte processer og flere andre er afsluttet, når temperaturen under brændingen har nået 800-900°C, og over 900°C begynder de reaktioner, der har den afgørende indflydelse på de færdige produkters poreforhold.

Afhængig af lerets kemiske sammensætning og kornstørrelsesfordeling vil der i de punkter, hvor partiklerne i lermassen berører hinanden, kunne dannes nye stoffer, der smelter (sintret) og sammenkitter partiklerne. Øges temperaturen yderligere, vil nye sintringer foregå i partiklernes berøringsflader, og det må antages, at de mindste partikler i lermassen kan være sintret på et tidspunkt, hvor de grove kun er sintret i overfladen. Ved temperaturer, der for danske lersorter som regel ligger i intervallet 1000-1150°C, vil også de største partikler smelte og materialets porer lukkes. Når smeltningen indtræder, og porerne lukkes, vil produkterne deformeres, hvorfor de almindelige teglprodukter – afhængig af lerets sammensætning – brændes ved lavere temperaturer, oftest mellem 950 og 1080°C.

Variationer i f.eks. styrke, vandoptagelse, vandopsugningshastighed, densitet og frostfasthed i et parti sten fremstillet af et bestemt teglværk var tidligere i langt højere grad end nu forårsaget af, at stenene ikke havde fået samme påvirkning under brændingen.

I de gamle ovntyper (periodiske ovne og ringovne) var det vanskeligt at opnå samme temperatur ved rand og midte, og da brændingstemperaturen som foran nævnt har stor indflydelse på de færdige produkters egenskaber, var det tidligere almindeligt at sortere stenene efter brændingsgrad i følgende grupper: Halvbrændte sten, hvis trykstyrke som regel lå under 15 MN/m², helbrændte sten, hvis trykstyrke som regel lå over 15 MN/m², hårdtbrændte sten med styrke over 22 MN/m² og klinkbrændte sten med styrke over 30 MN/m². Disse betegnelser og styrker indgik da også i den gamle murværksnorm; men efter at tunnelovnen og dermed en langt bedre brændingsteknik er indført på næsten alle landets teglværker, er sortering efter brændingsgrad som mål for stenstyrke bortfaldet, og i NORM FOR MURVÆRK, DS 414, 2. udgave, side 13, 2.5 stenklasser er mursten – uden hensyn til brændingsgrad – inddelt i 8 stenklasser: sten 4, sten 7, sten 10, sten 15, sten 22, sten 30, sten 37 og sten 45, hvor tallene er udtryk for stenklassernes trykstyrke (σ_k) i MN/m².

Hvis der i dag på et teglværk foretages en sortering af mursten, vil det i de fleste tilfælde være på baggrund af farvenuancer, der f. eks. kan være fremkaldt ved at regulere på atmosfæren i ovnen, således at brændingen periodevis foregår i reducerende atmosfære, d.v.s. perioder, hvor der er iltmangel i fyrzonen.

TEGLS PORESTRUKTUR

Tegls porøsitet. At tegl er et porøst materiale betyder, at dets faste bestanddele er gennemskåret på kryds og tværs af kanaler og hulrum. Tegls porøsitet eller dets totale porevolumen, d.v.s. hvor mange procent af en teglmasse, der udgøres af kanaler og hulrum, kan beregnes af formlen:

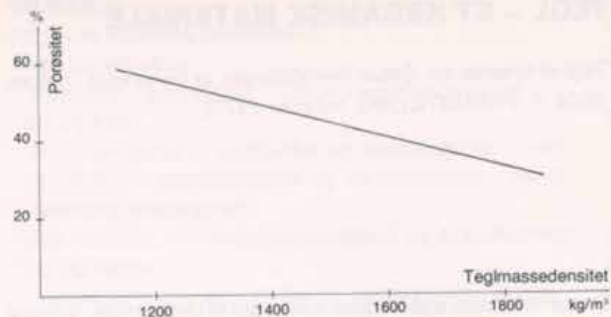
$P = 100 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)$, hvor P = porøsiteten i procent, ρ_s = densiteten af teglmassens faste bestanddele i kg/m^3 og ρ = teglmassens densitet i kg/m^3 .

Densiteten af de faste bestanddele i uorganiske byggematerialer ligger inden for ret snævre grænser, 2400-2800 kg/m^3 , og for tegls faste bestanddele kan densiteten med god tilnærmelse regnes at være 2700 kg/m^3 .

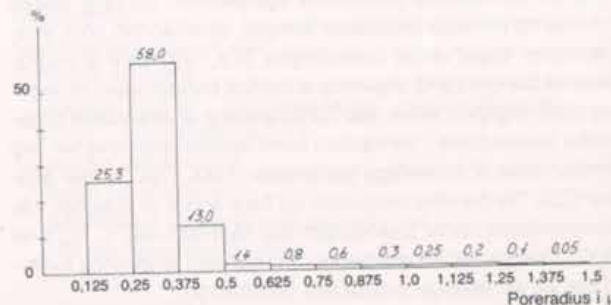
Hosstående kurve viser sammenhængen mellem teglmassedensitet og totalt porevolumen for en teglmasse, hvis densitet for de faste bestanddele er 2700 kg/m^3 .

Tegls porevidder. For tegl som for alle andre porøse byggematerialer gælder, at det ikke er muligt rent geometrisk at gøre rede for dets komplicerede opbygning; men i adskillige lande er der foretaget målinger til bestemmelse af vidden af de i tegl forekommende porer. Målinger på Kalk- og Teglværkslaboratoriet af 39 forskellige typer tagsten fra værker i alle egne af landet har vist, at langt den største del af porene i teglmaterialet i tagsten har radier i intervallet $1,0\mu > r > 0,15\mu$ ($1\mu = 1/1000 \text{ mm}$).

Almindelige teglprodukter indeholder ikke — eller kun i ubetydelig mængde — submikroskopiske porer, d.v.s. porer med radius mindre end $0,1\mu$. Et almindeligt teglprodukts indhold af grove porer stiger med stigende brændingstemperatur, og tegl indeholder normalt kun få porer med radius over $0,5\mu$. Desuden har det ved talrige forsøg kunnet påvises, at tegl ikke indeholder lukkede porer, og at et teglprodukts porer må antages at stå i forbindelse med produktets overflade, hvilket sikkert må sættes i forbindelse med, at der allerede ved det 1. lers tørring banes vej til overfladen for vand og vanddamp.



Sammenhæng mellem teglmassedensitet og totalt porevolumen for en teglmasse med densitet 2700 kg/m^3 for de faste bestanddele.



Porene i en tegltagsten fordelt efter vidder.

Det ses, at hovedparten ligger i området $0,5\mu > r > 0,125\mu$.

Tegls luftgennemtrængelighed. Den luftmængde, der pr. tidsenhed kan presses gennem et prøvelegeme af tegl, er ikke alene afhængig af luftens tryk og fugtindhold, men også af teglets fugtindhold og poreforhold, der som nævnt kan variere inden for vide grænser. For tørt tegl i $\frac{1}{2}$ -stens (108 mm) tykkelse kan man regne med, at luftgennemtrængeligheden ligger i området $15 \cdot 10^{-6} - 150 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{Pa}$.

Teglmurværks luftgennemtrængelighed er betydelig større (se side 21) på grund af den luft, som passerer gennem fugerne; men luftgennemgangen gennem murværk er for øvrigt uden betydning i sammenligning med det luftskifte, der finder sted ved vinduer og døre eller gennem ventilationskanaler.

TEGL OG FUGT

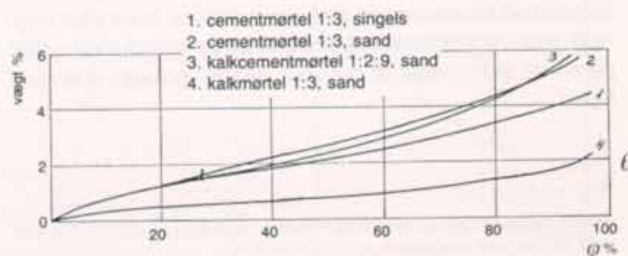
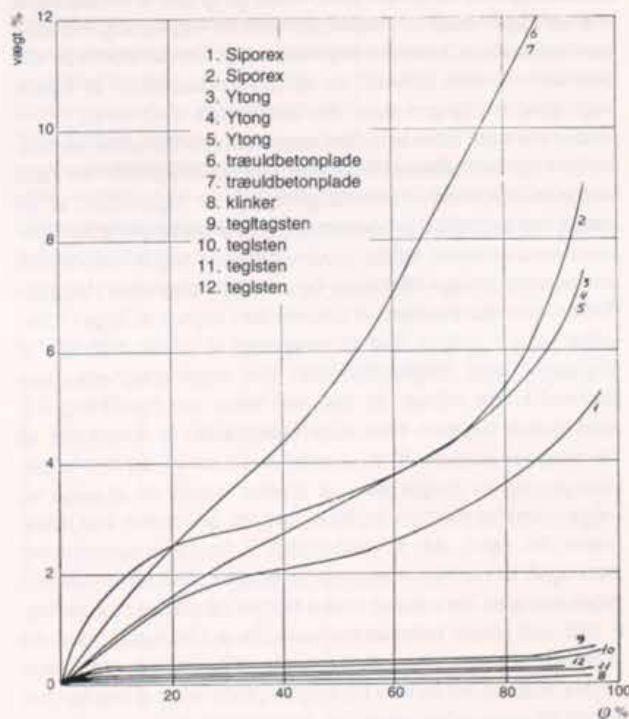
Tegls hygroskopicitet. Anbringer man et tørt, porøst byggemateriale i luft med en bestemt relativ fugtighed, vil man ved vejninger kunne konstatere, at materialet optager vand; det er hygroskopisk. Vandoptagelsen ophører efter kortere eller længere tids forløb afhængig af, hvilket materiale der er tale om, og når vandoptagelsen er ophørt, siger man, at materialet under de pågældende omstændigheder har nået sit ligevægtsvandindhold. Der er ikke enighed om, hvorledes denne vandoptagelse foregår; men de fleste af de teorier, som er fremsat, går ud på, at der under de nævnte omstændigheder vil dannes et tyndt lag adsorptionsvand på materialets overflade og pørevægge, og at den adsorberede vandmængde vokser med luftens relative fugtighed. Den optagne fugtmængde vokser også med antallet af fine porer. At der i fine porer kan ske fortætning af vanddamp fra luften skyldes, at damptrykket over stærkt krumme, fugtige flader er mindre end over plane – jo mindre desto mere fladen krummer – og dette betyder, at vanddamp kan fortættes i disse porer ved lavere damptryk end mætningstrykket.

Dette fænomen betegnes kapillarkondensation.

Relativ fugtighed %	99,9	99	90	34
Kapillarradius μ	1	0,1	0,01	0,001

Tabel over den relative fugtighed, hvorved der sker kondensation i kapillarer med en bestemt radius.

Sammenligner man tabellens værdier med de foran givne oplysninger om poreradier i almindelige teglprodukter, hvor så godt som ingen porer kan regnes at være submikroskopiske (at have radier mindre end $0,1 \mu$), og tager man i betragtning, at de i praksis forekommende relative fugtigheder normalt ikke overstiger 90 %, har man forklaringen på, at tegl, som det fremgår af hosstående figur, er meget lidt hygroskopisk, og at dets ligevægtsvandindhold ved alle relative fugtigheder er lavere end for alle andre gængse, porøse byggematerialer. Dette gælder, hvad enten ligevægtsvandindholdet opnås ved vandoptagelse eller vandafgivelse.



Sorptionsisotermer ved en lufttemperatur på 50°C, middelværdier af absorption og desorption (efter Poul Becher, Varme og Ventilation).

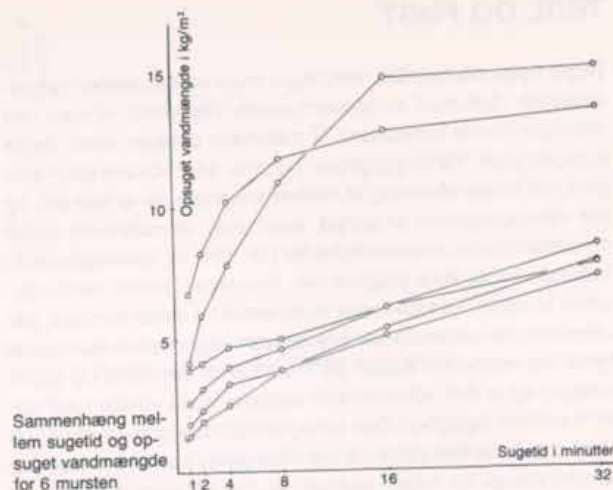
Tegls kapillaritet og minutsugning. Bringes et teglprodukt i kontakt med en vandoverflade, vil der på grund af de kapillære kræfter suges vand op i teglet; der sker en kapillarsugning eller kapillarsorption. Jo finere kapillarerne er, desto større er sugekraften, hvilket betyder, at de fineste kapillarer vil kunne suge vand fra de groveste, der først fyldes med vand.

I nedenstående tabel er indført nogle sammenhørende værdier mellem kapillarradier og stighøjder og stighastigheder for vand ved 20°C. Selv om vandopsugningen i et teglprodukt er en meget mere indviklet proces end opsugningen i retlinede kapillærer med konstant radius, giver værdierne dog en orientering om teoretisk mulige stighøjder og om stighastigheder i teglprodukter, hvor størstedelen af porerne kan regnes at ligge i intervallet $1\mu > r > 0,1\mu$. Det er vanskeligt at udføre målinger af stighøjder i tegl. Stighastigheden eller sugehastigheden kan derimod bedre måles, og den kan have stor betydning ved muring med teglsten. Hvis sugehastigheden er meget lille, vil stenen have tendens til at »svømme« i mørtlen, og hvis sugehastigheden er meget stor, vil stenen kunne nå at suge så meget vand fra mørtlen, at der er fare for, at mørtlen ikke alene mister det vand, der er nødvendigt til hærdningsprocessen; men også at mørtlen mister sin plasticitet (den bliver »død«), inden mureren har nået at trykke stenen på plads i murværket. F. eks. ved stærkt belastet murværk (bl. a. i højhuse), hvor det af hensyn til murværkets styrke er af stor betydning, at stenene mures nøjagtig ind og ikke bankes på plads, efter at mørtlen har mistet sin oprindelige plasticitet, kan sugehastigheden således have stor betydning (se side 16).

Sugeevnen karakteriseres ved minutsugning, d.v.s. den sugning, som – under bestemte betingelser, jfr. hosstående – sker på en tør sten i løbet af et minut. Minutsugningen angives i kg/m^2 .

Sammenhørende værdier mellem kapillarradier, stighøjder samt stighastigheder (målt 10 mm over vandspejlet) for vand ved 20°C.

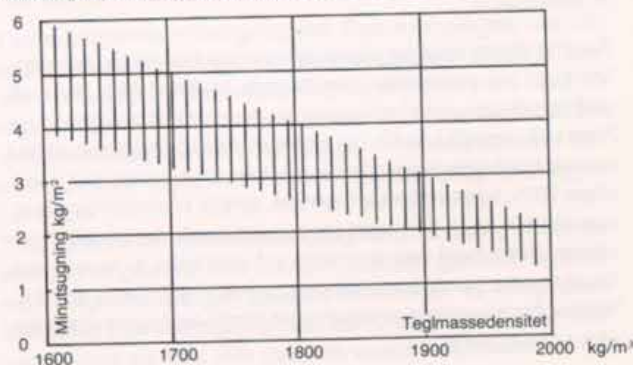
Kapillarradius	μ	10	1	0,1	0,01
Stighøjde	m	1,49	14,9	149	1490
Stighastighed	mm/s	17,2	1,72	0,172	0,017



Sammenhæng mellem sugetid og opsuget vandmængde for 6 mursten

Minutsugning bestemmes på Kalk- og Teglværkslaboratoriet på følgende måde: Stenene tørres til konstant vægt i tørreskab ved 110°C og henstilles i laboratoriet til afkøling i ca. 4 timer, hvorefter de vejes. Dernæst anbringes én sten ad gangen i en bakke med vand, således at den ene liggeflade er 10 mm under vandspejlet. Et minut efter, at liggefladen er kommet i kontakt med vandet, bliver stenen taget op og aftrykket med en opvredet klud, hvorefter stenen atter vejes. Vejningen bliver for hver sten afsluttet inden for et tidsrum på ½ minut fra optagningen at regne. Af vejeresultaterne og af stenens tværsnitsareal – beregnet efter måling af længde og bredde med skydelære – udregnes stenens minutsugning. Minutsugning angives i kg/m^2 af bruttoarealet.

Minutsugning af hårdtbrændte facadesten fra 15 danske teglværker.



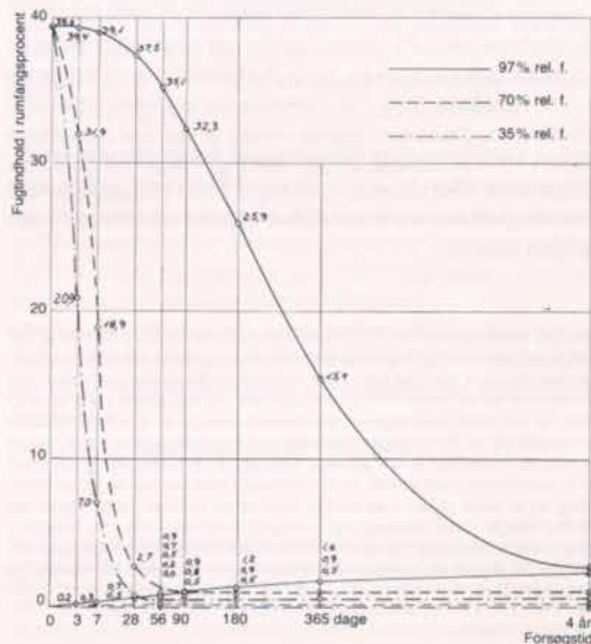
Tegls permeabilitet. Ved et materiales permeabilitet forstås den mængde vanddamp i kg, som i løbet af 1 sekund diffunderer igennem 1 m² af materialet, når dette er 1 m tykt, og når damptryksforskellen mellem materialets modstående sider er 1 Pa. Enheden for permeabilitet er altså kg/m · s · Pa. Varmeledningstal og permeabilitet svarer til hinanden; det er nødvendigt at kende materialernes varmeledningstal for at kunne beregne ydervægges varmetransmissionstal, og det er nødvendigt at kende materialernes permeabilitet (dampledningstal) for at kunne beregne væggenes dampdiffusionstal, hvilket får større og større betydning, efterhånden som det er blevet mere og mere almindeligt med højere rumtemperatur og dermed mulighed for højere vanddampindhold i rumluften samtidig med, at muligheden for luftskifte er blevet nedsat dels på grund af nye opvarmningsmetoder (kakkelovnen er væk), dels på grund af tættere ydervægge (f. eks. tættere vinduer). Det ville være logisk at bruge ordet dampledningstal i stedet for permeabilitet; men da ordet dampledning anvendes i anden betydning, er det her valgt i overensstemmelse med f.eks. Poul Becher: *Varme og Ventilation 2*, at anvende ordet permeabilitet. Problemerne omkring måling af materials permeabilitet og beregning af dampdiffusionstal er langt fra klarlagt på nuværende tidspunkt. Man er endnu ikke enige hverken om definitioner eller måleenheder; men det er i hvert fald fastslået, at et materiales permeabilitet ligesom dets varmeledningstal er afhængig af materialets struktur, temperatur og fugtindhold.

Materiale	Permeabilitet 10 ⁻⁹ · kg/m · s · Pa
Beton	0,002 – 0,006
Cementmørtel	0,002 – 0,006
KC-mørtel	0,006 – 0,017
K-mørtel	0,012 – 0,023
Træ (⊥ fibre)	0,001 – 0,002
Mineraluld	0,08 – 0,17
Teglsten	0,015 – 0,06

5 Tabel over permeabilitet for nogle få materialer.

Tegls vandoptagelse og vandafgivelse. Tegls vandoptagelse angives her i landet som regel i procent af teglmassens rumfang, og for almindelige facadestene ligger teglmassens vandoptagelse ved 2 døgns vandlagring (se afsnittet om densitetbestemmelsen side 7) i de fleste tilfælde i intervallet fra 20 til 30 rumprocent, for klinkbrændte sten lavere og for lette, porøse bagmursten højere.

Hvad vandafgivelse angår, har teglets poresystem den egenskab at bringe en fuldbændt teglsten til hurtigere at afgive optaget vand ved fordampning end noget andet gængs, porøst byggemateriale.



Vandmættet murstens vandafgivelse og tørre murstens vandoptagelse ved lagring i luft med relativ fugtighed 97, 70 og 35%, lufttemperatur 18°C (efter P. Høibø: *Der Austrocknung von Baustoffen*).

Tegls vandgennemtrængelighed. Selv om et teglprodukt på grund af de kapillære kræfter opsuger vand, således at f.eks. en tør facadesten, der anbringes med den ene kopende i et lavt bassin med vand, efter kortere eller længere tid bliver fugtig på den øverste kopende (se hosstående figur), er dette ikke ensbetydende med, at der, hvis den samme sten i en facademur udsættes for slagregns påvirkning, vil kunne trænge vand gennem stenen, og i hvert fald er de kræfter, der skyldes vindtrykket ved slagregns påvirkning, yderst ringe i sammenligning med de kapillære kræfter.

Et vindtryk på $0,75 \text{ kN/m}^2$ på en ydervæg svarer til en vindhastighed, som langt overstiger de normalt forekommende. Regnes der med, at vindens tryk p_v i kN pr. m^2 på en flade vinkelret på vindretningen er lig hastighedstrykket, bliver $p_v = \frac{1}{1600} v^2$, hvor v er vindhastigheden i m pr. sekund . Heraf ses, at et tryk på $0,75 \text{ kN/m}^2$ opstår, når vindhastigheden er $34,5 \text{ m/s}$ svarende til orkan. De $0,75 \text{ kN/m}^2$ svarer til et tryk fra 75 mm vandsøjle (735 Pa), medens de kapillære kræfter i almindelige teglstene kan regnes mindst at være af størrelsesordenen 10^4 mm vandsøjle ($98 \cdot 10^3 \text{ Pa}$). Først ved gennemgående porer med diameter omkring $0,1 \text{ mm}$ (100μ) begynder vindtryk og kapillære kræfter at blive af samme størrelsesorden (se tabel side 4).

I Danmark findes der normer for vandgennemtrængeligheden for tagsten af tegl (= DS = 187, Normer for Tagsten), men ikke for facadesten. På Kalk- og Teglværkslaboratoriet er der imidlertid udført vandgennemtrængelighedsforsøg med prøvelegemer fra et meget stort antal facadesten fra teglværker i alle egne af landet. De ved disse undersøgelser anvendte prøvelegemer er cylindre med 50 mm diameter og ca. 50 mm højde. Fremstillingen af prøvelegemerne sker ved, at hver mursten deles ved et snit parallelt med og i 50 mm afstand fra stenenes forside (synsfladen i murværket). Snittet foretages med stensav og under vandspuling, og af hvert stykke med forside udbores en cylinder. Udboringen, der ligeledes foregår under vandspuling, foretages med diamantbor fra forsiden i retning vinkelret på denne. For at hindre overfladeporerne i at blive tilstoppet ved ind sugning af skære- og boreslam vandlagres stenene et døgn, før skæring og boring finder sted.

Ved de omtalte forsøg med et stort antal facadesten fra hele landet er fundet værdier fra 0 til $3,77 \text{ g/time}$. Tager man i



Vandopsugning. Bemærk til højre fugens kapillarbydende virkning.



Prøvelegeme og vandgennemtrængelighedsprøvning.

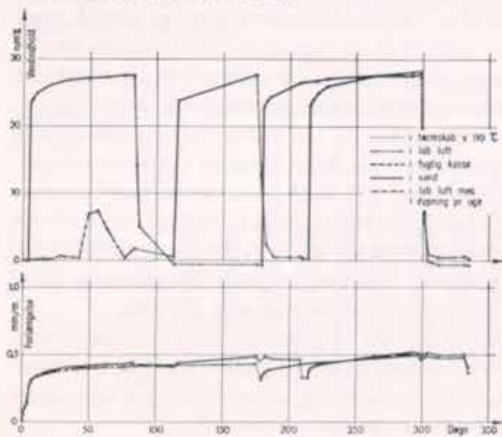
betragtning, at forsøgene er udført med et konstant vandtryk på 75 mm vandsøjle i 24 timer (svarende til 24 timers uafbrudt slagregn under orkan), der givet er en betydelig kraftigere påvirkning end den, der kan forekomme under normale danske forhold, og at prøvelegemerne kun er 50 mm høje, vil man forstå, at de vandmængder, der selv ved den kraftigste slagregn vil kunne trænge gennem facadesten af normal kvalitet, er meget små og, som det omtales side 18, i almindelighed helt uden betydning for murværks tæthed over for slagregn.

Vandgennemtrængelighedsprøvning. Efter at cylindrene er tørret til konstant vægt ved 110°C , anbringes hver cylinder som prop i en gummislange, således at cylindrens bagside flugter med slangens ene kant. Med en slangebinder uden på gummislangen sikres, at vand ikke kan bane sig vej langs skillefladen mellem cylinderen og slangen. Derefter hældes så meget vand i et glasrør anbragt i gummislangens anden ende, at cylindrens forside udsættes for et vandtryk på 75 mm , som vedligeholdes i 24 timer. Gennemsvivet vand opsamles i tarerede bægerglas, som vejes med bestemte tidsmellemlum. Den gennemsvivde vandmængde vokser efter nogle timers forløb meget nær proportionalt med tiden, og de vandmængder, der i de sidste 18 timer siver gennem cylindrene, udregnes i g/time .

TEGLS DENSITET, RUMFANGSBESTANDIGHED OG BRANDFASTHED

Tegls densitet. Densiteten angives i kg/m^3 og for materialet i tør tilstand, idet teglmassen er tørret til konstant vægt i tørreskab ved 110°C før densitetbestemmelsen. Teglmassens densitet vil for en massiv sten svare til stenens densitet; men for hulvarer, f.eks. en mangehulssten med 78 huller med kvadratisk tværsnit med 8 mm sidelinie, hvor teglmassen (materialet som omgiver hullerne) har en densitet på 1800 kg/m^3 , vil stenens »bruttodensitet« (»kassedensitet«) være ca. 1450 kg/m^3 , altså det samme som densiteten af en massiv sten med teglmassedensitet 1450 kg/m^3 . Da teglsten med teglmassedensitet på henholdsvis 1800 og 1450 kg/m^3 imidlertid kan regnes at have meget forskellige egenskaber (f. eks. hvad styrke og frostfasthed angår), viser det nævnte eksempel, at der er gode grunde til at angive et teglprodukts densitet som densiteten af teglmassen.

Teglmassedensiteten for sten fremstillet på danske teglværker ligger almindeligvis i området mellem 1200 og 1800 kg/m^3 . På enkelte teglværker fremstilles dog sten med densitet under 1200 og over 1800 kg/m^3 , og for klinkbrændte sten kan densiteten være over 2000 kg/m^3 . For de letteste stentyper gælder, at de som regel fremstilles af råler, hvortil der er sat brændbart materiale (f.eks. savsmuld).



Kurverne viser en rød, hårdtbrændt murstens rumfangsændringer under varierende lagringsbetingelser.

Det er ikke almindeligt at anvende sten med en middeldensitet for teglmassen under 1600 kg/m^3 i ikke-pudsede facader.

Tegls rumfangsbestandighed. Alle byggematerialer ændrer mål, når de udsættes for temperaturændringer, og for tegl kan man regne med en længdeudvidelse på ca. $0,005 \text{ mm/m pr. } ^\circ\text{C}$.

Alle porøse byggematerialer ændrer desuden mål med veksellende vandindhold, og for tegl kan man regne med, at de længdeændringer, der kan fremkaldes ved vekslen mellem vandmætning ved lagring i vand og tørring til konstant vægt ved 110°C , er af størrelsesordenen $0,1-0,2 \text{ mm/m}$, og de ændringer i mål, der kan fremkaldes ved skiftevis at lagre tegl i tør og i vandmættet luft, er så små, at de er uden interesse. Erfaringen viser da også, at de rumfangsændringer, der kan fremkaldes i teglsten udsat for normale klimatiske påvirkninger (vekslende temperatur og vandindhold) ikke er skadevoldende.

Tegls brandfasthed. Brandfasthed er ligesom f.eks. vejrfasthed, styrke, varmeledningsevne o.s.v. en materialeegenskab, og der findes da også som til bedømmelse af de fleste andre materialeegenskaber bestemte regler for prøvning af brandfasthed. Disse brandprøver kan deles i to grupper, prøvning af materialer og prøvning af konstruktioner.

Hvad materialet tegl, der er fremstillet ved brænding ved temperaturer af størrelsesordenen 1000°C , angår, er det indlysende, at det hører til den klasse af materialer, der betegnes: ikke brandbare.

Vedrørende teglstensmurværk henvises til side 24.

Bestemmelse af teglmassens densitet. Da der er teglprodukter (navnlig mursten og blokke) på markedet med forskellige antal af og former for huller, bestemmes teglmassens densitet på Kalk- og Teglværkslaboratoriet ved hydrostatisk vejning ved følgende fremgangsmåde: Stenene tørres til konstant vægt i tørreskab ved 110°C , og tørvægten noteres. Dernæst vandlagres stenene i to døgn, det første døgn halvt, det andet helt nedsænket, og vejes derefter såvel i vand som i luft; det sidste efter at overfladen er aftrykket med en opvredet klud. Af vejeresultaterne udregnes densiteten af stenenes teglmasse i tør tilstand, idet det forudsættes, at teglmassen ikke ændrer rumfang ved vandoptagelsen.

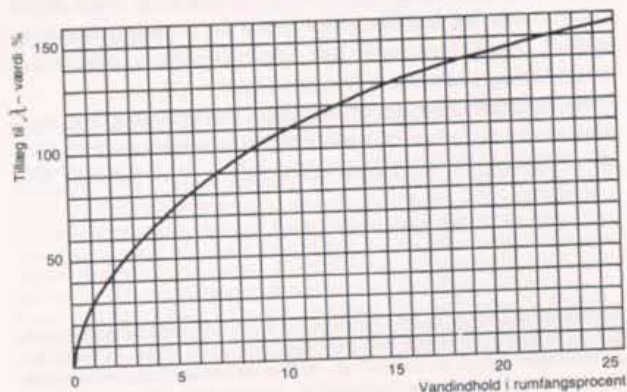
TEGL OG VARME

Varmeledning. Ved et materiales varmeledningstal, der betegnes λ , forstås den varmemængde, som i løbet af 1 sekund strømmer igennem 1 m^2 af materialet, når dette er 1 m tykt, og de modstående sideres temperaturforskelle er 1°C . Enheden for varmeledningstal bliver altså $\text{J/s} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C} = \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$. Varmeledningstallet bestemmes altid ved måling i et laboratorium, og betragter man en tabel over forskellige materials varmeledningstal, vil man opdage, at materialerne med den laveste densitet, der er mest porøse og altså indeholder mest luft, også har den laveste varmeledningsevne i overensstemmelse med, at stillestående, tør luft har et meget lavt varmeledningstal. Varmeledningstallet er dog ikke alene afhængig af materialets densitet, men også af dets struktur, temperatur og fugtindhold.

Som eksempel på, at materialer med samme densitet, men forskellig struktur kan have forskellige varmeledningstal, kan nævnes, at moler og letklinkerbeton med rumvægt 800 kg/m^3 har et varmeledningstal på henholdsvis $0,17$ og $0,24 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

Af hensyn til temperaturens og fugtindholdets indflydelse måles et materials varmeledningstal altid under bestemte betingelser (i Danmark ved 10°C , efter at materialet er kommet i fugtige vægt i luft med relativ fugtighed $35-50\%$). Det under disse betingelser målte varmeledningstal benævnes basisvarmeledningstallet, λ_{10} .

Det er navnlig fugtindholdet, der har indflydelse på de almindelige byggematerialers varmeledningstal, hvilket er forståeligt, når man betænker, at vands varmeledningstal er $20-25$ gange større end varmeledningstallet for den luft, som vandet erstatter i materialets porer.



Sammenhængen mellem varmeledningstal og vandindhold hos uorganiske materialer. Abscissen angiver vandindholdet i materialerne målt i rumfangsprocent. Ordinaten angiver, hvilket procentisk tillæg der må gives til varmeledningstallet for det laboratorierne materiale. (Efter Cammerer).

Tegls varmeledning. Da tegl som foran nævnt (se side 5) har det laveste ligevægtsvandindhold af samtlige gængse, porøse byggematerialer, vil dets λ -værdi ved anvendelse under normale betingelser kun ligge nogle få procent over λ_{10} .

Som nævnt stiger et materials varmeledningsevne med densiteten, og for massive teglsten varierer basisvarmeledningstallet fra $0,35 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ for sten med teglmassedensitet 1200 kg/m^3 (T1200) til $0,58 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ for sten med teglmassedensitet 1800 kg/m^3 (T1800). Fremstilles sten med samme teglmassedensitet som for de nævnte massive, men med huller, således at en del af teglmassen (ca. 20%) erstattes med luft, varierer de tilsvarende varmeledningstal fra $0,29$ til $0,47$, og for teglblokke med teglmassedensitet $1700-1800 \text{ kg/m}^3$ og med ca. 30% hulrum i form af 9 rækker spalter vinkelret på varme-strømmens retning er der målt varmeledningstal mindre end $0,29 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$.

Tegls varmefylde og varmeakkumuleringsevne. Ved et materials varmefylde forstås det antal kJ, der medgår til opvarmning af 1 kg af det tørre materiale 1°C . Enheden for varmefylde bliver altså $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, og tegls varmefylde regnes almindeligvis at være $0,96 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.

Ved et materials varmeakkumuleringsevne forstås sædvanligvis dets evne til at opmagasinere (akkumulere) varme, og denne evne er en funktion af varmefylde og vægt. Da varmefylden for de fleste uorganiske bygge- og isoleringsmaterialer ligger i intervallet $0,75-1,05 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$, bliver det først og fremmest vægten, som medfører forskelle i varmeakkumulering. Tunge materialer kan altså akkumulere større varmemængder end lette, og dette kan have betydning, når det drejer sig om at nedsætte afkølings- eller opvarmningshastigheden f. eks. for en ydervæg, hvis ydertemperaturen pludselig falder eller stiger, eller opvarmningen pludselig afbrydes.

Konstruktioner af tegl har på grund af deres forholdsvis høje vægt en højere varmeakkumuleringsevne end konstruktioner af de fleste andre gængse byggematerialer, hvilket som nævnt kan være en fordel (se endvidere side 22).

TEGL OG KULDE

Tegls modstandsdygtighed mod frost. Normalt er facadesten og tagsten frostfaste over for de klimatiske påvirkninger; men det kan hende, at der opstår frostskafer på såvel facadesten som tagsten.

At et porøst byggemateriale kan skades, når det i våd tilstand udsættes for temperaturer under frysepunktet, skyldes, at omformningen af vand til is sker under en rumfangsforøgelse på ca. 9%, hvorved der kan fremkaldes trækspændinger i det materiale, som omslutter porerne. Det er som nævnt forholdsvis sjældent, at der sker skader på teglsten af denne grund, og dette må sikkert forklares ved, at isen langtfra i alle tilfælde kommer til at udøve det til 9% udvidelse svarende tryk, dels fordi isen i nogen grad kan opføre sig som et plastisk stof og slippe ud af porerne uden at virke sprængende, og dels fordi et teglmateriale porer under normale klimatiske forhold sjældent bliver helt fyldt med vand. Ved gentagne frysninger og optøninger kan materialet dog undertiden udmattes, og der kan opstå skader, hvilket må skyldes, at hver frysning må formodes at kunne fremkalde én eller flere lokale svækkelser, og at disses nedbrydende virkning summeres.

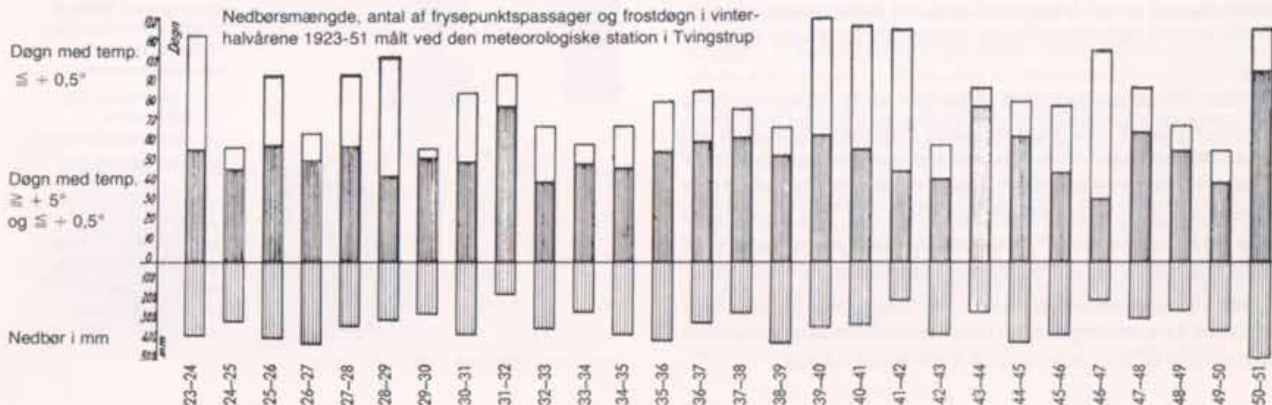
Når tegl frostskafer, sker det i de fleste tilfælde ved, at materiale skaller af i tynde skiver eller sprænges af i store stykker; men også skader i form af smuldring (forvitring) og revnedannelser kan forekomme.

Prøvning af modstandsdygtighed mod frost. I Danmark findes ingen norm til bedømmelse af murstens modstandsdygtighed mod frost (vel nok fordi facadesten sjældent frostskafer); men for tagsten findes en normeret prøvningsmetode (beskrevet i DS = 167), og denne metode anvendes også ved undersøgelse af mursten. Til en prøvning kræves mindst 5 sten, og prøvningen gennemføres på følgende måde:

Efter 2 døgns vandlagring, det første døgnet halvt, det andet helt nedsænket, udsættes stenene for 25 frysninger i luft ved ca. -15°C med mellemliggende optøninger i vand med stuetemperatur. Frysningerne varer mindst fire timer, optøningerne mindst to. Efter hver optøning besigtiges stenene med det formål at kontrollere, om der er sket afsprængninger eller fremkommet revner under den foregående frysning. Er dette ikke tilfældet, har stenene bestået den for tagsten normerede frosthædedsprøvning. I skalmursnormen nævnes ESSEN II-metoden. Oplysninger om denne kan fås på Kalk- og Teglværkslaboratoriet.

Kommentarer til prøvningsmetoden. At et parti facadesten ikke har bestået normprøvningen er imidlertid langt fra ensbetydende med, at stenene ikke kan holde i praksis. Det er f. eks. ret almindeligt, at massive sten skades i laboratoriet, men at tilsvarende sten aldrig viser tegn på skader, når de anvendes i en facademur, og ved frostprøvning af tagsten findes eksempler på det omvendte forhold: tagsten, der har bestået normprøvningen, er blevet frostskaferet efter at have ligget nogle år på et tag.

Der findes i øjeblikket ingen laboratorieprøvning, efter hvilken det er muligt med rimelig sikkerhed at afgøre, om et teglprodukt vil klare sig i praksis eller ej, hvilket sikkert må tilskrives, at de hidtil anvendte metoder rent prøveteknik har visse mangler, bl.a. for ringe overensstemmelse med forholdene ved den klimatiske påvirkning i det færdige bygværk. Der arbejdes imidlertid intenst på international basis for at finde en metode til ud fra laboratorieforsøg at kunne bedømme tegls modstandsdygtighed, og indtil en sådan metode foreligger, vil de enkelte værkers erfaring fra praksis være det vigtigste kriterium ved valg af materialer; men det kan dog med sikkerhed siges, at tegls modstandsdygtighed vokser med brændingsgraden, og dette kan sikkert ikke alene forklares ved, at teglets styrke vokser, men især ved, at porestrukturen ændres (bliver grovere) med voksende brændingsgrad.



TEGLS STYRKE

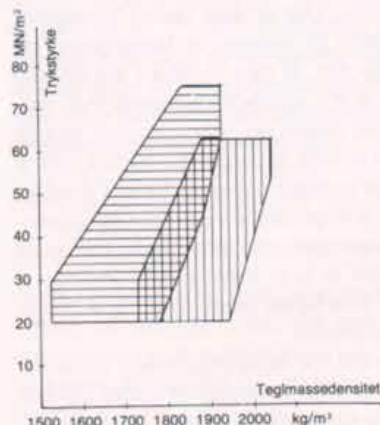
Ved tegls styrke forstås som regel tegls trykstyrke; men det betyder ikke, at tegls trækstyrke (se side 11) og forskydningsstyrke er af underordnet betydning. Det er imidlertid vanskeligt at bestemme tegls træk- og forskydningsstyrke, og man anvender derfor i alle lande trykstyrken som kvalitetsmål. Det skal dog bemærkes, at der i de senere år har været bestræbelser i gang for at ændre dette.

Trykstyrken af mursten af et bestemt ler fra et bestemt teglværk afhænger især af brændingsgraden: jo højere brændings-temperatur, desto stærkere sten. At teglets styrke ikke alene afhænger af brændingsgraden, men også af lerets art, medfører, at styrken vanskeligt kan bedømmes ved skøn. Gule, hårdtbrændte facadesten med en forholdsvis lav densitet fra et teglværk kan f.eks. udmærket have en højere trykstyrke end gule, hårdtbrændte facadesten med en forholdsvis høj densitet fra et andet værk.

På de fleste teglværker fremstilles massive sten og mangelhulssten af samme ler, og det ville være nærliggende at antage, at de massive sten brændt ved samme temperatur som mangelhulsstenene ville have den største trykstyrke. Dette er imidlertid ikke tilfældet, idet stenene med huller som regel har samme eller i de fleste tilfælde større trykstyrke end de tilsvarende massive, selv om det bærende tværsnit er formindsket med hullernes areal. Årsagen til dette må formodentlig søges i, at sten med huller bliver bedre gennembrændt end massive sten.

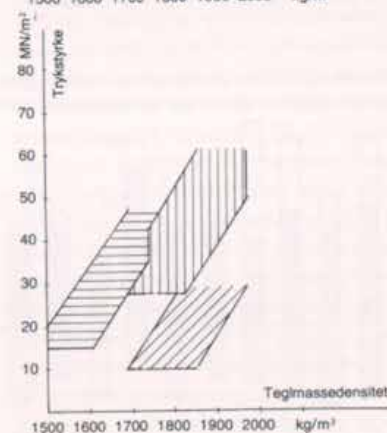
Foruden af brændingsgraden afhænger tegls styrke i høj grad af lerets art, f.eks. om det er rød- eller gulbrændende, eller om det er magert eller fedt. Desuden afhænger trykstyrken af teglets vandindhold ved prøvningen; navnlig når teglet ikke er klinkbrændt eller hårdtbrændt, svækkes det, når porerne er mere eller mindre vandfyldte. Endelig skal det nævnes, at prøvelegemets form har indflydelse på de fundne trykstyrker, hvilket må tages i betragtning ved sammenligning af trykprøve-resultater fra prøvning af sten med normalformat og resultater fra prøvning af sten eller blokke med andet format.

Selv om der her i landet findes teglværker, der fremstiller røde facadesten, hvis trykstyrke (middel af 10 sten) er over 40 MN/m², er det dog som regel sten af gulbrændende ler, der opnår de højeste styrker. Der findes således mange teglværker, hvor stenene i den normale produktion af gule facadesten har middelstyrker på over 60 MN/m².



Røde og gule mangelhuls- og glitterstens (facadestens) trykstyrke i relation til stenenes teglmassedensitet

— gule
||| røde
■ røde og gule



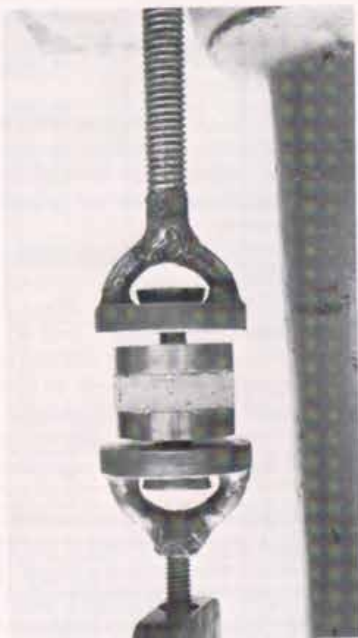
Røde og gule, massive facadestens trykstyrke i relation til stenenes teglmassedensitet.

— gule, maskin- og blødstøgne
||| røde, maskin- og blødstøgne
/// røde, blødstøgne

Begge diagrammer er baseret på Kalk- og Teglværkslaboratoriets trykprøvning af facadesten fra teglværker i alle egne af landet i årene 1960-1965



Metode til bestemmelse af tegls trækstyrke (Kalk- og Teglværkslaboratoriet)



Trækstyrke. På Kalk- og Teglværkslaboratoriet er der udført nogle orienterende forsøg, hvor den rene trækstyrke er bestemt på teglskiver med 35 mm diameter udboret af 36 forskellige typer røde tagsten fra teglværker i alle egne af landet. Der udførtes forsøg med 2 skiver fra hver tagsten; den fundne maksimums- og minimumstrækstyrke (middel af 2 forsøg) var henholdsvis 4,6 og 1,0 MN/m², og langt de fleste styrker lå i intervallet mellem 1,5 og 2,9 MN/m².

Forskydningsstyrke. En prøvningsmetode, som fører til rent forskydningsbrud, er vanskelig at finde.

Ved vridningsforsøg med teglcylindre ($d=h=50$ mm) har Kalk- og Teglværkslaboratoriet fundet formelle forskydningsstyrker mellem 2,4 og 3,4 MN/m². I flere lande tillades det at regne med, at murværk – afhængig af muremørtlen – kan optage forskydningsspændinger på op til omkring 0,2 MN/m².

Elasticitetstal. Dette varierer med de forskellige stenkvaliteter, således at stenene med størst styrke også har det største elasticitetstal. For de almindeligst anvendte stentyper med trykstyrker fra ca. 20 til ca. 40 MN/m² kan elasticitetstallet ved tryk vinkelret på stenenes liggeflade regnes at ligge i intervallet fra ca. 10.000 til ca. 20.000 MN/m². Trækelasticitetstallet er af samme størrelsesorden.

Trykstyrkebestemmelse. Til bestemmelse af murstens trykstyrke kræves mindst 10 sten, og fremgangsmåden ved trykprøvningen er følgende: Stenene halveres med en stensav, og de fremkomne halvtsten sammenmures derefter, således at der af hver sten fremkommer ét omtrent terningformet trykprøvelegeme. Efter sammenmuringen afrettes de med midterlugen parallelle sideflader med et lag af cementmørtel, således at de bliver plane og kan tjene som trykflader. Midterlugen fremstilles af sandfri cementmørtel af almindelig portlandcement. Afretningslagene fremstilles af en mørtel af ens vægtdele portlandcement og mørtelsand. Efter sammenmuringen og afretningen lagres i Kalk- og Teglværkslaboratoriet prøvelegemerne først tre døgn i luft i en kasse, hvor luftens relative fugtighed og temperatur er meget nær 100% (=vandmættet luft-) og 20° C og derefter fire døgn i luft ved 40° C.

Efter denne lagring trykprøves prøvelegemerne i en hydraulisk presse, hvis trykplader begge er lejret i kugleskåle. Lasten øges jævnt, indtil brud indtræffer. Af brudlasten og prøvelegemernes mindste tværsnitsareal udregnes trykstyrken. Det tværsnitsareal, der anvendes ved beregning af en stens trykstyrke, er brutto-tværsnittet; der ydes altså aldrig fradrag for huller i stenenes tværsnit.

MUREMØRTLER

Ved muremørtel forstås en uhærdnet eller hærdnet masse fremstillet af **bindemiddel, vand og tilslagsstoffer**.

Bindemidlet i muremørtel er her i landet oftest en blanding af kalk og cement, men rene cementmørtler og murcementmørtler anvendes også.

Murcement fremstilles og hærdner i princippet som almindelig portlandcement, men adskiller sig fra denne bl.a. ved sit indhold af finmalet natursten (f.eks. kalksten eller kvarts) og ved altid at indeholde et luftporedannende stof.

Vandet er som regel ledningsvand, og det skal i hvert fald helst være lige så rent som drikkevand.

Tilslagsstoffet er som regel sand, der skal have en passende kornstørrelsesfordeling.

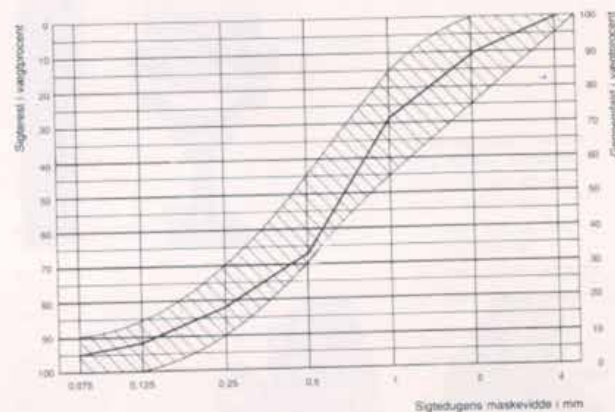
Kornstørrelsesfordelingen bestemmes ved sigtning af sandet på sigter med kvadratiske masker, og i skemaet i næste spalte ses resultatet af sigtning af en prøve af sand, som kan regnes velegnet til fremstilling af muremørtel, indført, og i figuren er resultatet afbildet grafisk i en sandkurve. På figuren er endvidere indtegnet to grænsekurver, som et mørtelsands kornkurve helst skal ligge imellem.

Foruden at have en god kornstørrelsesfordeling skal sandet være frit for skadelige stoffer, og til skadelige stoffer hører muld, organiske bestanddele, humus samt ler i for store mængder. Særlig humus, der f.eks. kan forekomme pletvis i grusgrave, kan være skadelig, idet forholdsvis små mængder ikke alene kan sinke hærdningsprocesserne, men også nedsætte mørtelens styrke.

Bindemiddel, vand og sand har hidtil været de bestanddele, der var afgørende for såvel uhærdnet som hærdnet mørtels egen-

Humusprøven. Om et mørtelsand indeholder humus, kan undersøges på følgende måde: Sandet fyldes i et klart, farveløst cylindrisk glas (med diameter ca. 60 mm) til ca. 70 mm højde, hvorefter der påfyldes en 3 procentig natriumhydroxid-opløsning (natronlud) til i alt ca. 120 mm højde. Glasset proppes til, rystes grundigt i et minut og henstilles. Er væsken efter 24 timers henstand endnu ufarvet eller lysegul, er indholdet af humusstoffer betydningsløst; er væsken stærkere gul, brun eller mørkebrun, er indholdet af humusagtige stoffer enten for stort, eller misfarvningen skyldes kulkorn. Sandet bør derfor kun anvendes, hvis man ved sammenlignende styrkeforsøg med mørtlen ikke finder nogen styrkeforringelse.

Maskevidde mm	Sigterest		Gennemfald	
	g	%	g	%
4,0	0	0	998	100
2,0	109	11	889	89
1,0	178	18 (29)	711	71
0,5	384	38 (67)	327	33
0,25	148	15 (82)	179	18
0,125	101	10 (92)	78	8
0,075	32	3 (95)	46	5
0	46	5 (100)		
Sum	998	100		



Et mørtelsands sigtekurve (efter Dührkop, Saretok, Sneek, Svendsen: Mørtel, muring, pudsning). Det skraverede felt er området mellem de nordiske grænsekurver for mørtelsand.

skaber, men særligt i årene efter sidste krig er der kommet et meget stort antal tilsætningsstoffer til mørtler på markedet, bl.a. stoffer, der fremskynder, og stoffer, der sinker hærdningen, stoffer, der øger mørtlens luftindhold og dermed dens bearbejdelighed og dens frosthæthed, stoffer, der øger bearbejdeligheden uden at ændre luftindholdet væsentligt, og stoffer, der øger den hærdnede mørtels tæthed og vandafvisende egenskaber m.m. Her i landet er kun enkelte af de på markedet værende tilsætningsstoffer til mørtler godkendt af myndighederne, og det må stærkt anbefales, at man, før et tilsætningsmiddel anvendes, søger oplysning om, hvorvidt det pågældende middel er godkendt.

I vore dage findes et stort antal mørteltyper og specialmørtler, men her skal kun omtales de godkendte muremørtler, der karakteriseres efter bindemidlets art og af Nordisk Pudskomité og i murværksnormen (DS 414) har fået følgende betegnelser: Kalkmørtel = K-mørtel
Cementmørtel af alm. portlandcement = C-mørtel
Kalkcementmørtel = KC-mørtel
Murcementmørtel = M-mørtel
Andre muremørtler end de foran nævnte kan anvendes, når deres egnethed eftervises (se DS 414, side 17). Ved blanding af mørtler har man hidtil i langt de fleste tilfælde foretaget udmåling af materialerne efter rumfang, hvilket som bekendt rummer mange kilder til fejl; f.eks. ændres sands rumfang i høj grad med varierende vandindhold og varierende Kornstørrelsesfordeling.

Det er ifølge murværksnormen stadig tilladt at blande mørtler efter rumfang, når bestemte regler følges, men skal mørtel bedst muligt svare til det angivne blandingsforhold, må blandingen som for betons vedkommende ske efter vægt, hvor det angivne vægtforhold gælder tørre materialer. I murværksnormen er det da også valgt at angive et blandingsforhold ved forholdet mellem vægten af de indgående delmaterialer pr. 100 kg bindemiddel. Tallet for sandmængden bliver da det antal kg sand, der skal bruges til en blanding med i alt 100 kg bindemiddel.

K 100/1200 er således en kalkmørtel med 1200 kg tørt sand pr. 100 kg kalkhydrat (altså en 7,7 procentig kalkmørtel), og KC 50/50/750 er en mørtel med 750 kg tørt sand pr. 100 kg bindemiddel, hvor bindemiddelandelen består af 50 kg kalkhydrat og 50 kg cement.

Ved blanding efter rumfang med kontrollerede mål (jfr. DS 414) skal mængderne af såvel bindemiddel som fugtigt sand udtages som angivet i efterfølgende tabel.

Blandingsforhold efter rumfang (jfr. murværksnormen).

Mørteltype	Bindemiddel		Sandindhold (fugtigt) Maksimalt dele
	Kalkhydrat dele	Portlandcement dele	
K 100	1	0	5
KC 50/50	2	1	12
KC 35/65	1	1	8
KC 20/80	1	2	11
C 100	0	1	3

Som nævnt foran er der mange kilder til fejl, hvis en mørtel blandes efter rumfang, og der findes derfor ingen mulighed for en nøjagtig omregning fra betegnelse efter rumfang til betegnelse efter vægt og omvendt; men ved en tilnærmet omregning kan densiteten for hydratkalk, cement og murcement sættes til henholdsvis 600, 1250 og 1050 kg pr. m³, og 1 m³ naturfugtigt sand kan antages at indeholde 1300 kg tørt sand.

Det nytter ikke, at man har de rigtige materialer i de rigtige forhold, hvis blandingen ikke udføres korrekt og med omhu. Derfor er der i murværksnormen angivet følgende regler for blanding af mørtel:

Mørtel til murværk i såvel klasse A som klasse B skal blandes på maskine. Ved blandingens ophør skal bindemidler, tilslagsmaterialer og vand være ensartet fordelt i mørtlen.

Cementholdige mørtler skal være færdige til brug, når de tømmes ud af blandemaskinen, og senere iblanding af bindemidler, tilslagsmaterialer, vand eller tilsætningsstoffer må ikke finde sted. For KC 50/50 og KC 35/65 til murværk i klasse B vil dog kunne tolereres oprøring med tilsætning af vand én gang, såfremt dette sker senest 3 timer efter, at mørtlen er tømt ud af blandemaskinen.

Kalkmørtel må oprøres med vand uden brug af blandemaskine. Anvendes fabriksfremstillet kalkmørtel til fremstilling på byggepladsen af kalkcementmørtel til murværk i klasse A, skal vand og cement eller vand, cement og tilslagsmaterialer fyldes i blandemaskinen og blandes til en ensartet masse, før kalkmørtel ifyldes. Ved fremstilling af en sådan mørtel til murværk i klasse B kan alle materialerne fyldes i blandemaskinen på én gang.

Blandemaskinen skal tømmes helt før hver ny blanding.

MUREMØRTLERS EGENSKABER

Krav til muremørtlers brugsmæssige egenskaber er ikke normerede; men i den følgende omtale af uhærdnet og hærdnet mørtels egenskaber er der angivet metoder, der i hvert fald kan anvendes ved en relativ bedømmelse af de forskellige mørtlers egenskaber. Den uhærdnede mørtel må have en sådan konsistens og smidighed (bearbejdighed), at den let lader sig forme, og den hærdnede mørtel må tilfredsstillende de krav, der stilles til den i det færdige bygværk.

Uhærdnet mørtel. Den uhærdnede mørtels egenskaber er bl.a. afhængig af bindemidlets art, bindemidlets mængde, vandindholdet, sandets kornstørrelsesfordeling, eventuelle tilsætningsstoffer, blandingsmetode m.m. Foruden at opfylde kravet om passende konsistens og smidighed må mørtlens evne til at »stå« i baljen uden at sætte vand op – en evne, der for øvrigt vokser med smidigheden – være tilfredsstillende, og det samme gælder dens vandholdeevne (evnen til at hindre mørtelvandet i for hurtigt at blive opsuget af porøs mursten). Når mureren har lagt en almindelig teglsten på plads i et stykke murværk, vil mørtlen ret hurtigt begynde at stivne, og dette skyldes, at en del af mørtelvandet forholdsvis hurtigt opsuges af stenen, og først når denne opslugning er afsluttet, begynder den egentlige hærdning i form af en række kemiske processer. Hærdningsprocessernes forløb og hastighed, der har stor indflydelse på den hærdnede mørtels egenskaber, er afhængige af mange ting, bl.a. af bindemidlets art og den omgivende lufts temperatur og relative fugtighed.

Hærdnet mørtel. Som foran nævnt må den hærdnede mørtel have sådanne egenskaber, at den tilfredsstillende de krav, der stilles til den i det færdige bygværk, og blandt disse kan nævnes: krav vedrørende styrke, vedhængning, frosthæthed, vandtæthed, diffusionstæthed og rumfangsbestandighed. Som for uhærdnet mørtel gælder det for hærdnet mørtel, at der ikke findes normer med prøvningsregler; men ved den følgende omtale af hærdnet mørtels egenskaber er der gjort rede for en række prøvningsmetoder, der kan anvendes ved bedømmelsen.

Styrke. Der er mange faktorer, der har indflydelse på en mørtels styrke (f.eks. bindemidlets art, mængde og kvalitet, sandets mængde og kvalitet, hærdningsbetingelserne, tilsætningsstoffer m.m.). Hvilken indflydelse, bindemidlets mængde og art har på forskellige mørtlers styrke, er f.eks. påvist ved forsøg med prøvelegemer, der var 28 døg gamle og lagret i luft med en temperatur på 20°C og en relativ fugtighed på 70%. Det viste, at styrken vokser med cementindholdet; men at cementindholdet skal være op mod 35 procent af bindemiddel-mængden, før det har mærkbar indflydelse på mørtlens styrke.

Ved ren K-mørtel er forholdet mellem bøjningsstyrke og trykstyrke ca. 2/3. For mørtler, der indeholder cement, aftager dette forhold med voksende cementindhold, og for ren cementmørtel er det kun ca. 1/4. Det er gunstigt for murværkets styrke, at mørtlens bøjningsstyrke er høj i forhold til trykstyrken. Elasticitetstallet er ca. 3.000 MN/m² for K-mørtler og fra 20.000 til 30.000 MN/m² for C-mørtler. For KC-mørtler ligger elasticitetstallene ifølge sagens natur mellem disse værdier. Da alle de almindelige, gængse mørtler er sprøde, kan man ikke regne med brudforlængelser på mere end 0,2-0,4‰.

Rumfangsbestandighed. Enhver muremørtel har et vist hærdningssvind, og er dette først overstået, er det sjældent, at de bevægelser, der opstår i fugerne i almindeligt murværk på grund af vekslende vandindhold eller vekslende temperaturer, fremkalder skader.

Muremørtlernes temperaturudvidelser kan regnes at være af størrelsesordenen 0,01-0,02 mm/m · °C, d.v.s. 2-4 gange så store som tegls temperaturudvidelse (se side 7).

Varmeledning. I de senere omtalte »Regler for beregning af bygningers varmetab«, DS 418, 4. udgave, er basisvarmeledningstallet (λ_{10}) for C-mørtel, KC-mørtel og K-mørtel angivet at være henholdsvis 0,90, 0,70 og 0,65 W/m · °C. Basisvarmeledningstallet for K-mørtel er altså af samme størrelsesorden som for de tungeste teglsten.

PRØVNING AF MØRTEL

Bearbejdelse bedømmes og karakteriseres på Kalk- og Teglværkslaboratoriet ved rystebordstallet, der bestemmes 30 minutter efter mørtels blanding på følgende måde: En keglestubform ($h = 45$ mm, $d = 60$ mm og $D = 90$ mm) anbringes midt på rystebordet og fyldes på normeret måde med mørtel, hvorefter formen fjernes, og mørtlen udsættes for 12 ryst, ved at bordet 12 gange løftes 9 mm og falder frit. Rystebordstallet udregnes som forholdet mellem mørtelkagens nedre diameter efter rystene og formens nedre diameter (90 mm). Mørtel med almindelig »baljekonsistens« har rystebordstal på omkring 1,80.

Vandudskillelse. Til bedømmelse af en mørtels evne til at »stå« i baljen uden at sætte vand op henstilles en portion af mørtlen i en cylindrisk beholder, hvorefter mængden af vand udsidt på overfladen måles med visse tidsmellemlum.

Vandholdeevne. Til bedømmelse af en mørtels evne til at fastholde mørtelvandet, når den udsættes for murstenenes sugning, måles på Kalk- og Teglværkslaboratoriet de vandmængder, som et mørtellag afgiver til trækpapir af bestemt kvalitet udlagt på mørtels overflade. Ca. 40 minutter efter blandingens afslutning fyldes et 25 mm dybt, cylindrisk kar med 100 mm indvendig diameter med mørtel til strøget mål. Derefter anbringes 2 lag gaze og 8 skiver trækpapir med 98 mm diameter på mørteloverfladen og belastes gennem en glasplade med 5 kg. 120 sekunder senere bliver trækpapiret vejlet og den opsugede vandmængde udregnet.

Frostfæst. I det foregående er det nævnt, at man på nuværende tidspunkt ved laboratorieprøvninger ikke med sikkerhed kan afgøre, om tegl er frostfast eller ej, og det samme gælder for mørtel; men fra praksis ved man, at de almindeligt anvendte muremørtler er frostfaste. Når der alligevel nu og da fremtræder murværk med frostskaadede fuger, kan det som regel henføres til, at mørtlen har fået frost i frisk tilstand.

Luft- og vandgennemtrængelighed. En mørtels luft- og vandgennemtrængelighed undersøges på Kalk- og Teglværkslaboratoriet ved hjælp af cirkulære mørtelskiver. Ved lagringstidens udløb støbes en forstærkningsring af formstof om hver skive, som derefter indsættes som prop i en kort gummislange, således at gummislangens ene kant flugter med skivens bagside. Ved hjælp af slangebinder sikres tætheden langs skillefladen mellem gummislange og formstof. Skiverne anbringes derefter i en holder, således at skiverne er vandrette med bagsiden nedad, og i rummet over forsidens fremkaldes derefter et lufttryk eller et vandtryk. Lufttrykket svarer til 10 mm vandsøjle og vandtrykket til 75 mm. De gennemsvivede luft- og vandmængder anvendes som mål for gennemtrængeligheden og angives i mængde pr. tidsenhed.

Som det er tilfældet ved undersøgelse af mørtlers styrke, fås ved undersøgelse af mørtlers luft- og vandgennemtrængelighed meget varierende værdier, der ikke alene er afhængige af mørtels art og bindemidlets mængde, men også i høj grad af det anvendte sands kornkurve; men almindeligvis vokser en mørtels tæthed med voksende mængde bindemiddel, og det er påvist, at en aktivering af en mørtel øger dens tæthed.

Prøvning af hærdnet mørtels styrke. De prøvelegemer, der på Kalk- og Teglværkslaboratoriet anvendes til bedømmelse af en mørtels styrke, er stænger, som måler 20 · 20 · 120 mm; men der bruges også stænger, som måler 25 · 25 · 170 mm. Disse stænger støbes efter regler givet af Nordisk Pudskomité. De forme, der anvendes, er metalrammer på glasbund. Formene har 3 rum side om side, og fremstillingen foregår på normeret måde med normeret trækpapir over og under mørtlen de første 3 timer efter støbningen, idet man ved denne fremgangsmåde opnår, at der suges vand fra den friske mørtel på en måde, der svarer til forholdene i praksis, hvor mørtlen anbringes mellem sugende sten. Efter 3 timers forløb presses mørtelstængerne ud af formene og lagres under bestemte forhold.

Når lagringen er overstået, bestemmes mørtels styrke, og styrkeprøvningen omfatter bestemmelse af såvel bøjnings- som trykstyrken. Ved bøjep prøvningen har stængerne 100 eller 150 mm spændvidde og belastes til brud med en jævnt voksende enkeltkraft på midten. Trykprøvningen udføres med brudstykkerne fra bøjningsforsøgene; her overføres lasten gennem 2 kvadratiske stålplader med 20 mm eller 25 mm sidelinie og eges jævnt, indtil brud indtræffer. De under støbningen lodretstående sideflader er træk- og trykside ved bøjningsprøvningen og trykflader ved trykprøvningen.

Vedhængning. Vedhængningsstyrken bestemmes på Kalk- og Teglværkslaboratoriet på følgende måde:

Et mørtellag svarende til normal fugetykkelse støbes ud på en cirkulær teglskive udboret af en mursten, og efter mørtels hærkning limes stålplader på det cylindriske prøvelegemes endeflader, hvorefter prøvelegemet anbringes i en prøvemaskine og udsættes for en central trækraft. De ved sådanne forsøg fundne resultater varierer naturligvis både med mørtel- og stentype, og det forekommer ret ofte, at brudfladen forløber helt i mørtlen (med mørtelprøvelegemer anvendes metoden til bestemmelse af mørtels trækstyrke).

Problemerne vedrørende en muremørtels vedhængning til murstenene i et murværk er langt fra klarlagt, men der synes at være en tendens til, at vedhængningen øges med øget cementindhold, når de anvendte sten ikke er stærkt sugende. Er stenene stærkt sugende, bliver vedhængningen som regel dårlig for alle mørteltyper, dog synes de kalkrige mørtler at kunne tåle en kraftig sugning bedst. For mursten, der hverken er stærkt eller lidet sugende, kan der opnås en god vedhængning for alle gængse mørtler.

Diffusionstæthed. Til bedømmelse af en mørtels gennemtrængelighed for vanddamp anvendes på Kalk- og Teglværkslaboratoriet som ved luft- og vandgennemtrængelighedsprøvningen cirkulære skiver. Hver skive anbringes som et tætsluttende låg over en flad skål med en mættet opløsning af kalciumklorid i bunden, og disse skåle henstilles i luft med konstant temperatur og høj fugtighedsgrad. Der opretholdes herved en forskel i vanddampens partialtryk på de to sider af skiven, og de mængder af vanddamp, som udefra passerer skiven, bestemmes ved vejninger med et døgn's mellemrum. De anvendte skiver er i reglen 20 mm tykke, og slamlaget er ofte slebet af. Den gennem skiven diffunderede mængde vanddamp angives i $\text{kg/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$.

MURVÆRKS EGENSKABER

Murværk er en bygningsdel bestående af mursten forbundet med muremortel. Murværket kan være skillevæg eller ydervæg. Kravene til murværk i disse to vægtyper er på nogle områder de samme; men ydervæggen skal kunne modstå klimatiske påvirkninger. Murværk beregnet til ydervægge vil kunne anvendes til skillevægge, medens det omvendte sjældent er tilfældet. Murværket har to hovedopgaver: at bære og at beskytte. Det stiller krav dels til styrken og dels til beskyttelse mod varme, kulde, fugt, lyd, ild m.m. I det følgende vil de vigtigste af de egenskaber ved murværk, der gør, at det er i stand til at tilfredsstille disse krav, blive omtalt.

I murværksnormen skelnes mellem murværk i klasse A og murværk i klasse B.

For murværk i klasse A søges murværkets bæreevne udnyttet til det yderste. Derfor er normens krav vedrørende udførelse, kontrol og tilsyn særlig strenge, og det må antages, at murværk i klasse B, hvor kravene ikke er nær så omfattende, vil blive dominerende.

Styrke og elasticitet. Når murværk udsættes for en lodret last, sker der en sammentrykning i kraftens retning, og denne sammentrykning bevirker – i de tilfælde, hvor faren for udbøjning er af underordnet betydning – at såvel sten som mørtel samtidigt udvider sig i vandret retning, og da mørtlen i de almindeligst forekommende murværkstyper er den svageste del, vil denne udvide sig mere end murstenene. Er der god vedhængning mellem sten og mørtel, vil stenene derfor blive udsat for vandrette trækspændinger, og overskrides stenenes trækstyrke, vil der opstå lodrette revner i stenene, som regel i studsfugernes planer, hvor murværket er svagest (studsfugerne kan ikke overføre trækspændinger). Den spænding (revnespændingen), ved hvilken stenene begynder at revne, er dog mindre end murværkets brudspænding. Først når revnedannelserne under stadig øgning af lasten har fået et vist omfang, vil murværket bryde sammen. Dette sker – i henhold til den beskrevne brudmekanisme – ved spændinger, der ligger over den anvendte, svage mørtels styrke.

I murværk, hvor mørtlen er stærk i forhold til stenene, har man derimod eksempler på, at de stærke liggefuger har virket som

en armering, der har hindret dannelse af lodrette revner, indtil trykket på stenene fra den stærke mørtel i studsfugerne – på grund af de svagere stens sammentrykning – er blevet så stort, at stenene er blevet »klippet« over; men også i dette tilfælde ligger murværkets brudspænding over revnespændingen. Resultatet af talrige forsøg med murværksspiller viser, at den nævnte revnespænding vokser med mørtlens styrke, når stenenes styrke er givet, og med stenenes styrke, når mørtlens styrke er givet.

Det er altså ikke alene stenenes og mørtlens trykstyrke, der er afgørende for et murværks styrke. Også stenenes trækstyrke spiller en afgørende rolle. En teglmasses trækstyrke vil som regel være proportional med trykstyrken; men er der huller i teglmassen som f.eks. i mangehulssten, eller har stenene under fabrikationsprocessen fået lodrette revner, er dette ikke tilfældet. Der vil da i stenene være tværsnit, hvis evne til at optage trækspændinger er nedsat betydeligt. Dette spiller i almindelighed ingen som helst rolle ved de gængse murværkskonstruktioner; men ved meget stærkt belastet murværk, som f.eks. i teglhøjuse, er det ikke tilladt at anvende sten med mange huller og sten med revner.

Forholdet mellem højde og tykkelse har også indflydelse på murværks styrke. Jo slankere en konstruktion er, desto mindre last skal der til, før udbøjningen når en sådan størrelse, at konstruktionen ikke kan optage de ved udbøjningen fremkaldte spændinger og bryder sammen. Ved en omfattende forsøgsrække i Svejts med slanke, ekscentrisk belastede teglmure, der var opmuret i ens KC-mørtel og af sten med samme trykstyrke, men fra forskellige teglværker, konstateredes det, at bæreevnen for mure af visse stentyper var lavere end ventet, og årsagen til dette viste sig at være, at stenene i de pågældende mure havde en så stor sugeevne, at mørtlen ikke alene mistede det vand, der var nødvendigt for hærdningen; men den mistede også hurtigt sin smidighed, og da slanke mure som regel svajer lidt under opmuringen, kan der, når mørtlen for hurtigt »suges død«, dannes en afrundet vippeflade i liggefugerne, og dette nedsætter murværkets styrke.

Af andre faktorer kan nævnes, at stenene må have regelmæssig form og mål, og at fugetykkelsen bør være så lille og

ensartet som mulig. Rent muretekniske forhold sætter dog en grænse for, hvor langt man kan gå ned med fugetykkelsen. Endvidere spiller forbandtet i murværket en rolle, og endelig skal det nævnes, at arbejdets udførelse i alle tilfælde vil være én af de faktorer, der har størst indflydelse på murværks styrke. Murværks elasticitetstal er – foruden af murværkets alder – afhængig af elasticitetstallet for såvel mørtel som sten, og da disse tal varierer stærkt med mørtel- og stentype, vil den eksakte værdi for elasticitetstallet for murværk af en bestemt mørtel og en bestemt type sten kun kunne fastsættes ved at bestemme murværkets trykarbejdslinje – se højre spalte.

Deformation. Den første deformation i murværk indtræder allerede under opførelsen i form af en sammentrykning – sætning – afhængig af den anvendte mørtel og af liggefugernes tykkelse og antal, idet mørtlen trykkes noget sammen ved den stadige øgning af lasten, som i almindeligt boligbyggeri hovedsagelig hidrører fra bygningens egenvægt. Af målinger foretaget i Sverige og Danmark fremgår, at man pr. etage kan regne med sætninger på 4-6 mm for vægge muret i K-mørtel og på 1-2 mm for vægge muret i KC-mørtel, og de foretagne undersøgelser synes at vise, at selv ved anvendelse af muremørtel med meget lav styrke er sætningerne så små, at man kun ved sammenbygning af gammelt og nyt murværk behøver at tage hensyn til dem. Svenske målinger af sætninger i vægge muret i KC-mørtel viser, at disse sætninger er af samme størrelsesorden som i betolvægge, når der yderligere tages hensyn til betonens krybning, og når begge vægtyper udsættes for normale spændinger.

Hvad angår murværks svind og krybning i lodret retning, er det uden betydning, og i vandret retning vil et eventuelt svind i fugerne hæmmes af stenene.

Rumfangsbestandighed. Murværks svind og svulmning med vekslende vandindhold kan regnes højest at være af størrelsesordenen 0,1 mm/m, og murværks varmeudvidelse kan regnes at være af størrelsesordenen 0,005 mm/m pr. °C.



Arbejdslinier fra trykforsøg med 10 skifter høje, 1 · 1½ stens murværkspiller. Kurverne er middelkurver for to piller (I og II).

Anvendte materialer ved forsøgene	Middel	Maksimum	Minimum
Mursten (Gennemsnitsprøver på 10 sten)			
Røde mangehulssten			
Trykstyrke i MN/m²	39,6	45,3	33,5
Teglmassedensitet i kg/m³	1921	1932	1903
Vandoptagelse i rum %	22,3	22,6	21,0
Minutsugning i kg/m²	2,23	3,10	1,90
Længde i mm	228	230	226
Gule mangehulssten			
Trykstyrke i MN/m²	30,7	47,0	17,3
Teglmassedensitet i kg/m³	1783	1844	1759
Vandoptagelse i rum %	28,2	30,2	24,2
Minutsugning i kg/m²	6,56	7,11	5,95
Længde i mm	228	230	226
Mørtel (styrke og densitet af stænger efter 9 ugers lagring)			
KC 39/61/660			
Trykstyrke i MN/m²	10,5	14,1	7,9
Bøjningsstyrke i MN/m²	3,8	5,2	2,4
Densitet i kg/m³	1889		
Piller (efter 9 ugers lagring)			
	I	II	Middel
af røde sten			
Trykstyrke i MN/m²	12,7	10,6	11,7
Elasticitetstal i MN/m² (bestemt ved 2 MN/m²)	1,2 · 10⁴	1,0 · 10⁴	1,1 · 10⁴
af gule sten			
Trykstyrke i MN/m²	7,6	7,2	7,4
Elasticitetstal i MN/m² (bestemt ved 2 MN/m²)	0,6 · 10⁴	0,6 · 10⁴	0,6 · 10⁴

Vandgennemtrængelighed. Trænger der under slagregn mod en muret ydervæg vand igennem væggen, er der mulighed for, at vandet passerer væggen gennem murstenene, gennem fugerne eller gennem både mursten og fuger. Ved utallige undersøgelser er det imidlertid fastslået, at den dominerende årsag til en ydervægs manglende regntæthed er mangelfuldt udfyldte studsfuger, og dette gælder, hvad enten væggen er af massive sten eller mangelhulssten. Det er uhyre vigtigt, at et stykke murværk mures med helt fyldte fuger, og en betingelse herfor er ikke alene, at den håndværksmæssige side af sagen er i orden, men også, at mørtel og sten har sådanne egenskaber, at betingelsen for godt murerarbejde er til stede. Hvis f.eks. mørtlens vandholdeevne er ringe og stenedes sugsevne stor, vil mørtlen miste sin smidighed så hurtigt, at sammenhængen mellem sten og muremørtel ophæves, hvis stenene skubbes eller bankes på plads blot få sekunder efter anbringelsen i murværket. Det er endvidere en betingelse for, at en ydervæg er regntæt, at muremørtlen indeholder den

normerede mængde bindemiddel. Man kan ikke gå ud fra, at en studsfuge, der ikke er tilstrækkelig fyldt med muremørtel, kan gøres regntæt ved en almindelig fugning, bl.a. af den grund, at det ikke er muligt at komprimere fugemørtlen tilstrækkeligt, hvis studsfugen er delvis tom.

I den korrekt udførte hule ydervæg med ståltrådsbindere skulle vandgennemtrængning gennem både for- og bagmur ikke være mulig. Selv om der skulle trænge vand gennem utætte fuger i formuren, vil dette ikke have mulighed for at nå over til og gennem bagmuren, hvis binderne er fri for mørtelrester og lagt med fald mod formuren eller forsynet med drypnæse, og hvis der på sokkel, over muråbninger og ved eventuelle fulde udmuringer er anbragt sammenhængende, vandtætte papindlæg på forskriftsmæssig måde, d.v.s. ført frem til formurens forside og bøjet ind i bagmuren mindst 3 skifter oppe. Vedrørende papindlæg ved sokkel skal det nævnes, at det nødvendige som regel ret stærke pudslag på soklen af hensyn til eventuel bortledning af vand på plaget i hulrummet ikke bør føres op over nederste fuge til underkant nederste skifte, hvilket ofte er tilfældet. Det kan yderligere anbefales at udspare eller bore huller i et antal studsfuger i formuren i nederste skifte i flugt med oversiden af papindlægget. Sådanne huller tjener ikke alene til afledning af eventuelt vand fra hulrummet, men også til, at en eventuel trykforskel mellem formurens yderside og hulrummet hurtigt vil kunne udlignes, hvilket kan bevirke, at muligheden for vandindtrængning ved slagregn mod formuren nedsættes. Målinger har vist, at sådanne hullers indflydelse på væggens varmeisoleringssevne er yderst ringe. (Spørgsmålet om papindlæg i hule mure er nøjere beskrevet i Murerfagets byggeblad nr. 18).

Er 1½-stens tykt murværk opmuret med fyldte fuger i en mørtel med det forskriftsmæssige indhold af bindemiddel, vil der normalt ikke være fare for vandgennemtrængning under slagregn. Som omtalt under murstens vandgennemtrængelighed vil almindelige facadesten på grund af de kapillære kræfter imidlertid ved tilstrækkelig lang vandpåvirkning kunne gennemvædes; men er også mellemfugerne i væggen fyldt med mørtel, vil disse fuger virke kapillarbrydende, således at en videre transport af vand fra formurens til bagmurens sten vil blive hæmmet i en sådan grad, at en gennemvædning af væggen yderst sjældent vil kunne forekomme (se ill. på side 6 foroven til venstre).

Fremkommer der trods fejlfrit murerarbejde, gode sten og god mørtel alligevel fugtskader på den indvendige side af en ydervæg, vil det vand, der har fremkaldt skaderne, som regel enten være trængt ind ad andre veje end gennem sten og fuger i selve murværket eller være dannet ved fortætning på væggen af vanddamp fra rumluften.

Hvis der konstateres fugtskjolder på indersiden af en ydervæg, er det desværre ikke ualmindeligt, at man – uden at have undersøgt årsagen til skjoldernes fremkomst – behandler formuren med et vandafvisende middel, f.eks. en silicone, idet man går ud fra, at en imprægnering i hvert fald ikke kan skade. Der er imidlertid ikke så få eksempler på, at en sådan fremgangsmåde har haft en modsat virkning af den ønskede, bl.a. i tilfælde, hvor fugerne har haft grove utætheder, der absolut ikke kan lukkes ved en siliconebehandling af formuren.

«Kit- og glasplademethoden» anvendes til undersøgelse af utætheder. En vold af malerkit anbringes i u-form, og en glasplade trykkes mod volden. I den opståede lomme hældes vand. Ved at gentage forsøget rundt på murværket kan man konstatere, hvor utæthederne er.



Fortætning. Da det i de tilfælde, hvor der i en bolig opstår fugtskader på grund af fortætning, som regel er meget vanskeligt at ændre beboernes boligvaner (f.eks. ved krav om bedre udluftning), må man sørge for, at alle ydervægge er varmeisoleret så godt, at væggenes inderside på de mest udsatte steder – selv i meget koldt vejr – ikke afkøles til temperaturer, der ligger under rumluftens dugpunkt, og med de i 1977 indførte krav til ydervægges varmeisolering vil fugtskader i nye boliger med forskriftsmæssigt udførte ydervægge af tegl sikkert meget sjældent kunne henføres til skader fremkaldt af fortætning.

Fortætning. Den atmosfæriske luft består af kvælstof, ilt, kuldioxid, vanddamp m.m., og summen af disse bestanddeles partialtryk udgør luftens tryk (barometerstanden).

Af den atmosfæriske lufts bestanddele har kun vanddamp den særlige egenskab, at den kan fortættes til væske ved de temperaturer, der kan forekomme i boliger. Jo mere vanddamp, der findes i luften ved en bestemt temperatur, desto større er dampens partialtryk; men luft ved en bestemt temperatur kan imidlertid kun indeholde en vis mængde vanddamp, og når dette maksimum er nået, er luften mættet med vanddamp, og vanddampens partialtryk har da nået en maksimal værdi, der betegnes mætningsstrykket. Når luften er mættet med vanddamp, er dens relative fugtighed 100 %, idet man ved luftens relative fugtighed forstår forholdet mellem vanddampens tryk og mætningsstrykket ved samme temperatur angivet i procent.

Luftens evne til at optage vanddamp stiger stærkt med temperaturen. Medens f.eks. 1 kg tør luft ved 0°C kan optage 4 g vanddamp, før den er mættet, er det tilsvarende tal for tør luft ved f.eks. 10, 20 og 30°C henholdsvis 8, 15 og 28 g. Hvis luft, der ikke er mættet, afkøles, sker der ingen ændring i luftens indhold af vanddamp; men luftens relative fugtighed stiger, og når luftens temperatur er faldet så meget, at luften er mættet, vil en yderligere afkøling bewirke, at en del af vanddampene fortættes til fine dråber, der vil kunne slå sig ned på f.eks. vægge og vinduesruder.

Den temperatur, ved hvilken fortætningen begynder, betegnes dugpunktet. Er luftens temperatur og relative fugtighed i et køkken eller badeværelse således f.eks. henholdsvis 20°C og 85 %, skal luften kun afkøles ca. 2½°C, før dugpunktet er nået. Er temperatur og relativ fugtighed i en opholdsstue f.eks. 20°C og 50 %, skal luften derimod afkøles ca. 11°C, før dugpunktet er nået, og dette vil vel nok sjældent finde sted i en bolig med de gængse ydervægge af tegl; men sender man før sengetid – f.eks. ved at åbne en dør – luft fra den nævnte opholdsstue ind i et uopvarmet og uventileret soveværelse, vil stueluften afkøles og dens relative fugtighed stige. Er ydervæggens temperatur i soveværelset nede på ca. 10°C, og stiger luftens relative fugtighed i løbet af natten, vil der ske fortætning på de kolde ydervægge. Vil man undgå fortætning på ydervæggene i en bolig, er det altså en betingelse, at rumluftens temperatur alle steder er højere end dugpunktet. (I rum med høj, relativ fugtighed i korte perioder – f.eks. køkkener og badevæ-

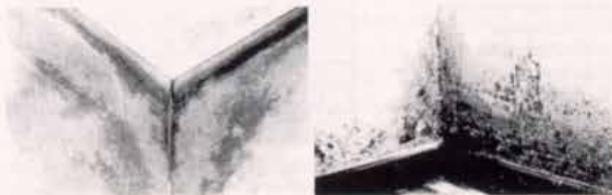
relser – kan vægpuds dog virke som regulator ved at optage og afgive fortætningsvand).

Hvis rumluftens relative fugtighed er høj i perioder med koldt vejr, vil der være størst fare for fortætning de steder, hvor ydervæggens temperatur er lavest, f.eks. bag møbler, der står op mod væggen, og bag billeder, der hænger på væggen, samt i hjørner, hvor to ydervægge (to «kolde flader» mødes), og indeholder væggens overflade organisk materiale (f.eks. limfarve eller ved tapetserede vægge klister), vil der være vækstbetingelser for mug; men også de steder, hvor der måtte forekomme en kuldebro ved ydervæggene, er der fare for fugtskader på grund af fortætning. Som eksempel på fortætning ved kuldebroer kan det nævnes, at der i mange eksisterende boliger i etagebyggeri findes jernbetondæk, der er støbt direkte mod formuren, og der vil da ofte forekomme fortætning og dermed fugtskjolder i en bræmme på lofterne langs ydervæggene. Også ved dæk støbt i direkte kontakt med eller lagt direkte på en betonsokkel må man være opmærksom på faren for kuldebroer langs ydervæggene.

Foruden i kolde perioder vil der være fare for fortætning forår og efterår, hvor rumluftens temperatur og relative fugtighed og ydervæggens temperatur kan variere forholdsvis meget på grund af diskontinuerlig opvarmning. Dette gælder specielt i den periode, hvor byggefugten endnu ikke er helt fjernet.

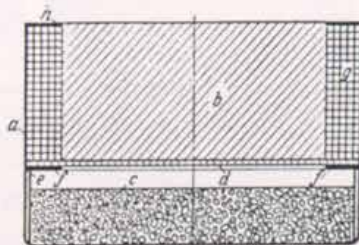
Som omtalt i foregående afsnit vil vand ved slagregn mod en massiv ydervæg (f.eks. 1½-stens væg) have mulighed for at trænge ind i og måske gennem væggen, hvis der mangler muremørtel i fugerne, men i de tilfælde, hvor der ikke trænger vand helt igennem en sådan væg, må det antages, at væggens vandindhold under slagregn i nogle tilfælde vil kunne blive så meget højere, end hvis fugerne havde været fyldt, at dette unormalt høje vandindhold vil kunne nedsætte væggens varmeisoleringssevne i en sådan grad, at dens indvendige overflade vil kunne afkøles under dugpunktet med deraf følgende fare for fortætning. I sådanne tilfælde vil fortætning undertiden kunne hindres ved en omhyggelig reparation af de mangelfuldt fyldte fuger, således at væggens mulighed for at optage unormale vandmængder under slagregn nedsættes. Er en sådan reparation ikke tilstrækkelig til hindring af skader på grund af fortætning, kan væggen indvendig forsynes med en tillægsisolering, men altså ikke for mangelfuldt fyldte fuger er repareret, eller der kan foretages en udvendig isolering f.eks. i form af en skalmur med isoleringsmateriale mellem skalmur og eksisterende mur.

Fortætning ved loft og gulv (fra uopvarmet soveværelse).



Diffusionstæthed. Som foran nævnt vil der i nutidens boligbyggeri med tegl normalt ikke være fare for fugtskader på grund af fortætning af vanddamp på bagmurens inderside; men i moderne boliger, hvor det naturlige luftskifte på grund af de forholdsvis tætte vinduer, de ofte meget tætte etageadskillelser og tage samt de ændrede opvarmningsmetoder (centralvarme i stedet for kakkelovn) er betydeligt lavere end i de ældre boliger, er man, selv om det dominerende luftskifte stadig sker gennem utætheder ved vinduer og døre, blevet klar over, at ydervæggens diffusionstæthed kan spille en vis rolle for boligklimaet; men af særlig interesse er det, at der i mange af de nyere ydervægstyper, der ofte indeholder såvel meget porøse som meget diffusionstætte lag, kan være fare for fortætning inde i selve vægkonstruktionen. Har man mistanke om, at en sådan fortætning vil kunne finde sted, er det tilrådeligt at foretage en beregning af væggenes diffusionstæthed.

Den omtalte form for diffusion af vanddampe, der normalt foregår gennem alle typer af ydervægge af tegl i boliger, vil ikke have indflydelse på væggenes egenskaber, når formuren er ubehandlet. Gives formuren derimod udvendigt en behandling, der bevirker, at diffusionen gennem murens overflade nedsættes betydeligt, er det ikke udelukket, at vandindholdet i grænselaget mellem tegl og overfladelag i visse perioder i vinterhalvåret kan blive så højt, at der i frostvejr bliver mulighed for afskalninger.



- a) Aluminiumsbeholder
- b) Prøvelegeme
- c) Tørringsmiddel
- d) Trådnæt
- e) Afstandsring
- f) Understøtningsring
- g og n) Tætningmiddel

Beregning af ydervæggens diffusionstæthed. Som omtalt i afsnittet om tegls diffusionstæthed (se side 5) er der stadig mange uafklarede problemer med hensyn til såvel beregningsgrundlag som beregningsregler vedrørende vanddampes diffusion gennem ydervægge (dette gælder for øvrigt beregning af alle former for fugttransport i porøse byggematerialer, hvor flere former for transport, f.eks. diffusion og kapillarsugning, som regel foregår samtidig). Det efterfølgende eksempel på beregning af vanddampdiffusion gennem en almindelig hulmur med mineraluldisolering må derfor kun betragtes som rent orienterende.

Der er regnet med stationære tilstande med en relativ fugtighed på 90% (ϕ_u) og en temperatur på -5°C (t_u) ude og en relativ fugtighed på 50% (ϕ_i) og en temperatur på 20°C (t_i) inde (se fig. s. 21). Disse betingelser må antages i en vinterperiode at kunne forekomme ved en ydervæg, der afgrænser f.eks. en opholdsstue. Væggen er tænkt muret i kalkcementmørtel med formur af røde mangelhulssten (tegmassedensitet 1800 kg/m^3) og bagmur, som er tænkt ubehandlet indvendig, af gule, blødtrogne sten (teglmassedensitet 1600 kg/m^3). Væggens varmetransmissionstal er $0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ (se side 22), formurens permeabilitet er regnet at være $3,12 \cdot 10^{-11}$ og bagmurens $4,16 \cdot 10^{-11} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$, medens mineraluldens permeabilitet er sat til $15,6 \cdot 10^{-11} \text{ kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$. Dampovergangsmodstandene ved ydre og indre vægoverflade er der set bort fra, idet summen af disse kan regnes at være mindre end $4,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$. Af følgende oversigtskema fremgår de ved de efterfølgende beregninger anvendte betegnelser og den relation, der er mellem varmetransmissions- og dampdiffusionsberegninger.

Varmetransmission

- t = temperatur i $^\circ\text{C}$
- Δt = temperaturdifferens i $^\circ\text{C}$
- e = lagtykkelse i m
- λ = varmeledningstal i $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
- m_i = indvendig overgangs-isolans i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
- m_u = udvendig overgangs-isolans i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
- $m_e = \frac{e}{\lambda}$ = isolans for materialelag i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$
- k = transmissionstal i $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Dampdiffusion

- p = vanddamps partialtryk i Pa
- Δp = damptryksskævsforskellen i Pa
- e = lagtykkelse i m
- D = permeabilitet i $\text{kg/m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$
- m_{di} = indvendig overgangsmodstand i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$
- m_{du} = udvendig overgangsmodstand i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$
- $m_{de} = \frac{e}{D}$ = diffusionsmodstandstal for materialelag i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$
- d = diffusionstal i $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$

Ud fra de nævnte forudsætninger ($t_i = 20^\circ\text{C}$, $t_u = -5^\circ\text{C}$, $\Delta t = 20 - (-5) = 25^\circ\text{C}$) og ved anvendelse af de i »Regler for beregning af bygningers varmetab«, 4. udgave, nov. 1977, givne retningslinier er isolansen for de forskellige lag i ydervæggen beregnet og indført i efterfølgende skema, hvorefter kurven over temperaturens fald gennem væggen er indtegnet på skitsen af vægtværsnit.

Isolans og temperaturfald i lagene i en 35 cm hul ydervæg med 125 mm isolering.

Isolans $m^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$		Temperaturfald $^\circ\text{C}$
Indvendig overflade	$m_i = 0,13$	$\Delta t = \frac{25}{3,74} \cdot 0,13 = 0,9$
Bagmur	$m_1 = \frac{0,11}{0,56} = 0,20$	$\Delta t = \frac{25}{3,74} \cdot 0,20 = 1,3$
Isolering	$m_2 = \frac{0,125}{0,039} = 3,21$	$\Delta t = \frac{25}{3,74} \cdot 3,21 = 21,4$
Formur	$m_3 = \frac{0,11}{0,67} = 0,16$	$\Delta t = \frac{25}{3,74} \cdot 0,16 = 1,1$
Udvendig overflade	$m_u = 0,04$	$\Delta t = \frac{25}{3,74} \cdot 0,04 = 0,3$
Sum	3,74	Sum 25,0

Når temperaturkurven er fastlagt, kan man ved hjælp af en tabel over mættede vanddampes tryk for forskellige temperaturer indtegne kurven for mætningstrykkene på skitsen af vægtværsnittet (se hosstående figur). Ud fra de givne forudsætninger, $\phi_i = 50\%$, $\phi_u = 90\%$ og de foran angivne permeabiliteter, er det muligt at beregne diffusionsmodstanden for de forskellige lag i væggen og derefter indtegne damptrykskurven på skitsen af vægtværsnittet, idet vanddampens partialtryk inde og ude er henholdsvis $0,5 \cdot 2338 = 1169 \text{ Pa}$ og $0,9 \cdot 401 = 361 \text{ Pa}$ ($\Delta p = 1169 - 361 = 808 \text{ Pa}$).

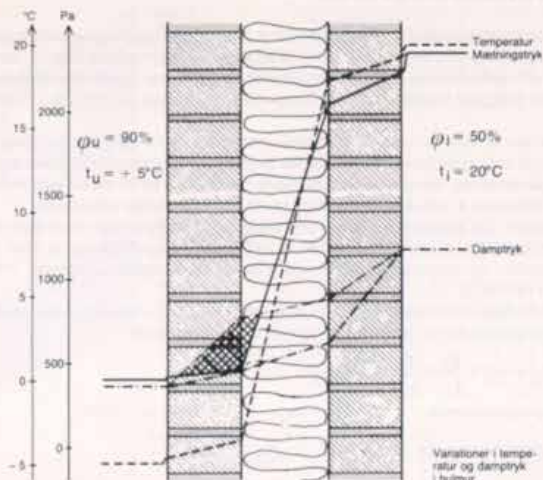
Diffusionsmodstand og damptryksfald i lagene i en 35 cm hul ydervæg med 125 mm isolering.

Modstandstal $m^2 \cdot s \cdot \text{Pa}/\text{kg}$		Trykfald Pa
Indvendig overflade	$m_{di} = 0$	0
Bagmur	$\frac{e}{D} = \frac{0,11}{4,16 \cdot 10^{-11}} = 2,64 \cdot 10^9$	$\Delta p = \frac{808}{6,97 \cdot 10^9} \cdot 2,64 \cdot 10^9 = 306$
Isolering	$\frac{e}{D} = \frac{0,125}{15,6 \cdot 10^{-11}} = 0,80 \cdot 10^9$	$\Delta p = \frac{808}{6,97 \cdot 10^9} \cdot 0,80 \cdot 10^9 = 93$
Formur	$\frac{e}{D} = \frac{0,11}{3,12 \cdot 10^{-11}} = 3,53 \cdot 10^9$	$\Delta p = \frac{808}{6,97 \cdot 10^9} \cdot 3,53 \cdot 10^9 = 409$
Udvendig overflade	$m_{du} = 0$	0
Sum	$6,97 \cdot 10^9$	Sum 808

Af de på skitsen af vægtværsnittet indtegnede kurver fremgår, at kurven for mætningstrykket ligger under damptrykskurven i den yderste del af mineralulden og den inderste del af formuren, hvilket betyder, at der her er fare for fortætning af vanddamp. Som tidligere nævnt er beregningerne og dermed placeringen af kurverne meget usikker; men det må dog nok betragtes som sandsynligt, at der i hvert fald under de i dette eksempel givne forudsætninger vil kunne ske en fortætning på formurens bagside.

Vanddampmængden, der i dette tilfælde vil kunne fortættes, er ca. $16 \text{ g pr. m}^2 \text{ pr. døgn}$.

Det er imidlertid umiddelbart indlysende, at fortætning på formurens bagside af betydeligt større dampmængder end $16 \text{ g/m}^2 \text{ pr. døgn}$ meget let vil kunne opuges i formuren og fordampe fra murens forside uden at influere på væggens egenskaber.



Luftgennemtrængelighed. Som det fremgår af omtalen af tegls luftgennemtrængelighed (side 2), kan der kun passere meget små og ubetydelige luftmængder gennem selv de mest porøse teglsten. Arbejdets udførelse og væggen overfladebehandling med puds, maling, tapetsering o.s.v. spiller en afgørende rolle for luftgennemtrængeligheden i en teglvæg. Til orientering om, hvor store luftmængder der kan trænge gennem en teglvæg, kan det oplyses, at man i Sverige har udført en række forsøg med flere forskellige vægtyper af tegl. Væggene prøvedes ved forskellige tryk, og ved en trykforskel mellem væggens sider på $133,3 \text{ Pa}$ (1 mmHg), der svarer til vindtrykket vinkelret på en flade ved en vindhastighed på $14,7 \text{ m/s}$ (hård kuling), varierede luftgennemtrængeligheden fra ca. $0,25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ for en $1\frac{1}{2}$ -stens væg, der var pudset på begge sider og opmuret af mangehulssten, til ca. $4,5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ for en 1-stens væg, der var upudset. For en almindelig $1\frac{1}{2}$ -stens væg, der var pudset på indersiden og fuget på ydersiden, fandtes ved den nævnte trykforskel på $133,3 \text{ Pa}$ en luftgennemtrængelighed på ca. $0,8 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$. Trykforskellen på $133,3 \text{ Pa}$ ligger betydeligt over, hvad normalt forekommer i praksis, og en teglvægs andel i den totale ventilation i en bolig er meget ringe.

VARMEISOLERING

Varmetransmissionstallet (k-værdien) er et mål for en vægs varmetæthed eller varmeisolerings. Ved en vægs k-værdi forstås den varmemængde målt i J, som i løbet af 1 sekund passerer gennem 1 m² af væggen, når temperaturforskellen mellem væggenes to sider er 1 °C. Enheden for k bliver altså J/s · m² · °C = W/m² · °C.

Det vil føre for vidt her at komme ind på k-værdien af de talrige ydervægstyper af tegl; men som et eksempel på, hvorledes en k-værdi beregning for en ydervæg af tegl gennemføres, beregnes i det følgende k-værdien for en 35 cm hul væg med 8 stk. forzinkede 4 mm ståltrådsbindere pr. m² og uden fulde udmuringer. Bagmuren, der står som blank mur indvendig, er af massive sten med teglmassedensitet 1600 kg/m³ (T1600), der er 125 mm mineraluldsisolering type A i hulrummet, og formuren er af mangelhulssten med teglmassedensitet 1800 kg/m³ (Ma1800).

De forskellige materialelags tykkelse er kendt, og deres λ-værdier tages fra tabeller i beregningsreglerne, hvorefter k-værdien kan beregnes af:

$$\frac{1}{k} = m_1 + m_u + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3}, \text{ hvor}$$

$$\text{Overgangsisolansen} \quad m_1 + m_u = 0,17 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\text{Modstand for bagmur} \quad m_1 = \frac{0,11}{0,56} = 0,20 \quad -$$

$$\text{Modstand for isolering} \quad m_2 = \frac{0,125}{0,039} = 3,21 \quad -$$

$$\text{Modstand for formur} \quad m_3 = \frac{0,11}{0,67} = 0,16 \quad -$$

$$\text{Sum} \quad 3,74 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$$

$$\text{d.v.s.} \quad k = \frac{1}{3,74} \cdot (1 + 0,06) = 0,28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Idet trådbinderne antages at forøge varmetabet med 6%.

Betragter man de enkelte bidrag til den samlede varmemodstand, vil man bemærke, at isoleringens modstand udgør ca. 86 %, medens formurens og bagmurens bidrag kun udgør henholdsvis ca. 4 og ca. 5 %, hvilket betyder, at de stentyper, der anvendes i for- og bagmur i en væg som den omhandlede, kun har ringe indflydelse på væggenes k-værdi.

Det diskuteres undertiden, om der ikke bør være en luftspalte mellem formur og isoleringsmateriale i sådanne ydervægge; men af målinger i flere lande fremgår, at man opnår det laveste transmissionstal, når hulrummet er helt fyldt, og at der næppe er fare for vandoverføring fra for- til bagmur, når vægkonstruktionen er udført korrekt. I øvrigt har målingerne vist, at de teoretisk beregnede k-værdier viser god overensstemmelse med de i praksis målte.

I Bygningsreglementet (BR 1977) er det krævet, at transmissionstallet for ydervægge med en samlet vægt (den del af ydervægskonstruktionen, som ligger indenfor et evt. hulrum, der er ventileret) på over 100 kg/m² ikke må overstige 0,40 W/m² · °C, medens ydervægge med samlet vægt under 100 kg/m² ikke må overstige 0,30 W/m² · °C.

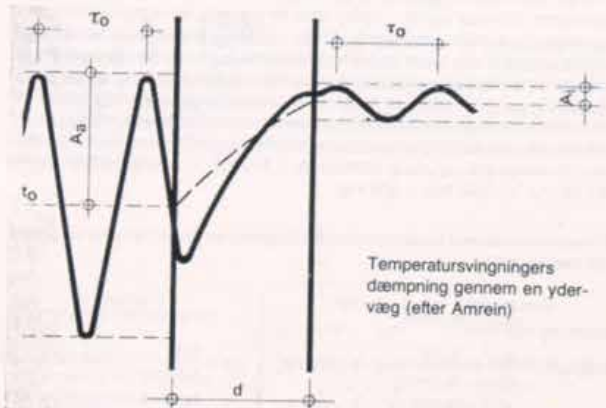
Disse krav tilfredsstilles af en lang række teglvægge, hvilket fremgår af den af Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer udsendt tabelsamling »k-værdier 1979«.

Varmeakkumulering. (Se side 8) Tegls varmfylde og varmeakkumuleringssevne er større end for andre gængse vægtyper, og dette bevirker, at man undgår pludselige temperatursvingninger i en bolig med teglvægge, hvis opvarmningen pludselig afbrydes, eller ude temperaturen pludselig ændres.

Væggens varmeakkumulering er dog kun én af de faktorer, der under de nævnte omstændigheder har indflydelse på temperaturændrings hastighed i boligen. Af andre faktorer kan f.eks. nævnes væggens temperaturledningstal,

a, der er lig $\frac{\lambda}{c \cdot \rho}$ m²/h, hvor λ er væggenes varmeledningstal, c varmfylde og

ρ densiteten. Temperaturledningstallet er en materialekonstant og et mål for, hvor hurtigt en temperaturudligning i materialet foregår. På grund af deres forholdsvis lave λ-værdi og store varmeakkumuleringssevne (c · ρ) er temperaturledningstallet for teglvægge lavt. Varmetab gennem vinduer og døre, boligens rumindhold samt møbler, loft og gulv kan også influere på temperaturændrings hastighed, men svejtiske undersøgelser har f.eks. vist, at »faseforskydningen« d.v.s. den tid, der går, inden en maksimal udetemperatur mærkes som maksimal temperatur inde, hvis ydervæggen er en 24 cm teglvæg (en 1-stens væg), er 8-9 timer.



Den indflydelse, byggematerialers varmeakkumuleringssevne har på temperaturforholdene i boliger, er genstand for forskning i mange lande, og en af de ting, der er enighed om, er, at gratisvarmen (varmen fra solindfald) udnyttes bedre i huse med stationær opvarmning, når væggene er af tunge materialer (f.eks. teglvægge). I de tunge konstruktioner kan varmen oplagres (akkumuleres) og efter afgives.

I Statens Byggeforskningsinstituts Anvisning 111, Bygningers Varmeisolering, er betydningen af byggematerialers varmeakkumuleringssevne omtalt, og det siges i indledningen til afsnittet »Tunge og lette bygninger« bl.a.: »Tunge materialer har stor varmeakkumuleringssevne, medens lette materialer har lille varmeakkumuleringssevne. Et hus med tunge konstruktioner udnytter derfor bedre end et let hus gratisvarmen fra solindfald gennem vinduer og udvendige glasdøre. Varmen kan oplagres i de tunge bygningsdele og afgives på et senere tidspunkt.« Senere nævnes det, at jo bedre et hus er isoleret, desto større er behovet for tunge bygningsdele (på den varme side af varmeisoleringen), som kan akkumulere gratisvarmen.

Endvidere er der i et skema vist eksempel på forskellige materialers varmeakkumuleringsseffekt under givne forhold. Af skemaet fremgår det, at teglvægges varmeakkumuleringssevne er betydeligt større end de gængse, lette vægtyper.

LYDISOLERING

Lydisolering. De af myndighederne stillede krav til en bygnings lydisolering kan ofte være komplicerede og vanskelige at opfylde, såfremt der ikke tages hensyn til f.eks. flanketransmission, revner og elementsamlinger. Den ved laboratorieforsøg fundne lydisolation for en bygningsdel kan derfor i princippet betragtes som en øvre grænse for den lydreduktion, der i praksis kan opnås for en tilsvarende bygningsdel.

En 1-stens og en 1½-stens væg opmuret af teglsten (teglmassedensitet mindst 1600 kg/m³) kan normalt regnes at tilfredsstille myndighedernes krav til luftlydisolation mellem henholdsvis etageboliger og rækkehuse.

Mellem rækkehuse vil også en 35 cm hul mur af teglsten kunne tilfredsstille kravene til lydisolering, når en række krav bl.a. med hensyn til tilslutning til andre vægge og dæk samt med hensyn til isoleringsmateriale i hulrummet er opfyldt. Disse krav er opstillet i Murerfagets byggeblad nr. 21, Luftlydisolation i dobbelte murstensvægge.

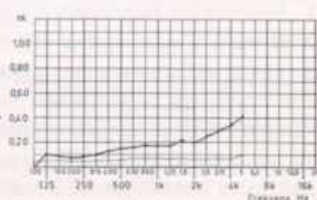
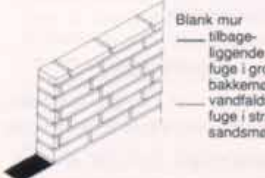
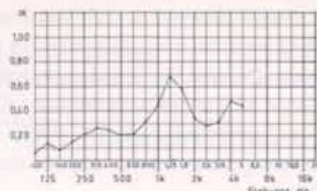
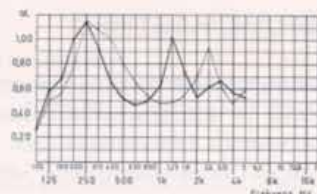
Lydabsorption og lydregulering. Lydabsorptionskoefficienten er en talstørrelse, som angiver, hvor stor en brøkdelen af den indfaldende lydenergi der optages af materialet. Absorptionskoefficienten betegnes normalt med bogstavet α .

Den lyd, der trænger ind i eller opstår i et rum, kan dæmpes eller reguleres ved anvendelse af lydabsorberende materiale. Vægge opmuret af mangehulssten på kant har en lydabsorption, der er 2-3 gange større end blankt murværks.

Lydabsorptionen for vægge opmuret med mangehulssten på kant kan øges væsentligt, hvis der bag stenene anbringes mineraluldsplader.

I Murerfagets byggeblad nr. 19, Teglmurværks lydabsorberende egenskaber, er resultatet af målinger på 11 vægtypen med mangehulssten på højkant angivet (byggebladet kan fås ved henvendelse til TEGLINFORMATION).

Efterfølgende kurver fra Murerfagets byggeblad viser absorptionskoefficienten for 3 forskellige vægtypen.



disse trykændringer forplanter sig, svarer til lydens hastighed. Antallet af svingninger pr. sekund, der angives i Herz (Hz), kan variere indenfor vide grænser, og de frekvenser, som kan opfattes af det menneskelige øre, ligger fra ca. 17 Hz (dybeste toner) til ca. 17.000 Hz (højeste toner).

Isolering mod trinlyd har hovedsagelig interesse i forbindelse med etageadskillelser og trapperum, og det skal her blot nævnes, at målinger vedrørende etageadskillelsers trinlydisolering foretages efter bestemte regler og under anvendelse af standardiseret bankemaskine.

Et bygningselement, f.eks. en skillevægs modstand mod luftlyd – lydreduktions tallet – måles som regel på et laboratorium, hvor den væg, der skal undersøges, anbringes som væg mellem to rum. I det ene rum (senderummet) findes højttalere og mikrofoner, og i det andet (modtagerrummet) findes mikrofoner. Lydtrykket af en tone udsendt af højttaleren i det ene rum registreres af mikrofonerne i begge rum, og er de målte effekter i sender- og modtagerrum henholdsvis N_1 og N_2 , angives den pågældende vægs lydreduktionsstal som $R = 10 \cdot \log \frac{N_1}{N_2}$.

Hvis lyden ved at passere prøvewæggen f.eks. reduceres 100.000 gange, bliver lydreduktions tallet altså 50 dB, hvor dB står for decibel, der er en enhed, der udtrykker forholdet mellem to lydes styrke.

Det er klart, at lydreduktions tallet for et bestemt materiale er afhængig af mange ting; bl.a. må de anvendte målerum og målemetoder ved sammenlignende målinger være standardiserede, og det må fastsættes, ved hvilke frekvenser reduktions tallet skal måles. Almindeligvis foretages målinger ved 16 forskellige frekvenser i området 100-3150 Hz.

BRANDFASTHED

Brandfasthed. Da såvel tegl som mørtel er ubrændbare materialer, er teglstensmurværk særdeles brandfast, og de krav vedrørende brandforhold, der af myndighederne stilles til vægge i beboelsesbygninger, vil da også kunne tilfredsstilles af teglstensmurværk.

I Dansk Standard, DS 1051: »Brandtekniske prøvninger af bygningsdeles modstandsevne mod brand«, er der givet bestemte regler for, hvordan brandprøvning, der her i landet foretages på Statsprøveanstalten i København, skal gennemføres, og i Dansk Standard, DS 1052: »Brandteknisk klassifikation af bygningsdele (ekskl. døre)«, skelnes der mellem følgende 3 klasser:

1. Brandsikker bygningsdel (BS-bygningsdel).
2. Branddrøj bygningsdel (BD-bygningsdel).
3. Flammestoppende bygningsdel (F-bygningsdel).

For brandsikre bygningsdele kræves, at der i bygningsdelen kun må indgå ubrændbare materialer. Endvidere kræves det for bærende bygningsdele, at prøvelegemet, hvis det er belastet under prøvningen, ikke må bryde sammen, og at det efter afkølingen skal have en bæreevne, der er $\geq 1,5 \cdot$ prøvelasten. Desuden skal prøvelegemet kunne modstå en eventuel vandpåsprøjtning uden at bryde sammen. Hvis bygningsdelen har en adskillende funktion, skal den yderligere tilfredsstille et krav om, at middeltemperaturstigningen, bestemt på den fra ilden vendende side, ikke må overstige 140°C , og temperaturstigningen må i intet punkt overstige 180°C . Endelig skal prøvelegemet kunne bestå en tæthedsprøvning.

For branddrøje bygningsdele kræves det samme som for brandsikre med den undtagelse, at bygningsdelen ikke behøver at være af ubrændbare materialer; men til gengæld er der stillet visse krav med hensyn til fremkomst af brændbare gasser.

For flammestoppende bygningsdele (kun adskillende bygningsdele kan klassificeres som flammestoppende) er der opstillet visse krav med hensyn til den varmestrom, der maksimalt må passere bygningsdelen under bestemte påvirkninger.

Kravene i de to sidstnævnte klasser har kun betydning ved brug

af materialer, der tåler brandpåvirkning dårligere end teglstensmurværk. Det tidsrum, i hvilket en bygningsdel har opfyldt de til en brandteknisk klasse stillede krav, angives i minutter; f.eks. betyder BD-bygningsdel 180, at bygningsdelen kan tilfredsstille kravet om branddrøjhed i 180 minutter.

I Bygningsreglementet er de nævnte brandtekniske klassifikationer benyttet. Det kan f.eks. nævnes, at i bygninger, hvor højden fra terræn til gulv i øverste etage overstiger 12 m, skal de bærende bygningskonstruktioner i bygningens øverste 12 m udføres mindst som BS-bygningsdel 60, og de bærende bygningskonstruktioner i den underliggende del af bygningen, som bærer højere beliggende etager, skal udføres mindst som BS-bygningsdel 120, samt at henholdsvis 11 cm og 23 cm murværk af teglsten (massive eller mangehulssten) tilfredsstiller disse krav.

Brandvægge kræves i Bygningsreglementet udført mindst som BS-bygningsdel 120, og dette krav tilfredsstilles som nævnt af 23 cm murværk af teglsten (massive eller mangehulssten). Endvidere kan det nævnes, at ikke-bærende skillevægge, når de kræves udført mindst som BS-bygningsdel 60, kan opføres som 5,5 cm væg af teglsten (massive eller mangehulssten) pudset på begge sider.

I Bygningsreglementet skelnes mellem små og store skorstene. Ved små skorstene forstås skorstene af enhver art, der modtager aftræk fra ét eller flere ildsteder, for hvilke den samlede indfyrede effekt er højst 120 kW, og som under normal, vedvarende maksimalbelastning ikke giver højere røggastemperaturer end 350°C ved indløbet i skorstenen, og ved store skorstene alle andre.

For små, murede skorstene gælder bl.a., at de skal opmures med fyldte fuger, at muremørtlen skal være cement- eller kalkcementmørtel, og at der til skorstenens udvendige og indvendige murværk må anvendes teglsten med normalformat, når de har en trykstyrke på mindst 10 MN/m^2 . Der må anvendes såvel fuldbændte, massive sten som fuldbændte mangehulssten med mindst 15 huller og højst 30% hulrum.

Bogstavssymboler

α	=	temperaturledningstal i m^2/s
α	=	lydabsorptionskoefficient
c	=	varmefylde i $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
d	=	dampdiffusionstal i $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$
D	=	permeabilitet i $\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$
dB	=	decibel, enhed for lydindtryk
Δp	=	damptryksdifferens i Pa
Δt	=	temperaturdifferens i $^\circ\text{C}$
ρ	=	densiteten af legemassens faste bestanddele i kg/m^3
Hz	=	Herz, svingningstal pr. sekund
k	=	k-værdi, varmetransmissionstal i $\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
W	=	watt, enhed for varme $1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$
e	=	lagtykkelse i m
λ	=	varmeledningstal i $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
λ_0	=	basisvarmeledningstal i $\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$
m_{de}	=	dampdiffusionsmodstandstal for materialelag i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$
m_{di}	=	dampovergangsmodstand (indvendig) i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$
m_{du}	=	dampovergangsmodstand (udvendig) i $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}/\text{kg}$
m_e	=	isolans for materialelag i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
m_i	=	overgangsisolans (indvendig) i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
m_u	=	overgangsisolans (udvendig) i $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$
μ	=	$\frac{1}{1000}$ mm
Pa	=	Pascal = $1 \text{ N}/\text{m}^2$
p	=	vanddamps partialtryk i Pa
P	=	porøsitet i %
ϕ	=	relativ fugtighed i %
p_v	=	vindtryk i kN/m^2
ρ	=	teglmassedensitet i kg/m^3
R	=	lydreduktionstal i dB
t	=	temperatur i $^\circ\text{C}$
v	=	vindhastighed i m/s

LITTERATURLISTE

Til videregående studier i emnet kan anbefales:

- Dührkop, Saretok, Sneek, Svendsen: Mørtel, muring, pudsning, Kbh. 1966.
 Tegelinindustriens Centralkontor AB: Tekniska data för tegel och tegelkonstruktioner, Stockholm 1964.
 Poul Becher: Varme og Ventilation 1 og 2, København 1960.
 P. Haller: Physik des Backsteins I og II, Zürich.
 L. Alviset og C. Liger: Derniers résultats dans l'étude de la résistance au gel des produits de terre cuite, LA TERRE CUITE, No 43, 1957.
 Orvar Carlsson: Porstorlek och frostbeständighet hos tegelmateriel, Göteborg 1954.
 Norges Byggeforskningsinstitut: Særtryk 71, Oslo 1962.
 K. Egner: Feuchtigkeitsdurchgang und Wasserdampfkondensation in Bauten, Stuttgart 1950.
 Statens Byggeforskningsinstitut: Anvisning nr. 7, København 1951.
 E. Suenson: Vanddamps Diffusion i Vægge og Rørkapper, København 1946.
 Lars Erik Nevander: Tekniska egenskaper hos isolerande hålmurar av tegel, Stockholm 1960.
 Hjalmar Granholm: Om vattengenomslag i murade väggar, Göteborg 1958.
 Sven D. Svendsen: Driving rain, Oslo 1954.
 E. Suenson og H. Dührkop: Forsøg med Murværk af Molersten og almindelige Teglstene, København 1944.
 E. Suenson: Teglstens-Pillers Trykstyrke og Sammentrykkelighed, København 1951.
 E. Amrein: Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Aussenwände, ELEMMENT 3, 1960.
 B. J. Rambøll, Ole Glarbo, K. Manniche: Beretning fra udvalget til forsøg over murværks styrke og elasticitetsforhold, København 1951.
 Otto Graf: Über die Tragfähigkeit von Mauerwerk, insbesondere von stockwerks-hohen Wänden, Stuttgart 1952.
 P. Haller: Wärme- und Feuchtigkeitswanderung durch Aussenwände, Zürich 1957.
 Teglverkenes Forskningsinstitut: Tegl i Bygg, Oslo 1956.
 Tidsskrifterne LERINDUSTRIEN og TEGEL: Tekniske artikler.
 Norges Byggeforskningsinstitut: Særtryk Nr. 35, Klimaets Innvirkning på velisolerete Teglstensvegger, Oslo 1959.
 J. S. Cammerer, H. Schäcke: Feuchtigkeitsregelung, Durchfeuchtung und Wärmeleitfähigkeit bei Baustoffen und Bauteilen, Berlin 1957.
 Vagn Korsgaard og Thomas Lund Madsen: Isoleringsevnen af nogle typiske ydervægge udsat for det naturlige klima, København 1964.
 Jan Söderquist: Ljudabsorbenter med tegel, TEGEL 3, 1974.
 Bygningsreglement af 1977.
 Regler for beregning af bygningers varmetab, DS 418, 4. udg. nov. 1977.
 Statens Byggeforskningsinstitut:
 SBI-Lydpjece 11, Murstensvægge, dobbelte.
 SBI-anvisning 111, Bygningers varmeisolering.
 SBI-anvisning 112, Bygningers lydisolering.



TEGLINFORMATION

Pris kr. 8,00
incl. moms