

Mørtel, muring, pudsning - side 1-262

Henry Dührkop, Vitold Saretok, Tenho Sneck og Sven D. Svendsen

Anden litteratur

SBI Anvisning 64

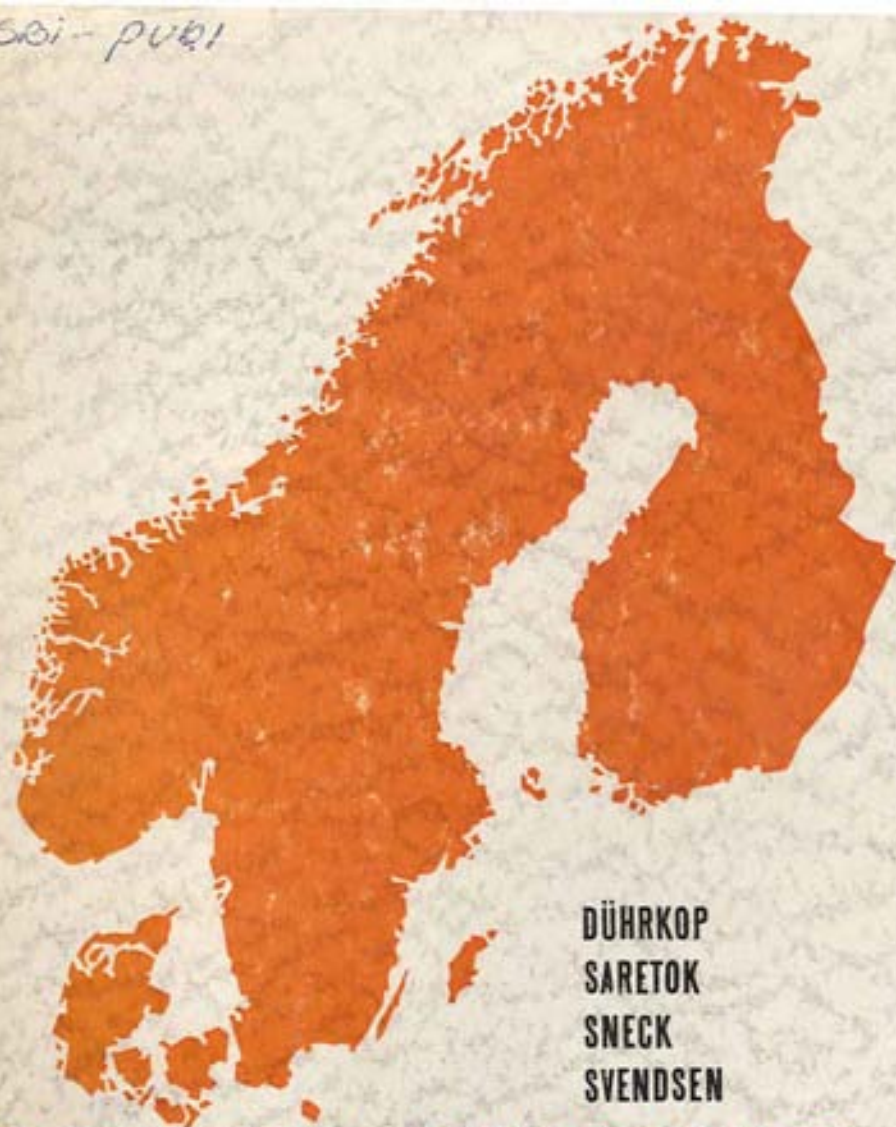
1966

Dette dokument udgør en del af et større dokument, der af hensyn til downloadtiden er opdelt i ét eller flere særskilte dokumenter. De(n) øvrige del(e) af dokumentet kan hentes i biblioteket på danskbyggeskik.dk og findes via søgefunktionen hertil.

SBI - PUBL

DÜHRKOP
SARETOK
SNECK
SVENDSEN

MØRTEL MURING
PUDSNING



DÜHRKOP
SARETOK
SNECK
SVENDSEN

MØRTEL MURING PUDSNING

SBI
ANVISING

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT - SBI - ANVISING 64
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG - KØBENHAVN 1966

MØRTEL MURING PUDSNING

er en håndbog i mure- og pudsearbejdets teknologi, og den har i mange år været savnet i nordisk faglitteratur. At den kommer nu er naturligt, både fordi man i dag takket være en omfattende forskning ved mere om det gamle håndværks detaljer end for blot en menneskealder siden, og fordi det har vist sig vanskeligt at få den nye viden indarbejdet hos byggeriets folk, selv om forskningsresultaterne i vid udstrækning er efterprøvet i praksis.

Som det ses, har bogen 4 forfattere, én fra hvert af de nordiske lande, og gennem et effektivt samarbejde er det lykkedes dem at samle en stor mængde forskningsmæssig erkendelse og håndværksmæssig erfaring til supplerings af murerfagets traditionelle arbejds teknik.

Bogen henvender sig derfor til ingeniører, arkitekter, konsulenter, entreprenører og håndværkere samt til undervisningscentre og bygningsmyndigheder.

Udover stoffet vedrørende materialer og arbejdsudførelse rummer bogen udførlige kapitler om bygningsfysik — specielt fugtpåvirkninger — og problemer vedrørende skader og reparationer er ligeledes behandlet indgående. Teksten er i vidt omfang forsynet med illustrationer.

UDK 693.2

MØRTEL,
MURING, PUDSNING

HENRY DÜHRKOP - VITOLD SARETOK
TENHO SNECK - SVEN D. SVENDSEN

MØRTEL,
MURING, PUDSNING

TEKNOLOGISK HANDBOG

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SBI-ANVISNING 64
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1966

Illustrationer: Carsten Dreier

Omslag: Svein Aarset

INDHOLD

| | Side |
|--|------|
| FORORD | 11 |
| KAPITEL 1 INDLEDNING | 13 |
| KAPITEL 2 PÅVIRKNINGER PÅ MURVÆRK OG PUDS OG DE KRAV DE STILLER | 19 |
| 2.1 Påvirkninger i byggeperioden | 21 |
| 2.2 Varmetab fra bygninger | 25 |
| 2.3 Fugt og fugtpåvirkninger | 36 |
| Fugtkilder | 36 |
| Fugtvandring | 46 |
| Fugtskader | 56 |
| Prinsipper for forholdsregler mod vandindtrængning | 60 |
| 2.4 Varmeudvidelse | 66 |
| 2.5 Statiske og mekaniske påvirkninger | 68 |
| Påvirkningernes størrelse | 70 |
| Kræfternes fordeling i bygningen | 71 |
| Materialernes og bygningsdelenes bæreevne | 72 |
| Påvirkninger, som ikke tages i betragtning | 74 |
| Mekaniske påvirkninger | 77 |
| 2.6 Kemiske påvirkninger | 78 |
| 2.7 Brandpåvirkninger | 81 |
| 2.8 Lydgennemgang | 83 |
| KAPITEL 3 MURSTEN, BETON OG KERAMISKE FLISER | 88 |
| 3.1 Teglsten | 90 |
| 3.2 Natursten | 94 |
| 3.3 Beton | 95 |
| 3.4 Mursten af beton | 97 |
| 3.5 Kalksandsten | 98 |

Sats, tryk og indbinding
Aas & Wahls Boktrykkeri, Oslo

| | |
|---|-----|
| 3.6 Letbeton | 99 |
| Letkornsbeton | 99 |
| Porebeton | 101 |
| 3.7 Glasbyggesten | 104 |
| 3.8 Keramiske fliser | 104 |
| Strengpressede, sintrede fliser | 105 |
| Tørpressede, sintrede fliser | 106 |
| Tørpressede, porøse fliser | 106 |
| Egenskaber | 107 |
| KAPITEL 4 DELMATERIALER TIL MØRTLER | |
| 4.1 Bindemidler | 109 |
| Kalk | 111 |
| Cement | 113 |
| Murcement | 115 |
| Færdigblandede bindemidler | 116 |
| Gips | 116 |
| Opbevaring af bindemidler | 117 |
| 4.2 Tilslagsmaterialer | 118 |
| Natursand | 118 |
| Skærvesand | 127 |
| Andre tilslagsmaterialer | 128 |
| 4.3 Vand | 129 |
| 4.4 Tilsætningsstoffer | 130 |
| 4.5 Farvestoffer | 135 |
| KAPITEL 5 MØRTELBETEGNELSER OG MØRTELTYPER | |
| 5.1 Mørtelbetegnelser | 136 |
| 5.2 K-mørtel | 137 |
| 5.3 C-mørtel | 141 |
| 5.4 KC-mørtel | 142 |
| 5.5 M- og MC-mørtel | 144 |
| 5.6 G- og GK-mørtel | 145 |
| 5.7 Specielle mørtler | 147 |
| Syrefast mørtel | 147 |
| Ildfast mørtel | 148 |
| Brandbeskyttende mørtel | 148 |
| Strålingsbeskyttende mørtel | 149 |
| Akustisk mørtel | 149 |
| Opsætningsmørtel | 150 |
| Murlim | 150 |
| Savsmuldmørtel | 151 |
| PVA-mørtel | 151 |

| | |
|--|-----|
| Plasticmørtel | 154 |
| Sandspartelmasse | 154 |
| 5.8 Tørmørtel | 155 |
| KAPITEL 6 FREMSTILLING AF MØRTLER | 157 |
| 6.1 Blandingsanvisning | 159 |
| 6.2 Lagring af delmaterialer på byggepladsen | 163 |
| 6.3 Udtagning af delmaterialer efter vægt og rumfang | 165 |
| 6.4 Blanding | 170 |
| 6.5 Transport og lagring af mørtel | 176 |
| 6.6 Blandestationens indretning | 178 |
| KAPITEL 7 MØRTERNES EGENSKABER | 182 |
| 7.1 Standard-mørtler | 183 |
| 7.2 Frisk mørtel | 188 |
| 7.3 Mørtel i hærdningstiden | 194 |
| 7.4 Hærdnet mørtel | 199 |
| Styrke | 199 |
| Vedhængning | 203 |
| Slidfasthed | 205 |
| Frostfasthed | 205 |
| Vandtæthed | 206 |
| Diffusionstæthed | 207 |
| Svind og svulmning. Temperaturbevægelser | 208 |
| Korrosionsbeskyttelse | 209 |
| Andre egenskaber | 209 |
| Mørtler med andre bindemidler | 209 |
| KAPITEL 8 MURING | 211 |
| 8.1 Vægtyper | 212 |
| Massive, murede vægge | 213 |
| Skalmursvægge | 215 |
| Kanalvægge | 221 |
| Vægge med udfyldningsmure | 222 |
| Vægge med beklædning | 222 |
| Murede skillevægge | 223 |
| 8.2 Forbandt | 223 |
| 8.3 Valg af mørtel | 229 |
| 8.4 Murearbejdet | 234 |
| 8.5 Armeret murværk | 242 |
| 8.6 Limet murværk | 244 |
| 8.7 Muringsdetaljer | 245 |
| 8.8 Særlige murearbejder | 249 |
| Skorstensmuring | 249 |

| | |
|--|------------|
| Ild- og syrefast murværk | 254 |
| Muring med glasbyggesten | 257 |
| 8.9 Kældervægge og dræning | 258 |
| Murede kældervægge | 259 |
| Dræning | 261 |
| KAPITEL 9 PUDSNING | 263 |
| 9.1 Pudsets opbygning | 265 |
| 9.2 Pudsearbejdet | 267 |
| Værktøj og redskaber | 267 |
| Forberedelse af underlaget | 268 |
| Påføring af pudsmørtel | 272 |
| Grundingslag | 275 |
| Grovpuds | 277 |
| Slutpuds | 282 |
| Efterbehandling | 290 |
| 9.3 Valg af mørtel og pudstype | 291 |
| Indvendigt puds | 293 |
| Udvendigt puds | 295 |
| Fællesregler | 297 |
| Eksempler | 299 |
| 9.4 Pudsedetaljer | 302 |
| 9.5 Puds på vanskeligt underlag. Rabitzpuds | 311 |
| Puds direkte på underlaget | 311 |
| Armeret puds og frithængende puds | 314 |
| 9.6 Gips- og stukarbejder. Sgraffito. Freskomaling | 319 |
| Glatpudsning med G-mørtel | 319 |
| Stukarbejder | 319 |
| Sgraffito | 320 |
| Freskomaling | 320 |
| KAPITEL 10 MURING OG PUDSNING OM VINTEREN | 321 |
| Isdannelse i mørtel | 322 |
| Bindemidlernes hærdning ved lave temperaturer | 324 |
| Muring om vinteren | 325 |
| Pudsning om vinteren | 331 |
| Opvarmning | 331 |
| KAPITEL 11 MALING PÅ MURVÆRK OG PUDS | 333 |
| 11.1 Maling og underlag | 336 |
| Bygningsdelens opbygning og funktioner | 336 |
| Underlagets art | 339 |
| Malerarbejdet | 342 |
| Ommaling | 343 |

| | |
|--|------------|
| 11.2 Valg af malingstype | 345 |
| 11.3 Malingstyper | 346 |
| Oliemaling | 346 |
| Lak og lakmaling | 347 |
| Vandholdig maling | 348 |
| Emulsions- og dispersionsmaling | 350 |
| Asfaltmaling | 351 |
| Bestrygningsmidler | 351 |
| 11.4 Tapetsering | 353 |
| KAPITEL 12 KONTROL PÅ BYGGEPLADSEN | 355 |
| 12.1 Kontrol med materialer | 357 |
| Mørtelmaterialer | 357 |
| Mørtel | 358 |
| Mursten | 362 |
| 12.2 Kontrol med arbejdets udførelse | 363 |
| 12.3 Kontrollantrum | 364 |
| KAPITEL 13 SKADER PÅ PUDS OG MURVÆRK | 366 |
| 13.1 Fremgangsmåden ved besigtigelse og prøveudtagning | 368 |
| Besigtigelse af puds | 368 |
| Besigtigelse af blankt murværk | 370 |
| Proveudtagning | 371 |
| 13.2 Klasseinddeling af skaderne og skadernes årsag | 373 |
| Fejl i udseendet af i øvrigt uskadet puds | 373 |
| Skader i små områder på overfladen af i øvrigt uskadet puds .. | 376 |
| Løstsiddende puds (skruk) | 378 |
| Revnet puds | 380 |
| Fejl i udseendet af i øvrigt uskadet blankt murværk | 383 |
| Skader i overfladen af i øvrigt uskadet blankt murværk | 384 |
| Revner i blankt murværk | 386 |
| Indvendige fugtskader | 386 |
| 13.3 Reparation | 388 |
| Puds med fejl i udseendet men i øvrigt uden skader | 389 |
| Puds med skader i små områder men i øvrigt uden skader | 390 |
| Løstsiddende puds (skruk) | 391 |
| Revnet puds | 392 |
| Fejl i udseendet af i øvrigt uskadet blankt murværk | 393 |
| Skader i overfladen af i øvrigt uskadet blankt murværk | 394 |
| Revner i blankt murværk | 395 |
| Indvendige fugtskader | 395 |
| KAPITEL 14 AFRETNING AF BETONGULVE | 397 |
| 14.1 Almindelige arbejdsmåder | 398 |
| 14.2 Afretningsdetaljer | 403 |

| | |
|---|-----|
| KAPITEL 15 KERAMISKE GULV- OG VÆGBEKLÆDNINGER | 408 |
| 15.1 Påvirkninger, membranisolering | 409 |
| 15.2 Gulvbelægning | 411 |
| Typer | 411 |
| Lægningsteknik | 415 |
| 15.3 Vægbeklægning | 418 |
| Typer | 418 |
| Opsætningsteknik | 419 |
| NORDISKE NORMER OG BESTEMMELSER MED TILKNYTNING TIL MØRTEL, MURING, PUDSNING | 425 |
| UDVALG AF NORDISKE FAGORD | 430 |
| SUMMARY IN ENGLISH | 434 |
| SAGREGISTER | 436 |

FORORD

Ideen til «Mørtel, Muring, Pudsning» opstod i 1962 og blev fremført på et møde i Nordisk Puds-komité. Denne komité er et organ for samarbejde vedrørende forskning og industri inden for murings- og pudsningsektoren, og den blev oprettet af de nordiske landes byggeforskningsinstitutter. Selve arbejdet med bogen blev overladt til de fire forfattere, som var og stadig er komiteens arbejdsudvalg og samtidig repræsenterede byggeforskningsinstitutterne i komiteen. Disse institutter er:

- i Danmark, Statens Byggeforskningsinstitut
- i Finland, Statens tekniska forskningsanstalt
- i Norge, Norges byggforskningsinstitut
- i Sverige, Statens Råd för Byggnadsforskning.

Det vedtoges, at hovedredaktionen for tekst og illustrationer skulle være i Norge.

I mange henseender betegner denne bog noget nyt inden for skandinavisk, teknisk litteratur. Den er i ordets egentligste forstand fællesnordisk, den har en forfatter fra hvert af de fire lande: Danmark, Finland, Norge og Sverige. Dette er både en styrke og en svaghed. Det er en styrke, fordi den samlede viden er blevet større, og fordi man på denne måde har kunnet samle det bedste i de fire lande både af håndværksmæssig erfaring og af forskningsteknisk kundskab. Det er en svaghed, fordi et så varieret og til dels uensartet stof som det behandlede nødvendigvis må blive vanskeligt at samordne. Dette gælder både materialevalg, arbejdsteknik og nomenklatur, måske mest det sidste. Forfatterne kommer selv ind på nogle af disse vanskeligheder i deres indledning til bogen. Formentlig var de sluppet lettere fra opgaven, hvis de hver for sig havde skrevet en tilsvarende bog, som kun havde national baggrund.

Vi vil med dette forord gerne takke alle dem, som har bidraget til, at denne bog nu kan udsendes. Det gælder naturligvis i første række forfatterne, som har udført et stort arbejde og ikke tabt modet, selv om vanskelighederne nu og da blev store. Det gælder også et stort antal personer og institutioner i de fire nordiske lande, som hver for sig har ydet værdifulde bidrag i form af oplysninger, billedmateriale og gode råd eller på anden måde har hjulpet til.

Vi håber, at bogen kan være med til at udfylde et forsemt område i vor tekniske litteratur, og at den desuden — på sin vis — vil være med til at støtte den nordiske samarbejdstanke.

København — Helsinki — Oslo — Stockholm, februar 1966.

Statens Byggeforskningsinstitut
Per Bredsdorff

Statens tekniska forskningsanstalt
Edvard Wegelius

Norges byggforskningsinstitut
Øivind Birkeland

Statens Råd för Byggnadsforskning
Mejse Jacobsson

Ved udsendelsen af den danske udgave af denne fællesnordiske håndbog vil Statens Byggeforskningsinstitut gerne tilføje, at dets tak til danske institutioner især skal rettes til *Kalk- og Teglværksforeningen af 1893*, som ikke alene har stillet *Kalk- og Teglværkslaboratoriets* viden og erfaring om bogens emner til fuld disposition, men også gennem hele den tid, Nordisk Pudskomité har eksisteret, har åbnet mulighed for, at laboratorieforskeren kunne medarbejde som SBI's repræsentant i komiteen og som medlem af det 4-mands arbejdsudvalg, der har forfattet bogen.

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
Per Bredsdorff

KAPITEL 1



INDLEDNING

Både muring og pudsning er meget gamle håndværk, som var udviklede allerede i oldtiden, og selv her oppe i Norden har vi murede bygværker, som er mere end 1000 år gamle. Det er naturligt, at der i fag med en sådan baggrund efterhånden er dannet en fast tradition for, hvordan materialerne skal vælges og arbejdet udføres, men det er også naturligt, at traditionen til en vis grad har sit lokale præg, at den varierer lidt fra egn til egn og måske mere fra land til land.

Medens det har været et fælles træk, at traditionen har været knyttet til et lille antal murstenstyper — i første række af natursten

og tegl — og til nogle få typer af bindemidler og mørtler, så har de seneste 10-år ført store ændringer med sig indenfor murerfaget ligesom på så mange andre områder. Markedet omfatter nu en række nye murstenstyper, som er fremstillet af materialer med andre egenskaber end natursten og tegl og ofte med andre formater, end dem murerne var vant til at bruge. Markedet omfatter også nye bindemidler og mørtler, som kræver en anden behandling, ligesom nye værktøjer og hjælpemidler er kommet til. Alt dette har ført til, at dagens murer kan komme til at stå overfor materialer og arbejdsprocesser, som han ikke kan gå i gang med på det samme solide grundlag og med samme fortrolighed, som han forhen besad overfor overfor alt, hvad han kunne møde på en byggeplads.

På samme tid er tempoet på byggepladserne øget, idet såvel manglen på boliger som andre forhold har medført langt større krav til en hurtig og rationel byggeproces. Der er ingen tvivl om, at dette i mange tilfælde er gået ud over den håndværksmæssige standard, idet der er lagt større vægt på en hurtig og billig arbejdsudførelse end på første klasses kvalitet. Baggrunden for, at dette har kunnet ske, har nok ofte været, at hverken den, som har beskrevet arbejdet, eller den, som har udført det, har været klar over, hvor alvorlige og kostbare følger en sådan ændring kan have for bygningens fremtid.

På den anden side findes der nu mange flere oplysninger om, hvordan muring og pudning bør udføres, end for blot en menneskealder siden. Der har været drevet en omfattende forskning på dette område, ikke mindst i de nordiske lande, og forskningsresultaterne er i stor udstrækning blevet efterprøvet i praksis.

Tages disse ændringer, som har udviklet sig i stort omfang på kort tid, i betragtning, er det naturligt, at tradition og egne erfaringer ikke kan have samme værdi i det daglige arbejde som hidtil, hverken ved tegnebordene eller på byggepladserne. Og selv om den omfattende forskning i stor udstrækning har ført til nyttige, direkte anvendelige resultater, og selv om undervisningsvirksomheden inden for byggeriets mange kategorier af interesserede jo er i rig udvikling, så er det dog en kendsgerning, at det har vist sig vanskeligt at få resultaterne indarbejdet hos fagets egne folk, hos ingeniører, arkitekter, konsulenter, entreprenører og håndværkere.

Ved diskussionerne om disse forhold er det fra flere sider blevet hævdet, at hovedårsagen til den langsomme indarbejdelse er den, at der har manglet en samlet og tidssvarende fremstilling af blandt andet alle mure- og pudsearbejdets detaljer, og den her foreliggende bog «Mørtel, Muring, Pudning» må ses som et bidrag til afhjælpningen af dette savn.

Det kan ikke nægtes, at forfatterne er stødt på vanskeligheder under arbejdet med bogen, både af faglig og sproglig art og med hensyn til stoffets begrænsning. Det må antages, at en nærmere omtale allerede her af nogle af disse vanskeligheder kan føre til, at enkelte misforståelser undgås.

Det har hele tiden været en forudsætning, at bogen ikke skulle udkomme som nationale varianter, der blot var baseret på samme grundmateriale, men som den samme fællesnordiske publikation på 4 sprog. Derfor er der i næsten alle tilfælde set bort fra landegrænserne, og i de få tilfælde, hvor der er foretaget en geografisk differentiering, har klimatiske afvigelser været den afgørende årsag. Imidlertid findes der jo som allerede nævnt en vis forskel i byggetraditionerne fra land til land, og denne forskel skinner igennem såvel i valget af konstruktionsformer og materialer som i arbejdsudførelse. Det har ikke været muligt at tage hensyn til alle sådanne afvigelser, og princippet har været at gå ind for de løsninger, som fandtes bedst i teknisk henseende. Dette kan have medført, at mange læsere vil finde noget af stoffet mangelfuldt eller fremmedartet set på deres særlige baggrund, men det er en ulempe, som det ikke har været muligt at undgå.

Som de 4 udgaver nu foreligger, er de meget nær ens, men det må understreges, at der er praktiseret en ret fri oversættelse, og at der på nogle få områder er små afvigelser. Dette sidste gælder dog stort set kun tilfælde, hvor en materialekvalitet eller en arbejdsudførelse er så særpræget eller lidet kendt i det pågældende land, at en tillægsforklaring er fundet nødvendig.

Selv om det danske, norske og svenske sprog ligger hinanden nær, så er mange af murerhåndværkets fagord alligevel forskellige eller måske ens, men med forskellig betydning. I mange tilfælde er sprogbugen endda usikker eller afvigende indenfor samme land, og at dette er uheldigt og ofte fører til unødvendige misforståelser, vil

ingen nægte. Ved arbejdet med denne bog er der derfor lagt stor vægt på at få nomenklaturen mere éntydig. For det første er der gjort forsøg på at finde frem til den oprindelige betydning af ældre betegnelser, fordi betegnelserne ofte engang har været de samme i flere lande, men betydningen gradvis er ændret eller forvansket.

For det andet er der lagt vægt på, at de valgte ord eller udtryk blev så korrekte og dækkende som muligt, hvilket jo især har ligget for, når det rigtige ord helt har manglet, og der altså skulle findes et.

For det tredje har bestræbelserne gået ud på at vælge eller finde sådanne ord, at de uden videre lod sig bruge i direkte oversættelse på alle sprog, altså også på finsk. Dette sidstnævnte forhold har oftest været det afgørende.

De vigtigste ord af denne kategori er samlet bag i bogen i en liste over fagord. Den omfatter kun murerfagets område, men de tilsvarende ord på de tre andre nordiske sprog er taget med, og for de finske er der tilføjet en ordret oversættelse, når ordet ikke helt dækker det danske. Ordenes betydning kan findes ved hjælp af bogens sagregister; drejer det sig om definitioner, er de respektive sidetal fremhævede.

Ved behandlingen af stoffet har der været enighed om ikke blot at beskrive, hvordan et arbejde udføres, men også hvorfor. Om denne fremgangsmådes rigtighed har der ikke hersket tvivl, men den har jo medført, at fremstillingen har taget mere plads. En anden faktor, som har været med til at øge stoffets omfang, er vidnen af den læserkreds, som bogen sigter på. Forhåbentlig vinder bogen indpas på forskellige tekniske skoler, hos bygningsmyndigheder, arkitekter og konsulenter og hos entreprenører, murermestre og interesserede håndværkere. Disse grupper har ikke den samme baggrund hverken i teoretisk eller erfaringsmæssig henseende, og meget af stoffet har derfor måttet behandles mere detaljeret end nødvendigt overfor en ensartet læserkreds. De fyldigste afsnit behandler derfor især områder, hvor det erfaringsmæssigt har vist sig, at problemerne er flest og usikkerheden størst, hvorimod fremstillingen er mere koncentreret, når den omhandler emner, som ikke er så aktuelle som forhen eller er fyldigt omtalt i anden litteratur.

Ud fra disse retningslinier er det således valgt at give bygnings-

fysikken en forholdsvis bred omtale, især hvad fugt og fugtpåvirkninger angår. De derhen hørende spørgsmål er jo af særlig interesse i de nordiske lande, hvor klimaet i så henseende volder vanskeligheder, og problemerne vedrørende fugtvandringer i porøse byggematerialer og murværk så vidt vides heller ikke tidligere er diskuteret på bred basis i en publikation af denne type. Mørtlerne og deres delmaterialer har også fået en rigelig plads, idet blandt andet spørgsmålene om blandingsforhold og fremgangsmåden ved udtagningen af ingredienserne er ret udførligt behandlet. Det må jo erkendes, at der på disse punkter bliver gjort for mange fejl på de nordiske byggepladser. Der er også givet plads til stof fra fagområder, som nok har nær tilknytning til murerfaget, men dog ligger udenfor dets egentlige område; det gælder f.eks. maling på murværk og tildels også arbejdet med slidlag på betongulve. Disse afsnit er taget med i håb om, at de kan være til nytte for arkitekter og konsulenter, idet der jo ofte sker skader på disse felter. Emnet analyse og reparation af skader er behandlet i et kapitel for sig.

På den anden side er der gjort forsøg på at begrænse stoffet til mere principielle synspunkter, hvor det drejer sig om selve mure- og pudsearbejdet, og der er ikke skrevet meget om specielle forbandter og sjældent anvendte former for puds. Muring af buer og hvælvinger er slet ikke omtalt, både fordi sådanne konstruktioner bruges mindre og mindre, og fordi arbejder af den art er ret fyldigt omtalt i ældre litteratur.

Bagest i bogen findes en fortegnelse over de standarder, normer og forskrifter, der har tilknytning til bogens emner og var gældende i foråret 1965. De regler, som disse publikationer rummer, varierer som venteligt en del fra land til land, og også dette har medført problemer. Det har således flere steder været nødvendigt at give fremstillingen en mere generel form end påtænkt, for derved at undgå at komme i modstrid med detaljer i normerne.

Det kan virke overraskende, at bogen ikke indeholder anden litteraturhvisning end en liste over aktuelle standarder og normer. Dette forhold har naturligvis været diskuteret indgående, og der er også arbejdet med en litteraturfortegnelse, men resultatet er altså blevet, at den er udeladt. Der er flere grunde hertil; en af de vigtigste er, at listen ville blive meget lang og dermed lidet hen-

sigtsmæssig for mange læsere; en anden er, at bogen jo spænder over et stort antal emner, som hver for sig har sin omfangsrige speciallitteratur, og at der allerede foreligger nordiske publikationer med referater af denne litteratur. Hertil kommer endelig, at en væsentlig del af den litteratur, som er brugt under arbejdet med bogen, kun behandler meget begrænsede områder og i øvrigt foreligger i form af så mange specialrapporter, særtryk og beskrivelser, at der måtte foretages et udvalg, som næppe kunne undgå at blive tilfældigt.

Indenfor de områder, som bogen omfatter, findes der adskillige spørgsmål, som fagfolk ikke er enige om, og der hvor der er taget bestemt stilling til sådanne stridsspørgsmål, står det for forfatterens regning. Det er heller ikke sikkert, at forfatterens standpunkt fuldt ud deles af det udvalg, som tog initiativet til bogen — Nordisk Pudskomiteé — eller af de fire institutioner, som har udgivet den.

KAPITEL 2



PÅVIRKNINGER PÅ MURVÆRK OG PUDS OG DE KRAV DE STILLER

Enhver bygning — muret eller ikke muret — vil bestandig blive udsat for påvirkninger af forskellig art, og uanset hvor solidt den er bygget, og hvor godt den vedligeholdes, vil den dog have en begrænset levetid. Udvendigt påvirkes bygningen af vejret, såvel regn og storm som frost og sol. De indvendige påvirkninger kan være lige så alvorlige, højt fugtindhold i luften, aggressive luftarter og væsker, overbelastning, slid, stød og slag kan føre til omfattende og varige skader.

Selv om det således ikke lader sig gøre at bygge huse, der varer evigt, er det alligevel muligt at opføre dem således, at de får en meget lang levetid. Der er to veje, som fører til dette mål. Den ene er

at dimensionere rigeligt, således at nedbrydningen tager meget lang tid; det var princippet bag oldtidens pyramider og middelalderens monumentale bygværker. Med nutidens knaphed på materialer og mangel på arbejdskraft har denne vej ingen interesse. Den anden er at udnytte konstruktionsmulighederne og de til rådighed stående materialer således, at bygningen som helhed yder den størst mulige modstand mod de nedbrydende kræfter. At gennemføre dette på rigtig måde kræver et grundigt kendskab både til byggematerialernes egenskaber og til de påvirkninger, som det pågældende bygværk vil blive udsat for. Ikke mindst er det vigtigt at have oversigt over klimapåvirkningerne; de kan variere ret betydeligt fra land til land, fra landsdel til landsdel, ja endda fra sted til sted inden for et enkelt distrikt eller en enkelt by.

Det er imidlertid ikke nok at kræve, at huset skal modstå de nedbrydende kræfter i en lang årrække. Hvad enten bygningen skal bruges til bolig, kontor, industri eller andet formål, skal den tilfredsstillende en lang række funktionskrav, som ofte er langt mere vidtrækkende end kravet om varighed. Jo større fordringer der stilles om trivsel og velvære, desto stærkere gør dette forhold sig gældende.

Skal et hus i dag kunne kaldes hensigtsmæssigt, må det f.eks. næsten altid have en god varmeisolation. Ydervæggene skal desuden være så tætte, at luften ikke kan passere på utilsigtet måde og skabe træk, og at regnvand ikke kan trænge igennem og danne fugtskjolder eller anden fugtskade på indersiden. Ydervæggene skal også være så tætte, at de yder en vis isolation mod støj udefra, og dæk og indvendige vægge skal være så lydisolierende, at de udelukker generende lyd fra tilstødende boliger, fra andre rum og fra maskiner og tekniske installationer i huset.

Der stilles også krav til bygningens udseende, ikke blot med henblik på dens arkitektoniske udformning, men også — og i lige så høj grad — med henblik på, hvor godt udseendet holder sig overfor de ud- og indvendige påvirkninger. En bygningsdel kan godt få skader, som slet ikke nedsætter holdbarheden, men som dog har betydning ved at virke skæmmende. Uens patinering på grund af forkeret vandafledning, lokale udblomstringer, afskallende maling og nedfaldende puds er eksempler herpå. Mange af den slags skader

kunne have været undgået ved en rigtigere udformning af nogle af bygningens detaljer eller ved valg af mere hensigtsmæssige materialer.

2.1. Påvirkninger i byggeperioden

Det hænder ofte, at en skade i en bygning findes at have sin årsag i uforsigtighed allerede ved transport og lagring af byggematerialerne. Skødesløs håndtering kan fremkalde brud i sten og blokke og medføre varig svækkelse af armerede elementer. Det er dog hyppigere og ofte farligere, at beskyttelsen imod fugt ikke har været tilstrækkelig. De fleste byggematerialer er på den ene eller på den anden måde ømfindtlige overfor vand, damp eller is; binde- midler kan ødelægges totalt, porøse materialer kan opsuge vand og sprænges i frost eller få saltudslag, revner eller andre skader, når de atter tørrer i det færdige bygværk. Disse forhold vil blive nærmere beskrevet i anden forbindelse.

Med henblik på de her omhandlede forhold må klimaet i de nor-



Fig. 2.01. Telt over byggeplads (Danmark).

diske lande betegnes som vanskeligt; det kan medføre meget alvorlige påvirkninger i byggeperioden og skabe store problemer. Regn og anden nedbør — især i forbindelse med vind — kan forårsage omfattende skader, mens der bygges; regn kan vaske friskt pudt af ubeskyttede facader, og nyopført murværk kan miste sit sammenhæng, fordi blokke og mursten er så vanddrukne, at de «svømmer» i mørtlen, og vægge kan komme ud af lod, fordi mørtlen fryser eller tør.

Der er en tydelig og meget gunstig tendens her i Norden til mere og mere at anvende presenninger, plasticdug og andre tildækningsmaterialer til beskyttelse imod nedbøren. Det gælder vel især store byggepladser, og det forekommer, at alt murerarbejdet foregår under fuld tildækning, såkaldt bygning under telt (fig. 2.01). Det må håbes, at denne udvikling fortsætter; ved vurderingen af meromkostningerne til presenninger og deres anbringelse må den mindskede skaderisiko, den øgede kvalitet og de lavere brændselsudgifter i det færdige hus ikke glemmes, og arbejdes der under telt, vil effektiviteten blive højere og mange forsinkelser undgås.

Vandrette flader er farligere end lodrette, når det gælder nedbør i byggeperioden, fordi de samler vandet og kan føre det hen

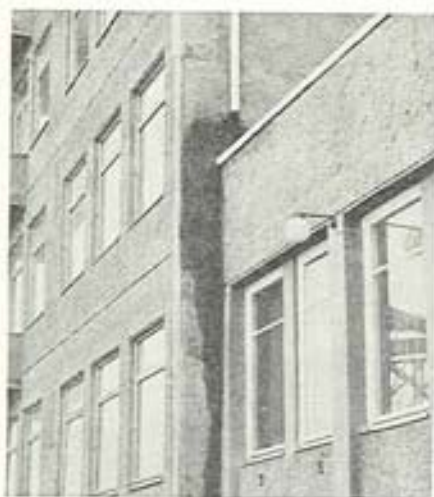


Fig. 2.02. Nybygning med nedløbsrør, som ikke er ført helt ned.

til sårbare områder i bygningen. Det må derfor være en uomgængelig regel, at alle frie murkroner tildækkes i stærkt regnvejr, og det samme bør ske ved arbejdstidens ophør, i hvert fald når der er risiko for nedbør om natten. Sne, som ligger på et dæk, må fjernes, før den smelter, og vand må ledes bort på en sådan måde, at det gør mindst mulig skade. Sløses der med disse forholdsregler, kan der efterhånden optages meget store vandmængder i bygningens vægge og dæk. Det er også helt for-

kasteligt at opsætte tagrender uden samtidig at anbringe nedløbsrør; alt tagvandet vil i så fald blive ført ned over facaden på nogle få steder, hvor den i reglen bliver helt gennemvædet og varigt skadet (fig. 2.02).

Udvendigt pudt af farvet mørtel er i den første tid særlig følsomt overfor fugt. Kommer der tåge om natten, efter at pudsearbejdet er afsluttet, kan overfladen skifte farve, fordi pigment og salte vaskes bort. Det samme kan ske, hvis det bliver klart vejr om aftenen eller om natten efter en fugtig dag, idet væggen da kan afgive så meget varme ved udstråling, at der af den grund fortættes vanddamp på pudslaget. Risikoen for skader af disse årsager er størst om efteråret. I nybygninger kan luften på denne tid og om vinteren være så fugtig, at det er umuligt at pudse indvendigt på forsvarlig måde; den høje fugtighedsgrad i luften eventuelt i forbindelse med fortætning på væg- og loftsflader kan vanskeliggøre hærdningen og ødelægge vedhængningen. Er der opstillet apparater for opvarmning, må der passes på, at de nærmeste flader ikke tørres for voldsomt. I så fald vil underlagets sugeevne blive for uensartet og mørtlens hærdningsbetingelser blive for dårlige. Er varmeaggregaterne opstillet nederst i bygningen, vil varm og fugtig luft stige op gennem trapperummene, og er åbningerne ud til det fri i de øverste etager ikke store nok, vil store mængder vanddamp fortættes på vægge og lofter deroppe og vandet virke skadeligt, især hvis arbejdet er så langt fremme, at snedkerne har fået anbragt deres træværk.

I enkelte tilfælde kan en nybygning være helt unødvendig fugtig, blot fordi der søles med vand, og lige så meningsløst kan det være, at man ikke sørger for at hindre, at vandrer sprænges af frost med derfra stammende oversvømmelse til følge. Naturligvis skal den med byggematerialerne tilførte vandmængde være tilstrækkelig; mørtel og beton skal f.eks. kunne hærdne på tilfredsstillende måde, men det bør være en ufravigelig regel, at der i byggetiden tilføres så lidt vand som overhovedet forsvarligt. Selv en så lille detalje som at dække nystøbte eller nypudsede gulve med plasticfolie i stedet for med vådt savsmuld har betydning for bygningens samlede vandindhold.

Sol og vind i sommerhalvåret kan også skabe problemer for

mure- og pudsearbejdet. Vandafgivelsen fra mørtlen kan gå for rask, og hærdningsforløbet kan forstyrres. Særligt går det ud over udvendigt puds, som på grund af den store fordampningsflade og den ringe tykkelse er særlig udsat for en hurtig udtørring. Forholdene kan i virkeligheden blive så vanskelige, at pudsearbejdet ikke kan gennemføres, uden at der træffes særlige forholdsregler. Også i dette tilfælde bliver der tale om afskærmning eller tildækning af væggene f.eks. med presenninger. I Syden er det ikke usædvanligt, at hele bygninger bliver skærmet mod for stærkt solskin med sivmætter, rørvæv eller lignende. Det er umiddelbart indlysende, at jo tørrere og varmere luften er, desto vigtigere er det at hæmme udtørringen eller at føre vand til pudsmørtlen i hærdningstiden.

Stærk vind kan også føre til kritiske statiske påvirkninger under byggearbejdet, særlig på nymurede vægge. Fritstående bygningsdele må derfor afstives, og der må sørges for, at murernes stilladser ikke bygges sådan, at de under storm vil overføre store kræfter til væggene.

Påvirkninger fra frost vil blive behandlet for sig i kapitel 10, og her skal der blot peges på, at tildækning eller bygning under telt kan løse en hel del af problemerne ved vinterarbejde.

Et hårdt klima er nok det, der skaber langt de fleste og farligste problemer i byggetiden, men en bygning kan også blive udsat for andre påvirkninger, som kan være ubehagelige nok. En uforsigtig opmagasinering af materialer og bygningsdele inde i huset kan føre til overbelastning og beskadigelser, som ikke straks er synlige og kan udvikle sig temmelig vidt, før de opdages. Kraftige rystelser fra f.eks. hejs og trykluftsværktøj kan føre til revnedannelser i vægge, som ikke er ret gamle og derfor endnu ikke har opnået deres fulde styrke.

Mange skader af den sidste slags kunne have været undgået, dersom byggeriet var planlagt rigtigt og med en fornuftig timeplan. Jo omhyggeligere planlægningen har været, desto mindre bliver der af hugning og efterreparation. Der bliver også mindre risiko for, at ømfindtlige materialer tager skade af vand og spildt mørtel. Våd mørtel angriber f.eks. træ, metaller og glas, og sporene kan være meget vanskelige at slette fra f.eks. vinduesglas.

Skal pudsearbejdet udføres i en sen periode i byggetiden, er det derfor absolut nødvendigt med omhyggelig tildækning af tilstødende flader. Det er især vigtigt, dersom pudsningen udføres maskinelt. Andre arbejder, der i høj grad kræver forsigtighed og god tildækning, er f.eks. slibning af terrazzogulve og rensning med syre.

2.2. Varmetab fra bygninger

Hvis temperaturen på de to sider af en væg, et loft eller et gulv er forskellig, vil der gå en varmem strøm gennem bygningsdelen fra den varme til den kolde side. Denne transport kan foregå på tre forskellige måder, nemlig ved ledning, ved strømning og ved stråling.

Ledning kan ske både i faste stoffer, i væsker og i luftarter, og den foregår ved, at varmen forplanter sig gennem materialet som molekylebevægelser (fig. 2.03 a). Der findes gode varmeledere, hvor varmem strømmen går hurtigt, og der findes dårlige varmeledere, hvor transporten foregår langsomt. Luft er en særlig dårlig varmeleder.

Strømning (eller konvektion) kan kun opstå i væsker og luftarter og foregår ved, at varm og kold væske eller luft blandes. I husbygning er det kun strømning i luft, som spiller en rolle.

Varm luft er lettere end kold og går til vejrs, samtidig med at den kolde luft går nedad. I ethvert hulrum, hvor der findes en

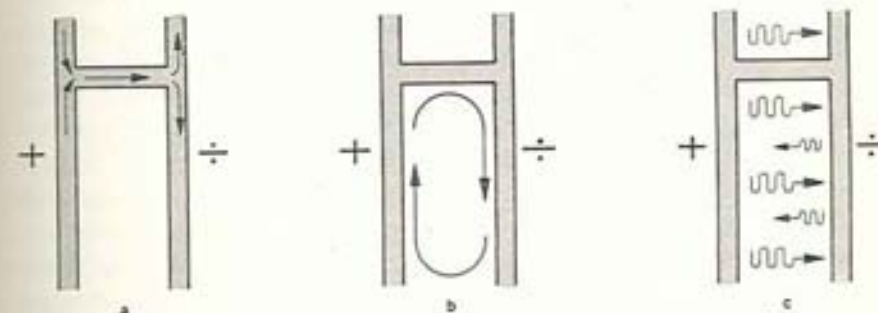


Fig. 2.03. Varmetransport ved a: ledning, b: strømning, c: stråling.

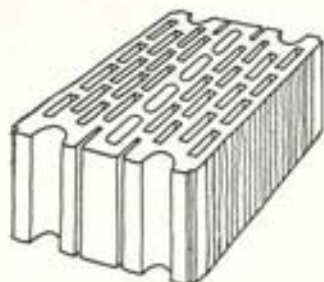


Fig. 2.04. Teglblok med parallelle luftspalter (ca. 1:10).



Fig. 2.05. Snit gennem porebeton med mange luftporer (ca. 1:1).

temperaturforskel, vil der derfor foregå en stadig cirkulation af luft, som forsøger at udjævne temperaturforskellen (fig. 2.03 b). En sådan naturlig strømning bliver ofte forstærket af træk eller kunstig ventilation.

Stråling finder sted gennem luften fra én flade til en anden med lavere temperatur (fig. 2.03 c); luften selv deltager dog ikke i varmetransporten. Størrelsen af strålingen er til en vis grad afhængig af overfladernes egenskaber, men for de fleste byggematerialer er strålingstallet nogenlunde ens. Metaller og metalfolier med blank overflade danner en undtagelse, idet deres strålingstal er væsentlig lavere end de fleste byggematerialers. Strålingen er helt uafhængig af afstanden, og den foregår derfor lige så let fra en vægts ydre overflade som tværs over en smal luftspalte.

Al varmeisolering af bygninger er baseret på luft som det isolerende materiale. I den enkleste form udnyttes luftens isoleringsevne ved at dele væggen i flere lag med luft imellem, sådan som det f.eks. gøres i hule vægge uden hulrumfyld. Der er imidlertid grænser for, hvor stor nytte man kan have af sådanne luftspalter. Jo bredere man gør dem, desto mindre bliver varmetransporten ved ledning, men desto lettere vil luften kunne cirkulere i hulrummet, og desto større bliver derfor den varmemængde, som overføres ved strømning. Det viser sig, at den totale varmetransport vil synke, indtil spaltebredden når op på ca. 20 mm; derefter vil den holde sig omtrent konstant. Varmeafgivelsen ved stråling over en sådan spalte er også betydelig. Lægger man aluminiumsfolie på den ene side af spalten, vil strålin-

gen kunne reduceres stærkt. Samtidig vokser imidlertid temperaturforskellen mellem de to sider, og dette foreger luftcirkulationen så meget, at den gunstige virkning af folien ikke kan udnyttes helt.

Skal luftens gode varmeisoleringssevne da udnyttes fuldt ud, er det nødvendigt at sørge for, at luften befinder sig i mange og smalle spalter eller i mange og små rum. På den måde bliver temperaturfaldet fra overflade til overflade meget lille, og både strømning og stråling bliver reduceret stærkt. Det er dette princip, som benyttes i al moderne varmeisolering. Systemet med de mange parallelle luftlag er gennemført i mursten af beton og tegl (fig. 2.04), og i materialer som letbeton og skumplastik træffer vi systemet med de mange små hulrum (fig. 2.05). Betoner med tilslagsmateriale af opblæret tegl (klinker), ekspanderede mineraler (f.eks. vermiculit og perlit) og savsmuld isolerer, fordi hvert enkelt tilslagskorn har et stort antal luftfyldte porer (fig. 2.06). Varmetabet gennem alle disse materialer sker for en væsentlig del ved ledning gennem de sammenhængende, faste vægge, som danner et system af «kuldebroer» på samme måde, som mørtelfugerne i murværk af høj-isolerende mursten.

I isolationsmaterialer som glasuld og mineraluld danner de tynde fibre et uhyre stort antal mikroskopiske luftspalter og hulrum (fig. 2.07). Sådanne materialer kan imidlertid være så åbne, at der foregår en vis strømning, som nedsætter isoleringsevnen i forhold



Fig. 2.06. Snit gennem klinkerbeton med opblærede teglklunker (ca. 1:1).



Fig. 2.07. Snit gennem mineraluld (ca. 10:1).

til den teoretiske. Der er derfor en af fiberdiametren afhængig grænse for, hvor lette og luftige sådanne isoleringsmaterialer bør være. Kommer man under denne grænse, begynder varmemestrømmen atter at stige. Luften i sådanne åbne isoleringsmaterialer kan også sættes i bevægelse på anden måde, f.eks. af vind.

Den evne, som en bygningsdel f.eks. en væg har til at slippe varme igennem, karakteriseres ved varmegennemgangstallet eller *k-værdien*. Denne *k-værdi* angiver, hvor meget varme der, målt i kilokalorier (kcal), går igennem 1 m² af bygningsdelen i løbet af 1 time (h), når luften på dens to sider har en temperaturforskul på 1°C. Enheden for varmegennemgangstallet er altså kcal/m²·h·°C. *k-værdien* kan måles direkte i forsøgshuse eller i eksisterende bygninger, men den kan også beregnes med tilstrækkelig nøjagtighed, dersom man blot kender alle detaljer ved væggen opbygning. Ved sådanne beregninger bruger man den omvendte værdi 1/*k*, som kaldes varmemodstandstallet eller *m*; *m* er summen af varmemodstandene i bygningsdelens enkelte lag.

Beregner man modstanden i disse lag i ordenen indefra og ud-efter, støder man først på en indre overgangsmo-stand *m_i*, netop der, hvor varmemestrømmen går over fra luft til bygningsdel. Måler vi overfladetemperaturen på indersiden af ydervæggen på en kold vinterdag, finder vi, at denne temperatur er lavere end luftens lige inde ved vægfladen. Dette kommer dels af, at luftlaget nærmest væggen på grund af friktion bliver omtrent stillestående, dels af, at vægoverfladen afgiver varme ved stråling. På den udvendige side af væggen, hvor varmen går fra vægfladen til den ydre luft, støder vi på en tilsvarende, men noget mindre overgangsmo-stand *m_u*. Hverken *m_i* eller *m_u* er konstante, men i praksis kan man regne *m_i* = 0,15 og *m_u* = 0,05. For bygningsdele mod det fri bliver summen af overgangsmo-standene altså 0,20 m²·h·°C/kcal, og for byg-ningsdele med rumluft på begge sider bliver summen 0,30 m²·h·°C/kcal.

Det er tidligere nævnt, at alle luftlag i en bygningsdel medfører en forøgelse af varmeisolationen, og luftlagenes varmemodstand føres derfor i regning. Disse modstandstal vil imidlertid variere stærkt med strømningen, og er hulrummet ventileret, må man regne med, at modstanden kan forsvinde helt. I efterfølgende tabel er

der givet en oversigt over modstandstal for luftlag med og uden begrænsningsflader af aluminiumsfolie under forudsætning af, at hulrummet ikke er ventileret. For delvis ventilerede hulrum må man regne med mindre værdier, og er hulrummet helt ventileret, må man altså sætte luftlagets varmemodstand lig 0. Tabellen tager ikke hensyn til, at modstanden i et lodret luftlag kan blive noget lavere end i et vandret på grund af den stærkere tendens til strømning i det lodrette luftlag.

Luftlags varmemodstand i m²·h·°C/kcal.

| Luftlagets begrænsningsflader | Luftlagets tykkelse i mm | | | |
|-------------------------------------|--------------------------|------|------|------|
| | 5 | 10 | 20 | 50 |
| Uden aluminiumsfolie | 0,12 | 0,15 | 0,20 | 0,20 |
| Med aluminiumsfolie på én flade | 0,20 | 0,35 | 0,50 | 0,55 |
| Med aluminiumsfolie på begge flader | 0,20 | 0,40 | 0,55 | 0,60 |

Paplag og også plasticfolier kan regnes at have en modstand på 0,05 m²·h·°C/kcal, når de ligger imellem to faste materialer, og på 0,03, når kun den ene side ligger mod fast materiale.

Når man skal beregne varmemodstanden for de faste materialer, som bygningsdelen er sammensat af, må man kende endnu et sæt varmetekniske størrelser, nemlig de enkelte materialers varmeledningstal *λ* (lambda). Varmeledningstallet fortæller, hvor stor en varmemængde i kcal, der i løbet af 1 time går igennem 1 m² af materialet, når laget er 1 m tykt, og temperaturforskellen mellem den varme og den kolde side er 1°C. Enheden for varmeledningstallet er m·kcal/m²·h·°C eller kcal/m·h·°C, og *λ* er i modsætning til *k* en materialkonstant. Ved beregninger har vi igen brug for den omvendte værdi 1/*λ*, der altså er et udtryk for den modstand, som et 1 m tykt lag af materialet yder mod at lade varmemestrøm passere. Såfremt lagets tykkelse ikke er 1, men *e*, bliver modstanden *e/λ*. Størrelsen *e/λ* har altså samme enhed som alle andre *m-værdier*, nemlig m²·h·°C/kcal.

Varmeledningstallet bestemmes altid ved måling i et laboratorium, og som regel undersøger man da tørre materialer. *λ* er imidlertid afhængig af, hvor meget vand der findes i materialernes porer, og *λ* vokser stærkt med vandindholdet. Da de allerfleste

| | Materialets rumvægt i tør tilstand kg/m ³ | Praktisk λ -værdi kcal/m ² ·h ² ·°C |
|--|---|---|
| Natursten | 2500—2700 | 1,50—3,00 |
| Beton, uarmeret og armeret | 2300 | 1,50 |
| C-mørtel | 2000 | 1,00 |
| KC-mørtel | 1800 | 0,90 |
| K-mørtel | 1700 | 0,80 |
| Porebeton, udvendig, med limede fuger eller opsat i forskalling | 650 500 400 | 0,18 0,14 0,12 |
| Porebeton, indvendig, med limede fuger eller opsat i forskalling | 650 500 400 300 | 0,16 0,13 0,11 0,09 |
| Murværk af porebeton, pudset udvendigt | 650 500 400 | 0,23 0,19 0,17 |
| Klinkerbeton, udvendig, opsat i forskalling | 700 600 500 | 0,20 0,16 0,14 |
| Klinkerbeton, indvendig, opsat i forskalling | 700 600 500 | 0,19 0,15 0,13 |
| Murværk af klinkerbeton, pudset udvendigt | 800 700 600 500 | 0,28 0,24 0,21 0,19 |
| Murværk af massive betonsten | 2000 | 1,00 |
| —, —, kalksandsten | 1800 | 0,80 |
| —, —, teglsten | 1800 | 0,60 |
| —, —, " " | 1600 | 0,50 |
| —, —, " " | 1400 | 0,45 |
| —, —, " " | 1200 | 0,35 |
| —, —, mangehuls " " | 1600 | 0,60 |
| —, —, " " | 1400 | 0,50 |
| —, —, " " | 1200 | 0,45 |
| —, —, " " | 1000 | 0,35 |
| Gran og fyr, vinkelret på fibrene | 500 | 0,12 |
| Træuldbetonplader | 250—500 | 0,06—0,10 |
| Bløde træfiberplader | 300 | 0,045 |
| Ekspanderet kork | 210 140 | 0,040 0,035 |
| Mineraluld | 15—200 | 0,035—0,040 |
| Polystyren plasticskum | 20—30 | 0,035 |
| Fyldmasse af sand (tørt) | 1700 | 0,35 |
| —, —, knust porebeton | 400 | 0,12 |
| —, —, opblærede teglklinker | 450 | 0,10 |
| —, —, granuleret slagge (tør) | 250 | 0,08 |
| —, —, granuleret mineraluld | — | 0,04 |

porøse byggematerialer indeholder en del fugt, er det i praksis nødvendigt at regne med varmeledningstal, som ligger en del højere end de målte.

I de nordiske lande er der nedlagt et stort arbejde i at nå frem til fælles regler for beregning af k -værdier. Der foreligger et forslag, som søges gennemført over hele Norden. m -værdierne på side 29 skriver sig fra dette forslag, og på side 30 gengives en del af varmeledningstallene. λ -værdierne er henført til et antaget «normalt» fugtindhold i materialerne og til de rumvægte, som er opført i tabellen.

Rumvægtene for murværk gælder den murstentype, som bruges ved muringen, medens λ -værdierne omfatter murværket, altså både mursten og mørtel. For teglsten med huller er rumvægten beregnet efter bruttorumfanget, altså rumfanget incl. hullerne. Man må også være klar over, at λ -værdierne for mineraluld og glasuld er afhæn-

Eksempel 1

| | m i m ² ·h ² ·°C/kcal | m i % |
|--|---|--------------|
| Udvendig overgangsmodstand | = 0,05 | 3,1 |
| 1,5 cm KC-puds | 0,015 : 0,90 = 0,02 | 1,3 |
| 15 cm porebeton, rumvægt 400 kg/m ³ | 0,15 : 0,12 = 1,25 | 78,6 |
| 15 cm beton | 0,15 : 1,50 = 0,10 | 6,3 |
| 1,5 cm K-puds | 0,015 : 0,80 = 0,02 | 1,3 |
| Indvendig overgangsmodstand | = 0,15 | 9,4 |
| m i alt | = 1,59 | 100,0 |

$$k = \frac{1}{1,59} = 0,63 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}^2\cdot\text{°C}$$

Eksempel 2

| | m i m ² ·h ² ·°C/kcal | m i % |
|--|---|--------------|
| Udvendig overgangsmodstand | = 0,05 | 1,4 |
| Formur, mangehulssten 1600 kg/m ³ | 0,11 : 0,60 = 0,18 | 5,1 |
| Hulrum med 10 cm mineraluld | 0,10 : 0,035 = 2,86 | 81,0 |
| Bagmur, mangehulssten 1200 kg/m ³ | 0,11 : 0,45 = 0,24 | 6,8 |
| 1,5 cm KC-puds | 0,015 : 0,80 = 0,02 | 0,6 |
| Udspændt tøj og tapet | = 0,03 | 0,9 |
| Indvendig overgangsmodstand | = 0,15 | 4,2 |
| m i alt | = 3,53 | 100,0 |

$$k = \frac{1}{3,53} = 0,28 \text{ kcal/m}^2\cdot\text{h}^2\cdot\text{°C}$$

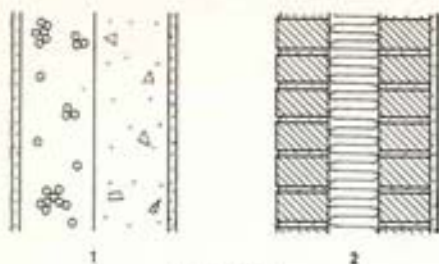


Fig. 2.08.

Eksempel 1: Betonvæg udvendigt isoleret med porebeton.

Eksempel 2: Hul teglvæg med mineraluld i hulrummet.

Når man kender overgangsmodstandene, bygningsdelens opbygning og varmeledningstallene for de enkelte materialer, kan k -værdien let beregnes, dersom opbygningen ikke er alt for kompliceret. Fremgangsmåden er demonstreret på side 31 for de to vægtyper, som er vist i fig. 2.08.

I disse eksempler er det også regnet ud, hvor mange procent af den samlede modstand hvert lag yder. Disse procenttal er meget nyttige, hvis man af en eller anden grund har brug for at kende temperaturforløbet gennem bygningsdelen. Af eksempel 2 ser man således, at den udvendige overgangsmodstand og modstanden i formuren tilsammen er 6,5 % af den totale modstand. Hvis temperaturen ude er -20 og inde $+20^{\circ}\text{C}$, bliver det samlede temperaturfald over væggen 40°C . Temperaturfaldet over formuren til luften ude bliver da $(40 \cdot 6,5) : 100 = 2,6^{\circ}\text{C}$, og temperaturen på indersiden af formuren bliver altså $-17,4^{\circ}\text{C}$. Det er også meget nemt regnet ud, at dersom temperaturen inde holdes på $+20^{\circ}\text{C}$, så vil temperaturen i hele formuren ligge under frysepunktet, blot temperaturen ude er under $-1,4^{\circ}\text{C}$. Dersom temperaturen på indersiden af formuren netop er 0° , er temperaturfaldet dertil fra stueluftens temperatur 20°C . Dette fald udgør $100 \div 6,5 = 93,5\%$ af det samlede temperaturfald, og det resterende temperaturfald bliver da $(20 \cdot 6,5) : 93,5 = 1,4^{\circ}$. Når man vil vurdere frostpåvirkningerne i murværket, er det nyttig at vide, at $1,4^{\circ}$ vedvarende frost vil give temperaturer under frysepunktet i hele formurens tykkelse.

gige både af rumvægt og fiberdiametre, og at man derfor må tage et vist hensyn til det enkelte produkt. Som nævnt er tabellens varmeledningstal baseret på et antaget fugtindhold i materialerne. I enkelte tilfælde må man regne med, at fugtmængden kan blive betydelig større, og det er i så fald nødvendigt at indføre større λ -værdier end tabellens i beregningerne.



Fig. 2.09. Nordens inddeling i 4 klimazoner.

I nogle bygningsdele varierer k -værdien fra sted til sted, f.eks. i jernbetonskelethuse med udfyldningsmurværk. Kaldes jernbetonens varmegennemgangstal k_b og murværkets k_m , og udgør mur-

værkets areal 90 % af hele fladens, kan det gennemsnitlige varmegennemgangstal k med god tilnærmelse beregnes som følger:

$$k = 0,10 \cdot k_{\text{v}} + 0,90 \cdot k_{\text{m}}$$

Bygningsmyndighederne stiller visse krav til bygningsdelenes k -værdier, og også på dette punkt findes der et forslag til fælles nordiske regler. Fig. 2.09 viser, hvordan man i forslaget har delt Norden ind i 4 klimazoner, og i den følgende tabel er kravene til varmegennemgangstal i de forskellige zoner samlet. Med delvis opvarmede rum menes rum, hvor der sker en vis varmetilførsel, f.eks. kældre med fritliggende varmerør. Med uopvarmede rum menes rum, som i den kolde årstid har en temperatur lidt højere end udetemperaturen, f.eks. kolde kælderrum og normalt ventilerede kryberum mellem gulv og jord.

En bygningsdel, som i øvrigt er godt isoleret, kan have såkaldte kuldebroer, der fører til en kraftig lokal afkøling af de indvendige overflader. Den jernbetonskeletkonstruktion, som blev omtalt foran, har sådanne kuldebroer ud for alle de gennemgående dæk og søjler. Et andet eksempel er vist i fig. 2.10, hvor en hul ydervæg i tegl, et jernbetondæk og et betonfundament mødes. Der vil gå en ret stærk varmestrom fra dækket og den nedre del af bagmuren gennem fundamentet til yderluften. Overfladetemperaturen på gulv og væg i nærheden af fodlisten vil derfor synke, og det kan blive så

meget, at det kan være direkte ubehageligt.

I næste afsnit vil det blive påvist, at afkølingen desuden kan føre til fortætning af vanddamp fra stueluften og deraf følgende fugtskader. Kuldebroer bør derfor undgås, hvor det overhovedet er muligt, og i kapitel 8, fig. 8.09 og 8.10 er der vist nogle eksempler på, hvordan dette kan gennemføres i praksis.

En bygningsdels effektive isoleringsevne kan, som før nævnt,

| | Øvre grænse for k -værdi i kcal/m ² ·h·°C i zone | | | | |
|---|---|------|------|------|---|
| | I | II | III | IV | |
| Opvarmet rums væg mod det fri eller væg mod uopvarmet rum | 0,80 | 0,90 | 1,00 | 1,10 | Kan af myndighederne tillades for vægge udelukkende af teglsten |
| | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,80 | Myndighedernes normale krav |
| | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | Kan af myndighederne kræves for vægge lettere end 100 kg/m ² |
| Opvarmet rums tag mod det fri eller dæk mod uopvarmet rum | 0,50 | 0,50 | | | Kan af myndighederne tillades for tag eller dæk af beton |
| | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | Myndighedernes normale krav |
| | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | Kan af myndighederne kræves for tag eller dæk af træ |
| Opvarmet rums gulv mod delvis opvarmet rum | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 0,70 | |
| Opvarmet rums gulv mod uopv. rum | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,50 | |
| Opvarmet rums gulv mod det fri | 0,35 | 0,35 | 0,40 | 0,40 | |
| Frostfri kælders væg mod det fri | 1,10 | 1,40 | 1,70 | 2,00 | |

blive nedsat, såfremt der kan trænge luft igennem bygningsdelen. Højporøse materialer kan få isoleringsevnen nedsat, dersom det blæser igennem dem, og på samme måde kan varmetabet vokse, dersom bygningsdelen har gennemgående utætheder, som lader kold yderluft slippe ind i rummene. Sådanne utætheder kan være revner og sprækker, dårligt fyldte fuger, samlinger imellem forskellige materialer og fuger omkring vinduesrammer. Selv små utætheder kan være ubehagelige, især hvis den kolde luftstrøm virker som træk. Nogle af de problemer, som opstår i forbindelse med manglende lufttæthed, er taget op i afsnittet side 60.

Gennem de sidste 40—50 år er der lagt større og større vægt på god varmeisolation, og tendensen har især været tydelig i årene efter 1945. Der er flere grunde til denne udvikling. En af dem er, at der lægges større og større vægt på hensynet til velvære og be-

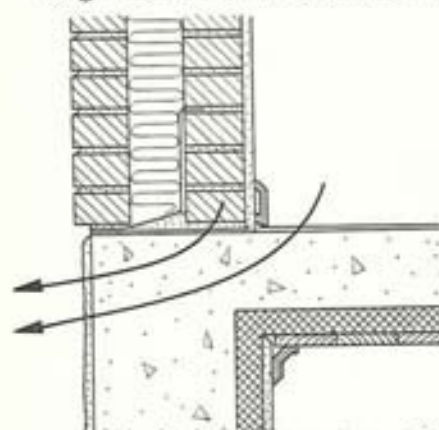


Fig. 2.10. Kuldebro i jernbetondæk under hul teglvæg.

kvemmelighed; en anden er, at en forbedret varmeisolation sænker brændselsforbruget og skaber en bedre driftøkonomi. Mange af de højisolerende byggematerialer er desuden nu så billige, at der i reglen ikke er nogen grund til at spare på dem. En stor del af de huse, som opføres i dag, har da også en meget god varmeisolation i vægge, gulv og loft, og det ser ud til, at vi her er inde i en udvikling, som vil fortsætte. Hvad angår døre og vinduer, er der derimod nok en del problemer, som endnu ikke er løst.

2.3. Fugt og fugtpåvirkninger

I dette afsnit vil der blive givet en udførlig omtale af fugtpåvirkninger og fugtvandringer i bygningsdele af tegl og beton, fordi man inden for dette område støder på nogle af de vanskeligste og mest omfattende problemer inden for nordisk husbygning. Dette gælder nok især egnene ved de vestvendte kyster, hvor klimaet er fugtigst, og hvor slagregnspåvirkningen kan blive særlig kraftig, men mange af fugtproblemerne er dog fælles for alle lande med et forholdsvis udpræget vinterklima.

Fugtkilder

I alle bygninger — nye som gamle — findes der fugt i de materialer, hvoraf de er opført. Mængden kan være forskellig, og vandet kan stamme fra mange kilder, såsom

| | |
|---------------|-------------------|
| byggefugt | overfladevand |
| lodret nedbør | grundvand |
| slagregn | utætte ledninger |
| | indendørsklimaet. |

Byggefugt omfatter den del af vandindholdet, som tilføres i løbet af byggetiden, og det er allerede omtalt, at en stor del af denne vandmængde hidrører fra nedbør og vandspild i huset. Men selv om der udvistes den største omhu på byggepladsen, og selv om der f.eks. blev bygget under telt, ville der dog findes en del fugtighed i vægge og dæk. Denne fugt stammer blandt andet fra overskuds-

vand i beton og mørtel og fra et stort vandindhold i materialerne ved leveringen.

Forceret tempo og dårlige betingelser for udtørring — f.eks. ved vinterarbejde — kan også være årsag til højt indhold af byggefugt, når huset tages i brug. Under normale forhold vil byggefugten imidlertid forsvinde efter et år eller to, men alle bygninger vil til at begynde med virke rå og klamme og særligt, hvis de er opført af murværk eller beton.

Lodret nedbør kan falde som regn, slud eller sne og påvirker især vandrette flader som tage, terrasser, altaner og murkamme. Da nedbøren kan blive liggende en tid på sådanne flader, stilles der særlige krav til tætheden. Forekommer der utætheder, kan store vandmængder trænge ind og brede sig langt nedefter i bygningen.

Måling af lodret nedbør hører med til standardarbejdet på alle meteorologiske stationer, og der findes derfor nok af resultater på dette område. På kortet i fig. 2.11 er der givet en skematisk oversigt over den gennemsnitlige, årlige nedbør i de 4 nordiske lande. Kortet viser tydeligt, at nedbøren er størst langs de vestvendte kyster.

Den del af nedbøren, som vinden slår ind mod en lodret flade, kaldes slagregn. Fig. 2.12 viser princippet ved måling af lodret nedbør og *slagregn*. Slagregnsmålinger foretages forholdsvis sjældent, men i enkelte lande hører de dog med til standardarbejdet på nogle af de meteorologiske stationer. Det er desuden muligt at beregne slagregnsmængden ret sikkert ud fra tal for lodret nedbør, vindhastighed og vindretning, og dette er gennemført for Norges vedkommende. Nogle af resultaterne er gengivet på fig. 2.13. De omfatter dog kun slagregnsmængderne for den vindretning, som giver mest regn; det er nemlig karakteristisk for de fleste hårdt påvirkede områder, at den væsentligste del af slagregnen kommer med én højst to bestemte vindretninger.

De gennemsnitlige, årlige slagregnsmængder skaffer os nok en vis, men dog ret grov oversigt over slagregnspåvirkningen i forskellige egne, men de giver langt fra alle de oplysninger, man har brug for. Fra praksis ved man, at den farligste påvirkning forekommer, når store regnmængder kommer ned med meget kraftig vind,



Fig. 2.11. Oversigtskort over årlig nedbør i mm (efter Fédération de Tullies et Briques Européenne, TBE).

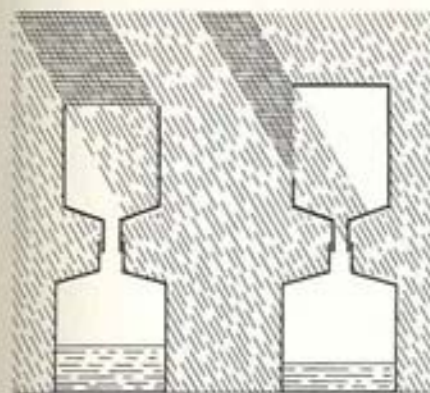


Fig. 2.12. Måling af lodret nedbør og slagregn.

og at sådanne slagregnsangreb kun er af en forholdsvis kort varighed. De kan vare fra nogle få timer op til 2—3 døgn, længe nok til at forårsage mange og alvorlige fugtskader, men man ved ikke nok om styrken og hyppigheden af sådanne angreb rundt om i Norden.

Vindstyrken spiller en meget stor rolle for slagregnspåvirkningen, og det har to årsager. For det første vil regnmængden, som træffer en lodret væg, ikke

alene være bestemt af, hvor stærkt det regner, men også af hvor stærkt det blæser. Regner det stærkt, og blæser det samtidigt kraftigt, kan slagregnsmængden blive meget stor. Ved målinger har man fundet, at en vægflade på 1 m² kan blive ramt af en slagregns-mængde på mindst 10 l i timen i de korte perioder, hvor vejret er hårdest. En del af dette vand indtages i væggen — i hvert fald til at begynde med — men den indtagne vandmængde vil i reglen hurtigt blive mindre end den tilførte, og der vil så danne sig en sammenhængende vandhinde på vægfladen, der bliver blank af vand. Vandet i denne hinde siver nedefter og gør hinden tykkere på sin vej; ved foden af en høj bygning kan den vandmængde, som tilføres pr. m² pr. time blive langt større end slagregns-mængden. Den anden årsag til vindstyrkens store rolle er, at vinden støver luften op mod den væg, den træffer, og derfor skaber et overtryk. Og i læsiden dannes der hvirvler, som vil fremkalde et mindre undertryk. Overtrykket i vindsiden kan med tilnærmelse udregnes af formlen $p = v^2 : 16$, hvor p er overtrykket i kp/m² eller mmVS (mm vandsejle), og v er vindhastigheden i m/sek. Sammenhængen mellem vindstyrken efter Beauforts skala og vindhastigheden i m/sek., samt overtrykket er vist i fig. 2.14.

På vestkysterne i Skandinavien er der målt overtryk på 80—100 mm VS — i ekstreme tilfælde endda over 150 — og det medfører yderst alvorlige påvirkninger. En væg, der er dækket af en sam-



Fig. 2.13. Oversigtskort over slagregnsforhold i Norge.

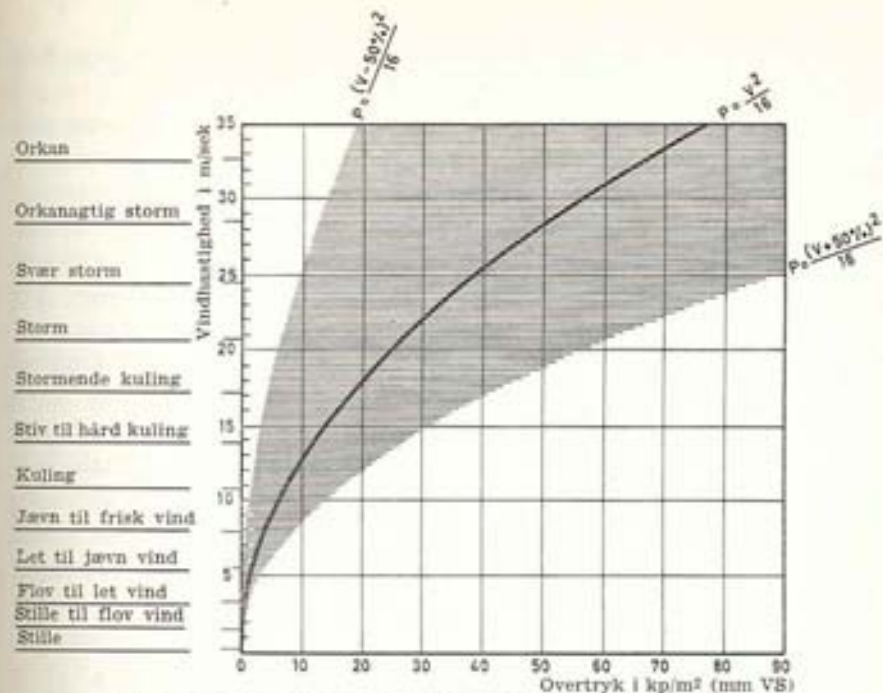


Fig. 2.14. Sammenhængen mellem vindhastighed og vindtryk.

menhængende vandhinde og udsat for et overtryk fra yderside til inderside på 100 mmVS, er udsat for det samme vandtryk, som en vandret væg, der er dækket af et 100 mm tykt vandlag.

Det fremgår af formelen foran, at overtrykket falder til en fjerdedel, hvis vindhastigheden falder til det halve. Det betyder, at huse, som ligger i læ, hvor vindhastigheden ikke kan blive ret stor, kun får sine ydervægge påvirket af små overtryk ved slagregn. Selv på sådanne steder kan man imidlertid ikke se helt bort fra overtrykkets virkninger, for det første fordi trykket aldrig er jævnt fordelt over en væg, men alt efter husets udformning og det omgivende terræn lokalt kan antage værdier, der er større end svarende til formelen, og for det andet fordi vindhastigheden vokser med højden over terrænet. Højhuse og huse på bakketoppe udsættes for kraftigere påvirkninger end småhuse og huse på flad mark. For det tredje må det jo erkendes, at klimaet er lunefuldt; selv i egne, der ligger langt fra kysterne, kan der forekomme perioder med meget kraftig

slagregn, selv om det erfaringsmæssigt kun sker med mange års mellemrum.

Udover regnmængde og vindhastighed spiller også regnens retning en vis rolle. I reglen har regndråberne jo retning skråt nedad, når de træffer væggen, men terrænet foran huset og de hvirvler, som dannes ved væggen, kan medføre, at dråberne slår vandret ind eller endda har retning skråt opad. Luftstrømmen langs væggen kan også fremkalde en opadrettet bevægelse i den vandhinde, der dannes. Sådanne fænomener forekommer især på høje huse med meget udsat beliggenhed og er tit farlige, fordi de kan føre til vandindtrængning under f.eks. sålbænke og inddækninger.

Overfladevand samler sig ved fundamentet og på terrasser og andre frie, vandrette flader i huset. Dersom dræning og afløb ikke er rigtigt udført, vil overfladevandet før eller senere føre til fugtskader, men ved omhyggelig projektering undgås dette i de fleste tilfælde. Hvad de vandrette flader angår, må det dog ikke glemmes, at afløbene kan blive tilstoppede af f.eks. blade eller fryse til, og at smeltende snedriver kan føre store vandmængder til f.eks. brystningsmure ved altaner.

Grundvand, der forårsager fugtskader, er som regel trængt ind gennem utætheder i kældervæggene, sjældnere gennem gulvene. Fejlen ligger oftest i, at arbejdet med kældervæggene ikke er udført med tilstrækkelig omhu, men mangler ved dræningen omkring huset kan også være årsagen, og det er altså vigtigt at stille strenge krav til disse arbejder. Skaderne kan også skyldes væld i grunden eller opstemning ved overbelastning af kloaksystemet, og i sådanne tilfælde må der tages særlige forholdsregler (membranisolering, specialventiler m.m.).

Utætte ledninger er i denne forbindelse især nedløbsrør og tagrender. En nærmere omtale af årsagerne til utæthederne ligger uden for denne bogs rammer, men det skal dog nævnes, at de ofte må søges i isdannelse. Nedløbsrør må derfor placeres med omtanke — helst inde i huset — eller forsynes med varmekabler, så frostsprængninger kan undgås.

Indendørsklimaet betegner de meteorologiske forhold i husets rum, og i forbindelse med fugtproblemerne drejer det sig især om de påvirkninger, som bygningsdelene udsættes for ved direkte be-

sprøjtning med vand, som det f.eks. sker i lejlighedernes badeværelser og vaskerum og i mejerier og vaskehaller, samt om de påvirkninger, som hidrører fra de ofte store fugtmængder i luften i husene. Den atmosfæriske luft består af en hel række forskellige luftarter, og en af dem er vanddamp. Hver af disse luftarter udøver et bestemt tryk, og det er summen af alle disse partialtryk (deltryk), vi omtaler som lufttrykket eller — hvad der er det samme — som barometerstanden. Kommer vanddampens partialtryk helt op på det såkaldte mætningstryk, så er rummet mættet med vanddamp, luften kan ikke optage mere, og tilføres der mere, udskilles der vand. Skyer, tåge, dug, rim og fortætningsvand er sådan fortættet vanddamp.

Mætningstrykket har ikke en fast værdi, det varierer stærkt med luftens temperatur; jo varmere luften er, desto mere vanddamp kan den optage, og desto højere ligger altså mætningstrykket. Luft med lav temperatur, specielt når den ligger under frysepunktet, kan omvendt kun optage og fastholde meget små mængder vanddamp. I det såkaldte MOLLIER-diagram (fig. 2.15) er der givet en oversigt over disse forhold. Den øverste kurve i diagrammet viser mætningstrykket i mmHg (mm kviksølv) ved forskellige temperaturer. Man har meget ofte brug for at vide, hvor tæt ved mætningstrykket luften i et rum er ved en bestemt situation. Det får man nemt rede på, hvis man bruger procenttal for luftens fugtindhold og karakteriserer det som det relative fugtindhold (RF). Er det relative fugtindhold 75 %, betyder det, at vanddampens partialtryk i det pågældende rum er 75 % af trykket ved mætning, eller — med andre ord — at luften i rummet kun indeholder $\frac{3}{4}$ af den dampmængde, den maksimalt kan optage ved den herskende temperatur. I Mollier-diagrammet kan man finde kurver for sammenhørende værdier af vanddampens partialtryk (p) og temperatur (t) ved forskellige relative fugtindhold (φ). Brugen af diagrammet vises bedst ved et eksempel:

Er luftens temperatur og relative fugtindhold 20°C og 50 %, findes vanddampens partialtryk at være knap 9 mmHg (lodret skala). Afkøles denne luft, uden at dens fugtindhold ændres, så vil partialtrykket heller ikke ændres, men luftens RF vil vokse. Følges linien for 9 mmHg til venstre, ses det, at ved 15°C (vand-

ret skala) er RF vokset til 70 %, og ved godt 9°C skærer linien kurven for mætningstrykket. Når luften er afkølet til godt 9°C, er den altså mættet med vanddamp, og RF er 100 %. Afkøles luften yderligere, vil den udskille vandpartikler, altså mindske sit vandindhold, og vanddampens partialtryk vil så ikke længere følge 9 mm linien, men kurven for mætningstrykket. Ved +5°C er partialtrykket kun 3 mmHg, men luften er stadig mættet med vanddamp. Det er som følge af disse forhold, at der under visse omstændigheder fortættes vanddamp på vinduer, vægge, gulve og lofter. Der sker jo — takket være den indvendige overgangsmodstand — et temperaturfald fra luften i rummet til en bygningsdels indvendige overflade, hvis der går en varmem strøm udad gennem bygningsdelen. I eksempel 1 side 31 forudsattes det, at lufttemperaturen ude og inde var +20 og +20°C, og da den indvendige overgangsmodstand var 9,4 % af den samlede varmemodstand, vil temperaturfaldet blive $40 \cdot 9,4 : 100 = 3,8^\circ\text{C}$, temperaturen for den indvendige vægflade altså 16,2°C. Af Mollier-diagrammet kan vi se, at luftens mætningstryk ved 16,2°C er lidt under 14 mmHg, og

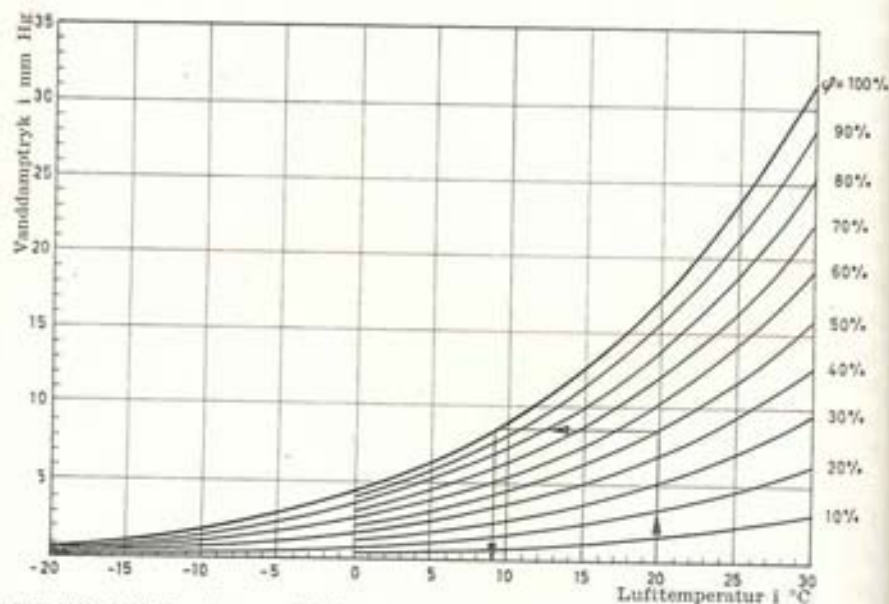


Fig. 2.15. Mollier-diagram (luftens temperatur og damptryk ved varierende RF).

opvarmes denne luft til 20°C, bliver dens relative fugtighed ca. 80 %. Dette betyder, at hvis luften i rummet når op på RF = 80 %, vil der fortættes vanddamp på ydervæggen. Det sker heldigvis ikke ret tit, at RF når op på så høj en værdi i vore værelser, og risikoen for fortætning på ydervægge af denne type er derfor lille. Ved de typiske kuldebroer kan vægfladens temperatur derimod komme langt ned under eksemplets, og så er risikoen naturligvis stor. Her kommer vinduerne også med; drejer det sig om et almindeligt dobbeltvindue, og er temperaturforholdene ude og inde som i eksemplet, så vil fortætningen på stuesiden af det indvendige glas allerede begynde, når luftens RF er ca. 40 %.

Det relative fugtindhold i husene afhænger ikke alene af hvor meget fugt, der tilføres, men også af ventilationen. Beboernes boligvaner har altså stor betydning; det er afgørende, om der ofte luftes ud, om der vaskes og tørres tøj i lejligheden, om rummene opvarmes på den ene eller den anden måde o.s.v. I nye huse kan byggefugt føre til meget store RF, og der er det altså særlig vigtigt at ventilere godt og opvarme rigtigt. Det samme gælder i perioder, hvor der koges i køkkenet eller tages varmt bad under bruse eller i kar i badeværelset. Når byggefugten er borte, og huset ellers er nogenlunde tørt, vil luften i en lejlighed i vinterhalvåret i de fleste tilfælde have et relativt fugtindhold på mellem 25 og 50 %.

For soveværelser gælder der dog ofte særlige forhold, navnlig hvis de opvarmes indirekte ved at åbne døren ind til et opvarmet rum. Har soveværelset været holdt koldt, vil ydervæggens temperatur ofte være så lav, når den varme luft slippes ind, at der er risiko for fortætning. Risikoen er størst for flader, hvor luften nærmest er stillestående, og overfladetemperaturen derfor er særlig lav, f.eks. bag billeder og møbler og i udadgående hjørner.

I industribygninger afhænger luftens RF i meget høj grad af de processer, der foregår. Cellulosefabrikker, farverier, mejerier og tørrerier er typiske «våde industrier». Det er ret almindeligt at regne med, at luftens RF på sådanne steder kommer op på 75 %, og der må så træffes særlige foranstaltninger, hvis fortætning skal undgås. Noget lignende gælder landbrugets stalde; vanddampmængden produceret pr. ko kan f.eks. regnes at være ca. 7 kg pr. døgn.

Foran blev det nævnt, at opvarmningen af soveværelser med varm luft fra andre rum medførte risiko for fortætning på ydervæggene. Sådan risiko eksisterer også, såfremt varm luft fra en boligs opholdsrum kan slippe ind koldere, uventilerede loftsrum, kældre, ventilationskanaler eller i rummet mellem glassene i dobbelte vinduer. Er bagmuren i en hul væg utæt, kan det gå særlig galt. I eksempel 2 på side 31 blev det regnet ud, at temperaturen på bagsiden af formuren ville være $-17,4^{\circ}\text{C}$, såfremt temperaturen ude og inde var $+20$ og $+20^{\circ}\text{C}$, og såfremt varm stueluft når frem til formuren, vil fugtindholdet fortættes og ende som et islag på muren.

Fugtvandring

De fleste byggematerialer er porøse omend i forskellig grad; det faste stof er afbrudt utallige steder af hulrum og kanaler. Hulrummene eller *porerne*, som de kaldes, kan være af meget forskellig form og størrelse; nogle er op til flere mm i tværmål, og andre kan være så små, at de ikke engang kan ses under det kraftigste mikroskop. Kanalerne danner forbindelse mellem porerne og kaldes *kapillarer*.

Kommer et porøst og tørt byggemateriale i berøring med vand eller vanddamp, vil porerne og kapillarerne straks begynde at optage vand; det kaldes *sorption*. De fysiske processer, som foregår i materialet under sorptionen, er så indviklede, at man endnu ikke ved fuld besked om dem. Forenklet set kan man forestille sig, at der optræder nogle meget stærke tiltrækningskræfter, *adsorptionskræfter*, mellem vand- og vanddampmolekylerne på den ene side og porernes og kapillarenes vægge på den anden side, omtrent som mellem en jernsplint og en kraftig magnet. «Kraftfeltet» inde i det porøse materiale vil være desto stærkere, jo mindre hulrummene er.

Dersom byggematerialet optager fugten i form af vanddamp, kaldes vandoptagelsen *hygroskopisk sorption*, og adsorptionskræfterne vil da pakke vanddampmolekylerne meget tæt sammen; i meget små porer og kapillarer så tæt, at dampen omdannes til vand. I grovere hulrum vil fugten vedblive at være i dampform bortset fra det lag, der ligger lige op til porevæggene og derfor

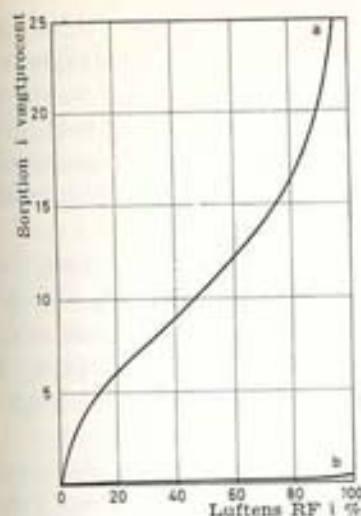


Fig. 2.16. Hygroskopisk sorption for a: træ og b: tegl.

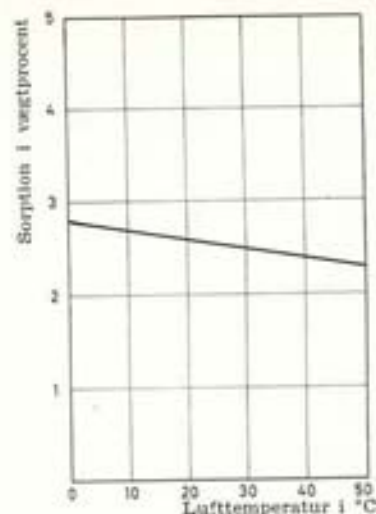


Fig. 2.17. Porebetons sorption i afhængighed af temperaturen.

bliver udsat for de stærkeste kræfter. Men alt i alt kan kræfterne føre til, at et porøst byggemateriale kan optage betydelige fugtmængder fra luften. Sorptionen er således først og fremmest afhængig af materialets tekstur. Er porerne og kapillarerne meget fine, vil den hygroskopiske sorption blive større, end hvis de er grove. Træ er et typisk finporet materiale, mens tegl indeholder et stort antal middelgrove og grove porer; forskellen ses tydeligst på fig. 2.16, der viser, hvor meget de vanddampmængder afviger, som de to materialer optager, når de lagres i fugtig luft.

Sorptionen er i henhold til fig. 2.16 også afhængig af lagringsluftens relative fugtighed; den vokser med luftens fugtindhold, idet en højere RF fører til, at grovere porer optager vand. Dersom et materiale langvarigt lagres i luft med en vis relativ fugtighed, vil sorptionen foregå langsommere og langsommere og til sidst ophøre. Materialets vandindhold på dette tidspunkt kaldes *ligevægtsvandindholdet*. Dersom luftens RF vokser, begynder sorptionen igen, og aftager RF, vil materialet begynde at afgive fugt; begge disse processer vil fortsætte, til der opnås en ny ligevægt.

Dersom temperaturen aftager, vokser adsorptionskræfterne og dermed den fugtmængde, som kan optages (fig. 2.17). Byggematerialer, der lagres udendørs om vinteren, vil f.eks. altid have en tendens til at optage en del fugt, selv om de er godt tildækkede. Det skyldes dog ikke alene de større adsorptionskræfter, men også at luften i det fri normalt har et meget højt relativt fugtindhold om vinteren i de nordiske lande.

Kommer det porøse materiale i berøring med vand i stedet for med vanddamp, indtræder en anden form for sorption, nemlig en opsugning. Så er det især kapillarerne, der er virksomme, og man taler derfor i reglen om *kapillarsugning* eller *kapillarsorption*. I virkeligheden er det også her adsorptionskræfterne og deres kraftfelt, der er den egentlige årsag til vandoptagelsen.

Man kan skaffe sig et forenklet billede af kapillarsugningen ved at sætte tynde glasrør med forskellige lysvidder lodret ned i en skål med vand. Vandet bliver suget op i rørene, og stigningen vil fortsætte, indtil vægten af vandsøjlerne er blevet lige så stor som sugekraften. Vandet stiger langsomt, men også højest i de tyndeste rør. I efterfølgende tabel ses det, hvordan den maksimale stighøjde vokser, og stigningens hastighed aftager, når lysvidden aftager. Hastigheden gælder stigningen 1 cm over vandspejlet i skålen, når vandets temperatur er 20°C, og stighøjden og hastigheden er i øvrigt den samme i en spalte, hvis tværmål er det halve af rørets diameter.

| | Kapillardiameter i mm | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|-------|------|-------|--------|---------|
| | 2 | 0,2 | 0,02 | 0,002 | 0,0002 | 0,00002 |
| Vandets stighøjde i m | 0,0149 | 0,149 | 1,49 | 14,9 | 149 | 1490 |
| Stigningens hastighed i cm/sek. | | 17,2 | 1,72 | 0,172 | 0,0172 | 0,00172 |

I et porøst byggemateriale har kapillarerne hverken et konstant tværsnit eller et retliniet forløb som i glasrørene, og opsugningen i byggematerialerne er derfor en langt mere indviklet proces. Uden at komme ind på detaljer skal der i det følgende omtales nogle forhold ved porøse materialers kapillarsugning, som har direkte praktisk betydning.

1. At adsorptionskraften vokser med aftagende temperatur, spiller en langt mindre rolle ved kapillarsugning end ved hygroskopisk sorption.
2. At sugekraften vokser, når kapillardiameteren aftager, medfører, at en fin kapillar kan suge vand fra en grov. Alle kapillarer, som er i berøring med vand, vil deltage i opsugningen, og de groveste vil fyldes først. Under udtørring vil vandet først forsvinde fra de grove kapillarer, medens de fine længe kan være helt vandfyldte. Den praktiske følge heraf er, at en opsugning foregår betydeligt hurtigere end en udtørring.
3. På det sted i en kapillar, hvor tværsnittet er størst, er sugekraften mindst. Afbrydes kapillaren af en grov pore, kan sugningen ophøre, dersom vandbevægelsen ikke vedligeholdes af andre kræfter. Virker f.eks. et vandtryk i samme retning som sugningen, kan selv meget grove porer blive fyldte.
4. Vand, som er underkastet kapillarsugning, kan kun bringes til atter at optræde som frit vand ved tilkomst af andre kræfter. Løber der vand ned over bagsiden af en formur eller en tagsten, kan dette ikke tilskrives en vandbevægelse fremkaldt alene af kapillarkræfter; kræfter som vindtryk eller tyngde må have medvirket, og disse kræfter får kun betydning for vandbevægelse i relativt grove kanaler (spalter, åbne fuger, revner).
5. Af tabellen side 48 fremgår, at vandtransport ved kapillarsugning spiller den mindste rolle, når kapillarerne er meget grove eller meget fine; er de grove, er sugekraften ringe, og er de fine, er stighastigheden nær ved 0. De fineste kapillarer og porer vil i øvrigt som regel være fyldte på forhånd ved hygroskopisk sorption.
6. Når et porøst materiale er delvis neddykket i vand, kan nogle af kapillarerne suge vand helt frem til overfladen af den opragende del. Herfra vil der til stadighed afgå vandmolekyler ved fordampning til den omgivende luft, og der kan derfor suges mere vand op. På den måde kommer der til at foregå en jævn transport af vand op gennem byggematerialet.

Ved beskrivelsen af hygroskopisk sorption blev det forudsat, at luften på alle sider af materialet havde samme fugtindhold. Er dette

ikke tilfældet, og er der i stedet et fald i damptryk fra den ene side af materialet til den anden, så foregår der en anden form for fugtvandring, den såkaldte *vanddampdiffusion*. Vandringen skyldes tendensen hos vanddamp som hos alle andre luftarter til at udligne trykforskelle, og her vandrer vanddampmolekylerne fra området med højt partialtryk mod området med lavt partialtryk. Forholdene ved et dobbeltvindue i koldt vejr kan bruges som et overskueligt eksempel på diffusion. Damptrykket mellem de to ruder er mindre end inde i stuen, og dampmolekyler vil derfor vandre fra stuen ud gennem utæthederne omkring forsatsvinduet. I det fri er damptrykket endnu mindre end mellem ruderne, og dampmolekylerne vil derfor umiddelbart vandre videre, dog kun dersom utæthederne omkring det yderste vindue er lige så store eller større end omkring det inderste. Er de mindre, vil den relative fugtighed mellem ruderne vokse, måske indtil vanddampens tryk når mætningstrykket. Så begynder fugten at fortættes på den yderste rude som vand eller is alt efter temperaturen på glasfladen. Hvis mætningstrykket nås, vil det være lavere end damptrykket i stuen, og diffusionen vil derfor fortsætte, og mere og mere vanddamp fortættes på ruden.

Det er sjældent, at vanddampens vandring fra den ene side af en bygningsdel til den anden alene skyldes en forskel i damptryk (eller i RF); i reglen medvirker tillige en temperaturdifferens, således at vandringen skyldes en kombination af de to, hvad enten de virker samme vej eller mod hinanden. Slutresultatet bliver dog næsten altid en diffusion i damptrykfaldets retning.

Diffusion gennem et porøst materiale er et mere sammensat fænomen end diffusion gennem en spalte eller en revne. Når vanddampmolekylerne trænger ind i de grove porer og kapillarer, vil RF vokse derinde og forstyrre ligevægten for den hygroskopiske sorption. Når der endvidere optræder et temperaturfald fra side til side i bygningsdelen — hvilket jo i reglen er tilfældet — kan det hælde, at dampen afkøles så meget på sin vej, at mætningstrykket nås. I så fald sker der en fortætning inde i materialet, og dermed sættes en kapillarsugning igang. Fra bygningsdelens kolde side vil vanddampmolekyler gå ud i luften. Alle disse processer, diffusion, hygroskopisk sorption, kapillarsugning og fordampning vil være igang på samme tid og nogle virke i samme retning, andre i modsat. Er for-

holdene på de to sider imidlertid stadig uændrede, vil der efterhånden opnås en ligevægt mellem de mange processer, således at mængden af vanddamp, som trænger ind på den ene side, bliver lige så stor, som den der afgives på den anden. Det er denne resulterende fugtstrøm, som i daglig tale kaldes vanddampdiffusion gennem materialet.

Denne «praktiske» form for vanddampdiffusion kan man måle i et laboratorium ved at arrangere et bestemt damptrykfald over prøvelegemet og bestemme gennemgangen ved vejning, efter at der er opnået ligevægt. Man kan på denne måde finde materialets *dampdiffusionstal* eller *dampgennemgangstal* k_d . Det er mest almindeligt at angive k_d som det antal g vanddamp, der går gennem 1 m² af materialet i løbet af 1 time, når trykfaldet er 1 mmHg. I mange tilfælde — især ved tynde lag som pap, folier og plader — er det mest praktisk at operere med dampgennemgangstallet for laget. I andre tilfælde henføres k_d til en tykkelsesenhed, f.eks. 1 cm eller 1 m. Hvis man altid opgiver, hvilken tykkelse k_d -værdien gælder, kan man operere med samme enhed, nemlig g/m² · h · mmHg. Ved diffusionsberegninger må man, ligesom ved varmeberegninger, benytte sig af modstandstal $1 : k_d$.

I efterfølgende tabel er der indført en del værdier for dampdiffusionstal målt ved 20°C. Det må dog understreges, at værdierne er usikre og ikke kan anvendes kritikløst. Årsagen er de meget komplicerede processer, som tilsammen har ført til det målte tal; k_d -værdierne er således afhængige af lokale forskelle i materialets tekstur, af temperaturen og af fugtforholdene i og omkring materialet, og de kan ikke betragtes som rene materialkonstanter. Jo højere temperaturen er, og jo mere fugt, der findes i materialet, desto større bliver dampdiffusionstallet i reglen. Tabellen indeholder ingen værdier for malingslag, dertil er variationerne alt for store; alt efter materiale og lagtykkelse kan et malingslags egenskaber i henseende til diffusion variere fra at være praktisk taget åbent til at have samme tæthed som plasticfolie.

Diffusionstallene er ret ofte blevet brugt til undersøgelse af risikoen for fortætning i en bygnings vægge. Teoretisk er dette forholdsvis ligetil, fordi trykfaldet over væggen vil fordele sig proportionalt med damp-tætheden i de forskellige lag. I praksis gør variationerne

Vanddampdiffusionstal målt ved ca. 20 °C.

| Materialer | Rumvægt kg/m ³ | Fladevægt g/m ² | Tykkelse mm | k _d g/m ² ·h·mmHg |
|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|--|
| Luft | | | 10 | 10 |
| Beton | 2300 | | 10 | 0,1—0,5 |
| C-mørtel | 2000 | | 10 | 0,1—0,5 |
| KC-mørtel | 1800 | | 10 | 0,3—0,8 |
| K-mørtel | 1700 | | 10 | 0,7—1,0 |
| Porebeton | 400—650 | | 10 | 0,7—2,0 |
| Klinkerbeton | 500—700 | | 10 | 1,0—2,0 |
| Betonsten | 2000 | | 10 | 0,5—1,0 |
| Kalksandsten | 1800 | | 10 | 0,5—1,0 |
| Teglsten | 1200—1800 | | 10 | 0,5—2,0 |
| Gran og fyr | 500 | | 10 | 0,05—0,15 |
| Træuldbetonplader | 250—500 | | 10 | 3,0—5,0 |
| Mineraluld | 15—200 | | 10 | 4,0—6,0 |
| Polystyren plasticskum | 20 | | 10 | 0,1—0,3 |
| Bløde træfiberplader | | 3 750 | 12,5 | 1,0—2,0 |
| Hårde træfiberplader | | 3 200 | 3,5 | 0,2—0,5 |
| Gipsplader | | 7 500 | 9,5 | ca. 0,5 |
| Eternitplader, porøse | | 9 350 | 12,0 | ca. 0,6 |
| Eternitplader, hårde | | 16 000 | 8,0 | ca. 0,25 |
| Hårde spånplader | | 8 500 | 13,0 | 0,1—0,2 |
| Tagpap, asfaltimpregneret | | 600 | ca. 1,0 | 0,03—0,16 |
| Tagpap, diffusionstæt, asfaltbelagt | | 800 | ca. 1,0 | 0,002—0,006 |
| Uimpregneret pap | | 350—500 | ca. 1,0 | 2,5—5,5 |
| Plasticfolie, polyetylen | | 100 | 0,1 | 0,001—0,004 |
| Plasticfolie, polyetylen | | 40 | 0,04 | 0,004—0,01 |
| Linoleum | | | | ca. 0,01 |
| Vinylfliser | | | | ca. 0,0001 |

i k_d fra område til område og eventuelle luftstrømme inde i bygningsdelen dog forholdene langt mere komplicerede, og fremgangsmåden ved beregningerne vil derfor ikke blive gennemgået. En grov sortering af byggematerialerne efter diffusionstal er dog nyttig; det er f.eks. vigtigt at vide, om overfladelagene på en bygningsdel er tætte eller åbne for diffusion, og følgende inddeling må da regnes for naturlig:

| | | | |
|----------------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Når k _d er mindre end | 0,01 | g/m ² ·h·mmHg | Meget tæt |
| Når k _d ligger mellem | 0,01 og 0,1 | —>— | Tæt |
| Når k _d ligger mellem | 0,1 og 1,0 | —>— | Åbent |
| Når k _d er større end | 1,0 | —>— | Meget åbent |

Ved siden af adsorptionskræfterne og dampens trykfald er det især vindtryk og tyngdekraft, som kan fremkalde fugtvandring.

Vindtrykket har betydning i forbindelse med slagregn, og det er allerede nævnt, at der ved hårdt udsatte vægge og under særlig ugunstige forhold er målt overtryk på helt op til 150 mmVS. Dersom vindtrykket opgives i mmVS, og dersom den kapillare stighøjde opgives i mm, kan talværdierne uden videre sammenholdes, og af værdierne i tabellen på side 48 ses det da, at det maksimale vindtryk og sugekraften i en kapillar med 0,2 mm diameter eller i en spalte med 0,1 mm bredde påvirker vandet med samme resultat.

Dersom et byggemateriale ikke har gennemgående porer med mere end 0,2 mm diameter, vil vindtrykket altså være praktisk taget uden indflydelse på fugtvandringen. Forekommer der større porer, vokser vindtrykkets betydning med antallet og med vindstyrken. Vindens virkning har dog især betydning, når der forekommer særlig grove utætheder såsom revner, fuger, der ikke er fyldte, dårlige overlappninger o. lign. Det er således typisk i egne med kraftig slagregn, at fugtskaderne næsten altid viser sig ud for fugerne også i tilfælde, hvor murstenene er ret porøse. Er det vinden alene, som forårsager en vandindtrængning gennem grove utætheder, bliver vandmængderne ofte meget store, og skaderne melder sig derfor hurtigt og kan få et betydeligt omfang. Tyngdekraften har ligeledes især betydning for vandtransporten, når det drejer sig om grove utætheder, men den spiller dog også en vis rolle for fugtfordelingen i porøse byggematerialer. Tyngdekraften kan presse vand fra vand-samlinger på skrå eller vandrette flader eller i vandsække ind i bygningen gennem sprækker og huller under vandspejlet, og inde i bygningen kan tyngdekraften medvirke ved den videre bevægelse. Vands bevægelse i hulrummet i en hul væg er et eksempel herpå; er vandet af vinden blevet presset gennem formuren, vil det løbe ned over dens bagside, og er hulmuren forkert udført, kan vandet af tyngden føres over til bagmuren langs trådbindere eller mørtelbroer eller ved bunden.

Det er de indtil nu omhandlede former for fugtvandring, der spiller den største rolle i praksis. Fugtvandring kan naturligvis også igangsættes af andre årsager, f.eks. som følge af vandtryk, osmose eller elektrisk kraftfelt, men de skal ikke omtales her, og selv om

man ser bort fra sådanne årsager, er der dog så mange forskellige kræfter, der virker på samme tid og indvirker på hinanden, at det er svært at overskue den resulterende virkning. Dersom de ydre forhold var konstante, ville processerne efterhånden føre til en ligevægtstilstand, men den opnås aldrig, fordi de ydre forhold aldrig er konstante; temperatur, relativt fugtindhold, damptryk, nedbør, vindforhold vil stadig veksle.

Når man tager fugtvandringens store betydning i betragtning, er det rimeligt, at der i mange lande — deriblandt også de nordiske — drives en udstrakt forskning på området, og der er alligevel langt igen, før der tør tales om en fuldstændig analyse af alle de skiftende fugtprocesser. Indtil videre kan der kun trækkes visse praktiske hovedlinier op vedrørende den samlede tendens til fugtvandring under forskellige forenklede ydre forhold.

Dersom en ny bygningsdel — f.eks. en væg — bliver hermetisk tillukket på begge de frie sider, vil byggefugten blive indespærret og i løbet af året vandre frem og tilbage, altid på vej mod den koldeste side. Om vinteren vil fugten altså samles i de yderste lag og de inderste være under udtørring; om sommeren vil tendensen være den modsatte og føre til, at vandet koncentrerer sig i de inderste lag, dog ofte i mindre udpræget grad. Et tag, der er dækket med pap på oversiden og behandlet på undersiden med et lag, der i henseende til diffusion må betegnes som «meget tæt», kan betragtes som et eksempel på en sådan dobbeltforseglet bygningsdel, selv om lukningen ikke kan regnes for hermetisk.

Dersom den nye bygningsdel kun blev lukket hermetisk på ydersiden, ville den kunne øge sit fugtindhold — byggefugten — i den kolde årstid, fordi damp kan diffundere ind fra indersiden, dersom den er varmest. Fugtmængden i de yderste lag ved den kolde yderside ville da vokse og en del af vanddampen måske fortættes. I så fald begynder en kapillarsugning at foregå i retning mod den varme side, hvor en fordampning vil komme igang og modarbejde diffusionen. Hvis damptrykket i rummet bag væggen er lavt nok, kan en ligevægt opnås, uden at fugtmængden i bygningsdelen er øget ret meget. Stiger damptrykket i rummet, opnås ligevægten senere og senere, og ligevægtsvandindholdet i bygningsdelen bliver større og større. Udvikler forholdene sig så langt, at der sker fortætning

allerede på bygningsdelens inderside, er der stor risiko for, at bygningsdelen bliver vandmættet i løbet af vinterhalvåret. Et massivt tag og en ydervæg af beton med indvendig isolering uden tilstrækkeligt dampstandsede overfladelag er eksempler på sådanne bygningsdele.

Dersom den omhandlede nye bygningsdel ikke blev lukket hermetisk på nogen af siderne, ville den have mulighed for at tørre ved fordampning fra ydersiden om vinteren. Fordampningen ville blive desto stærkere, jo lavere damptrykket i yderluften var, jo mere det blæste, og jo mere duffusionsåbne de yderste lag var. Mængden af fugt, som vandrer ind i bygningsdelen indefra, vil fortsat være bestemt af temperaturfordelingen, af damptrykfaldet og af diffusionstætheden i de indre lag. Det er forholdet mellem afgivet og optaget fugtmængde, der er afgørende for, om bygningsdelen bliver vådere eller tørrere. Lukkes indersiden hermetisk, er der mulighed for en så kraftig udtørring, at fugtmængden ved ligevægt når ned på, hvad der svarer til hygroskopisk sorption.

Dersom bygningsdelen ikke alene optager fugt fra vanddamp, men også udsættes for slagregn på ydersiden eller for påsprøjtning på indersiden, bliver antallet af faktorer og varianter ved fugtvandringen meget stort. Det kan fastslås, at hvis de indtrængende vandmængder er moderate, og hvis der er et rimeligt forhold mellem vandoptagelses- og udtørningsperiodernes varighed, så kan bygningsdelen nøjes med at blive vanddrukket i de ydre lag. Men sådan går det ikke, dersom vand kan trænge ind i porøse underlag gennem revner og huller i en overflade, der uden for utæthederne er særdeles tæt overfor både vand og vanddamp. I så fald vil fordampningen fra overfladen blive meget ringe, og fugtmængden i væggen vil vokse for hvert angreb og til slut føre til, at væggen er gennemvåd. Det samme bliver slutresultatet, dersom en bygningsdel med overfladelag med stor tæthed får tilført vand til det indre gennem utætheder ved tag, vinduer eller på anden måde, som ikke har noget med selve bygningsdelen at gøre. En langsom vækst af fugtmængden kan også træffes i bygningsdele med mere åbne overfladelag, såfremt luften ved overfladen har så stort et damptryk, at fordampning på det nærmeste er udelukket.

Fugtskader

I det følgende skal de ulemper og skader, der kan blive følgen af, at fugt trænger ind i bygningsdele og materialer, behandles nærmere (se også kapitel 13).

Grove utætheder kan gøre det muligt, at vand trænger tværs igennem bygningsdelen og træder frem på indersiden af fundamenter, vægge eller lofter. Vandet kan enten danne fugtskjolder eller løbe eller dryppe ned fra de indvendige flader. De grove utætheder findes i reglen i dårligt fyldte fuger, i revner, ved samlinger og overlapninger eller omkring muråbninger. Det er dog ikke altid let at finde, hvor vandet trænger ind, det kan løbe lange veje inde i bygningsdelen og fremkalde skaden i et helt andet område.

Vandgennemslag kan medføre mange ulemper. Indvendig maling kan løsnes eller ændre farve, tapeter kan slå fra eller mugne, møbler og inventar kan skades varigt. Endvidere kan luften i rummet komme til at virke klam og ufrisk, så rummene bliver ubehagelige som opholdsrum. Selv om der ikke er noget galt at se, kan ulemperne dog være betydelige, i nogle tilfælde endda større end ved synlige skader. Det er f.eks. farligt, dersom vandet på sin vej gennem væggen fugter træværk eller organiske isoleringsmaterialer. Mulighederne for en efterfølgende udtørring er små, og tit har råd og svamp forårsaget ødelæggelser, før det opdages, hvad der foregår.

Mange porøse byggematerialer indeholder vandopløselige salte, og ved fugtvandring i porer og kapillarer transporteres også saltene fra sted til sted i materialet. Dersom fugten i et område når frem til materialets overflade, og der derfra fordampes vand, kan saltene udskilles igen i form af krystaller, som kan blive årsag til skader af forskellig art. I bedste fald er skaderne kun et spørgsmål om udseende, idet krystallerne danner en belægning på overfladen — hvadenten den er indvendig eller udvendig — og virker skæmmende. Da saltene er vandopløselige, kan de ofte vaskes bort, og udvendigt sørger regnen i reglen for at fjerne dem. I en del tilfælde sker udkrystallisationen et stykke inde bag overfladen, f.eks. bag et malingslag, bag pudslaget eller inde i et porøst materiale, og sker den under rumfangsforøgelse, kan det føre til, at malingslaget eller pudslaget trykkes løs fra underlaget, eller at det porøse materiale sprænges. Der kan være tale om opløselige salte af mange slags, men det er

sulfater, karbonater og klorider, der dominerer i praksis. De stammer i de allerfleste tilfælde fra murstenene, fra mørtlens binde-middel eller sand, eller de er tilført med tilsætningsstoffer i mørtlen. Det forekommer dog også, at de tilføres, efter at bygningen er taget i brug, f.eks. fra luften i fabrikskvarterer, fra jorden, eller at de hidrerer fra den virksomhed, der foregår inde i bygningen.

Som foran omtalt yder fugtige byggematerialer en ringere varmeisolation end tørre, og λ -værdiens vækst (forringelse) er direkte afhængig af fugtmængden. Porøse byggematerialer, som kan optage store fugtmængder, kan få varmeledningstallet øget til 3 gange værdien for det tørre materiale eller til omkring 2 gange de i tabellen på side 30 indførte værdier. Denne tilvækst har flere årsager; en af de vigtigste er, at vandet fortrænger luft og leder varmen meget bedre. Denne virkning af fugtindholdet spiller naturligvis en meget stor rolle for en bygnings varmesøkonomi, og den kan blive årsag til en meget ubehagelig kædereaktion. Stiger fugtmængden i en ydervæg i et rum med forholdsvis høj RF, kan forringelsen af varmeisolationen føre til fortætning på væggens inderside. En del af fortætningsvandet vil blive suget ind i væggen og føre til en yderligere forringelse med kraftigere fortætning til følge. Denne forstyrrelse af fugtbalancen kan føre til, at væggen til sidst bliver vandmættet.

Svind og svulmning i porøse byggematerialer skyldes næsten udelukkende fugt hidrørende fra hygroskopisk sorption. Som foran beskrevet fører adsorptionskræfterne til, at vanddampmolekylerne pakkes så tæt i de fineste porer og kapillarer, at de fortættes til vand. Det menes, at det netop er dette tryk, som fører til, at materialet svulmer, og at det omvendte sker, når det tørrer. Svind- og svulmningskræfterne er overordentlig store og kan føre til omfattende skader. Det sker f.eks. i praksis, at en lille indstøbt træklods sprænger store flager af en betonvæg ved at optage vand og svulme, og at trægulve, der optager vand efter lægningen, kan skyde ydervæggene ud. De skader, som svindet forvolder, kommer oftest i form af revner.

Frostsprængningers mekanik er kompliceret og kan endnu ikke siges at være fuldt klarlagt. Det antages i almindelighed, at hovedårsagen til sprængningerne ligger i, at der dannes iskrystaller i mellemstore porer og kapillarer; i de allerfineste er vandet under et så

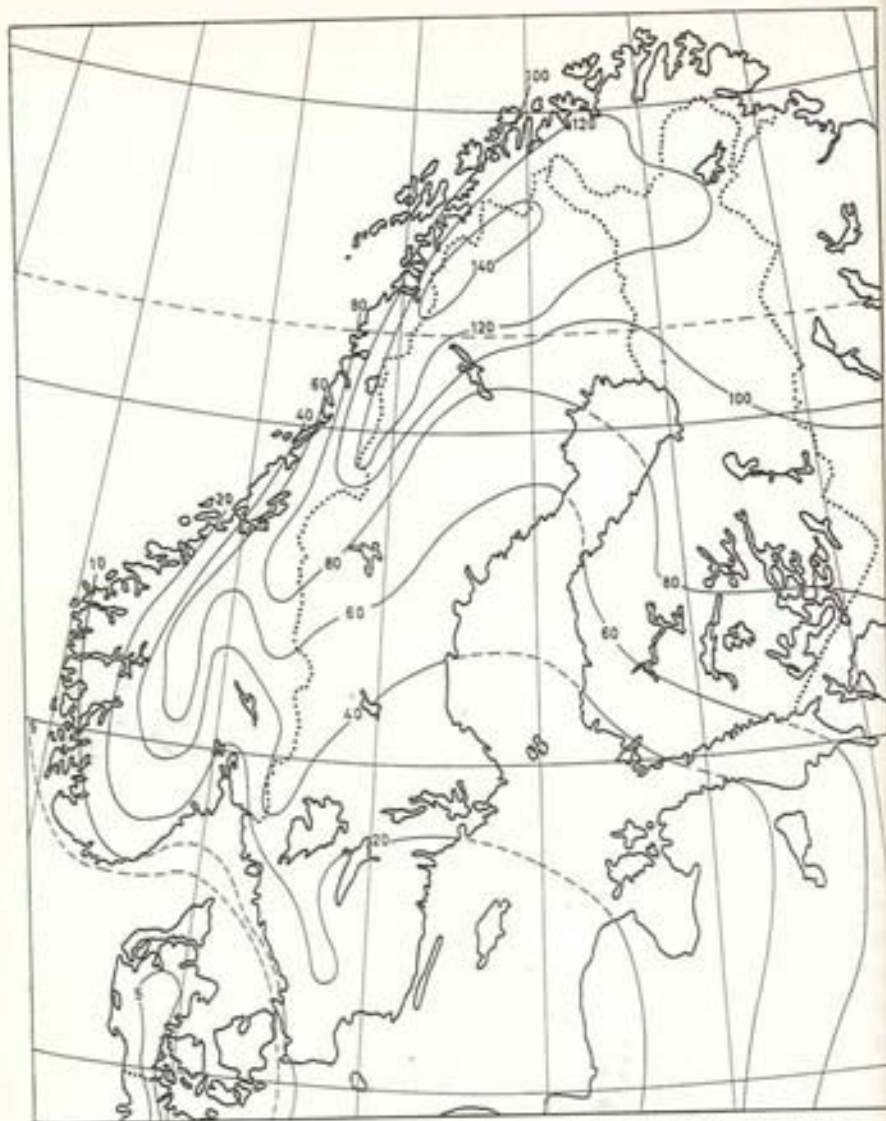


Fig. 2.18. Antal døgn med minimumstemperatur på $\pm 5^{\circ}\text{C}$ eller lavere (årgennemsnit) efter TBE.



Fig. 2.19. Antal frysepunktpassager (årgennemsnit) efter TBE.

højt tryk, at dets frysepunkt ligger lavere end de temperaturer, der forekommer i frostvejr. En af de egenskaber ved is, som fører til, at den virker sprængende, er jo, at den dannes under rumfangsfor-

øgelse; isen har et 9 % større rumfang end det vand, den dannes af. Men lige så vigtigt synes det at være, at isens overflade har en meget kraftig tendens til at tiltrække fugt. Tiltrækningskraften er

så stor, at der kan foregå en fugtvandring gennem de fine kapillarer frem til iskrystallerne, som derved vokser. Teoretisk set skulle dette i første omgang føre til, at materialet svandt, og det er påvist ved forsøg, at denne del af teorien stemmer. Tilsammen medfører vandets rumfangsforøgelse ved omdannelsen til is og iskrystallernes vækst, at der opstår store sprængende kræfter, og er porer og kapillarer fyldte, vil kræfterne desuden kunne forplante sig som et hydraulisk indre tryk, og slutresultatet kan blive, at materialet sprænges. Er der derimod her og dér grove porer, som indeholder luft, vil det hydrauliske tryk delvis kunne udlignes ved luftens sammenpresning, og det er forklaringen på, at betons og mørtels modstandsevne overfor frost kan forbedres ved tilsætning af luftindblandingsmidler ved fremstillingen. Det anses også for givet, at der kan opstå sprængninger, fordi der dannes parallelle islag nær materialets overflade, når luftens temperatur svinger mellem plus og minus. Dersom materialet har været frosset til en vis dybde og derefter er tøet i overfladen og atter udsat for frost, kan en ny isdannelse begynde fra overfladen, og har porer og kapillarer i det optøede lag været vandfyldte, vil fugten bag det nye islag komme under tryk uden mulighed for at undslippe, og den pågældende skal af materialet vil da trues med afsprængning. Både teori og praksis viser, at frostskaferne er knyttet til en kombination af 3 klimafaktorer:

Nedbørsforhold, som skaber højt fugtindhold i det porøse byggemateriale.

Minimumstemperaturer, som er lave nok til at fremkalde isdannelse i materialet.

Et stort antal frysepunktpassager.

I figurerne 2.18 og 2.19 er gengivet 2 oversigtskort over koldtvejrperioder og frysepunktpassager i de nordiske lande. En vis orientering kan også hentes fra fig. 2.11, som viser de gennemsnitlige, årlige nedbørsmængder.

Principper for forholdsregler mod vandindtrængning

I flere af de følgende kapitler gives der praktiske anvisninger på, hvad der kan gøres for at undgå, at vand trænger ind i en bygning. Her vil baggrunden for de fulgte principper blive behandlet til

forklaring af de anviste detaljer og til forståelse af deres betydning.

Fugt indefra. Dersom vanddamp fra rummene diffunderer udad, ligger den største risiko i, at dampen fortættes et sted inde i bygningsdelen. Om det sker, afhænger af damptrykfaldene fra lag til lag, diffusionsmodstandene i de forskellige lag, temperaturfordelingen og eventuelle indvendige luftstrømninger. Da man — som tidligere nævnt — ikke tør stole ret meget på de resultater, som en beregning fører til, kan man ligeså godt prøve at bedømme de enkelte tilfælde skønsomt med støtte i praktiske erfaringer.

Drejer det sig om rum med nogenlunde normalt «indendørsklima», og er yderste lag i ydervæggene ikke alt for tæt, viser erfaringen, at en fugtakkumulering ved diffusion i murede eller støbte ydervægge hører til sjældenhederne. I vægge om rum, hvor RF til stadighed eller i hvert fald hyppigt er meget høj — f.eks. «våde industrier», baderum og køkkener — sker der derimod ofte en fugtakkumulering, og risikoen er særlig stor, dersom der regelmæssigt sker en fortætning eller der på anden måde kommer frit vand på de indvendige væg- eller loftsflader. I sådanne tilfælde bør der sørges for en indvendig fugtspærring, som f.eks. malingslag, glaserede fliser, asfaltlag, imprægneret pap eller plasticfolie. Disse lag skal yde den fornødne modstand mod dampdiffusion, og der skal passes omhyggeligt på, at alle samlinger og fuger bliver helt tætte, ikke mindst hvor materialer af forskellig art er bygget sammen.

I rum med særlig vanskelige forhold kan det være nødvendigt at sørge for udskiftning af den fugtige luft ved kunstig ventilation. I sådanne tilfælde må anlægget ikke arbejde med overtryk, fordi det kan fremme dampens indtrængning i vægge og lofter. I rum, hvor vanskelighederne ikke er overvældende — f.eks. i stalde — sker det på den anden side ofte, at man bevidst lader en del af dampen slippe ud gennem ydervæggene, hvilket kan lade sig gøre, når væggene er opført af et materiale, der er frostsikkert og forholdsvis åbent, og når den indvendige vægflade er betydelig mere damptæt end den ydre.

I mange tilfælde, hvor fugtskader synes at skyldes diffusion, er den virkelige årsag, at byggefugt eller indtrængende vand fra slagregn tilbageholdes bag et for tæt udvendigt overfladelag. Idealet er et diffusionsåbent, men regntæt overfladelag.

En ydervæg af almindelig beton med indvendig isolering er et eksempel på en vægtype, som kan volde vanskeligheder selv ved normalt «indendørsklima». Hvis isoleringsmaterialet i henseende til diffusion hører til den meget åbne gruppe, bør det altid dækkes af et damptæt lag. Hvis isoleringsmaterialet er letbeton, bliver forholdene vanskeliggjort deraf, at byggefugten skal kunne afgives ved fordampning. Den bedste løsning er da en ventilation til det fri som vist på fig. 2.21 b. Kan en sådan løsning ikke praktiseres, må man sikre sig, at mængden af byggefugt holdes nede på et minimum, og at der opsættes damptætte lag i alle fugtige rum. Vægfladen i faste skabe mod ydervægge i soveværelser må ikke forsømmes; det er ret almindeligt med fortætning på disse flader.

Det bedste middel mod fortætning på indvendige væg- og loftsflader er en tillægsisolering. Kan varmeisolationen ikke forbedres, må skadevirkningerne i hvert fald søges begrænset. Fladerne bør behandles med et materiale, som hindrer vandopsugning og selv tåler fugt, og der må sørges for, at fortætningsvandet ikke kan løbe eller dryppe ned på materialer eller inventar, som det kan skade. Især i områderne under vinduerne er væg og gulv udsat for fortætningsvand.

Fugt udefra. Der er to fremgangsmåder, som især kommer på tale, når det drejer sig om forholdsregler imod fugt udefra, der er den såkaldte 1-trins og den såkaldte 2-trins tætning.

Ved 1-trins tætning søges vandindtrængningen hindret af bygningsdelens overflade eller dens yderste lag alene. Alle massive bygningsdele må siges at følge dette princip; det gælder f.eks. en letbetonvæg med udvendigt puds, en væg af almindelig beton med faststøbt ud- eller indvendig isolation eller en massiv tagplade, der ikke er udluftet, (fig. 2.20 a, b og c).

Ved 2-trins tætning er der i virkeligheden tilstræbt en arbejdsdeling, idet bygningsdelen opbygges af flere lag, som hvert for sig har én eller flere særlige opgaver. Udførelsen kan være meget forskellig, men i almindelighed er det dog sådan, at det yderste lag hindrer eller i hvert fald hæmmer indtrængningen af lodret nedbør, slagregn, overfladevand eller grundvand, og at der derefter kommer et luftlag, som er i åben forbindelse med den ydre luft og har til opgave at udjævne vindens overtryk, skabe mulighed for opsamling

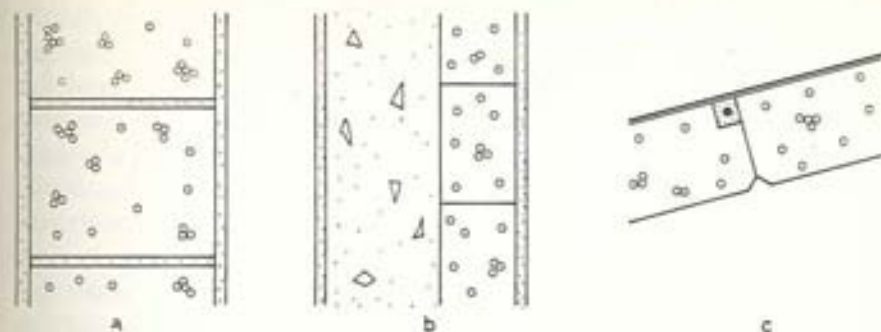


Fig. 2.20. Tre eksempler på 1-trins tætning.

og bortledning af vand, som er trængt igennem det ydre lag, samt at åbne vej ud for vanddamp, der er kommet ind i hulrummet ved diffusion eller fordampning. Bag luftlaget kommer så endelig et tredje lag, som bl. a. har til opgave at hindre kold luft udefra i at trænge ind i isolationsmaterialerne eller helt igennem bygningsdelen. I fig. 2.21 a, b og c er der vist 3 vægge med 2-trins tætning, nemlig en letbetonvæg med udvendig beklædning, en væg af almindelig beton med luftspalte mellem beton og indvendig isolering og en højisoleret, hul teglvæg. De to førstnævnte vægge følger i alle detaljer det omtalte princip. Det vandstandsende lag er enten den ydre beklædning eller betonen, og bag det kommer luftlaget med forbindelse til det fri. Abningerne skal naturligvis være udført sådan, at slagregn ikke

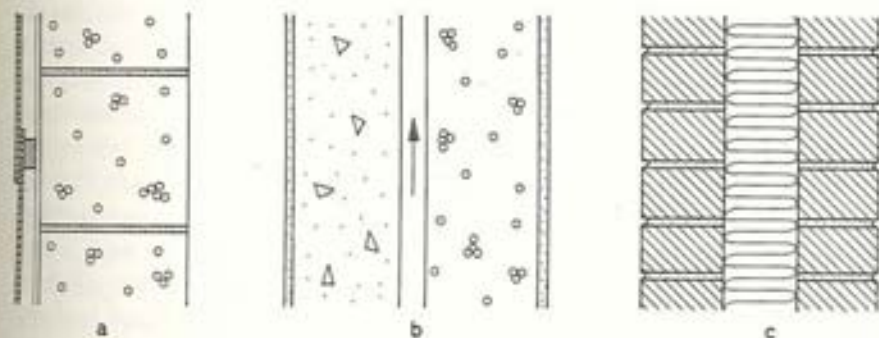


Fig. 2.21. Tre eksempler på 2-trins tætning.

kan slå ind igennem dem; når vinden rammer sådan en væg, vil lufttrykket i hulrummet svinge i takt med trykket udenfor, og der opstår derfor ikke noget trykfald over det ydre lag med deraf følgende øget tendens til regngennemgang. Det vand, der eventuelt trænger igennem det ydre lag udefra, vil i begge vægtyper følge bagsiden af det ydre lag og samles på bunden i luftspalten og derfra ledes ud igen. I begge vægtyper danner letbetonen det vindtættende lag. Den hule teglvæg må rettelig betegnes som en overgangstype mellem vægge med 1-trins og 2-trins tætning, idet det i praksis er vanskeligt at få anbragt det tredje luftstandsende lag på mineraluldslaget. Hulrummet må derfor kun ventileres moderat, sådan at mineraluldslagets varmeisolation ikke nedsættes ret meget, og derfor kan der kun regnes med en delvis ophævelse af trykfaldet over det yderste lag, formuren. I hule teglvægge er det meget vigtigt, at det vand, som eventuelt går gennem formuren, frit kan løbe ned over dens bagside og uden hindring ledes ud på de steder, hvor hulrummet er afbrudt, hvad enten det er ud for dæk, over muråbning eller ved fundament.

I fig. 2.22 er der vist et udluftet tag, som også følger princippet for 2-trins tætning. Tagpappet på brædderne er det vandstandsende yderlag, og det skal naturligvis være så tæt, at det også kan modstå vandtryk, der jo kan opstå i forbindelse med snesmeltning. Luftlaget, som er ventileret, har kun den ene opgave at bortlede vanddamp, som kommer til nedefra ved diffusion. Paplaget på isolationslaget skal kun hindre, at den kolde luft cirkulerer i isolationsmaterialet, og det skal være meget åbent for diffusion ($k_d > 1,0$).

Ved fundamenter bør man også søge at gennemføre en 2-trins tætning. Dette viser fig. 2.23 a et tydeligt eksempel på. Der er der til vandstandsning anbragt bølgeeternitplader foran væggen, således at grundvand, som trænger igennem, kan løbe ned over deres bagside og ledes bort gennem drænet, og behandler man ydersiden af fundamentet således, at man ikke hindrer diffusion, har fundamentet i virkeligheden mulighed for at tørre ved fordampning fra ydersiden. En gængs måde at udføre dræningen på er vist i fig. 2.23 b, hvor 2-trins princippet genfindes; de enkelte sten i grøften og mellemrummene imellem dem virker som vandspærring og luftspalter, og grundvandstrykket kan ophæves i samme grad, som

vandet kan føres bort gennem drænledningen og holdes borte fra fundamentet.

En 2-trins tætning har mange og store fordele, men den kan både af økonomiske og praktiske grunde være vanskelig at gennemføre. Bliver det nødvendigt at nøjes med en 1-trins tætning, må det i hvert fald stå klart, at der må stilles meget strenge krav til det yderste lags tæthed. I udvendige pudslag og fuger bør revner og ridser f. eks. ikke tolereres, og kapillarsugningen i pudslaget eller i det yderste lag af selve vægmaterialet må være således afpasset til klimaet, at vægens fugtbalance ikke forstyrres på nogen tid af året.

Et særligt tætningsproblem dukker op i forbindelse med udformningen af montagefuger, d.v.s. fuger mellem store byggelementer. Her tænkes ikke alene på fugerne mellem ens væg- eller dækelementer eller på fuger omkring vinduer og døre, men også på fugerne mellem bygningsdele af forskellige materialer og på dilatationsfuger. Der må regnes med, at materialerne på de to sider af fugerne bevæger sig i forhold til hinanden, således at mellemrummet f. eks. ændrer vidde, og fugematerialet må derfor være så elastisk eller plastisk, at det vedblivende kan deltage i de deraf følgende formændringer uden at revne. I praksis har dette ført til, at der anvendes specielle arter af plastisk fugeskit eller særlige tætningslister eller begge dele. Ved udførelsen kan man følge 1-trins eller 2-trins princippet, som det er

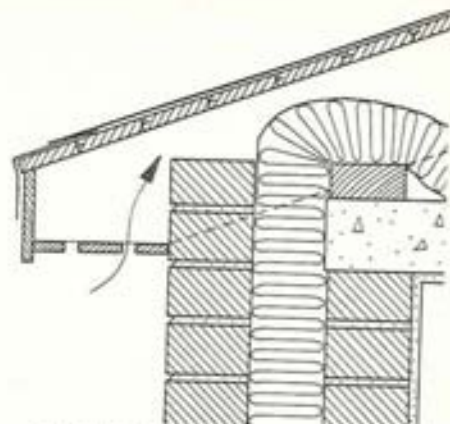


Fig. 2.22. Ventilert tag med 2-trins tætning.

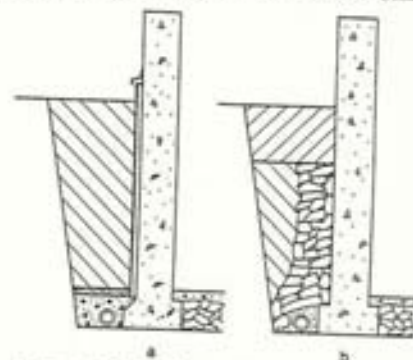


Fig. 2.23. To eksempler på 2-trins tætning ved fundament.



Fig. 2.24. Fuge med 1-trins tætning.



Fig. 2.25. Fuge med 2-trins tætning.



Fig. 2.26. Skjult fuge.

vist på fig. 2.24 og fig. 2.25. Det har vist sig vanskeligt at holde en montagefuge regntæt, dersom vandet kan nå helt frem til kit eller lister, og de fleste typer af fugekit og mange af de materialer, der bruges til tætningslister, er for øvrigt følsomme overfor vand, ozon og ultraviolet lys. Det fører til, at en 2-trins tætning må anses for mest egnet. Kravet om beskyttelse mod sådan påvirkning kan delvis imødekommes, dersom kit eller lister anbringes så dybt inde i fugen, at i hvert fald sol og måske også regn sjældent eller aldrig kan nå dem (fig. 2.26). Det er dog også vigtigt at søge kit og lister anbragt på en sådan måde, at reparation og eventuelt udskiftning kan gennemføres forholdsvis let.

2.4. Varmeudvidelse

For så godt som alle byggematerialer vokser rumfanget ved opvarmning og aftager ved afkøling. Væksten ved opvarmning kaldes *varmeudvidelse*. Rumfangsændringen ved en bestemt temperaturændring kan opgives på forskellige måder, og den er ikke den samme for de forskellige materialer. For faste stoffer karakteriseres ændringen som regel ved den såkaldte lineære *varmeudvidelseskoefficient*, der gerne betegnes α (alfa). α angiver den længdeforøgelse i m, som et 1 m langt stykke af materialet vil få ved en temperaturstigning på 1°C. Enheden bliver altså m/m°C eller 1/°C. I efterfølgende tabel er varmeudvidelseskoefficienterne for en række

almindelige byggematerialer indført; da α altid er et meget lille tal, er værdierne i tabellen ganget med 100 000.

| Materiale | Rumvægt i tør tilstand kg/m ³ | Varmeudvidelseskoefficient $\alpha \cdot 100000^3$ |
|--|--|--|
| Natursten | 2500—2700 | 0,7—1,2 |
| Beton | 2300 | 1,0—1,4 |
| KC- og C-mørtel | 1800—2000 | 0,8—1,4 |
| K-mørtel | 1700 | 0,7—0,9 |
| G-mørtel | 1600—1800 | 1,4—1,8 |
| Porebeton | 400—650 | 0,7 |
| Klinkerbeton | 500—700 | 0,8 |
| Betonsten | 2000 | 1,2—1,4 |
| Kalksandsten | 1800 | 0,8 |
| Tegsten | 1200—1800 | 0,4—0,6 |
| Sintrede fliser | 2200—2400 | 0,3 |
| Fajancefliser | 1600—2000 | 0,4 |
| Glas | 2600 | 0,9—1,0 |
| Eternitplader | 1500—2000 | 1,0 |
| Stål | 7800 | 1,2 |
| Aluminium | 2700 | 2,4 |
| Kobber | 8900 | 1,7 |
| Plastic af forskellig art (akryl, epoxy, polyester, polyuretan, polystyrol, polyvinylchlorid m. fl.) | 1000—1400 | 6—11 |
| Is (mellem 0 og + 20°C) | | 5,2 |

¹⁾ Enheden er da mm pr. 100 m pr. 1°C.

Tabellens tal er gennemsnitsværdier, og det må understreges, at der kan forekomme en ret stor spredning. Værdierne for plasticstofferne gælder ren plastic, og en tilsætning af filler eller glasfibre eller anvendelsen af et stenmateriale, der virker som et skelet i massen, kan nedbringe varmeudvidelseskoefficienten ganske betydeligt, men det er dog en kendsgerning, at plastic undergår større temperaturbevægelser end de fleste andre byggematerialer.

De temperaturvariationer, som en bygningsdel vil blive udsat for, afhænger naturligvis stærkt af placeringen; indendørs vil de i almindelighed kun blive små, måske 10°C eller lidt mere, men udvendigt kan de blive ganske store. I udstrakte områder i Norden kan vintertemperaturen komme ned under + 30°C og luftens temperatur om sommeren komme over + 35°C. Men væg- og tagflader kan i sommerens solskinsperioder blive meget varmere, især når fladen har en mørk farve og er meget varmeabsorberende, og når materia-

let bag overfladen er tykt og har en ringe varmeledningsevne. Er luftbevægelsen langs med overfladen tilmed svag, kan overfladetemperaturen blive særdeles høj; temperaturer på 70—80°C er således ikke ualmindelige. Ved udvendige bygningsdele kan det derfor ofte blive nødvendigt at regne med temperaturforskelle på 100°C, og der er tilfælde, hvor der endda må regnes med større tal. Dette fører til, at der kan blive tale om ret store bevægelser; det fremgår af et par eksempler.

Eksempel 1. En sålbænk af eloxeret aluminium med mørk farve har en længde på 2,5 m. Den totale forlængelse ved opvarmning fra -30 til $+70$ °C bliver da $2,5 \cdot 100 \cdot (2,4 : 100\ 000) = 0,006$ m eller 6 mm. Der må tages hensyn til dette ved sålbænkens fastgørelse, såfremt underlaget ikke undergår en lige så stor bevægelse. Ses der bort fra temperaturbevægelserne, kan sålbænken blive revet itu eller bugte sig eller underlaget ødelægges.

Eksempel 2. Et mørkt pudslag af C-mørtel udsættes for temperaturvariationer fra -30 til $+50$ °C. På en strækning på 1 m vil laget søge at forlænge sig $1 \cdot 80 \cdot (1,4 : 100\ 000) = 0,0011$ m eller 1,1 mm. Selv om en sådan bevægelse ikke vil foregå, bl. a. fordi underlaget ændrer temperatur i takt med pudslaget, så forstås det dog, at der kan opstå temmelig store forskydningsspændinger langs bagsiden af sådan et pudslag.

Under helt specielle forhold, som de kan forekomme ved ovne, i skorstene og under ildebrande, kan varmeudvidelsen blive meget stor. På de følgende sider vil det blive nærmere omtalt, hvilke kræfter og påvirkninger varmeudvidelserne kan føre til.

2.5. Statiske og mekaniske påvirkninger

Ved statiske påvirkninger forstås de påvirkninger, som de ydre kræfter fremkalder i en bygning, og de er bestemmende for, hvor stærke de bærende bygningsdele skal være. Disse kræfter kan være af højst forskellig art, de skriver sig fra bygningsdelenes egenvægt og vægten af det, der installeres og opstilles i bygningen (nytte-

lasten), og fra vindtryk og snelast. Temperaturvariationer kan undertiden frembringe lignende påvirkninger som ydre kræfter. I mange tilfælde må der — for bygningsdele under terræn — også regnes med jordtryk og i enkelte tilfælde med kræfter fremkaldt af frosthævninger i jorden. I de fleste tilfælde forudsættes det, at de statiske påvirkninger skyldes roligt virkende kræfter.

I alle lande er der givet regler for, hvordan bygningerne skal dimensioneres for at modstå de statiske påvirkninger. Reglernes indhold kan principielt samles i 3 grupper. I gruppe 1 angives størrelsen af de påvirkninger, der skal regnes med, f.eks. hvilke nytte-laster, der skal forudsættes i bygninger af forskellig art, hvilke vindtryk, der skal antages at optræde, hvilken snelast, der skal forudses, samt hvilke rumvægte, der skal bruges ved beregningen af egenvægtene. I gruppe 2 gives der regler for, hvor og hvorledes de ydre kræfter skal regnes at angribe bygningen, og hvordan virkningen skal tænkes at fordele sig nedefter i bygningen. Gruppe 3 omhandler materialernes og bygningsdelenes evne til at modstå disse kræfter med tabeller over, hvilke spændinger, det kan tillades at regne med, hvilke tværsnit, de må fordeles over m.m.

Metoderne ved de statiske beregninger skal naturligvis ikke behandles her, de må søges andre steder, men det skal nævnes, at detaljerne i beregningsregler og beregningsgrundlag ikke er de samme fra land til land, og at der selv inden for Norden forekommer uligheder på en række områder.

Til trods for, at der ved enhver beregning og dimensionering tilsigtes en ret høj sikkerhed mod brud ved indførelse af sikkerhedsfaktorer og partialkoefficienter, viser praksis dog, at de statiske påvirkninger kan føre til adskillige skader. Det hører ganske vist til de store sjældenheder, at disse skader er af så alvorlig art, at de spiller nogen rolle for bygningernes sikkerhed og stabilitet. De ytrer sig som regel i form af revner og sprækker, men selv om de er ufarlige i statisk henseende, kan de dog medføre ulemper, som er alvorlige nok i det nordiske klima, og i det følgende skal nogle af årsagerne til, at beregningerne således kan svigte, drages frem. Det er naturligt her navnlig at tænke på murede bygninger; i dem findes de fleste og største skader, og det er ikke for meget sagt, at mange regner det for uundgåeligt — omtrent for en naturlov — at der før

eller senere kommer visse revner i murværk. Ved en sådan analyse er det nærliggende at foretage en inddeling i 3 grupper ligesom foran, selv om de i udpræget grad vil gribe ind over hinanden.

Påvirkningernes størrelse

Det er i de fleste tilfælde forholdsvis enkelt at finde, hvor store de statiske påvirkninger vil blive, og det er kun i sjældnere, egenartede tilfælde, at beregningsgrundlaget svigter på dette punkt. Hvad klimaet angår, kan der dog ske overraskelser, f.eks. at vindstyrken i en kort periode overskrider den maksimalværdi, der regnes med i den pågældende klimazone. Da vindtrykket vokser med kvadratet på vindhastigheden (se side 39), kan påvirkningen blive så stor, at et tag blæser af eller bygningen skades på anden måde. Voldsomme klimavariationer kan også ytre sig som snefald udover det hidtil maksimale, og efterfølges snevejret af et kraftigt regnvejr, kan snelaget på tage og andre frie flader blive så tungt, at bygværket bryder sammen.

Som nævnt hænder skader af denne art meget sjældent i færdige bygværker, og der kan måske her tales om, at der løbes en kalkuleret risiko. Dersom sådanne unormale vejrforhold kun forekommer med lange mellemrum — f.eks. på 50 år — kan det ikke undgås at sætte omkostningerne ved at dimensionere *alle* bygninger for disse særlige påvirkninger i relation til at affinde sig med, at der ikke er fuld sikkerhed. For bygninger under opførelse og for stilladser og lignende midlertidige bygværker kan forholdene måske tage sig anderledes ud, og her må der advares mod at bruge så lille en sikkerhedsmargin, at vejrforhold, der kun er lidt hårdere end det ventelige, kan føre til væltninger og ulykker.

Hvad rumvægtene angår, er de kendte, og bygningernes egenvægt skulle derfor lade sig sikkert beregne. Mange af de angivne rumvægte gælder imidlertid for materialerne med et vandindhold svarende til den hygroskopiske sorption, og drejer det sig om materialer, som kan opsuge meget vand, kan forholdene være så ugunstige, at materialerne indgår i bygningen med rumvægte, der ligger 20—40 % for højt. Det er usandsynligt, at dette forhold alene kan føre til skader, men det kan blive medvirkende årsag til lokale over-

belastninger, en risiko, som jo er størst i byggeperioden. I et korrekt konstrueret hus kan nytte-lasten ikke tænkes at føre til overraskelser. Sker det alligevel, skyldes det enten, at lasten i bygningen som helhed overskrider det forudsatte, f.eks. fordi en bolig tages i brug som lager, eller at der forekommer en lokal overbelastning, f.eks. fordi en tung maskine bliver opstillet midt på et dæk, der er beregnet for jævnt fordelt last.



Fig. 2.27. Frosthævning, som skyldes islinser under fundamentfoden.

Fejl i arbejdsgangen eller uforudsete udgravninger eller påfyldninger kan nu og da føre til skader fremkaldt af jordtryk. Ved vinterbyggeri på terræn med risiko for frosthævninger kan fundamenterne revne, måske blot fordi tildækningen i udgravningerne har været utilstrækkelig, men årsagen kan f.eks. også være den, at betonen virker som kuldebro og leder varme bort fra jorden nedeunder. Fig. 2.27 viser en væg, som er løftet på grund af, at der dannes islinser i jorden under den, en hændelse, der kunne have været undgået ved rettidig tildækning og opvarmning.

Kræfternes fordeling i bygningen

Ved dimensioneringen af en muret bygning må der gøres visse antagelser, der erfaringsmæssigt vides at være delvis urigtige. Baggrunden for dette er, at vi ved for lidt om, hvordan påvirkningerne fra de ydre kræfter fordeler sig i bygningen. Et typisk eksempel herpå er den hule teglvæg, som jo består af to $\frac{1}{2}$ -stens mure, formur og bagmur, forbundet indbyrdes med trådbindere. For at undgå kuldebroer i denne vægtype lades hulrummet gennemgående, og dækkene må da lægges af på bagmuren. Det er en ganske almindelig fremgangsmåde, men hvordan fordeler dækkenes vægt og belastning sig mellem formur og bagmur? Formurens tilstedeværelse forøger bagmurens bæreevne, men det vides ikke hvor meget; der må gættes på, hvor stor en del af lasten, den kan overtage.

Ved beregningerne forudsættes det, at bygningsdelene bevarer deres mål, men i virkeligheden ændres de ved svind eller svulmning, ved temperaturbevægelser, ved krybning og måske ved uensartede sætninger i grunden. Disse målændringer vil aldrig være jævnt fordelt over alle bygningsdele og vil derfor føre til, at påvirkningerne nogle steder bliver større og andre steder mindre end beregnet. Kommer der revner her og der i bygningen, vil de også ændre spændingsfordelingen. Endvidere kan det forekomme, at lette skille-vægge, der efter beregningerne kun skulle bære deres egen vægt, overtager noget af lasten fra den overliggende del af bygningen. Også dette medfører en ændring i kræfternes fordeling i forhold til det forudsatte.

Det er klart, at problemerne vedrørende kræfternes fordeling er meget komplicerede og vel aldrig løses helt. Det må også være klart, at en systematisk indsamling af iagttagelser fra huse, som er i brug, kunne føre os et stort skridt nærmere til virkeligheden. Det kan dog uden videre fastslås, at en ensartet kvalitet både i henseende til materialer og arbejdsudførelse er en af betingelserne for en jævn fordeling af deformationerne i bygningen til gunst for overensstemmelsen mellem forudsætningerne og de virkelige forhold. Kravet om ensartethed gælder ikke mindst mørtlens og murerarbejdets kvalitet.

Materialernes og bygningsdelenes bæreevne

Der er i hvert fald 3 faktorer, som er afgørende for, om en bygningsdel kan optage de kræfter, den udsættes for i bygningen; det er de virkelige kræfters størrelse, størrelsen af dens aktive tværsnit og styrken af de materialer, den er opbygget af.

Det er allerede omtalt, hvilke vanskeligheder der kan være ved at bestemme den første faktor; desværre hænder det også, at forudsætningerne kan svigte, når det gælder aktivt tværsnit og materialernes styrke.

Dersom den bygningsdel, der skal beregnes, er en massiv, muret væg, er det teoretisk set ganske ligetil at bestemme tværsnittet, men i praksis kan det være kompliceret nok. Dårlig fugefyldning kan nedsætte det bærende areal meget væsentligt; det forekommer f.eks.

i murværk, hvor liggefugerne kun er halvfylde. Det hører heller ikke til sjældenhederne, at bærende vægge svækkes ved, at der skæres riller eller hugges udsparinger i dem, uden at der er taget hensyn dertil i beregningerne. Sådanne formindskelser af tværsnittene kan føre til lokale revnedannelser, men de er sjældent direkte farlige, i hvert fald ikke i lave bygninger. Er væggene derimod beregnet for høje spændinger som f.eks. i højhuse af tegl, er sikkerhedsmarginen mindre, og i sådanne tilfælde vil det være nødvendigt, at der virkelig mures med fyldte fuger, og at der ingen steder skæres riller eller foretages udsparinger, som ikke er forudsat ved beregningerne. Nødvendigheden af at overholde sådanne krav støttes af talrige erfaringer om revnedannelser i gamle bygninger, hvor der er hugget huller for nye døre og vinduer ved ombygninger.

Ved beregning af murværk og uarmeret beton forudsættes det i reglen, at materialets trækstyrke er 0, og der dimensioneres efter trykstyrke. Denne forudsætning er ikke rigtig, idet mørtel, mursten og beton nok er sprøde materialer, men dog har en vis trækstyrke, og forudsætningen kan synes uberettiget, eftersom brud næsten aldrig indtræder, før trækspændingerne har nået en vis værdi, et forhold som er påvist ved utallige forsøg med murede prøvelegemer af såvel natursten som støbte sten og teglsten. Ved trykbelastet murværk vil fugerne i reglen findes at være det svageste led. Når lasten øges, vil fugerne sammentrykkes i lastens retning og udvides i retning vinkelret derpå. Mørtlen i liggefugerne vil derved søge at bevæge sig udad, og er denne tendens større hos mørtlen end hos murstenene, vil mørtlen søge at trække stenene med sig ved friktionen langs med liggefladerne, og til slut vil trækspændingen i murstenene blive så stor, at de trækkes over. Virkningen vil blive desto større, jo dårligere fugefyldningen er, jo svagere mørtlen er og jo tykkere liggefuger, der er muret med. Murstenene påvirkes tillige til bøjning, og også bøjningsspændinger kan føre til brud, dersom mørtlen er sunket fra i stødfugerne og fordelingen i liggefugerne er meget uensartet, eller der i muremørtlen er småsten med samme tværmål som fugen.

Bortset fra den nævnte uoverensstemmelse mellem beregningsgrundlaget og realiteterne er konsekvensen af det foranstående, at forudsætningen for en høj murværksstyrke er, at der mures med

fyldte fuger, at der anvendes mursten med stor trækstyrke, at mørtelkvaliteten er høj og afpasset til murstenene, at fugetykkelsen er ringe, og at mørtelsandets største korn er mindre end fugetykkelsen. Hvad forholdet mellem stenstyrke og mørtelstyrke angår, har det vist sig, at murværksstyrken vokser langsommere og langsommere med voksende mørtelstyrke; når murstenene er svage, hjælper det kun lidet at forøge mørtelstyrken. Med henblik på den betydning det har at holde fugetykkelsen nede, bekræftes den ved forsøg med limet murværk, som findes stærkere end muret. Hvad vedhængningen mellem sten og mørtel angår, spiller den en forholdsvis underordnet rolle for murværkets trykstyrke, formentlig fordi friktionskræfterne alligevel bliver store; men mangelfuld vedhængning kan føre til andre former for skader.

Frostskadet murværks bæreevne er i reglen nedsat i betydelig grad. Desuden har frosten i de fleste tilfælde medført, at murværket er blevet deformert og kommet ud af lod. Herved kan kræfterne komme til at virke mere ekscentrisk end forudsat, og når bæreevnen desuden er nedsat, vil risikoen for lokal overbelastning eller knækning være stor.

Påvirkninger, som ikke tages i betragtning

I tilslutning til de 3 grupper af uoverensstemmelse mellem beregningsgrundlaget og forholdene i praksis kan det være naturligt at nævne nogle påvirkninger, som vittterligt optræder, men uden at der i almindelighed tages hensyn til dem under beregningerne.

Det er før nævnt, at sætninger både i grunden og i selve bygværket kan føre til så store påvirkninger, at de får murværket til at revne.

Svind i materialerne efter indmuringen kan også være ophav til så store trækspændinger, at der kommer revner i murværket eller betonen. Revnerne kan komme midt på en væg, og de er da i reglen lodrette, (fig. 2.28), men de kommer også ofte i hjørnerne ved muråbninger, f.eks. ved vindueshjørner, og de har da oftest en skrå retning. Revnefare kan regnes at vokse med den hurtighed, hvormed byggefugten afgives, og indvendige vægge er derfor i mange til-

fælde mere udsatte end ydervægge. Kan der mures med så godt som tørre mursten, og kan der indlægges armering både over og under muråbningerne, vil risikoen for de skrå svindrevner være væsentlig nedsat.

Temperaturbevægelser kan som før nævnt føre til meget alvorlige påvirkninger, og i mange tilfælde søges disse da også inddraget i beregningerne. I praksis vil virkningerne ofte adderes til svindets virkninger, og de vokser derved i farlighed. Som eksempel kan nævnes de påvirkninger, der kan opstå i en flisebelægning på betonunderlag, når betonen svinder, og fliselaget opvarmes. I lange bygninger må der indføres dilatationsfuger til optagelse af svind- og temperaturbevægelser.

Vibrationer hidrørende fra trafik og arbejdende maskiner og rystelser fra sprængninger og pilotering kan føre til, at bygninger, som har stået i lang tid uden skader, pludseligt slår revner. Andre forhold har da i reglen medført, at der har været høje spændinger i nogle af bygningsdelene, og vibrationerne eller rystelsen har derefter ført til en udløsning.

En gruppe af påvirkninger, der ikke er forudset, opstår ved, at bevægelser i en bygningsdel fører til aflastning et sted og overbelastning et andet. Skridninger i spærfag ved mangelfulde samlinger har f.eks. flyttet kræfter fra spærfod til ydervæg og der fremkaldt påvirkninger, som har ført til brud (fig. 2.29). Lignende forhold er velkendte fra



Fig. 2.28. Gennemgående svindrevner i muret væg.

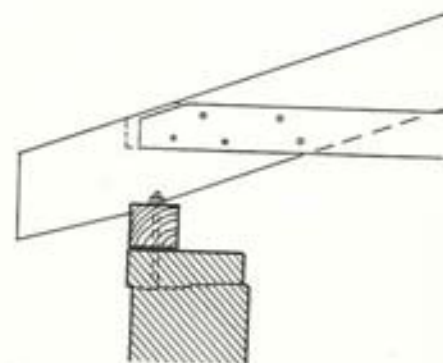


Fig. 2.29. Forskydningsbrud fremkaldt af skridning i spærfag.

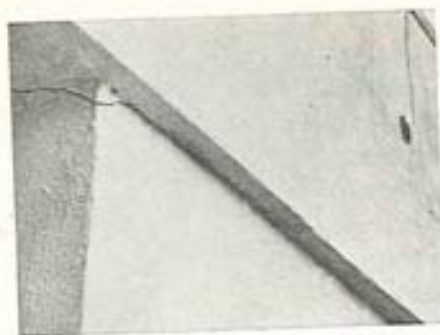


Fig. 2.30. Revne langs underside af øverste dæk som følge af dets bevægelser.

bygninger, hvor bygningsdele af forskelligt materiale fastgøres til hinanden uden mulighed for indbyrdes bevægelse. Herunder kan også de påvirkninger henregnes, som kan opstå ved vandoptagelse i trægulve og føre til udskydning af mure.

En væsentlig del af de påvirkninger, som dette afsnit omhandler, skyldes bevægelse i beton, og antallet af heraf fremkaldte skader synes at vokse.

Forklaringen synes at være den, at betondeformationerne er større end tidligere, og der kan være flere årsager til dette. Større betonstyrker, større cementindhold, større spændinger i mindre tværsnit kan have ført til større elastiske og plastiske bevægelser. Ved vinterbyggeriet, som jo har voksende udbredelse, bliver støbevandsmængden i betonen let lidt større end om sommeren og svindet formentlig ligeså, i hvert fald, når byggetempoet forceres, og udtørringstiden skæres ned.

Betondeformationerne kan føre til ret forskelligartede typer af skader. Meget almindelige er de såkaldte gavlvrevner, vandrette revner fremkaldt af en løftning i hjørnene af det øverste betondæk, som har krummet sig og fået skålform hovedsagelig på grund af svind i oversiden, (fig. 2.30). I bygninger med fladt tag og muret gesims kan revnerne ofte ses hele huset rundt. I enkelte tilfælde, hvor bevægelserne har været særlig store, er der fundet revner også ved næstøverste dæk til trods for den nedadrettede last fra øverste etage.

Andre skader hidrørende fra bevægelse i beton er udbøjning af mure af varmeisolerende sten (fig. 2.31),

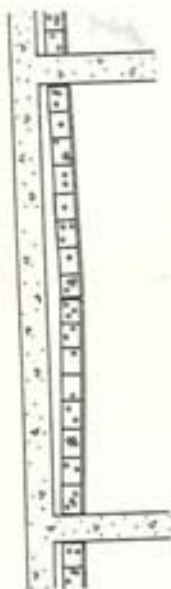


Fig. 2.31. Isolationslag med udbøjning fremkaldt ved betonens forkortelse.

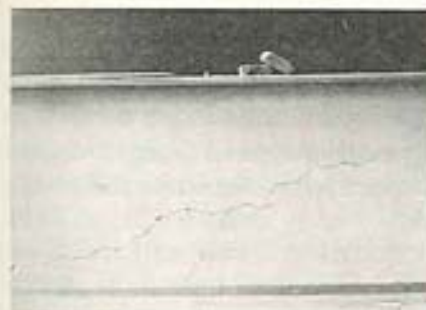


Fig. 2.32. Lav væg med revne fremkaldt af dækkets nedbøjning.



Fig. 2.33. Gulvfliser løsnet ved opbuling fremkaldt af dækkets svind og nedbøjning.

revner i lette skillevægge (fig. 2.32) og fraspregning af pudslag og fliser på vægge og gulve (fig. 2.33).

Det ville være alvorligt, dersom denne udvikling skulle fortsættes, og en af de forholdsregler, der i så fald burde gribes til, ville være at ændre beregningsreglerne således, at der i husbygningen blev taget lige så meget hensyn til deformationerne som til styrken.

I nogle af de følgende afsnit, bl. a. i kapitel 8.7, vil der blive vist eksempler på, hvordan virkningen af betons deformationer kan nedbringes.

Mekaniske påvirkninger

Med mekaniske påvirkninger menes her påvirkninger på bygningsdeles overflade hidrørende fra slag og slid. Fra praksis vides det, at der i de fleste tilfælde tages alt for lidt hensyn til sådanne påvirkninger.

Udvendigt er det jo især stueetagen, det går ud over. På pudsede huse sker der ofte væsentlige skader netop der, især dersom der er pudset med en for svag mørtel. Højere oppe, hvor overfladen sjældent udsættes for slag, kan sliddet dog være betydeligt, idet regn, hagl, havgus og vind på udsatte steder kan få f.eks. et malingslag til at forsvinde på utrolig kort tid.

Indvendigt kan påvirkningerne fra både slag og slid blive lige så betydelige, og der må lægges stor vægt på, at overfladelagets egenskaber afpasses efter bygningens brug. Som et eksempel skal blot

nævnes industrigulve, hvor påvirkningerne kan blive særdeles store, navnlig hvis der anvendes kærter og vogne med jernhjul. I så fald er det ikke nok, at slidlaget har en stor slidfasthed, men fladen skal også være ganske jævn, fordi selv små højdeforskelle og ujævnheder kan give anledning til overordentlig store slagpåvirkninger. I forretnings- og kontorlokaler kan stolenes hjul på lignende måde udsætte gulvene for store enkeltkræfter.

2.6. Kemiske påvirkninger

De materialer, som indgår i en bygningsdel, kan blive udsat for en lang række påvirkninger af kemisk-fysisk eller ren kemisk natur, som kan medføre, at bygningsdelen ikke bliver ved med at opfylde de krav, som den oprindeligt tilfredsstillende. Styrken kan f.eks. aftage, eller afskallinger kan føre til mærkbare tværsnitsformindskelser. I andre tilfælde kan ændringen blot bestå i f.eks. en farveforandring eller en tilsmudsning, og den har da alene udseendemæssig betydning.

Det er typisk for de kemiske angreb, at de foregår i relation til omgivelserne, og at der i reglen skal være fugt til stede, men ikke altid. Påvirkningerne kan også være fremkaldt af særlig høj eller lav temperatur, af luftarter som ozon eller ilt eller af ultraviolet lys, ja endda af mangel på fugt. Alt i alt har så mange faktorer indflydelse på, hvordan angrebene forløber, og hvilket omfang de får, at det er helt umuligt her at komme med en udtømmende fremstilling af emnet. Der kan kun gives en kort omtale af de faktorer, som har den største praktiske betydning og oftest rejser problemer.

Først omtales nogle eksempler på angreb, som skyldes luften og dens urenheder. Ilt spiller en aktiv rolle ved flere typer af kemiske påvirkninger, først og fremmest ved metallernes korrosion; de fleste korrosionsprodukter er jo netop metaloxider. Ilt har ingen eller kun ringe skadelig virkning på de uorganiske bindemidler og teglsten. Derimod kan der i materialer, som indeholder organiske stoffer, foregå en mere eller mindre langvarig nedbrydningsproces, når de udsættes for sol, regn og vind. Det gælder f.eks. maling, plasticmørtler, fugekit og siliconer, og her er ilt gerne medvirkende, selv om

ozon, ultraviolet lys og regnvand i reglen har større betydning. En anden virksom bestanddel af den atmosfæriske luft er kulsyre eller kuldioxid (CO_2). Vigtigst er jo dens rolle ved kalkmørtlens hærdning, hvor den omdanner calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) til calciumkarbonat (CaCO_3), men denne proces kan dog medføre ubehageligheder. Calciumhydroxid er jo vandopløseligt og kan derfor vaskes ud af mørtel og beton og løbe ned over synlige flader, hvor kuldioxid fra luften fremkalder en karbonatisering, således at der dannes lyse striber af calciumkarbonat (kalk), som ikke er vandopløseligt.

Mere farlige er måske svovloxiderne (SO_2 og SO_3) i røgen fra vore skorstene. I forbindelse med fugt danner de let svovlsyre (H_2SO_4), som angriber både metaller, mørtler og beton. Især fyring med tunge olier gør røgen farlig, og der foreligger adskillige eksempler på, at overgangen fra let til tung olie har medført en brat stigning i korrosionsskaderne. Svovlforbindelserne i røgen kan også føre til udvidelser i mørtel og mursten, hvilket ofte forekommer og kan få farlige konsekvenser indvendig i skorstenene, hvor der stadig sker kondens (se afsnit 8.8 under skorstensmuring). Røgen fra industriskorstene kan også indeholde aggressive partikler af forskellig art, f.eks. svovlsyreholdige sodpartikler, samt forskellige salte, som det også kendes fra hårdt udsatte kystegne. Sådanne partikler kan volde omfattende skader, både fordi de virker tærende, og fordi de i tilgift er vandsugende. I visse industrilokaler indeholder luften sure partikler, som angriber metaller, mørtler og mursten.

Det er foran nævnt, at fugtindholdet i luften tit er en medvirkende årsag til de kemiske nedbrydningsprocesser, men det hænder også, at fugt alene kan forårsage skader. Det gælder specielt ved dannelsen og væksten af sprængende krystaller. Forskellige eksempler herpå er omtalt i kapitel 13.

Mange af de aggressive stoffer og urenheder, som forekommer i atmosfæren, kan også findes i vand, der kommer i berøring med vore bygninger. Det gælder f.eks. svovlforbindelser og kuldioxid i regnvand, overfladevand og grundvand. Grundvand kan have et ret højt indhold af kuldioxid, og indeholder det også humussure stoffer og andre organiske forureninger, kan det virke ret tærende. Havvandet kan ligeledes virke nedbrydende på grund af sit saltindhold, og helt rent vand er farligt, fordi det kan opløse store saltmæng-

der. Vand med opløste kobbersalte angriber aluminium, zink og jern; der dannes små lokalelementer, og tæringen sker punktvis. Denne type af skader er ret almindelig på bygninger med kobbertækning og sålbænke og tagrender af andre metaller.

Mørtler på kalk- eller cementbasis er mere eller mindre basiske alt efter, hvor langt hærningen er fremskredet, og vand, som kommer i berøring med sådanne mørtler, bliver derfor basiske og kan angribe andre materialer. Det gælder f.eks. bindemidlerne i så godt som alle typer af oliemaling; de nedbrydes og forsæbes. Glas, bly og aluminium og til en vis grad også zink tæres af basiske vand og naturligvis også af frisk mørtel. Kobber og jern regnes i almindelighed for alkali- eller basebestandige, men helt stemmer dette dog ikke; basiske vand eller våd mørtel kan f.eks. fremkalde skæmmende pletter.

I den kemiske industri kan der forekomme aggressive væsker af meget forskellig art, og bygningsdelene må derfor beskyttes på meget forskellige måder. De fleste mørtler er meget følsomme overfor såvel organiske som uorganiske syrer, og en række af de problemer, som dette rejser, er omtalt i afsnit 8.8 under syrefast murværk. Man må gøre sig klart, at organiske olier og fedt tit indeholder fedtsyrer, og at de gradvis kan blive mere aggressive på grund af ændringer, som skyldes bakterier. Rensning af murværk og puds ved behandling med saltsyre kan føre til skader af forskellig art og skal altid gennemføres med stor forsigtighed, som nærmere omtalt på side 239.

Når armeringsstål eller andet stål rustner, er årsagen en elektrokemisk proces, hvori fugt og ilt medvirker. Som lige nævnt kan man

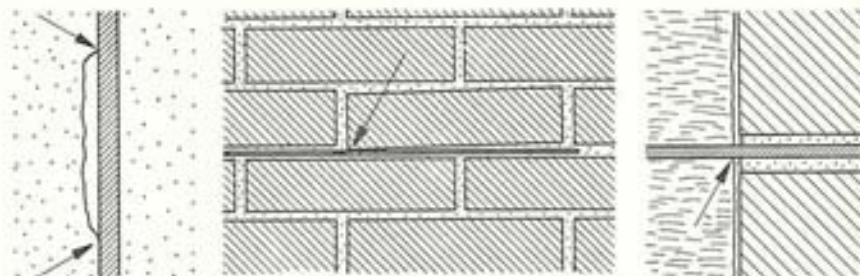


Fig. 2.34. Tre eksempler på steder med risiko for rustdannelse.

regne, at jern ikke angribes af det basiske mørtelvand, men efterhånden som hærningen skrider frem, forsvinder den basiske karakter, og så vokser risikoen for rustdannelse. Fugt er en nødvendig betingelse, og fører en nyopstået revne eller anden utæthed pludseligt vand ind i en bygningsdel med jern, der hidtil har været ubeskyttet men tørt, kan der opstå store, uventede skader. Rustdannelsens elektro-kemiske natur kan føre til særlig stor risiko på steder, hvor der sker en brat forandring i jernets omgivelser. Fig. 2.34 viser nogle karakteristiske eksempler på sådanne sårbare steder, et armeringsstål, som ikke er fuldstændigt omstøbt, armeret murværk, hvor armeringsstålet punktvis rører murstenene, og en ståltrådbinder, som på én strækning er indstøbt i mørtel og på den anden er omgivet af et porøst materiale. Kommer der fugt til på de nævnte steder, og er metaloverfladen ubeskyttet, er der stor risiko for rustdannelse, og resultatet kan let blive som for sømmene på fig. 2.35. Eksemplerne er tilfældigt valgt. Det forekommer mange steder, at uheldige materialekombinationer fører til dannelse af et galvanisk element og dermed til korrosion, så snart vand og ilt får adgang. Gipsmørtel i berøring med aluminium eller stål fører oftest til kraftig korrosion, og det samme gælder, hvor aluminium kommer i berøring med kobber eller stål.

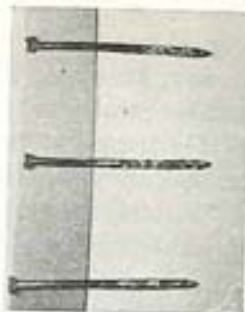


Fig. 2.35. Rustdannelse på søm, der har siddet i fugtig porebeton.

2.7. Brandpåvirkninger

Så godt som ingen af de materialer, der omtales i denne bog, er brændbare. Flere af dem bruges endda til at beskytte imod brand f.eks. i form af ildfast murværk, som brandmur og som varmeisolerende og beskyttende puds på stålkonstruktioner. Men de bygges ofte sammen med brændbare materialer, og selv i bygninger, hvor alle bærende dele er ildfaste, vil der altid være brændbart materiale i stor eller lille mængde, og udbryder der brand, vil de murede eller pudsede bygningsdele derfor kunne blive udsat for varmepåvirkninger, der kan skade dem. Arten og omfanget af skaderne afhænger

af mange faktorer såsom brandens varighed og intensitet, materialernes varmeledningsevne, slukningsmetoden og bygningsdelenes konstruktion, herunder af armeringsstålets placering, såfremt det gælder jernbeton.

Når temperaturen i en bygningsdel stiger, vil dens temperaturbevægelser i reglen fremkalde spændinger, enten fordi bygningsdelen som helhed ikke har bevægelsesmuligheder, eller fordi den opvarmes uens — f.eks. på grund af ringe varmeledningsevne — eller fordi den er opbygget af materialer med afvigende varmeudvidelseskoefficient (se tabellen side 67).

Drejer det sig om et materiale med vandfyldte porer, og stiger dets temperatur meget hurtigt, kan vandet blive til damp under så højt tryk, at materialet sprænges. De sprængende kræfter afhænger naturligvis også af poremængden, og af hvor åbent poresystemet er.

Når temperaturen stiger over en vis værdi, vil alle bygningsmaterialer blive svagere, og for de fleste vil de elastiske egenskaber ændres. I fig. 2.36 vises nogle eksempler på, hvordan styrken ændres i forhold til styrken ved normal temperatur, når temperaturen stiger. Som det ses, kan der blive tale om så store styrkenedgange, at det kan føre til omfattende skader i bærende konstruktioner.

Stål og mange andre metaller svækkes væsentligt ved stærk opvarmning; stål har tilmed en god varmeledningsevne, og allerede ved 400—500 °C begynder det at blive blødt. Ved brand kommer bygningsdelene i reglen op på meget højere temperaturer, og stålkonstruktioner bliver derfor ofte beklædt eller pudset med varmeisolerende pud. I jernbeton er armeringen da som regel også det svage led, især hvis der er anvendt stål med hævet flydegrænse. I særlige tilfælde tager man hensyn dertil ved at give armeringen et ekstra tykt dæk-

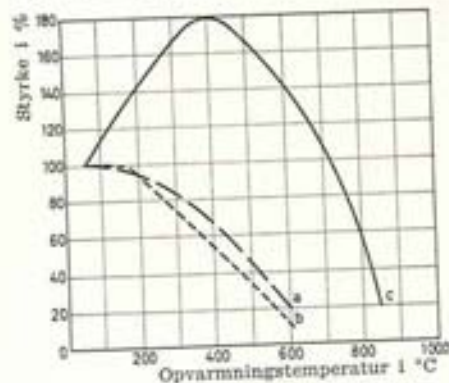


Fig. 2.36. Temperaturens indflydelse på styrken af a: beton, b: stål, c: porebeton.

lag eller ved at anvende et varmeisolerende pudslag eller en varmeisolerende beklædning.

Det er ikke usædvanligt, at de hårdeste påvirkninger ved en brand fremkaldes under slukningen ved det temperaturchok, som de meget varme flader udsættes for, når der pludseligt sprøjtes koldt vand på dem. De meget hurtige temperaturbevægelser får ofte bygningsdelene til at vride og krumme sig eller fremkalder omfattende revnedannelser eller afskallinger, f.eks. langs armeringsjern i vinduesbjælker eller langs hulrækker i murværk af mangelhulssten.

Reparationsarbejdet efter en brand er i reglen vanskeligt og kræver altid stor omhu. Det må indledes med en undersøgelse af, om bygningsdelene har beholdt deres oprindelige bæreevne, og om kræfternes fordeling i bygningen er uændret. Er det ikke tilfældet, må nyttelasten nedbringes, eller de bærende dele forstærkes eller bygningen måske nedrives. Er skaderne kun overfladiske, må alt skadet materiale borthugges og alle flader, der skal pudses, renses for sod og andre urenheder, således at vedhængningen bliver den bedst mulige.

2.8. Lydgennemgang

En lyd frembringes ved, at vibrationer i et materiale — f.eks. i stemmebånd — sætter luften i svingninger. Disse svingninger, som består i en skiftevis fortynding og fortætning af luften, altså i trykvariationer, forplanter sig gennem luften som en bølgebevægelse. Når bølgen rammer øret, får den trommehinden til at vibrere, og de vekslende under- og overtryk opfattes af øret som en lyd.

Svingningstallet — frekvensen — for disse bølger kan være meget forskelligt og er bestemmende for højden af den tone, vi hører. For den højeste tone, som et normalt øre kan opfatte, er svingningstallet omtrent 17 000 pr. sekund eller 17 000 Hertz (Hz); for den laveste, hørlige tone er svingningstallet nede på ca. 17 Hz.

Lyd kan måles på forskellige måder, blandt andet ved at bestemme lydintensiteten I . Den opgives i reglen i watt/m² eller i watt/cm² og bestemmes som den lydenergimængde, der pr. tidsenhed passerer gennem et areal på 1 m² eller 1 cm² i et plan vinkelret på lydbølgens bevægelsesretning. Den stærkeste lyd, et menneske kan opfatte med

øret, har en intensitet, som er næsten en billion gange større end den svageste; ørets registreringsområde er altså fantastisk stort. Området er så stort, at man har fundet det upraktisk at operere med absolutte tal for lydstyrke og i stedet angiver lydstyrke efter den såkaldte decibel-skala, som regner med forskellen mellem lydintensiteter. Lydintensitetsniveauet L_{I} i decibel (dB) udregnes af ligningen

$$L_{\text{I}} = 10 \cdot \log I/I_0,$$

hvor I er lydintensiteten på målestedet, og I_0 er den svageste lyd, øret kan opfatte, begge målt i enten watt/m² eller watt/cm². Er den målte lydintensitet 10 000 gange lydintensiteten ved høregrensen, så er lydintensitetsniveauet i henhold til ligningen 40 dB (antal nuller gange 10). Er omvendt lydintensitetsniveauet 60 dB, så er lydintensiteten en million (6 nuller) gange lydintensiteten ved høregrensen.

Et af de vigtige krav, som kan stilles til en bygningsdel, f.eks. en væg eller et dæk, er, at den skal dæmpe lyd udefra, og evnen til at virke lydisolierende kan ligeledes udtrykkes efter decibel-skalaen. Yder skillevejgen i et lejlighedsskel en luftlydisolation på 40 dB, så betyder det, at lydintensiteten bliver nedsat til en titusindedel, når lyden passerer væggen. Kan luftlydisolationen forbedres til 60 dB, så betyder det, at lydintensiteten bliver nedsat til en milliontedel. Dette understreger, at vanskelighederne ved at forbedre en bygningsdels luftlydisolation bliver desto større, jo bedre isolationsevnen er på forhånd.

I husbygningen skelnes der mellem to former for lydgenngang, nemlig den som skriver sig fra *luftlyd*, og den som skriver sig fra *trinlyd*. Luftlyd er opstået ved at luften er sat i svingninger, medens



Fig. 2.37. Lydoverføring ved a: luftlyd, b: trinlyd, c: flanketransmission.

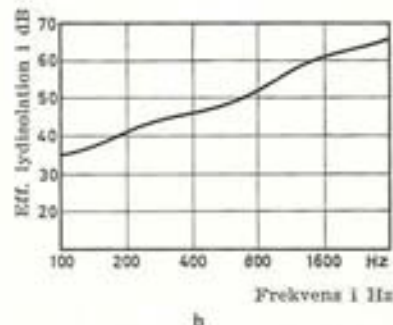
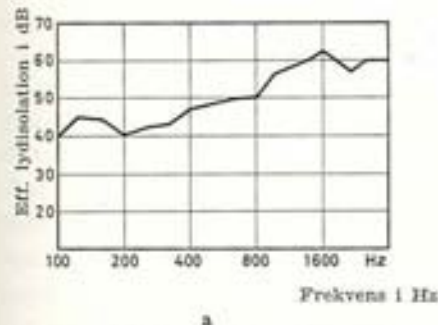
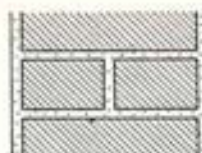


Fig. 2.38. Målinger af luftlydisolation. a: 1-stens teglvæg med puds på begge sider, middelduktionstal 50 dB. b: 18 cm jernbetondæk med linoleum på oversiden og puds på undersiden, middelduktionstal 52 dB.

trinlyd er opstået ved gang eller bankning på et dæk eller en væg. Luftlydens lydbølger vil sætte svingninger i gang i de bygningsdele, de rammer, f.eks. et dæk som vist på fig. 2.37 a, og dette dæk vil sætte nye, men svagere lydbølger i gang i det underliggende rum. Trinlydens lydbølger opstår i selve det underliggende rum som vist på fig. 2.37 b. Endelig kan både luftlyd og trinlyd give anledning til *flanketransmission* som vist på fig. 2.37 c; ved flanketransmission forplanter lyd sig gennem omgivende bygningsdele forbi den lydisolierende del og forringer altså dens virkning.

En bygningsdels isolationsevne er dog ikke ens for alle frekvenser. Det ses f.eks. af kurven på fig. 2.38 a, der viser lydreduktionstal for en relativt god væg — en 1-stens teglvæg med puds på begge sider — ved forskellige frekvenser. Isolationsevnen er væsentlig bedre for toner med højt svingningstal, d.v.s. for høje toner, end for lave. Fig. 2.38 b, der gælder et jernbetondæk, viser det samme. Er en strygekvartet i gang i et naborum, hører man altså mere til kontrabassen end til violinen. Myndighedernes krav til vægge i lejlighedsskel går i første række ud på, at middelduktionstallet for

frekvensområdet fra 100 til 3150 Hz skal ligge over en vis værdi, men dette krav er suppleret med en bestemmelse, der sætter en grænse for, hvor lavt de enkelte lydreduktionstal må ligge.

For massive bygningsdele vil evnen til at isolere mod luftlyd vokse med vægten, men en forbedring, som den, der opnås ved at forøge vægten, kan også opnås ved at indføre luftfyldte spalter. To $\frac{1}{2}$ -stens vægge helt adskilte af et luftmellemlum isolerer således bedre end en 1-stens væg af de samme materialer.

Er bygningsdelen opført af et meget porøst materiale, kan luftlydisolationen blive ringere end ventet, fordi en del af lyden vandrer gennem bygningsdelen i gennemgående porer. Er der gennemgående huller eller revner i en bygningsdel, kan det samme naturligvis ske, og det er altså lige så vigtigt for lydtætheden som for tætheden mod slagregn, at der mures med fyldte fuger, ligesom sprækker langs gulve, vægge og lofter såvel som spalter omkring rørgennemføringer skal undgås.

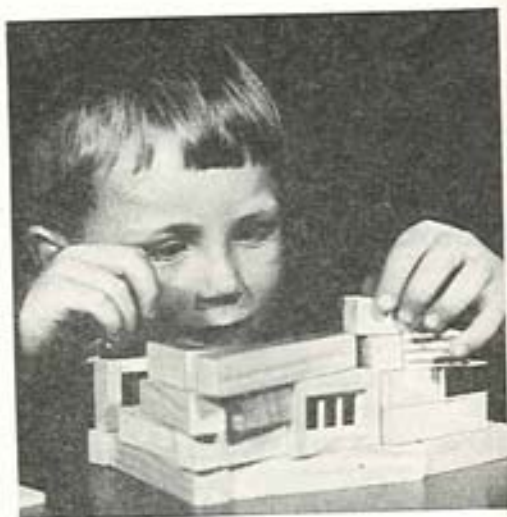
Hvad trinlydisolationen angår, vokser den med dækkets vægt og stivhed, men blandt andet flanketransmissionen og væggenes bæreevne sætter jo en grænse for, hvor langt det kan lønne sig at gå. En blød gulvbelægning eller et nedhængt loft kan medføre en væsentlig forbedring, men her som ved luftlyd er indførelsen af en gennemgående luftspalte, altså anvendelsen af et dobbeltdæk, det mest effektive. Dette princip er fulgt ved anvendelsen af svømmende gulve, hvor fodtrin eller slag på gulvets slidlag dæmpes af et elastisk underlag, så svingningerne kun i afsvækket form når ned til det bærende dæk. Ved at undgå direkte kontakt mellem det svømmende gulv og vægmaterialet langs omkredsen kan også flanke-transmissionen nedsættes.

Myndighedernes krav til dæk i lejlighedsskel omfatter foruden krav til luftlydisolationen også nogle krav til trinlydisolations-evnen ved de forskellige frekvenser.

Lydbølger, som træffer en bygningsdel og sætter den i svingninger, vil ikke kun forplante sig til naborummet, men også give anledning til tilbagekastning til det rum, hvori de opstod. De tilbagekastede bølger vil igen træffe rummets flader og tilbagekastes påny o.s.v., men for hver gang vil en del af energien blive absorberet i byggematerialerne, og efterhånden vil lyden dø hen. Den tid, som

medgår dertil, kaldes *efterklangstiden* og afhænger både af fladernes absorptionsevne og af absorptionsevnen hos de ting, som er i rummet. Absorptionsevnen er ret forskellig fra materiale til materiale, f.eks. absorberer en glat betonvæg kun ca. 2 % af den lydenergi, som træffer den, medens et tykt lag mineraluld måske absorberer mellem 80 og 90 %. Ønsker man en kort efterklangstid i et rum, må man altså anbringe lydabsorberende overfladelag. Nogle eksempler herpå er vist i fig. 5.01.

Det her meddelte om lydproblemer er meget kortfattet og ufuldstændigt, og nærmere oplysninger må indhentes gennem den nyeste litteratur og gennem de i landene gældende normer og forskrifter, som iøvrigt for nylig er blevet revideret på et nogenlunde ens grundlag i de nordiske lande.



MURSTEN, BETON OG KERAMISKE FLISER

Skal resultatet af mure- og pudsearbejdet blive det bedst mulige, er det nødvendigt, at mursten, underlag og mørtel passer sammen, således at egenskaberne udnyttes bedst muligt. Hvordan tilpasningen mellem mursten og mørtel skal foregå, og efter hvilke regler et pudslag skal bygges op, gøres der rede for i senere afsnit. I dette kapitel omtales de egenskaber hos mursten, beton og fliser, som har betydning for murværkets og pudslagets kvalitet. Det har været naturligt her at medtage keramiske fliser, fordi de jo i reglen opsættes eller henlægges i mørtel.

Fabrikationsmetoderne og leveringsmåderne bliver kun omtalt, for så vidt som de har betydning for bedømmelsen af materialegenskaberne. Af disse er følgende især aktuelle:

1. *Rumvægten* gælder altid materialet i tør tilstand og opgives i kg/m^3 . Har materialet udsparinger som f.eks. mangelhulssten af tegl og hulsten af beton, skelnes der mellem netto- og brutto-rumvægt.
2. *Styrken*, især *trykstyrken* regnes blandt materialets vigtigste egenskaber til karakterisering af kvaliteten. I denne bog opgives alle styrketal i kp/cm^2 . Der findes normer eller forskrifter med detaljerede anvisninger på, hvordan trykstyrken for mursten skal bestemmes, og de kan afvige fra land til land. *Trækstyrken* og *bøjningsstyrken*, som begge kan have stor betydning i forbindelse med murværk og puds, bestemmes ikke så ofte.
3. *Elasticitetstallet* (E-modulen) opgives i kp/cm^2 og er et udtryk for materialets modstand mod at ændre form eller mål ved belastning, altså et udtryk for stivhed.
4. *Vandsugningsevnen* bliver ofte karakteriseret ved materialets minutsugning. Herved forstås den vandmængde i gram, som materialet i tør tilstand og under bestemte forhold kan indsuge i løbet af 1 minut gennem en overflade på 1 dm^2 af liggefladen.
5. *Dampgennemtrængeligheden* — her specielt overfor vanddamp — udtrykkes ved materialets *diffusionstal* eller dampgennemgangstal. Det opgives her i $\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$ og angiver den dampmængde i gram, som i løbet af 1 time kan gå gennem en 1 m^2 stor skive af materialet som følge af en damptryksforskel på 1 mmHg . Mængden aftager med voksende skivetykkelse; her er der regnet med 1 cm , og tallene i dette kapitel refererer alle til denne tykkelse.
6. *Ligevægtsvandindholdet* er materialets vandindhold, når det er i ligevægt med omgivelsernes. Drejer det sig om vægmateriale, tænkes der specielt på det «normale» vandindhold, som materialet får ved anvendelse i en ydervæg. Tal for ligevægtsvandindholdet i vægmateriale er samlet fra mange nordiske bygninger af mange forskellige materialer, og målingerne er først foretaget, efter at bygningerne kan regnes at have afgivet deres byggefugt. Dersom en prøve af materialet fra en væg har et vandindhold, som ligger over ligevægtsvandindholdet, kan det være tegn på unormal vandindtrængning. Ligevægtsvand-

indholdet opgives i procent af materialets tørvægt eller i rumprocent.

7. *Varmeledningsevnen* udtrykkes ved *varmeledningstallet* λ i kcal/m·h·°C. De talværdier for vægmaterialer, der opgives i dette kapitel, er de såkaldte praktiske varmeledningstal, som gælder murværk af de omhandlede vægmaterialer; ved deres bestemmelse er der både taget hensyn til fugernes og til ligevægtsvandindholdets betydning for varmetransporten.
8. *Svind og svulmning* er egenskaber, som kan spille en meget vigtig rolle, blandt andet i bygningsdele sammensat af forskellige materialer. Det kan være praktisk at skelne mellem et *primært svind* — fremkaldt ved hærdning eller ved første udtørring — og et *sekundært svind* eller en *sekundær svulmning* — fremkaldt ved senere variationer i vandindholdet.
9. *Frostfastheden* er ligeledes en vigtig egenskab for de byggematerialer, der udsættes for det nordiske klimas påvirkninger. Der er endnu ikke fundet nogen tilfredsstillende metode til bedømmelse af porøse byggematerialers frostfasthed, og de vurderinger, som er givet i dette kapitel, er derfor baseret på praktiske erfaringer.
10. *Overfladekarakteren* kan have betydning for materialernes egnethed som mursten og som underlag for puds; det gælder f.eks. overfladens ruhed og renhed.

3.1. Teglsten

Fremstilling af teglsten er et flere tusinde år gammelt håndværk, men i dag foregår fremstillingen som industriel massefabrikation på moderne fabriksanlæg. Råmaterialet er ler, som efter gravningen må igennem et bearbejdningsmaskineri, hvor der kan iblandes forskellige korrigerende tilsætningsstoffer, men hvor hovedformålet er at homogenisere leret og give det den rette konsistens. Tilsætningsstofferne kan være andet ler eller finkornet sand; de kan være brændbare materialer, f.eks. savsmuld, der efterlader hulrum ved bortbrændingen og gør teglet lettere og mere varmesolerende, eller de kan være kemikalier, f.eks. til ændring af farven eller til modvirkning af saltudblomstring.

Fra bearbejdningsmaskineriet går leret til formning, og denne udføres så godt som udelukkende maskinelt. Den ældste metode, den såkaldte håndstrygning, hvor leret får murstensform ved med håndkraft at blive kastet ned i en ramme med rum til nogle få mursten, anvendes nu kun på enkelte teglværker og kun efter særlig opgave. Den maskinelle formningsproces kaldes enten blødstrygning, en proces som efterligner håndstrygningen, eller strengpresning, der er den langt almindeligste. Her presses leret ud gennem et mundstykke og glider som en sammenhængende streng ud på et transportbånd og et afskærebord, hvor strengen gennemskæres på tværs til skiver, hvis tykkelse svarer til stenenes højdemål. Lerstrengen kan være massiv eller have langsgående huller eller kanaler formet af dorne i mundstykket. De flader, der senere kan blive synsflader i murværket, stenens ene løber-side og kopenderne, kan præges, børstes, rifles, sandes eller på anden måde få speciel overfladekarakter (fig. 3.01). Det gennemføres ved speciel indretning af mundstykket eller ved en behandling lige udenfor dette.

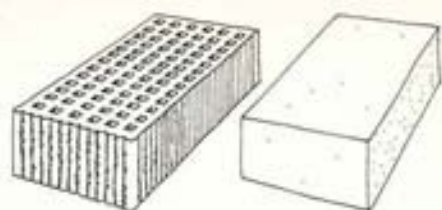


Fig. 3.01. Facadesten af tegl. Til venstre mangelhulssten med riflede synsflader, til højre massiv sten med glatte synsflader.

Efter formningen tørres de rå og endnu plastiske mursten. Den tidligere metode med tørring på tremmehylder i overdækkede fri-luftslader fortrænges mere og mere af kunstig tørring i særlige tørringsanlæg. Den efterfølgende brænding sker i ovne af forskellig art. Brændingstemperaturen reguleres efter lersorten og kravene til murstenene; den er i mange tilfælde over 1000°C. Fyringen foregår så godt som altid automatisk, og ovnene er enten ringovne eller tunnelovne; i de sidstnævnte, som vinder voksende udbredelse, er stenene stablet på vogne, der langsomt køres gennem ovnens brændkanal. Efter brændingen skal stenene sorteres, idet det ikke er muligt at holde nøjagtig samme temperatur i hele ovnens tværsnit og dermed brænde alle sten ens. Sorteringen foregår efter størrelse, klang, farve og efter fejl som skår, revner og skævhed. Sorteringsreglerne er ikke ens i alle detaljer fra værk til værk, men be-

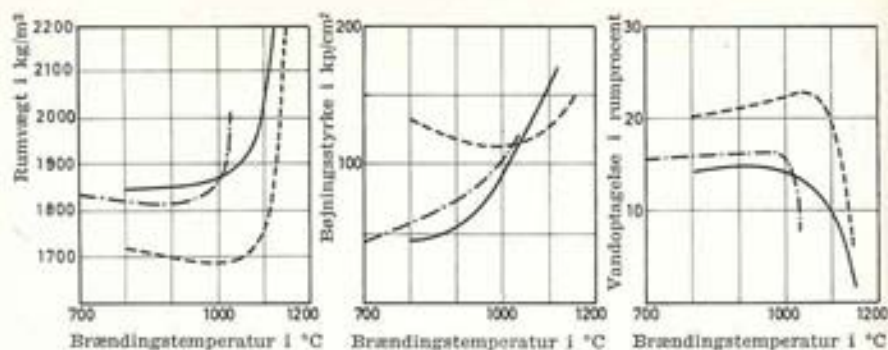


Fig. 3.02. Brændingstemperaturens indflydelse på rumvægt, bøjningsstyrke og vandoptagelse for mursten af tre forskellige lersorter.

nævnelserne letbrændt, fuldbrændt, hårdtbrændt og klinkbrændt (delvis sintret) er fælles.

Der skelnes mellem facadesten og bagmursten, og ud over disse almindelige former for mursten fremstilles der en række specielle stentyper enten af særligt ler, som f.eks. molersten, eller af særlig form som f.eks. vægblokke og dækblokke med forskellige hul- eller kanalsystemer, radialsten (fig. 8.34) til skorstensmuring samt yderligere nogle, som her er uden interesse.

Som allerede nævnt bestemmes teglstenenes kvalitet i høj grad af brændingstemperaturen. Inden for området fra 900 til 1100°C medfører en stigning i maksimaltemperaturen en forøgelse af teglets rumvægt, styrke og varmeledningstal og en formindskelse af mængden af åbne porer. En del af dette er vist i kurveform på fig. 3.02. Med højere brændingstemperatur følger også større målafvigelser, idet temperaturdifferensernes indflydelse på svindet vokser med temperaturen. Udover brændingstemperaturen spiller f.eks. lerets art og tilsætningsstofferne en stor rolle for teglstenenes egenskaber.

De krav, som myndighederne stiller til mursten af tegl i de forskellige lande, gælder i reglen styrke, rumvægt, minutsugning, frosthed og målnøjagtighed. I normerne karakteriseres stenene gerne ved trykstyrke og rumvægt eller ved brændingsgrad. For de almindeligste murstentyper ligger rumvægten eller nettorumvægten mel-

lem 1500 og 1900 kg/m³ og trykstyrken mellem 150 og 450 kp/cm². Hårdtbrændte og klinkbrændte sten kan dog komme op på væsentlig større tal for begge egenskaber. Minutsugningen varierer meget stærkt med værdier nede på 1—2 g/dm² for klinkbrændte sten og oppe på over 100 g/dm² for de lette. For mursten af tegl til stærkt belastet murværk sættes der ofte en øvre grænse for minutsugning; den ligger i reglen mellem 15 og 30 g/dm². For mangelstens skal trykstyrke og minutsugning udregnes på basis af bruttoarealet. Kravene er forskellige i de nordiske lande, og der skal her ikke gøres noget forsøg på klassificering.

Diffusionstallet for teglsten varierer også med brændingsgraden; ses der bort fra de klinkbrændte og derfor meget tætte sten, kan man dog regne med, at diffusionstallet ligger mellem 0,5 og 2 g/m²·h·mmHg. Ligevægtsvandindholdet for murværk — altså inklusive mørtel — regnes at være af størrelsesordenen 1¼ rumprocent (1 vægtprocent). Varmeledningstallet for murværk ligger i henhold til tabellen på side 30 mellem 0,60 og 0,35 kcal/m·h·°C. Svind og svulmning hidrørende fra varierende vandindhold hos almindelige mursten medfører så små bevægelser, at man i praksis ser bort fra dem. Frostheden må være garanteret for alle facadesten, og det normale er, at stenene selv under uventet strenge forhold tilfredstiller dette krav. De anvendte lersorter er dog ikke alle lige velegnede til fremstilling af facadesten, og det forekommer, at stenene i en ydervæg viser sig så lidt modstandsdygtige over for frostens påvirkninger, at facaden under særlig ugunstige vejrforhold ødelægges helt i løbet af blot én vinter.

Desværre er kendskabet til mekanismen ved frostsprængning af tegl langt fra udtømmende, og desværre giver de prøvningsmetoder, der er foreskrevet i normerne, ikke altid resultater, som stemmer med resultaterne fra praksis. Der eksisterer således ikke i øjeblikket nogen fuldt sikker metode til afgørelse af, om en facadesten vil holde i væggen eller ej. Der arbejdes med dette problem verden over, og de nye metoder, som bringes i forslag, søges justeret gennem sideløbende undersøgelser af frostheden i praksis. Indtil en sikker metode er udarbejdet, må udvælgelsen af facadesten ske på basis af de erfaringer fra praksis, som teglværket kan henvise til fra den pågældende egn, og de få kriterier, der er almindeligt anerkendte,

såsom en vis grovhed hos porerne og en høj brændingsgrad bedømt enten ved stenenes størrelse eller ved deres farve.

De ydre årsager til frostskafer i teglstensfacader er forholdsvis klare og hænger først og fremmest sammen med en uheldig fugtbalance i ydervæggen. Denne balance er bestemt af forholdet mellem mulighederne for vandoptagelse og vandafgivelse, altså af overfladens tæthed mod slagregn, som søger ind, og vanddamp, som søger ud, samt af temperaturforholdene m.m. Det kan hændes, at man konstaterer frostskafer på en væg, som har stået upåklageligt i mange år, og årsagen kan da være, at væggen er blevet pudset eller malet, og diffusionstætheden derved øget, eller at slagregnspåvirkningen har været unormal stor i en periode.

Murstenenes overflade er som regel stærk og ren, men på letbrændte og i nogle tilfælde også på fuldbrændte sten kan der ligge et lag af teglstøv, som må fjernes før indmuringen, f.eks. ved dypning eller ved blæsning med trykluft.

3.2. Natursten

Natursten hører til de ældste byggematerialer; men de er gradvis trængt tilbage af mursten med ringere rumvægt og regelmæssigere form. I dag hører det til sjældenhederne, at der mures vægge af natursten; men det forekommer dog, om ikke andet så ved restaurering af gamle bygninger. Derimod bruges der en del natursten i form af plader eller fliser både til vægbeklædning og som slidsten på gulve og trapper.

De typer af natursten, som bruges mest i de nordiske landes bygninger, kan meget groft inddeles i tre hovedgrupper.

Granitter, der omfatter de vigtigste eruptive bjergarter, d.v.s. ikke alene granit, men også f.eks. syenit, gabbro og basalt, som lader sig bryde i store blokke. Gneis medregnes til denne gruppe.

Sandsten og kalksten, der omfatter de mere eller mindre porøse sedimentbjergarter, hvor bindemidlet for de flestes vedkommende er kalk. De skal kunne brydes i blokke.

Skifre, der omfatter sten — hovedsagelig sedimentbjergarter — med stor kløvelighed i én bestemt retning.

De egenskaber, der især ligger til grund for naturstens anvendelse, er vejrfasthed, styrke, farve samt glans i poleret tilstand. I mange tilfælde spiller også en stor slidfasthed en afgørende rolle. I efterfølgende tabel er der givet nogle talværdier for de vigtigste egenskaber; men de må kun betragtes som orienterende; selv inden for samme bjergart kan der forekomme meget store variationer.

| | „Granitter“ | Sandsten og kalksten | Skifre |
|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Rumvægt, kg/m ³ | 2600—3300 | 2000—3000 | 2100—3500 |
| Trykstyrke, kp/cm ² | 2000—4000 | 700—2700 | 500—2000 |
| Elasticitetsstal, kp/cm ² | omkring 7 · 10 ⁵ | omkring 6 · 10 ⁵ | omkring 6 · 10 ⁵ |
| Varmeledningstal, kcal/m · h · °C | 2—3,5 | 2—3 | 1—2,5 |
| Minutsugning, g/dm ² | Ubetydelig | 1—2 | 0—2 |
| Diffusionstal, g/m ² · h · mm Hg | „ | Ubetydelig | Ubetydelig |
| Ligevægtsvandindhold | „ | „ | „ |
| Svind og svulmning | „ | „ | „ |

Naturstens modstandsevne mod frost er stor med kun få undtagelser; til disse hører enkelte porøse kalksten og sandsten samt visse skifre. De stenflader, som mørtlen vil komme i berøring med ved muring eller opsætning, er enten ubearbejdede brudflader eller snitflader, og de er i reglen rene.

3.3. Beton

Beton fremstilles såvel på fabrik som på byggeplads og — inden for visse grænser — med forud fastsat styrke. De faktorer, som er bestemmende for styrken, er først og fremmest cementmængden, vand-cement-forholdet, tilslagets kornstørrelsesforhold, støbemåden og hærdningsbetingelserne. Flere af betonens øvrige egenskaber ændres parallelt med styrken. For at forbedre frostfastheden, hvor dette kræves, tilsættes der luftporedannende stoffer ved fremstillingen; dette sker dog sjældent i almindelig husbygning.

Beton er normalt et forholdsvis tæt materiale, og porerne er stort set meget fine; dette medfører, at den kapillære vandtransport foregår langsomt, men at den kapillære sugkraft er stor. Minutsugningen er derfor lav, den ligger i reglen mellem 1 og 5 g/dm², medens diffusionstallet ligger mellem 0,1 og 0,5 g/m² · h · mmHg. Den praktiske λ-værdi ligger på ca. 1,5 kcal/m · h · °C.

Hærdnet beton kan regnes at have et samlet porerumfang på omkring 15 %, men en del af disse porer er lukkede. Ved afformning kan vandindholdet regnes at ligge på 11—12 rumprocent eller ca. 5 vægtprocent, men ligevægtsvandindholdet ligger betydelig lavere, det regnes i almindelighed at ligge på 4,5—5 rumprocent eller ca. 2 vægtprocent.

De egenskaber hos betonen, som har størst betydning i forbindelse med murernes arbejde, er dens bevægelser ved vekslende vandindhold og ved belastning, samt overfladernes struktur, sugeevne og renhed.

Det primære svind under hærdningen og den første udtørring kan ligge så højt som på 0,3—0,7 $\frac{0}{00}$, og man bør derfor vente med at pudse, til størstedelen af det primære svind er overstået. Ved senere vandoptagelse og udtørring er bevægelserne betydelig mindre, de kommer sjældent over 0,1 $\frac{0}{00}$.

En karakteristisk egenskab hos beton er den såkaldte krybning, d.v.s. en langsom bevægelse fremkaldt af egenvægten og anden stadig virkende last. Krybningen er især afhængig af lastens størrelse og betonens alder og fugtindhold, og talmæssigt kan den komme op på 0,5—2 $\frac{0}{00}$. Bevægelser fremkaldt af en belastning udover det tilladte kaldes ikke krybning. Mager beton udviser større krybning end fed beton, når den er afformet på samme tidspunkt, og belastningen er ens; og krybningen vokser med vand-cement-tallet. Bevægelserne er hovedsagelig plastiske og kan i visse tilfælde føre til uforudsete påvirkninger (se side 72).

Betonoverfladens struktur afhænger i høj grad af arten af det formmateriale, der er brugt. Beton støbt mod uhøvlede brædder har en grov og ujævn overflade, medens forme af hårde træfiberplader, finér og stålplader kan give fine og glatte overflader, ofte så glatte, at der kræves specielle metoder ved pudsning og fliseopsætning.

Overfladelagets egenskaber afhænger i væsentlig grad af forholdene ved støbningen. I en form af stærkt sugende materiale vil betonens yderste lag ikke opnå fuld styrke, det kan endda blive løst og støvagtigt. Har vandmængden i betonen været stor, eller er betonen blevet overvibreret, kan der danne sig et lag af cementslam langs formen eller på overfladen. Slamlaget er en blanding af cement, filler og vand, og da vandmængden er stor i forhold til cementmængden, bliver laget ikke stærkt, når det hærdner. Sådanne

løse lag må fjernes, før der pudses eller anbringes fliser. Formolie af uegnet kvalitet eller anvendt i for stor mængde kan afsætte en fedtet hinde og nedsætte eller hindre vedhængen for puds og maling, og sådanne hinder må altså også fjernes (side 271).

Luftblærer eller stenreder i overfladen rejser sjældent problemer bortset fra, at der kan blive tale om en udbedring forud for pudsning eller maling.

3.4. Mursten af beton

Sådanne sten fremstilles ikke alene af beton, men også af mørtel. Bindemidlet er cement, og vandmængden i den beton eller mørtel, hvoraf der støbes, er så ringe, at afformningen kan foretages straks efter komprimeringen. Stenene støbes i reglen i stålforme, og komprimeringen sker ved vibrering. Hærdningen foregår enten i luft under jævnlig vanding eller i damp ved ca. 50°C.

Mursten af beton kan have murstens normalformat eller blokformat. Stenene i murstensformat er i reglen massive, blokkene forsynet med udsparinger.

En del blokke anvendes til vægge mod jord, hovedsagelig fundamentsvægge. De kan have ret forskellige udformninger, men er ofte opbygget som to plader med mellemliggende broer, således at pladerne danner to sammenhængende vægflader ved muringen. Broerne er ofte således placeret, at udsparingerne imellem dem danner gennemgående, lodrette kanaler, som kan fyldes med beton, eventuelt armeres, når væggen er opmuret. De blokke, der anvendes til vægge over jord — betonhulbloksten — er udformet med et stort antal lodrette huller eller spalter, som sjældent er gennemgående; den lukkede liggeflade vendes opad ved muringen. Blokkenes bruttorumvægt ligger oftest mellem 1100 og 1400 kg/m³, og trykstyrken kræves i reglen at være mindst 50 kp/cm² beregnet på bruttotværssnittet. Fig. 3.03 viser to beton-

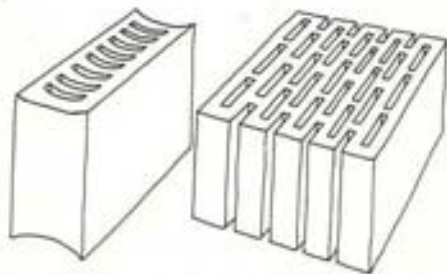


Fig. 3.03. Eksempler på betonhulbloksten.

hulbloksten, én beregnet til kældervægge og én til skalmursvægge. Betonens minutsugning kan regnes at ligge mellem 2 og 8 g/dm², diffusionstallet at ligge mellem 0,5 og 1 g/m²·h·mmHg og ligevægtsvandindholdet at udgøre mellem 4 og 7 rumprocent eller mellem 2 og 3 vægtprocent.

For massive betonblokke kan λ -værdien sættes til 1 kcal/m·h·°C. For betonhulbloksten kan varmeisolationsevnen karakteriseres ved den upudsede vægs varmemodstand; for blokke med 7 hulrækker og 20 cm tykkelse kan der overslagsmæssigt regnes med 0,40 og for blokke med 9 hulrækker og 25 cm tykkelse med 0,55 m²·h·°C/kcal; overgangsmodstandene er ikke medregnet.

Mursten af beton har omtrent det samme primære og sekundære svind som almindelig beton; primærsvindet bør derfor være afsluttet, før murstenene hennures.

Med god beton, rigtig støbeteknik og god hærkning vil murstenene blive frostfaste. Overfladen er grov med mere eller mindre dybe forsænkninger; den muliggør derfor i reglen en god vedhængning for pudsmørtel.

3.5. Kalksandsten

Kalksandsten er mursten fremstillet af en mørtel af brændt kalk, kvartsrigt sand og vand. Vægtforholdet mellem kalk og sand kan f.eks. være 1 : 10, og vandindholdet afpasses således, at mørtlen er ret stiv ved formningen, som foregår ved presning. Hærkningen foregår i autoklav i løbet af ca. 10 timer ved mellem 8 og 16 atmosfærens damptryk (170—200°C). Her reagerer kalken med kisel-syren i sandskornenes overflade og danner et vandholdigt silikat. Den del af kalken, som ikke bindes, bliver efterhånden karbonatiseret af luftens kuldioxid.

Kalksandsten fremstilles fortrinsvis i normalt murstensformat og har samme anvendelse som teglsten. Rumvægten ligger i reglen mellem 1800 og 2000 kg/m³ og trykstyrken mellem 150 og 250 kp/cm². Dette er oftest tilstrækkeligt, men det lader sig gøre at fremstille kalksandsten med trykstyrke helt op til 2000 kp/cm². Normalt er kalksandsten hvide, men de kan farves kunstigt. Målvariationerne er små.

Minutsugningen kan variere stærkt fra produkt til produkt, mellem 5 og 50 g/dm², men den er ofte under 20 g/dm². Diffusionstallet ligger mellem 0,5 og 1 g/m²·h·mmHg, og ligevægtsvandindholdet kan regnes at være mellem 5,5 og 6 rumprocent eller omkring 3 vægtprocent.

Det praktiske varmeledningstal er ca. 0,8 kcal/m·h·°C. Svind og svulmning ved varierende vandindhold ligger lavt på grund af autoklavhærkningen og er normalt 0,1—0,2 ‰. Frostfastheden synes at være god. Overfladerne er jævne og rene.

3.6. Letbeton

De betoner, som hører ind under dette afsnit, har ikke de samme navne i de fire nordiske lande, og selv inden for samme land forekommer der forskellige navne på produkter af samme kategori. Her er der gjort et forsøg på at bruge systematiske og nogenlunde ensartede betegnelser.

Ordet *letbeton* er brugt som fællesbetegnelse, således at det omfatter såvel betoner, der er gjort lette ved anvendelse af lette tilslagsmaterialer, som betoner, der er gjort lette af et stort antal luftfyldte porer i massen. Disse to undergrupper bliver kaldt henholdsvis *letkornsbeton* og *porebeton*.

De enkelte former for letkornsbeton bliver yderligere karakteriseret ved kornenes art. Er kornene opblærede teglklinker, slagge, bims, eller savsmuld, bliver betegnelserne *klinkerbeton*, *slaggebeton* o.s.v.

Porebetonerne kan inddeles i to undergrupper, eftersom de luftfyldte porer skyldes en luftudvikling i massen eller er indført som skum; i sidstnævnte tilfælde betegnes porebetonen *skumbeton*.

Til yderligere karakterisering kan hærkningsmåden medtages; f.eks. damphærnet klinkerbeton.

Letkornsbeton

Af letkornsbetonerne i Norden er klinkerbetonen den absolut dominerende. De opblærede teglklinker — klinkerne — der anvendes som tilslagsmateriale, fremstilles af finkornet, kalkfattigt ler ved brænding i rotérovne ved omkring 1200°C. Klinkerne kommer ud som lette, afrundede korn med en hård, tynd skal uden om en opblæ-

ret, meget porøs kerne. Kornstørrelsen varierer fra nødestensstørrelse og nedefter, og der er 3 sorteringer i handlen 0—3, 3—10 og 10—20 mm.

De typer af klinkerbeton, som anvendes i dag, fremstilles med cement som bindemiddel og omfatter en grovporøs, let type, der anvendes til varmeisolering, en normal type, der anvendes til mursten og murblokke og har lidt større rumvægt, og endelig tungere betoner, hvor der også er natursand i tilslagsmaterialet. Den sidste type bruges til støbning af vægge og dæk på stedet og kan armeres. Fig. 2.06 viser uforstørret et snit gennem en klinkerbeton-mursten af den normale type. Formaterne på de fabriksfremstillede mursten, plader og blokke er fastsat under hensyntagen til, at de skal kunne mures sammen med normalt teglstensmurværk og passe til modulordningens krav. Produkterne støbes i stålforme under vibrering og tryk; de afformes straks og bringes så til hærkning i dampfyldte kamre, hvor temperaturen er ca. 50°C.

Ved at variere klinkernes kornkurve og cementmængden og ved sandtilsætning kan klinkerbetonens rumvægt bringes til at variere mellem 450 og 1800 kg/m³. Herved vil trykstyrken også bringes til at variere; den kan komme ned på under 10 kp/cm² for den letteste klinkerbeton, og den kan komme helt op på 350 kp/cm² for den tunge type. Varmeledningstal for de gængse typer af klinkerbetonerne er indført i tabellen på side 30.

De opblærede teglklinker suger langtfra så meget vand, som porøsiteten lader formode; mængderne kan variere ret betydeligt fra produkt til produkt. Det samme gælder klinkerbetonernes minutsugning, for hvilke der er fundet værdier mellem 0,5 og 50 g/dm², men spredningen må delvis skyldes ikke bundet vand i de grove porer. De sandfri klinkerbetoner er nemlig undergraderede, og deres system af grove porer og mellemrum gør betonerne åbne for luft- og vandgennemgang og nødvendiggør pudning. Trænger der vand gennem pudslaget på en væg af klinkerbetonmursten, synker det ned gennem stenen og samler sig på den første liggefuge; herfra kan det enten gå udad eller indad i væggen og fremkalde fugtstriber i pudslaget. På etagehøje ydervægselementer med klinkerbetonlag vil indtrængende vand i reglen røbes ved en fugtskjold på indersiden nede ved gulvet.

De to lette typer af klinkerbeton har diffusionstal mellem

1 og 2 g/m²·h·mmHg, medens den tunge type sandsynligvis ligger nærmere den almindelige beton med værdier mellem 0,1 og 0,5 g/m²·h·mmHg. Ligevægtsvandindholdet for klinkerbetonerne ligger på ca. 5 vægtprocent.

Klinkerbetonens primære svind bør være afsluttet ved afleveringen på en byggeplads. Det sekundære svind for mursten og blokke må regnes at være 0,3—0,5 ‰ og at skyldes kræfter i cementpastaen på klinkerne. Skal revnedannelser undgås, må ikke alene det primære svind være overstået, men murstenene eller blokkene tillige være så tørre som muligt ved indmuringen.

Klinkerbetoner af alle de tre typer kan regnes at være frostfaste. Overfladen er grov og lidet sugende, og i reglen er den ren, så den må betegnes som velegnet til pudning.

Der blev før i tiden fremstillet letkornsbetoner ved at erstatte en lille eller stor del af natursandet med savsmuld. Blokke af sådan savsmuldsbeton var ikke rumfangsbestandige ved vekslende vandindhold, altså lidet egnede som vægmateriale, og er ikke længere i handlen. Anvendelsen af slaggebetonplader er også i tilbagegang.

Porebeton

Autoklavhærdnet porebeton — i Danmark Gasbeton og Siporex — spiller i dag en meget stor rolle blandt letbetonerne. Den kan fabrikeres af forskellige kombinationer af cement, hydratkalk, brændt kalk, hydraulisk kalk, kvartssand, flyveaske, brændt alunskifer og visse slaggesorter. De materialer, der vælges, finmales, sammensættes i de rette forhold og blandes derefter med vand og aluminiumpulver. Vandet bliver basisk og reagerer med aluminiumpartiklerne under brintudvikling, og derved blæres massen op. Når materialerne er blandet i det rigtige forhold, begynder massen at stivne, netop når opblæringen går i stå. Massen skæres derefter igennem til enheder af den ønskede størrelse, og disse hærdes i autoklav ved ca. 10 atmosfærers tryk (ca. 180°C) i fra 8 til 20 timer alt efter produktets art.

Porebeton kan fremstilles med forskelligt luftindhold, altså med forskellig rumvægt og porøsitet, hvilket også medfører en variation i materialets øvrige egenskaber. I fig. 3.04 er det vist, hvordan trykstyrke, elasticitetstal og varmeledningstal (for tørt materiale)

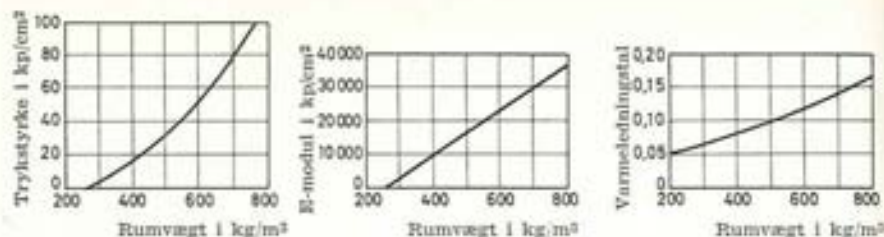


Fig. 3.04. Eksempel på rumvægtens indflydelse på en tør porebetons trykstyrke, elasticitetstal og varmeledningstal.

kan vokse næsten proportionalt med rumvægten. Man må dog regne med, at talværdierne kan udvise en vis variation fra type til type; varmeledningstal for porebeton med «normalt» vandindhold findes i tabellen på side 30.

Når porebetonen tages ud af autoklaven, er materialet meget fugtigt, og det kan hændes, at det ved levering på byggeplads indeholder op mod 40 vægtprocent vand. Sekundærsvindet har imidlertid en anden karakter end hos letbeton, der ikke er autoklavhærnet. Ved

tørring fra helt fugtig tilstand og ned til et vandindhold på ca. 6 vægtprocent, (svarende til ligevægten ved $RF = \text{ca. } 50\%$) er svindet kun 0,25—0,30 ‰. Drives tørringen videre, kan der imidlertid komme et mærkbart eftersvind. Dette betyder ikke noget for porebeton i ydervægge, fordi dens ligevægtsvandindhold da normalt ligger på omkring 6 vægtprocent; men i indvendige vægge afgrænsende rum, hvor luften kan blive så tør, at vandindholdet bliver lavere, kan der være risiko for revner.

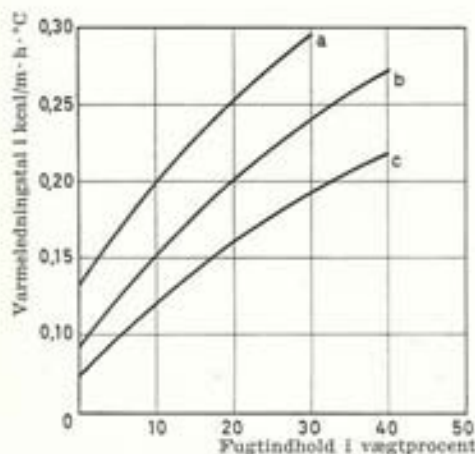


Fig. 3.05. Fugtindholdets indflydelse på varmeledningstallet for porebeton med rumvægt a: 650 kg/m³, b: 500 kg/m³, c: 400 kg/m³.

I ydervægge bør høje vandindhold undgås, blandt andet fordi de medfører en stærk formindskelse af varmeisolationsevnen (se fig. 3.05). Er porebetonen vandmættet, kan det ske, at den skades af frost, og sker der af en eller anden grund en unormal fugtvandring gennem materialet, kan den føre til udblomstringer og saltafsprængninger. Både når det gælder modstandsdygtighed mod frost og indhold af vandopløselige salte, kan der dog være betydelige forskelle fra produkt til produkt.

Kapillarerne i porebeton er meget fine, og dette betyder, at den kapillære sugkraft er stor, og at de vandmængder, som transporteres pr. time, er små. Minutsugningen kan regnes at ligge mellem 10 og 15 g/dm².

Ved den sædvanligt brugte tilskæring af porebeton-enhederne før autoklavhærdningen bliver målafvigelseerne forholdsvis store. Det betyder for vægmaterialernes vedkommende, at der må mures med ret store fuger, og at væggen k-værdi derfor bliver væsentlig større, end hvis væggen helt var af porebeton. For at undgå dette er man kommet ind på at fræse blokkene i mål efter hærdningen. Derved bliver målafvigelseerne meget små og overfladen fastere. Sådanne blokke kan limes sammen med speciallim og med meget tynde fuger. Herved bliver væggen k-værdi forbedret, og det samme gælder murværkets bæreevne.

I Sverige er man gået endnu et skridt videre, idet man har opført vægge af porebeton uden lim eller mørtel i fugerne. Blokkene i disse vægge har en langsgående, smal rille midt i liggefladerne og låses sammen af cirkulære plasticskiver, der går halvt ned i rillen under og halvt op i rillen over fugen. Erfaringerne med denne form for vægge er endnu få; men i ydervægge på virkeligt udsatte steder er metoden næppe egnet.

Mursten af skumbeton er ikke almindeligt anvendt i Norden; i Finland fremstilles der dog en del blokke, som blot hærdes i luft. Materialet anvendes hyppigere som isolationsmateriale, der udstøbes på stedet.

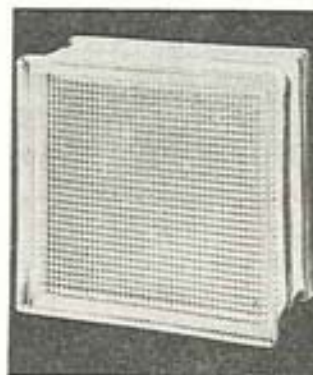


Fig. 3.06. Glasbyggesten med lysbrydende riller.

3.7. Glasbyggesten

Hule, kasseformede byggesten af glas bruges til opmuring af vægpartier eller hele vægge, som skal tillade lys — især dagslys — at falde ind. Hver glasbyggesten (fig. 3.06) er fremstillet af to glasskasser uden låg; de smeltes sammen langs kanten, efter at lufttrykket er nedsat med 60—80 %. Det er vigtigt, at byggestenene efterglødes, så de indre spændinger i glasset formindskes.

Da glas jo er et meget sprødt materiale med et elasticitetstal på ca. 700 000 kp/cm², må murværk af glasbyggesten ikke være fast indspændt uden bevægelsesmuligheder (se afsnit 8.8). Da glasflader ikke er sugende og i reglen er glatte, forsynes de flader, der kan komme i berøring med mørtel, næsten altid med en belægning, som indeholder sand og gør dem ru.

3.8. Keramiske fliser

Materialgruppen «keramiske fliser», som også omfatter, hvad der på dansk betegnes gulvklinker eller klinker, skønt deres tykkelse kan være ret stor i forhold til længden og bredden, rummer mange forskellige produkter, der kan klassificeres på mange måder, f.eks. efter udseende i glaserede og uglaserede, efter brændingsgrad i sintrede og ikke sintrede eller efter fremstillingsmåde i tørpressede og strengpressede. Skærvens porøsitet og sugsevne spiller en afgørende rolle ved lægnings- og sætningsarbejdet, og ved klassificering efter tæthedsgrad skelnes der mellem 4 klasser baseret på skærvens vandoptagelse bestemt med uglaserede fliser helt under vand. De 3 første klasser omfatter fliser brændt til sintring, men i aftagende grad.

| Skærvens tæthedsgrad | Skærvens vandoptagelse i | |
|----------------------|--------------------------|------------|
| | vægtprocent | rumprocent |
| I | Under 0,5 | Under 1,5 |
| II | 0,5—3 | 1,5—7,5 |
| III | 3—7 | 7,5—15 |
| IV | over 7 | over 15 |

Efter fremstillingsmåden og tæthedsgraden kan man foretage følgende klassificering og komme frem til logiske typebetegnelser.

| Fremstillingsmåde | Skærvens tæthedsgrad | Overfladens karakter | Typebetegnelse |
|-------------------|----------------------|--------------------------|--|
| Strengpresning | I—III | Uglaseret eller glaseret | Strengpressede, sintrede fliser |
| Tørpresning | I—III | Uglaseret eller glaseret | Tørpressede, sintrede fliser |
| Tørpresning | IV | Glaseret | Tørpressede, porøse fliser (fajancefliser) |

Disse typebetegnelser stemmer ikke i alle tilfælde overens med de almindelige handelsbetegnelser, f.eks. betegnes strengpresningen ofte vådpresning, og f.eks. tænkes der altid på tørpressede fliser under handelsbetegnelsen «sintrede fliser» til trods for, at strengpressede fliser altid brændes til sintring (begyndende smeltning).

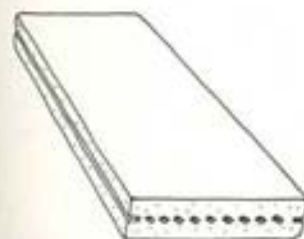


Fig. 3.07. Uspaltet spaltklynke.

Strengpressede, sintrede fliser

Denne gruppe omfatter de typer, som kaldes klinker og spaltklinker. Spaltklinker (fig. 3.07) er dobbelte og flækkes — spaltes — på byggepladsen med murhammer eller mejsel. De formes ved, at den homogeniserede, plastiske masse presses igennem et mundstykke og afskæres i lige lange stykker, som det kendes fra teglværkerne. De rå fliser tørres og brændes til sintring, normalt til tæthedsgrad II. Glaserede varer behandles med glasurmasse før brændingen.

Da strengpresningen kræver et ret stort vandindhold i massen, bliver tørringssvindet større end ved tørpresning og målnøjagtigheden mindre, ligesom overfladerne bliver mindre jævne. Ved strengpresning anvendes i reglen grovkeramiske masser, og det brændte gods får gerne en gul, rød eller sortbrun farve.

Strengpressede, sintrede fliser bruges fortrinsvis til beklædning af vægge og til gulve både inden- og udendørs.

Tørpressede, sintrede fliser

Denne gruppe omfatter — foruden hvad der i daglig tale kaldes sintrede fliser — også keramisk mosaik. Udgangsmaterialet er en jordfugtig masse med 6—8 vægtprocent vand, og formningen foregår i presser ved meget højt sluttryk. De rå fliser brændes til sintring, og da svindet i hovedsagen begrænses til brændingssvindet, bliver målnøjagtigheden stor. Råmassens forbehandling er i reglen drevet noget videre end ved strengpresning, men der findes undtagelser, hvor massen er grovkeramisk som ved strengpresning, og handelsbetegnelsen klinker gælder ofte også et tørpresset produkt.

Tørpressede, sintrede fliser bruges fortrinsvis som gulvbelægning både inden- og udendørs, og slidfladen er da ofte gjort mindre glat enten ved at gøre den nopret eller præget eller ved indbrændte korn af karborundum. Fliserne anvendes også som ind- og udvendig vægbeklædning såvel glaserede som uglaserede; inden for industrien anvendes de tillige til beklædning af beholdere og kar.

Mosaikfliser er som regel små, og for at forenkle arbejdet ved lægningen sælges de i «plader» fastklæbet til papir med synsfladen mod papiret. Fliserne fremstilles med mange forskellige farver, og i «pladerne» er de fordelt i bestemte mønstre. Mosaikfliser bruges både på vægge — også udendørs — og på gulve.

Tørpressede, porøse fliser

Denne gruppe omfatter, hvad der i daglig tale kaldes fajancefliser eller slet og ret vægfliser. De fremstilles stort set som tørpressede, sintrede fliser, men brændes blot ikke til sintring, og skærvens tæthedegrad er derfor ikke stor. For at ophæve generne ved porøsiteten er fliserens forside altid glaseret. Det almindeligste er, at glasurmassen først påføres, efter at fliserne er brændt én gang, og at glasurmassen bringes til smeltning ved en ny såkaldt glatbrænding. Da glasuren er spred, øges sikkerheden mod revner og krakelering, dersom laget til stadighed kan holdes under en moderat trykspænding, hvilket søges opnået ved at anvende en glasur, som svinder mindre ved afkølingen efter glatbrændingen end skærven. Trykspændingen kan falde i tidens løb, f.eks. på grund af svulmning i underlaget, og slutresultatet kan blive revner i glasuren. Bestandig-

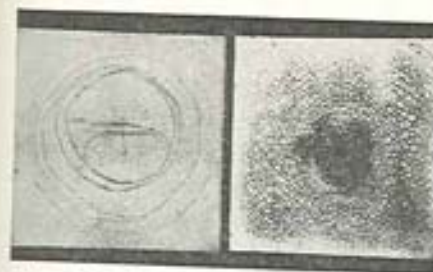


Fig. 3.08. Bagside og glaseret forside af tørpresset, porøs flise efter prøvning i autoklav.

at misfarve vægfladen. Svovlholdige forbindelser i en opsætningsmørtel med karbidkalk har f.eks. givet anledning til gråblå toninger bag glasuren.

Tørpressede, porøse fliser bruges kun til vægbeklædning og kun indendørs.

Egenskaber

Keramiske fliser har ret høje styrker, som det ses af efterfølgende skema, hvis tal dog kun gælder som en meget grov, orienterende inddeling.

| Skærvens art | Omtrentlig styrke i kp/cm^2 overfor | | |
|--------------|--|---------|------|
| | Træk | Bøjning | Tryk |
| Sintret | 200 | 450 | 1800 |
| Porøs | 120 | 200 | 1000 |

De sintrede fliser kan regnes at være frostfaste; sikkerheden vokser med skærvens tæthed. De porøse fliser kan derimod ikke regnes for frostfaste og kan ikke anvendes udendørs uden risiko for skader. Sintrede fliser med tæthedsgrad III bør ikke anvendes på steder, hvor frostpåvirkningen kan blive hård.

Modstandsdygtigheden mod kemisk angreb vokser ligeledes med skærvens tæthedsgrad. Fliser, som hører ind under tæthedsgrad I,

er blandt de mest bestandige materialer, der kendes til beskyttelse mod såvel syrer som baser. Fliser af tæthedsgrad II kan tit have en tilfredsstillende modstandsdygtighed mod syrer, hvorimod modstandsdygtigheden mod baser i høj grad afhænger af, om tæthedsgraden ligger ved den ene eller den anden af intervallets ydergrænser. Skærven i en fajanceflise kan hverken regnes som syre- eller basefast, men glasuren kan i de allerfleste tilfælde tåle de ret moderate påvirkninger, som den udsættes for i køkkener og badeværelser.

KAPITEL 4



DELMATERIALER TIL MØRTLER

Efterhånden som udviklingen skrider frem, bliver det vanskeligere og vanskeligere at give en præcis beskrivelse af, hvad mørtel egentlig er. Antallet af mørteltyper bliver større og større, og deres anvendelsesområder udvides, således at det i dag er vanskeligt at trække en klar skillelinie mellem mørtel på den ene side og lim eller maling på den anden. Så meget kan dog fastholdes, at alle mørtler er bygget op på omtrent samme måde af *bindemidler*, *tilslagsmateriale* og *væske*, det man kalder mørtlernes delmaterialer.

Tilslagsmaterialerne, der er den overvejende bestanddel og danner en slags skelet i mørtlen, er i reglen naturligt forekommende sand eller knust natursten, altså et materiale af korn med forskel-

lig form og størrelse. Disse korn blandes med et eller flere binde- midler og med væske — i reglen vand — til en mere eller mindre stiv eller flydende masse, den friske mørtel.

For at den friske mørtel kan være bekvem at arbejde med på byg- gepladsen, skal den være meget smidig, og her spiller mængden af bindemiddel en vigtig rolle, fordi smidigheden bliver desto større, jo mere bindemiddel der sættes til. Den pasta, som bindemiddel og væske danner, virker nemlig som et smøremiddel ved at lægge sig som et glidelag uden om hvert eneste af tilslagsmaterialets korn og nedsætte friktionen mellem dem. Denne smørende virkning, der er så vigtig for smidigheden, varierer dog ret stærkt med typen af bindemiddel.

Dersom den friske mørtel kommer under de rette hærdnings- betingelser, vil den efter en tid begynde at stivne, enten fordi noget af dens væske suges ind i underlaget eller fordamper, eller på grund af kemiske processer. Slutresultatet bliver en hærdnet mørtel med stor eller lille styrke. I den hærdnede mørtel har bindemiddelpastaen en anden opgave end i den friske. Nu skal den virke som en lim, der binder kornene i tilslagsmaterialet sammen og skaber vedhæng- ning mellem mørtel og mursten i murværk eller mellem mørtel og underlag i puds.

Man må gøre sig klart, at denne lim i reglen er svagere og mere sårbar end tilslagsmaterialet. Det gælder f.eks. styrkeegenskaberne og modstandsdygtigheden mod kemiske angreb, og det gælder — hvad der især er vigtigt — rumfangsbestandigheden. Svind og svulmning i mørtlen skyldes nemlig næsten altid bevægelser i binde- middel-limen. Det er derfor, det er så vigtigt, at mængden af binde- middel i en mørtel aldrig er større end nødvendigt. Er den aldrig det, kan tilslagsmaterialets korn pakkes så tæt sammen, at mellemrum- mene imellem dem bliver meget små, samtidig med at det lag af bindemiddel-lim, der skal ligge som en hinde udenom hvert korn, bliver meget tyndt.

Der er her et modsætningsforhold mellem, hvad man ønsker sig af den friske og den hærdnede mørtel, og mange skader i praksis kom- mer netop af, at der er brugt for meget bindemiddel i en mørtel. I mange lande — og måske især i de nordiske — arbejdes der derfor på at udvikle magrere mørteltyper. Den høje grad af smidighed,

som den friske mørtel skal have, må så fremskaffes på anden måde, f.eks. gennem intensivere blanding, gennem forbedring af kornstør- relsesforholdene hos tilslagsmaterialet, eller ved hjælp af tilsæt- ningsstoffer. De sidste bringes på markedet i stigende tal og til- sigter en forbedring også af andre egenskaber end smidighed; de tilsættes kun i meget små mængder, men de kan alligevel have en betydelig indvirkning på mørtlens egenskaber.

Som før nævnt er tallet på anvendelige bindemiddeltyper vokset væsentlig i de senere år, men trods dette er bindemidlerne på basis af kalk, Portland-Cement og gips stadig de mest anvendte. Til karakterisering af, hvilke bindemidler der anvendes i mørtlerne, er nogle enkle forkortelser ved at blive indarbejdet i praksis, og her i bogen er de efterfølgende forkortelser anvendt konsekvent.

| K- mørtel, når bindemidlet er luftkalk | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|------------------------------|
| K _p - | > | , | > | > | > | hydraulisk kalk |
| C- | > | , | > | > | > | Portland-Cement |
| KC- | > | , | > | > | > | luftkalk og Portland-Cement |
| M- | > | , | > | > | > | murcement |
| MC- | > | , | > | > | > | murcement og Portland-Cement |
| G- | > | , | > | > | > | gips |
| GK- | > | , | > | > | > | gips og luftkalk |

4.1. Bindemidler

Kalk

Betegnelsen kalk omfatter i daglig tale en række produkter, der leveres i forskellig form og kan have forskellig kemisk sammensæt- ning, men alle er fremstillet af kalksten som udgangsmateriale. Denne råkalk består i hovedsagen af calciumkarbonat — CaCO_3 — der ved stærk opvarmning afgiver kuldioxid — CO_2 — og omdannes til calciumoxid — CaO — som i daglig tale kaldes brændt kalk eller ulæsket kalk. Sættes der vand til den brændte kalk, læskes den, idet calciumoxid omdannes til calciumhydroxid — Ca(OH)_2 — hvilket sker under kraftig varmeudvikling.

Bindemidlet kalk er på markedet under følgende betegnelser.

Stykkalk er brændt kalk i form af kalkstykker. Den brændes af

råkkalk i skaktovne eller rotérovne, hvor kuldioxidet uddrives. Stykkalk vejer 600—800 kg/m³ alt efter råkkalkens art og stykkernes størrelse, og den indeholder i reglen mellem 85 og 95 % kalciumoxid. Den forhandles i løs vægt.

Pulverkalk er finmalet brændt kalk. Den forhandles i sække.

Vådlæsket kalk eller *kulekalk* er kalciumhydroxid i dejform fremkommet ved læskning af brændt kalk med overskud af vand. I reglen fremstilles den af stykkalk, som ved læskningen omdannes til en slam, der ledes over i åbne siloer eller i huller i jorden — kuler — hvor en del af overskudsvandet udskilles eller siver bort samtidigt med, at der sker en bundfældning og en efterlæskning. Kalkslammen ændres derved til en ret stiv pasta, som kaldes kulekalk eller hvidtekalk.

Fremstillingen sker i reglen på et mørtelværk, men kan også foregå på byggepladsen, hvor der da i mange tilfælde bruges pulverkalk, fordi læskningen så tager kortere tid.

Den vådlæskede kalks rumvægt varierer naturligvis med vandindholdet, som altid er stort; den ligger oftest på omkring 1300 kg/m³. 100 kg stykkalk eller pulverkalk regnes at give omtrent ¼ m³ vådlæsket kalk eller ca. 120 kg kalciumhydroxid.

Karbidkalk er en speciel form for vådlæsket kalk fremkommet som biprodukt på acetylenfabrikkerne, hvor kalciumkarbid — CaC₂ — behandles med vand. Karbidkalk anvendes alene eller sammen med almindelig vådlæsket kalk, især til fabriksfremstillet K-mørtel.

Tørlæsket kalk eller *hydratkalk* er kalciumhydroxid i pulverform fremkommet ved læskning af brændt kalk med en vandmængde, som kun er lidt større end den, der bindes ved den kemiske proces. I reglen fremstilles tørlæsket kalk af stykkalk, og den falder under læskningen hen til et tørt, finkornet pulver, som vindsigtes og senere fyldes i sække.

Den tørlæskede kalk vejer ca. 600 kg/m³ og kan indeholde indtil 98 % kalciumhydroxid. Forud for visse anvendelser sættes tørlæsket kalk under vand i mindst 1 døgn, det kaldes i daglig tale at sætte kalken i støv.

De hidtil omtalte former for kalk betegnes under ét som *luftkalk*, fordi deres hærkning kræver tilgang af luft. Ved hærkningsproces-

sen — som ofte kaldes en karbonatisering — reagerer kalciumhydroxid med luftens kuldioxid under dannelse af kalciumkarbonat, der jo også var udgangsprodukt ved kalkbrændingen.

Hydraulisk kalk har en mere eller mindre afvigende karakter. Den fremstilles ved brænding af kalksten, der er lerholdig, hvilket medfører, at mørtler af sådan kalk til en vis grad kan hærde uden tilgang af luft, blot der er fugt til stede. For at denne egenskab ikke skal forsvinde, må den brændte, hydrauliske kalk kun tørlæskes. Den tørlæskede kalk leveres i sække og vejer ca. 700 kg/m³. Da kalkens egenskaber afhænger stærkt af mængden af hydrauliske bestanddele og kan variere stærkt, bør fabrikatet altid opgives.

I al brændt kalk og karbidkalk kan der forekomme såkaldte dødbrændte korn, som er vanskelige at læske. Sådanne korn kan føre til skader, når mørtlen er på plads i bygningen (kalkspringere, fig. 4.01), og skal skaderne undgås, må kornene altså enten sigtes fra, eller læskningen gennemføres så omhyggeligt og på så lang tid, at kornene læskes, før kalken anvendes. I vådlæsket kalk vil kornene i reglen bundfældes, således at de kan fjernes som bundfald; fra tørlæsket kalk er de i reglen fjernet ved vindsigtning.

Hvert land har sine bestemmelser vedrørende kalkens kvalitet; det gælder i reglen også de kalksorter, som indeholder tilsætningsstoffer af en eller anden art, f.eks. poredannende midler.

Cement

Cement er et helt hydraulisk bindemiddel, det kan hærde under vand. Der findes en række forskellige cementtyper; langt den vigtigste er Portland-Cement.

Portland-Cement fremstilles ved at brænde en finmalet blanding

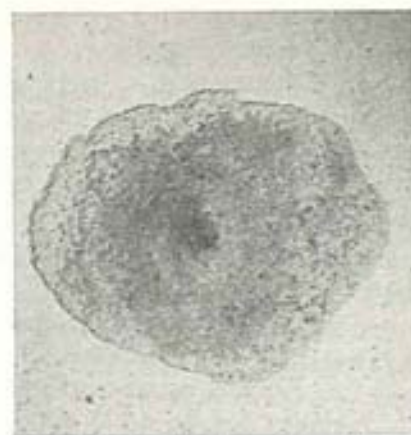


Fig. 4.01. Kraterformet fordybning over «kalkspringer» i et pudslag.

af kalksten (kridt) og ler i rotérovn ved ca. 1500°C. Derved dannes de såkaldte cementklinker, som består af en række kemiske forbindelser, hovedsagelig kalciumsilikater, kalciumaluminater og jernforbindelser, der under ét betegnes cementminerale. Klinkerne males til et fint pulver i kuglemøller, hvor der indmales nogle få procent rågips til regulering af den hastighed, hvormed cementen størkner.

Ved at variere den kemiske sammensætning og finmalingen kan man få

- Langsomt hærdnende Portland-Cement
- Normalt hærdnende Portland-Cement
- Hurtigt hærdnende Portland-Cement.

Langsomt hærdnende cement har som regel et lavere indhold af aluminater og kalk end hurtigt hærdnende. Med samme kemiske sammensætning giver voksende finmaling hurtigere hærdning.

Hvid Portland-Cement er i reglen hurtigt hærdnende; den hvide farve opnås ved brug af jernfattige råstoffer.

Slaggecement fremstilles af højovns slagge, kalk og — i reglen små mængder — portlandcementklinker. I Skandinavien er det kun Sverige, som fremstiller slaggecement, og slaggemængden er dér højst 60 % af cementvægten.

Aluminatcement (Al-cement) er en meget hurtigt hærdnende cement, som fremstilles af kalk og bauxit, der har et meget højt aluminiumindhold. Brændingen sker ved så høj temperatur, at massen smelter, og den kemiske sammensætning er en anden end Portland-Cements. Aluminatcement kan komme ud for uheldige kemiske reaktioner, hvis hærdningen foregår ved høje temperaturer, og det samme kan ske, hvis cementen blandes med andre bindemidler, herunder almindelig Portland-Cement.

Almindelig Portland-Cement er uden sammenligning den cement-sort, som bruges mest til mørtelfremstilling. Langsomt hærdnende cement, der samtidig er langsomt størknende, har været brugt på mørtelværker, der fremstiller KC-mørtler. Hurtigt hærdnende cement kan bruges ved vintermuring og i andre tilfælde, hvor en hurtig hærdning har betydning. Hvid cement kommer kun til anvendelse, hvor en lys farve har betydning, og den er meget brugt på fabrikker for tørtmørtler. Slaggecement anvendes i Sverige på sam-

me måde som almindelig Portland-Cement; den er imidlertid ømfindtlig overfor lave temperaturer og er derfor mindre egnet til vinterarbejder. Aluminatcement bruges i de nordiske lande kun til helt specielle arbejder.

Cement, som skal anvendes til mørtelfremstilling, skal tilfredsstille de gældende normer og leveringsbetingelser.

Cementens hærdning skyldes kemiske reaktioner med vand, idet cementminerale omdannes til såkaldte hydrater, der binder kornene i mørtlens tilslagsmateriale sammen til en stenagtig masse. Det, som sker i de første timer af denne proces, kaldes størkning, og det, der derefter sker, kaldes hærdning. Størkningens begyndelse kontrolleres på normeret måde og indtræder tidligst ca. 1½ time efter vandtilsætningen. Under hærdningen binder aluminaterne vand, og de forbindelser, som indeholder både aluminium og jern, binder såvel vand som kalciumhydroxid. Den overvejende bestanddel af Portland-Cement er dog kalciumsilikaterne, og de reagerer med vandet under dannelse af dikalciumsilikathydrat og kalciumhydroxid. Den dannede kalciumhydroxid vil karbonatiseres mere eller mindre fuldstændigt. Dikalciumsilikathydratet er et stof med samme sammensætning som mineralet tobermorit, der findes i naturen, hvilket skulle bevise, at hærdnet Portland-Cement er et meget modstandsdygtigt materiale. De forbindelser, som dannes ved aluminatcements hærdning, findes ikke i naturen og er heller ikke så modstandsdygtige.

Cement leveres i sække à 50 kg eller i løs vægt og vejer 1200—1300 kg/m³.

Murcement

Murcement — i Danmark Murcem — fremstilles af portlandcementklinker ved sammenmaling med kalksten, dolomit eller kvarts. Ligesom ved fremstillingen af Portland-Cement sættes der rågips til under formalingen. Murcement indeholder desuden et poredannende middel, der bibringer mørtlen et højt luftindhold og øger dens evne til at stå i baljen uden at sætte vand op. I mange tilfælde bruges der også andre tilsætningsstoffer, som skal give mørtlen specielle egenskaber.

Murcement males finere end almindelig Portland-Cement; dens

gramoverflade, d.v.s. det samlede overfladeareal på kornene i 1 g, ligger mellem 6000 og 8000 cm²/g. For almindelig Portland-Cement ligger tallet mellem 3000 og 5000.

Ved murcements hærkning reagerer cementminerallerne med vand på samme måde som ved almindelig Portland-Cements.

I de normer, der indtil nu er udarbejdet for murcement i Norden, kræves det, at den skal indeholde mindst 40 % Portland-Cement; der er endvidere fastsat en øvre grænse for luftindholdet i normerede M-mørtler.

Murcement leveres normalt i sække à 50 kg, men kan også fås i løs vægt; den regnes at veje ca. 1050 kg/m³.

Færdigblandede bindemidler

Der fremstilles og sælges i stigende omfang færdigblandede bindemidler, d.v.s. bindemiddelpulvere, der på fabrik er blandet i bestemte blandingsforhold. De forekommer især på det svenske marked, og hensigten er at slippe for en arbejdsoperation på byggepladsen. Der er i dag tre grupper af færdigblandede bindemidler:

Blandinger af luftkalk og Portland-Cement

Blandinger af hydraulisk kalk og Portland-Cement

Blandinger af murcement og Portland-Cement.

Bindemidlerne leveres i sække med påtrykt blandingsforhold, og de anvendes sammen med faste sandmængder og vand til standardmørtler eller til erstatning for standardmørtler. De færdigblandede bindemidler må derfor prøves efter de samme regler eller forskrifter, som gælder for rene bindemidler eller for mørtler.

De færdigblandede bindemidler indeholder næsten altid et eller flere tilsætningsstoffer, således i reglen et poredannende middel.

Gips

Gips fremstilles ved forsigtig brænding af gipssten (CaSO₄·2H₂O). Ved brændingen uddrives ¾ af krystalvandet, og tilbage bliver det såkaldte halvhydrat (CaSO₄·½H₂O). Halvhydratet sælges under handelsnavnet *stukkips* (modelgips), og det er den gipssort, der oftest bruges til G-mørtel.

Så snart gips kommer i berøring med vand, indledes en hurtig kemisk reaktion, som fører halvhydratet tilbage til udgangsmateria-

let dihydrat og gør massen stenagtig. Størkningen indledes efter få minutters forløb, og det er derfor vanskeligt at arbejde med ren gips. Ved pudsearbejder må der tilsættes stoffer, som forhæler størkningen, såkaldte retardere. Retardere kan sættes til på byggepladsen, men det kræver omhu og nøjagtighed. Mest brugt er benlim i form af limvand 1 : 20, kasein og borsyre. Det almindeligste er dog at købe gips med iblandet retarder; sådan gips sælges under en række forskellige handelsnavne, og brugstiden ligger gerne mellem ½ og 1 time.

Ved kraftigere brænding af gipssten kan krystalvandet helt udrides, og tilbage bliver det såkaldte anhydrit eller estrichgips (CaSO₄), som også reagerer med vand under dannelse af dihydrat, men her foregår processen tilpas langsomt, og det er derfor unødvendigt at bruge retardere. Der findes yderligere en række gipstyper i handelen, men de finder ikke almindelig anvendelse.

Gipssten forekommer ikke inden for de nordiske landes områder, hvilket formentlig er en af grundene til, at G-mørtler ikke tilnærmelsesvis har den samme udbredelse her som i det øvrige Europa.

Opbevaring af bindemidler.

På grund af bindemidlernes evne til at reagere blandt andet med fugt må der stilles strenge krav til deres opbevaring under transport og lagring.

Vådlæsket kalk og tørlæsket kalk, der er sat i støv, kommer i en særstilling. Så længe kalken holdes dækket af et vandlag, kan den opbevares i praktisk taget ubegrænset tid.

Alle de andre bindemidler skal derimod beskyttes ikke alene mod vand, men også mod fugtig luft, fordi de alle er hygroskopiske, således at den tid, hvori de kan tåle berøring med fugtig luft, er begrænset. Vandtætte sække kan sinke, men ikke hindre vandoptagelsen. Langt virkningsfuldere er det at lagre bindemidlerne i siloer eller andre beholdere, som holdes tæt tillukkede. Viser der sig at være klumper i bindemidlet, kan det være tegn på, at det har optaget fugt, og man skal derfor være betænkelig ved at bruge det.

Ulæsket kalk er særlig ømfindtlig overfor fugtighed, og hvad enten den foreligger som stykkalk eller pulverkalk, må den helst ikke

lagres mere end 3 døgn, hvis luften er varm og fugtig, og ikke mere end én uge, hvis luften er kold og tør. Ved lagring i silo kan lagringstiden imidlertid bringes op til et par måneder. Lagres ulæsket kalk sådan, at den kan komme i berøring med vand, kan læskningsvarmen bringe temperaturen så højt op, at der kan blive tale om brandfare.

4.2. Tilslagsmaterialer

Natursand

Sandet er fremkommet ved bjergarters forvitring og nedknusning gennem tusindvis af år, og kornene har i tidens løb fået slidt de skarpe kanter af og er blevet mere eller mindre runde ved skuring under istidens gletschere og ved transporten i vandløbene. Forskellig hårdhed i de bjergarter, sandet stammer fra, har spillet en rolle for sliddet, og dermed for, hvor finkornet sandet er blevet. De blødeste bjergarter har leveret en væsentlig del af de meget fine korn, som findes i lerforekomsterne.

Det materiale, som isen førte med sig, blev efterladt som moræne og indeholder korn af alle størrelser. Det materiale, som smeltevandsfloderne skyllede frem, omfattede ikke nær så store kornstørrelsesforskelle, og den del, der var sand, er ofte for enskornet til at være velegnet som mørtelsand. De fleste af disse istidsaflejringer er i tidens løb blevet dækket af andre jordarter, hvorfra salte og organiske forureninger er ført ned i sandlagene med nedsivende vand.

De forskellige bjergarter har givet sand med forskellig styrke og overfladekarakter. Nogle sandsorter har en meget glat og ligesom fedtet overflade, som giver meget dårlig vedhængning for bindemidlet. Glimmerholdigt sand kan have stor tendens til forvitring. Sand af skifer og sandsten har tit en ringe styrke og er derfor ikke så godt til mørtelfremstilling som sand af granit, gneis, kvarts og kalksten. Stort set har kornene i de skandinaviske sandsorter dog en tilfredsstillende styrke og holdbarhed. Når det gælder kornstørrelsesforholdene, er situationen derimod langt fra så gunstig.

Det er allerede omtalt, at mængden af bindemiddel-lim i en mørtel gerne skal være lille, selv om den skal være stor nok til at udfylde

mellemrummene mellem kornene og danne et glidelag på deres overflade. En forøgelse af limmængden kan naturligvis ske ved, at man sætter mere til af såvel bindemiddel som vand, d.v.s. gør mørtlen federe. Derved vil man øge mørtlens svindtendens og dermed risikoen for revner. Som regel arbejder man dog med et bestemt blandingsforhold mellem bindemiddel og sand, og i så fald kan man kun øge mængden af bindemiddel-lim ved at sætte mere vand til. En sådan forøgelse af vandmængden vil i flere henseender nedsætte mørtlens kvalitet; svindet vil vokse, og styrken vil aftage, og mørtlens tæthed vil blive mindre.

Et godt sand skal altså have så lille en mellemrumsprocent som muligt; det skal være sådan, at de største korn ligger tæt sammen, og at der i rummene imellem dem ligger mindre korn, og i rummene mellem disse endnu mindre korn og således videre ned til de allerfineste korn, som det er antydnet i fig. 4.02. Her er lejringen dog idealiseret; så tæt en lejring kan ikke opnås i praksis, fordi der altid vil være nogle fine korn, som kommer i klemme mellem grovere og presser dem fra hinanden. Et andet krav til et godt sand er, at kornenes samlede overflade er mindst mulig, fordi den mængde bindemiddel-lim, som medgår til at danne glidelag, derved bliver mindre.

Korn med mindre tværmål end 0,075 mm kaldes *filler*. Det er disse korn, der sammen med bindemiddel-lim fylder de mindste mellemrum i den egentlige mørtel, og både teori og praksis har godtgjort, at det er gunstigt med et vist — omend lille — fillerindhold, fordi mængden af bindemiddel kan nedsættes lidt. Man skal dog være forsigtig på dette punkt. Bliver fillermængden for stor, vil afstanden mellem sandskornene vokse, og dermed vil mellemrumsprocenten vokse og besparelsen ophæves. Fillerkornene har desuden en stor overflade pr. vægtenhed, især når kornene er lerbare, og de øger derfor vandbehovet.

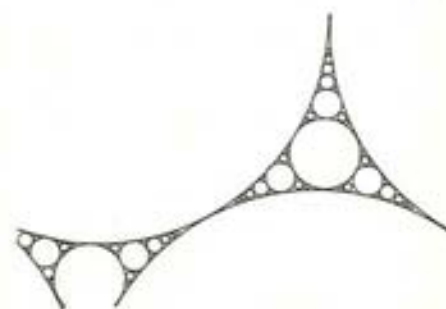


Fig. 4.02. Ideal lejring af kornene i velgraderet sand af kugler.

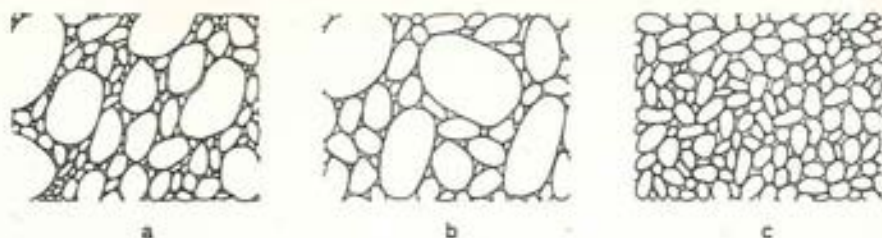


Fig. 4.03. Schematisk fremstilling af kornstørrelserne i sand, som er a: velgraderet, b: fillerfattigt, c: enskornet.

Kornenes form spiller også en rolle; runde og glatte korn er bedst, de passer godt i mellemrummene og bevæger sig forholdsvis let i forhold til hinanden. Skarpkantede korn er også velegnede, når de er nogenlunde terningformede, men de glider ikke så let indbyrdes som afrundede korn. Lange, flade korn er ugunstige til mørtelsand, fordi de let danner store, uregelmæssige hulrum.

Det er således en gængs regel, at et godt mørtelsand skal have en bestemt, nogenlunde jævn fordeling af alle kornstørrelser fra de største til de mindste, og at kornene skal have en gunstig form. Man kan dog fremstille gode sandsorter, som helt mangler visse kornstørrelser — sand med partikelspring — men sådan et sand forekommer så godt som aldrig i naturen. Derimod er det omvendte desværre ofte tilfældet, at der forekommer sandsorter, som har et stort overskud af enkelte kornstørrelser, især korn med størrelser mellem 0,1 og 0,5 mm. En for stor mængde korn af en bestemt størrelse virker på samme måde som en for stor fillermængde og medfører behov for mere bindemiddel og vand. De fleste sandsorter, der leveres til mure- eller pudsmørtel i Norden, er af denne uheldige type. På fig. 4.03 er der vist skematiske «snitbilleder» i en velegnet sandsort, i et sand, som mangler filler og fine korn, og i et typisk «enskornet» sand.

Desto større de groveste korn i en sandsort er, jo mindre bliver mængden af hulrum. Dette er demonstreret i fig. 4.04, hvor sandet i måleglassene A til E kun adskiller sig indbyrdes ved, at flere og flere af de grove korn er sigtet fra; men glassene indeholder alle den samme vægtmængde sand. Dette får de afvejede sandmængder til at fylde mere og mere, og det kan jo kun betyde, at hulrummet

mellem kornene bliver større og større. Både af denne grund, og fordi den samlede kornoverflade pr. g sand vokser, når den maksimale kornstørrelse aftager, er det altså fordelagtigt at bruge så groft sand som muligt. Men naturligvis er der en grænse for, hvor store kornene må være, og man regner denne at ligge ved 4—5 mm for almindelig mure- og pudsmørtel. I visse tilfælde — f.eks. til pudslag med mindre tykkelse end normalt — kan det dog være nødvendigt at gå længere ned. I de fleste tilfælde vil det passe, at de groveste korn skal være så store som muligt for arbejdets udførelse, hvilket betyder, at deres tværmål højst må være $\frac{1}{3}$ til $\frac{1}{2}$ af fuge- eller pudstykkelsen og aldrig over 5 mm. Specialpuds, som skal give en særlig nopret overflade og derfor indeholder særlig grove korn, er et enkelt eksempel på en undtagelse fra reglen.

Sandets kornstørrelsesforhold bedømmes ved sigtning. Hertil anvendes trådsigter med kvadratiske masker og indsat i rammer, der passer til hinanden som bund og låg, således at de kan stables flere sammen og bruges uden risiko for materialespild i tilfælde, hvor man vil sigte med mere end én sigte ad gangen. Den groveste sigte anbringes da øverst; under den fineste anbringes en bund. En afvejet og tør gennemsnitsprøve af sandet hældes ud på den øverste sigte, og hele sigtesættet udsættes derefter for sådanne bevægelser — enten maskinelt eller ved håndkraft — at sandet rutscher frem og tilbage over sigtedugene. Når prøven er rensigtet, vejes de sandmængder, der er tilbageholdt på de enkelte sigter, og vægtene indføres i et skema som på næste side.

I første kolonne indføres sigternes maskevidde, og det letter brugen af skemaet at tænke sig, at de vandrette linier igennem tallene for maskevidde repræsenterer selve sigtedugen. Et sigtesæt

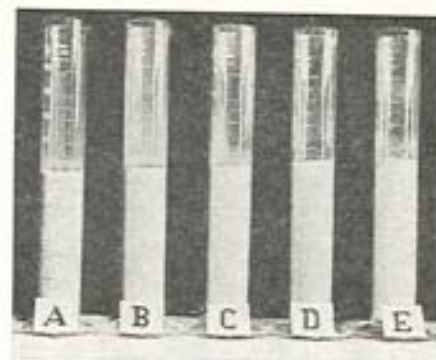


Fig. 4.04. Hulrummets rumfang vokser, når sandets maksimale kornstørrelse d_{max} aftager. Vægtmængden af sand i glassene er ens, men d_{max} er 8, 4, 2, 1, $\frac{1}{2}$ mm i A—E.

| Maskevidde mm | Sigterest | | Gennemfald | |
|------------------|-----------|---------|------------|-----|
| | g | % | g | % |
| | 0 | 0 | | |
| 4,0 | | | 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 | | |

som skemaets er det mest brugte i Norden, men der findes også andre sigtesæt. I næste kolonne indføres vejeresultaterne; da tallene gælder de sandmængder, som ligger på hver sigte, skrives de lige over den streg, som repræsenterer den pågældende sigtedug. Når tallene er lagt sammen, udregnes mængderne i vægtprocent; de skrives på stregerne i 3' kolonne, og deres sum skal blive 100. Derefter er mængden af sand under hver sigte regnet ud og indført i 4' og 5' kolonne; de skrives lige under stregerne. I fig. 4.05 er sigteresultaterne vist i kurveform, hvilket letter bedømmelsen af kornstørrelsesfordelingen; en sådan kurve kaldes en sigtekurve.

Der er i tidens løb foretaget en mængde undersøgelser for at finde frem til den gunstigste kornstørrelsesfordeling for mørtelsand, og undersøgelserne har ført til fastlæggelse af grænsekurver, mellem hvilke sigtekurven for mørtelsandet skal ligge. Disse grænsekurver er ikke sammenfaldende fra undersøgelse til undersøgelse; i fig. 4.06 er de grænsekurver, som gælder i Norge, Finland og Sverige, indtegnet, og forskellene mellem dem er kun

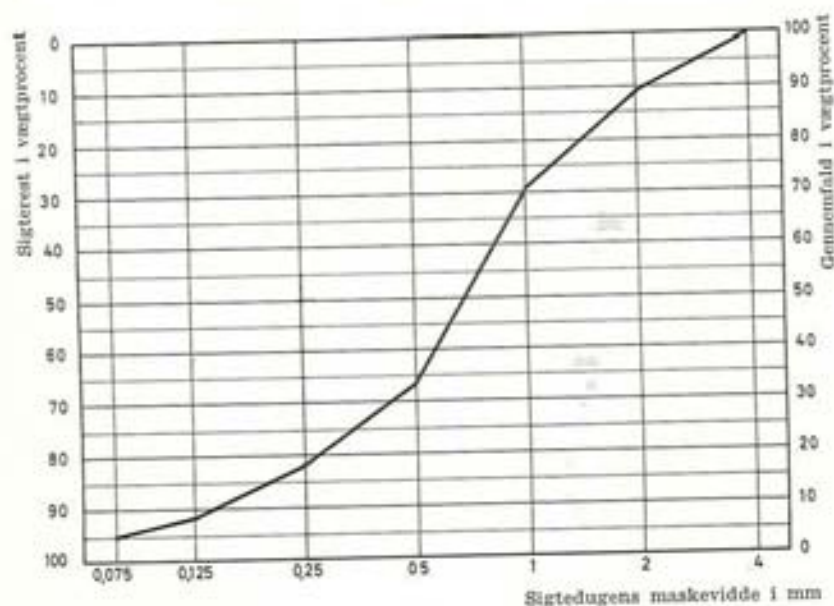


Fig. 4.05. Et mørtelsands sigtekurve.

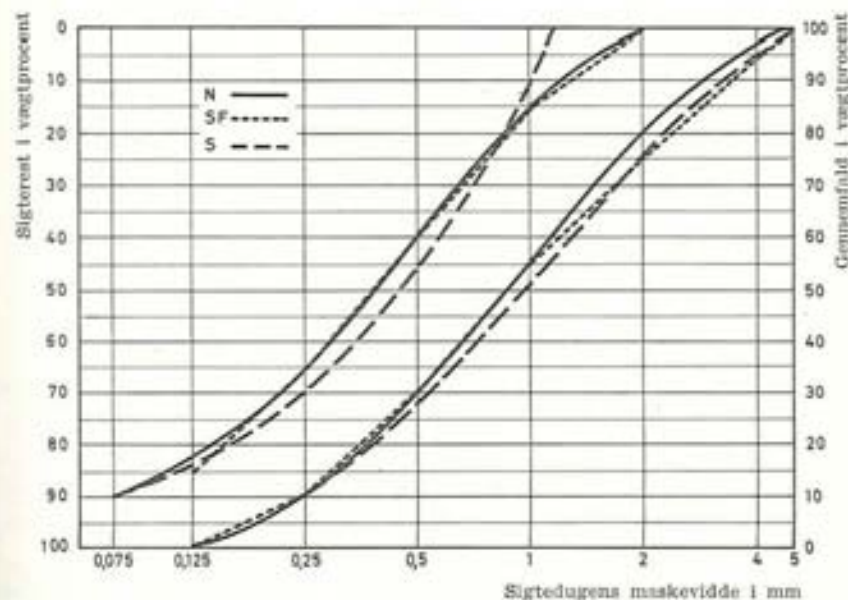


Fig. 4.06. Nordiske grænsekurver for mørtelsand.

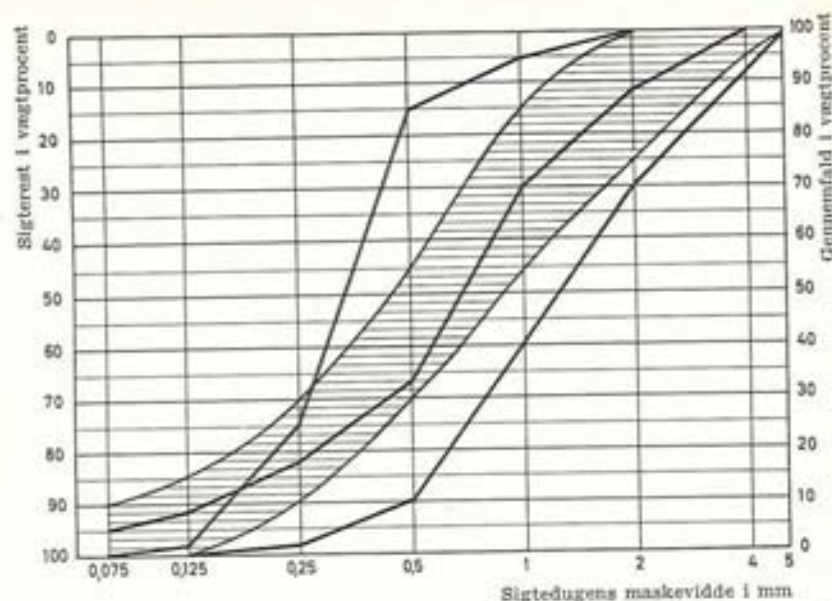


Fig. 4.07. Sigtetekurver for tre sandsorter og deres forløb i forhold til området mellem de nordiske grænsekurver (fig. 4.06). Den øverste sigtekurve gælder et fin- og enskornet sand, den nederste et groft.

små. I Danmark er der ikke opstillet officielle regler af denne art, men det anbefales at holde størrelsen af sandets fineste og groveste fraktion inden for bestemte grænser, som ligger helt på linie med de øvrige nordiske landes krav. I fig. 4.07 er «middelkurverne» for de nordiske grænsekurver indtegnet og området mellem dem skraveret. I det skraverede område er sigtekurven for et velegnet mørtelsand indtegnet, og til højre og til venstre derfor ligger kurven for henholdsvis et groft og et fint, enskornet mørtelsand.

Den betydning, som sigtekurvens beliggenhed har for mørtlens egenskaber, er eftervist i flere lande. Forbedringerne gælder ikke alene mørtlens tekniske egenskaber såsom styrke og tæthed, men også de egenskaber, der gælder brugsprocesserne, og det må anses for sikkert, at det vil lønne sig at fremskaffe de rigtige sandsorter, selv om mørtlen bliver dyrere deraf.

Det bliver ofte påstået, at sand med den ønskede sigtekurve ikke kan fremskaffes. I enkelte tilfælde er dette rigtigt, men temmelig

ofte er påstanden uholdbar. Ofte viser det sig, at der findes forekomster af velegnet betonsand, der ved frasisgning af de groveste korn kan give udmærket mørtelsand. Andre sandsorter kan gøres velegnede ved tilsætning af filler i relativt små mængder. Der er også eksempler på, at to uegnede sandsorter kan blandes således, at sigtekurven for blandingen får et tilfredsstillende forløb. Foreligger der ikke sådanne muligheder, må man enten finde sig i at hente sand langvejs fra eller sigte lettere tilgængeligt sand og fjerne en del af de korn, der er for mange af. Er det ler eller filler, det drejer sig om, kan det måske lettere gøres ved vaskning, men så forsvinder alle de fine korn, og en del deraf må så tilsættes igen.

En korrektion efter et fast skema for en bestemt forekomst kan sjældent gennemføres; kornstørrelsesforholdene er i reglen ikke konstante i en naturlig sandaflejring, og de må derfor kontrolleres jævnlige.

Udover at sandets sigtekurve tilfredsstillende bestemte krav, må sandet også være rent. Der må arbejdes planmæssigt i en grusgrav, så nedskridning af muldjord og indblanding af planterester undgås. I modsat fald kan sandet komme til at indeholde humusagtige stoffer, der er farlige, fordi de kan forsinke eller hindre cements hærkning. Humusagtige stoffer kan også være tilført med regnvand, som er sivet igennem humusholdige lag oven på sandet.

Sandets renhed kan kontrolleres med natronlud. Man anskaffer et måleglas eller finder en flaske af gennemsigtigt og farveløst glas, fylder den knapt halvt med en prøve af sandet og hælder 3 %ig natronlud på til godt $\frac{2}{3}$ af højden. Så omrystes indholdet grundigt og lades derpå i ro i 24 timer. Dersom væsken over sandet derefter er farveløs eller kun svagt gul, kan sandet bruges uden betænkeligheder med hensyn til humus. Er farven mørkere, er der rimeligvis en del humus i sandet, og sådant sand bør ikke bruges uden nærmere undersøgelse i et laboratorium. Der findes farveskalaer til bedømmelse af farvningsgraden.

Den samme prøve kan tjene til orientering om mængden af helt fine partikler. De vil holde sig svævende en tid efter, at de grovere partikler er bundfældet, og vil derfor aflejres som et skarpt afgrænset slamlag oven på det øvrige sandlag. Disse fine partikler er i

reglen mindre end 0,005 mm — i hovedsagen ler — og de kan have en uheldig virkning ved at klæbe til overfladen af de grovere korn og nedsætte bindemiddel-limens vedhængning. Slamlagets tykkelse kan måles med en målestok holdt mod glasset; som regel er slammet uskadeligt, dersom tykkelsen er mindre end 10 % af hele højden.

Sand fra naturlige forekomster er altid vådt, og det spiller en stor rolle, når en mørtel skal sammensættes med det rigtige forhold mellem bindemiddel og sand. Blandes der efter vægt, må sandets vandindhold bestemmes med jævne mellemrum og sandmængden korrigeres derefter. Blandes der efter rumfang, bliver korrektionerne større, fordi sandkornene lejr sig med en tæthed, der varierer stærkt med vandindholdet. Vandet lægger sig nemlig som en hinde uden om hvert sandkorn og får dem til at klæbe mere eller mindre sammen alt efter hindens tykkelse, og ved denne klæbning hæmmes kornenes indbyrdes bevægelsesmuligheder. Derfor fylder fugtigt sand mere end tørt, især når det er et sand med

mange fine korn. Et sand med 5 % vand kan ofte fylde 20—25 % mere end samme sand i tør tilstand, og der findes eksempler på, at rumfanget kan vokse med omkring 40 %. Disse store ændringer er hovedårsagen til, at blanding efter rumfang altid er en upålidelig og utilfredsstillende blandemetode. Virkningen af et fugtindhold på 5 % er vist på fig. 4.08, hvor der er nøjagtigt 1 kg sand i begge glas, men i glasset til højre er sandet tørt, og i glasset til venstre indeholder det 50 g vand.

Vandindholdet i sand bestemmes ved tørring og vejning. Tørringen kan ske i et elektrisk varmeskab ved 105—110°C, ved opvarmning på en stegepande over elektrisk kogeplade, gas eller primus eller ved at hælde kogesprit på sandet og brænde spritten bort. Ved «stegningen» må der passes på, at sandet ikke bliver for varmt, og ved alle metoderne må der være sikkerhed for, at alt vandet forsvinder. Da vægt-



Fig. 4.08. Fugtigt sand fylder mere end tørt. Tørvægten af sandet i de 2 glas er ens, men sandet til venstre indeholdt 5 vægtprocent vand ved ifyllningen.

tabet anvendes som et mål for vandindholdet, må der ikke spildes noget af sandet mellem vejningerne før og efter tørringen; vandindholdet opgives altid i procent af tørvægten. Den tørre sandprøve kan bagefter anvendes til bestemmelse af sigtekurven; sandet skal jo være tørt ved sigtningen.

Skærvesand

I stedet for natursand kan man bruge knust natursten som tilslagsmateriale, men knusningen er dyr, og skærvesand bruges derfor kun til særlige mørtler, først og fremmest i tørtmørtler til terazzo og ædelpuds samt andre specialprodukter. Med det knuste, tørre sand slipper man for sådanne problemer som humusholdighed, slamindhold og rumfangsvariationer som følge af varierende vandindhold, men kravene vedrørende kornform og kornstørrelsesforhold gælder lige så fuldt her som for natursand, og det er derfor vigtigt, ikke blot at bjergarten er stærk og modstandsdygtig og let lader sig knuse, men også at der vælges den knusemetode, som giver den gunstigste kornform og den bedst mulige kornstørrelsesfordeling. Kornformen bør nærme sig terningens så vidt muligt, og hvad kornstørrelserne angår, må der altid regnes med, at en adskillelse ved sigtning og ny sammensætning er nødvendig. Selve sigtningen er dog lettere gennemført end med natursand, fordi skærvesandet er tørt. Valget af bjergart er ikke alene bestemt af styrke- og holdbarhedshensyn, men f.eks. også af farve og glans, idet man ofte vælger at bruge skærvesand netop for at skaffe mørteloverflader med en speciel æstetisk virkning.

Mørtler til f.eks. tyndpuds byder på særlige problemer med hensyn til sigtekurven, fordi den maksimale kornstørrelse skal være så lille. Dersom svindtendensen hos sådanne mørtler skal holdes tilstrækkeligt lavt, må kornstørrelsesforholdene reguleres ned til langt mindre kornstørrelser end for almindeligt mørtelsand, og dette arbejde må normalt udføres på fabrik efter særlige metoder.

Stenmel er knust stenmateriale med særlig små korn. Det finder anvendelse til forbedring af fillerfattigt sand og til enkelte mørteltyper. Der regnes ikke med sigtekurven for sådant sand; der kræ-

ves blot, at en vis — og væsentlig — mængde af kornene skal ligge i fillerområdet, altså være mindre end 0,075 mm. Desuden skal det stamme fra bjergarter med god styrke og holdbarhed.

Andre tilslagsmaterialer

Til visse mørtler, som fremstilles med helt specielle egenskaber for øje, bruges der tilslagsmaterialer, der ikke er natursand eller skærvesand. Det kan f.eks. gælde mørtler, som skal yde høj varmeisolation eller være anvendelige til akustisk regulering eller have stor modstandsevne mod kemiske påvirkninger, høje temperaturer eller ild.

Mange af de anvendte tilslagsmaterialer er fabriksfremstillede produkter, som leveres med detaljeret brugsanvisning. De skal ofte anvendes sammen med ganske bestemte bindemidler og er da i reglen på markedet som tørtmørtler. De herhen hørende materialer må betegnes som specialprodukter og skal ikke omtales nærmere; det skal dog understreges, at de vejledninger, der følger med disse tørtmørtler, altid bør respekteres.

Som eksempel på sand, der hører til i gruppen «Andre tilslagsmaterialer» kan nævnes *vermiculit* og *perlit*, der består af meget lette korn og bruges til varmeisolerende og brandbeskyttende mørtel. De fremstilles ved opvarmning af mineraler, som udvider sig stærkt ved en bestemt temperatur, men råstofferne dertil findes ikke i Europa, og mørtelprisen kan derfor kun undtagelsesvis betales. Knust *porebeton* og *opblærede teglklinter* er billigere til varmeisolerende mørtel, men denne fordel ophæves i nogle tilfælde af disse to produkters mindre effekt.

Savsmuld er ligeledes et eksempel på et «sand» under gruppen «Andre tilslagsmaterialer». Tidligere blev savsmuldet meget anvendt, i reglen sammen med almindeligt sand, men det kan ikke uden videre anvendes sammen med cement, fordi det kan indeholde stoffer, som hindrer eller hæmmer dens størkning og hærning. Det skyldes især savsmuldets indhold af kulhydrater og garvesyre og modarbejdes ved forudgående behandlinger med f.eks. kalcium- eller magnesiumklorid, eller ved langvarig iltning i luft. Endvidere er det vigtigt, at savsmuldkornene er helt gennemfugtede

før brugen, og det gør det svært at arbejde nøjagtigt ved mørtelfremstillingen. Ved vekslende vandindhold vil savsmulds-mørtel svinde og svulme ret meget, og det medfører en ret stor risiko for revnedannelse. Kloridbehandlingen medfører måske, at vandindholdet veksler mindre, men den øger risikoen for rustdannelse på steder, hvor mørtlen kommer i berøring med jern.

Korkgranulat, *kiseldgur* eller fiberformede materialer af såvel organisk som uorganisk oprindelse finder også anvendelse som tilslagsmateriale til mørtel, men kun i ringe omfang.

4.3. Vand

Vandet i en mørtel skal løse flere opgaver; det spiller en vigtig rolle for bearbejdelsesegenskaberne, og det er et nødvendigt led i de kemiske og fysiske hærningsprocesser. Endvidere må det antages, at vandets vandring fra den friske mørtel til underlaget spiller en afgørende rolle for skabelsen af vedhængning mellem mørtlen og det materiale, den anbringes på.

Vand til mørtelfremstilling skal være rent. Vigtigt er det naturligvis, at det ikke indeholder stoffer, som kan forstyrre hærningsprocesserne, men det må heller ikke indeholde noget, som kan føre til misfarvning eller på anden måde virke skæmmende. Det gælder også vand, som bruges til læskning af kalk, til fugtning af underlag eller til vanding af mursten eller tilslagsmaterialer.

Cement er mere ømfindelig overfor forureninger i delmaterialerne end kalk. Opløselige salte og organiske stoffer som f.eks. sukker og andre kulhydrater, olie og humus kan modvirke hydratiseringen og forstyrre størkning og hærning. Opløselige salte kan desuden føre til udblomstringer, og havvand eller andet saltholdigt vand bør ikke anvendes til mørtelfremstilling. Jernrigt vand kan danne rustpletter.

Spørgsmålet om egnet mørtelvand volder dog sjældent kvaler i de nordiske lande. Almindeligt ledningsvand kan så godt som altid anvendes, mens afløbsvand, mosevand og vand, som er farvet eller lugter, bør undgås. Er der tvivl, bør vandets egnethed bedømmes på et laboratorium.

4.4. Tilsætningsstoffer

Indenfor betonfabrikationen har tilsætningsstoffer længe været brugt, og i de seneste år er man også begyndt at drage nytte af sådanne stoffer ved mørtelfremstillingen. Ofte er de samme stoffer anvendelige til såvel beton som mørtel, men det gælder ikke i alle tilfælde, og grunden må søges i, at kravene til beton og mørtel kan differere, samt i, at mørtlerne som regel indeholder andre binde-midler end cement.

Tilsætningsstoffer anvendes jo altid med den reelle hensigt at forbedre mørtelkvaliteten, men skal dette opnås, skal stoffet bruges rigtigt, først og fremmest i de rigtige mængder, og da de i reglen er små, bør tilsætningen ske på fabrik under streng kontrol og enten til bindemidlet alene eller til tørtmørtel. En overdosering kan have en ødelæggende virkning, og sker tilsætningen til den friske mørtel enten på mørtelværket eller på byggepladsen, må der altid udvises den største forsigtighed og nøjagtighed.

Selv om tilsætningsstofferne i reglen kun tilsigter en forbedring af en bestemt eller højst nogle få af mørtlens egenskaber, må det ikke glemmes, at mørtlen ændrer karakter, fordi andre egenskaber forandres, måske endda forværres. Går man ind for brugen af et bestemt tilsætningsstof, må man på forhånd have rede på alle dets virkninger.

Følgende grupper af tilsætningsstoffer kan regnes for aktuelle.

1. *Accelererende stoffer* fremskynder styrkning og hærkning og kan derfor være gavnlige i forbindelse med KC- og C-mørtler. Den pålideligste type er kalciumklorid, som bruges en del til beton, der skal udstøbes om vinteren, men man bør være betænkelig ved at anvende det til mørtler, fordi det kan give anledning til skæmmende udslag og til tæring af metaller og rustdannelser på jern. Det er desuden stærkt vandsugende og kan føre til, at en pudssflade står våd og dermed misfarvet i lange perioder. Hvor det er nødvendigt eller ønskeligt med hurtig hærkning af cementholdig mørtel — f.eks. ved vinterarbejder — må det foretrækkes at anvende hurtighærdende cement.
2. *Retarderende stoffer* forsinker styrkning og hærkning og bruges især i forbindelse med KC- og C-mørtler. Behovet for sådanne

stoffer opstår ved lange transporter af frisk mørtel og ved arbejder, som udføres ved høj temperatur. Der findes en række retarderende stoffer på markedet; de tilsættes på mørtelværk eller byggeplads, og de medfølgende anvisninger om anvendelse og dosering skal følges nøje.

Både accelererende og retarderende stoffer virker ved at reagere kemisk med cementen, og virkningen er derfor afhængig af cementens sammensætning. Skal man opnå den samme virkning med forskellige cementsorter, må man altså regne med at tilsætte forskellige mængder. Følger der ikke de nødvendige oplysninger herom med stoffet, må de skaffes, om ikke andet så ved orienterende forsøg.

G-mørtel kan retarderes (se side 117) ved tilsætning af f.eks. limvand, kasein eller borsyre.

3. *Poredannende stoffer* eller *luftindblandingsmidler* har til hovedopgave at forbedre den friske mørtels smidighed og vil i de fleste tilfælde også forbedre den hærdnede mørtels modstandsdygtighed mod frost.

Den friske mørtels smidighed bliver — inden for visse grænser — desto bedre, jo mere luft den indeholder, men samtidig aftager styrken ret stærkt. Ved moderate luftindhold vil styrkefaldet dog i nogen grad blive ophævet ved, at den øgede smidighed gør det muligt at nedsætte mængdeforholdet mellem vand og bindemiddel, det såkaldte v/b tal. Et lavere v/b tal medfører en vis forøgelse af styrken, men tendensen er langt fra så udpræget for mørtlerne som for beton.

En moderat forøgelse af mængden af luftporer vil i almindelighed føre til en mere homogen mørtel og en lidt mindre risiko for revnedannelse. Dette skulle betyde en forbedring af mørtlens vandtæthed, men fra et vist luftindhold at regne vil en yderligere forøgelse føre til øget vandgennemtrængelighed.

Ved tilsætning af poredannende stoffer må mængden altså holdes inden for visse grænser, og de er ret snævre. Et totalt luftindhold på ca. 10 % er antagelig det minimum, der skal til for at opnå en mærkbar forbedring af smidighed og modstandsdygtighed mod frost, og luftindhold på over 18—20 % vil medføre en alvorlig nedsættelse af styrke og tæthed. Stilles der

strengt krav om tæthed, bør mørtlens luftindhold næppe overstige ca. 15 %.

Det er ikke let at holde luftindholdet indenfor disse grænser, især ikke når det poredannende stof tilsættes på byggepladsen. Luftindholdet vil nemlig ikke alene variere med den tilsatte mængde, men også med f.eks. sandtype, blandemetode og temperaturen ved blandingen. Derfor er det ikke altid nok at følge brugsanvisningen, og i hvert fald ved store arbejder må det regnes for nødvendigt at føre løbende kontrol med luftindholdets størrelse. Der må aldrig tilsættes poredannende stoffer, dersom et af bindemidlerne — som f.eks. murcement — allerede indeholder sådanne. Nedsættelsen af styrke og tæthed kan blive så stor, at mørtlen må betragtes som ødelagt.

Det hævdes fra flere sider, at brugen af poredannende stoffer fører til nedsat vedhængning mellem mørtel og underlag. Dette spørgsmål er ikke helt klarlagt, men muligheden må tages i betragtning, når man overvejer at bruge et luftindblandingsmiddel.

4. *Plastificerende stoffer* er stoffer, der gør mørtlen smidigere på anden måde end ved luftindblanding. Der findes to typer af disse stoffer.

Den ene er den *overfladeaktive* type; de dér henhørende stoffer virker dels som befugtningsmidler, dels som dispergeringsmidler. Befugtningseffekten beror på, at stoffet nedsætter vandets overfladespænding, således at det lettere trænger ind imellem bindemiddelkornene og mellem sandkornene og skaber bedre kontakt mellem vandet og mørtlens faste partikler. Dette medfører en bedre udnyttelse af bindemidlerne, og det øger smidigheden ved et bestemt vandindhold. Dispergeringen beror på, at de enkelte partikler eller korn i bindemiddel og sand får en elektrisk ladning og frastøder hinanden. Derved vil f.eks. små klumper eller «klaser» af bindemiddelpartikler falde fra hinanden og de enkelte partikler blive mere ensartet fordelt i mørtlen, således at den bliver mere smidig.

Den anden af de to typer er den *gældannende*. De dér henhørende stoffer er i reglen cellulosederivater, som ved tilsætning til mørtlen får den til at virke «federe» og nedsætter tendensen til

at sætte vand op. De hidtil mest brugte plastificerende stoffer har været gældannende; de bruges bl. a. i enkelte typer af murcement. Den mængde, der skal tilsættes, varierer normalt mellem 0,2 og 0,5 % af bindemidlets vægt. En overdosering får mørtlen til at stivne så hurtigt, at den bliver ubrugelig, og fejl i så henseende vil derfor let blive opdaget.

5. *Frostvæsker* tilsigter at gøre mørtlerne anvendelige i frostvejr ved at sænke mørtelvandets frysepunkt. Som frostvæsker anvendes i reglen vandige opløsninger af salte, som også virker accelererende, f.eks. calcium- og magnesiumklorid. Saltopløsninger medfører som regel kun en ret beskedent frysepunktssænkning, måske 2—3°C, og de kan have en række uheldige bivirkninger såsom ringere styrke, saltudblomstring, vandsugning fra luften og risiko for tæring eller rustdannelse ved berøring med metal. Generelt må der derfor advares mod brugen af sådanne frostvæsker.

Derimod kan man af og til med fordel anvende visse former for alkohol, f.eks. denatureret sprit, som frostvæske. En tilsætning af 1—2 liter pr. hl. mørtel har ingen mærkbar skadelig virkning på kalkrige mørtler og medfører en frysepunktssænkning på 2-3°C. Glycerin og glykol må dog ikke anvendes.

6. *Tætnende stoffer* tilsættes for at øge mørtlernes vandtæthed. Den bedste måde at sikre en mørtel mod vandgennemgang på er at anvende et sand med rigtig sigtekurve og et rigtigt blandingsforhold, men har man i så henseende mødt vanskeligheder, kan man ty til tætnende stoffer. De vigtigste er specialbehandlede metalhydroxider, visse metalsæber samt forskellige typer af filler. Fælles for disse stoffer er, at deres virkning beror på en tilstopning af mørtlens porer, og de vil derfor også nedsætte muligheden for vanddampdiffusion — mørtlens mulighed for at ånde — og de tætnende stoffers brugsområde bliver af denne grund begrænset.
7. *Vandafvisende stoffer* sættes først og fremmest til tørtmørtler, f.eks. til ædelpuds. Stofferne er enten stearater af metaller som calcium, aluminium eller zink eller et siliconepræparat. Doseringsmængderne ligger mellem 0,05 og 0,2 % af bindemidlets vægt, og stofferne virker ved at nedsætte eller ophæve adsorp-

tionskræfterne mellem porevæggene og vandet. Derved hæmmes eller standses kapillartransporten i mørtlen, og på den måde kan det hindres, at slagregn går igennem et pudslag. Vand indefra vil heller ikke kunne passere det vandafvisende lag, men da porerne ikke lukkes, kan fugten indefra afgives ved diffusion.

Stearat- og siliconepartiklerne vil som alle organiske stoffer nedbrydes af ozon og ultraviolet lys, og evnen til vandafvisning vil derfor gradvis forsvinde. I et pudslag er det dog kun partiklerne på overfladen og i poremundingerne, som nedbrydes, og i praksis er det konstateret, at pudslag, der blot er over 2 mm tykke, kan bevare den vandafvisende virkning i mindst 10 år. Erfaringerne for længere tid er for få til en sikker bedømmelse.

Det må huskes, at hverken mørtel eller maling, som indeholder vand, kan bringes til at sidde fast på overflader, der er gjort vandafvisende med stearat- eller siliconepræparater. Med henblik på ompudsning eller reparationer bør et pudslag altså kun behandles overfladisk, ligesom kun fugemørtlen og ikke muremørtlen bør fremstilles med vandafvisende stoffer, medmindre fugerne gøres færdige under opmuringen uden brug af særlig fugemørtel.

På grund af de meget små mængder, der skal bruges, bør vandafvisende stoffer tilsættes på fabrik. Må tilsætningen af en eller anden grund foregå på byggeplads, hjælper det på nøjagtigheden, dersom det vandafvisende stof er blandet i en filler, således at der skal afvejes større portioner.

De allerfleste tilsætningsstoffer har handelsnavne, som kun siger lidet eller intet om deres kemiske sammensætning, og fabrikanterne er i reglen uvillige til at give nærmere oplysninger. Dette kan være uheldigt, fordi der er så mange variationsmuligheder, at det kan blive nødvendigt med orienterende forsøg. Sådanne forsøg bliver let meget omfattende, idet de ikke alene skal afgøre, om stoffet har den lovede virkning, men også om det samtidig har uheldige bivirkninger.

4.5. Farvestoffer

Mørtler med farvestof anvendes hovedsageligt til slutpuds og fugning. Der må stilles strenge krav til de pigmenter, som anvendes, især er det vigtigt, at de er lysægte og basebestandige (kalk- og cementægte). Skal udblomstring undgås, må de ikke indeholde opløselige salte. Mængden skal være så lille som muligt, fordi pigmenterne er meget finkornede og derfor kræver øget vandtilsætning. Ofte regner man 5—8 % af bindemidlets vægt som øvre grænse, og det er derfor vigtigt, at pigmentet har stor evne til at farve. En for stor pigmentmængde kan svække mørtlen mærkbart og øge risikoen for svindrevner. Skal mørtlen være lys, kommer både bindemidlets og sandets farve til at spille en rolle, og der bruges derfor oftest hvid cement og undertiden også skærvsand af en lys bjergart.

De efterfølgende pigmenter — ordnet efter farve — er anvendt til mørtler og fundet egnede. I hver farvegruppe er den stærkeste nævnt først; syntetiske pigmenter bør foretrækkes.

Røde: Jernoxidrødt (f.eks. engelskrødt, italienskrødt).

Gule: Jernoxidgult, kadmiumgult, lys okker.

Grønne: Kromoxidhydratgrønt, kromoxidgrønt.

Blå: Manganblåt, koboltblåt, coelinblåt, ultramarin. (Bemærk: der findes ultramarin, som ikke er helt kalkægte).

Brune: Jernoxidbrunt, terra di Sienna, umbra.

Sorte: Jernoxidsort, sod (f.eks. kønrøg, bensort, gassod).

Hvide: Titandioxid, titanhvidt, kridt, kalk, blanc fixe, tungspat.

Ved brugen af disse pigmenter må der regnes med, at både de tekniske egenskaber og de mængder, der skal anvendes, vil variere med fabrikatet. Helst burde det være sådan, at der kun fremstilledes farvede mørtler af fabriksblandede tørtmørtler. Den omhu og nøjagtighed, der skal arbejdes med både ved afvejningen af materialerne og ved blandingen, er meget svær at præstere på en byggeplads, og uanset fremstillingsmåden skal der altid anvendes meget stor omhu ved brugen og en pinlig gennemført renlighed.



MØRTELBETEGNELSER OG MØRTELTYPER

I dette kapitel skal der gives en oversigt over de typer af mørtler, som bruges mest i de nordiske lande, samt en kort omtale af de forskellige delmaterialers — især bindemidlernes — indflydelse på mørteltypernes almindelige egenskaber.

En mere detaljeret gennemgang af de enkelte mørtler og deres egnethed til de forskellige opgaver i bygningerne findes i kapitel 7.

Det er naturligt allerede her at omtale spørgsmålet om mørtlernes betegnelse. Enhver mørtel må kunne karakteriseres kort og entydigt på en måde, som er simpel og umiddelbart forståelig for alle, der skal beskæftige sig med mørtlen på tegnestue, mørtelværk og

arbejdsplads. Den serie af betegnelser, som vælges, må i hvert fald omfatte de vigtigste og mest brugte mørteltyper, d.v.s. de typer, som baseres på bindemidlerne kalk, cement, murcement og gips.

5.1. Mørtelbetegnelser

Ved mørtelfremstillingen har det hidtil været gængs fremgangsmåde at blande efter rumfang, og rumfangsforholdene er derfor gået ind i betegnelserne. Selv om der er blevet syndet groft på dette punkt, så har forudsætningen dog altid været, at der skulle bruges egnede målekar med kendt rumfang — bøtter, kasser, børe — ved udmålingen. Et vist antal bøtter bindemiddel og et vist antal kasser eller børe sand skulle da blandes, i nogle tilfælde en sæk bindemiddel med så og så mange mål sand. KC-mørtel er ofte blevet fremstillet ved, at der først blandes en K-mørtel, dernæst en C-mørtel efter den nævnte fremgangsmåde, og at de to delmørtler derefter blandes indbyrdes i et bestemt forhold efter rumfang. Det kan også forekomme, at KC-mørtel fremstilles af K-mørtel fra fabrik ved senere iblanding af cement på byggepladsen.

Blanding efter rumfang er dog en unøjagtig metode; hvordan den end gennemføres, kan den give store afvigelser fra det tilsligtede blandingsforhold. For det første varierer vægten af bindemiddel eller sand i et bestemt målekar både med den måde, hvorpå det fyldes og med karrets form. For det andet vil vægtmængden af sandet i et bestemt målekar i høj grad variere med sandets fugtindhold og kornstørrelser (se side 126). For det tredje kan rumfanget af et målekar ændres væsentlig, hvis det får buler eller anden formændring. For det fjerde er nogle materialer — f.eks. kulekalk — svære at udmåle efter rumfang. Fejlkilderne er altså mange og alvorlige, hvilket man jo for længe siden har taget hensyn til ved fremstilling af beton.

Dersom man virkelig skal nå frem til, at den mørtel, som bruges, skal stemme med forskriften, skal man blande efter vægt, hvad enten mørtlen fremstilles på byggeplads eller fabrik, og mørtlens sammensætning skal derfor opgives efter vægt. Vægtbetegnelserne kan udformes på forskellig måde; Nordisk Pudskomiteé har foreslået følgende metode.

Bindemidlet angives med bogstaver, K for kalk, C for cement, M for murcement, G for gips. Disse bogstaver er fælles for Danmark, Norge og Sverige; i Finland bruges S for cement.

Blandingsforholdet angives med tal, et for hvert delmateriale, og tallene er valgt således, at bindemiddelmængden altid er 100, eller — om man vil — 100 kg. Tallet for sand kommer så til at angive den sandmængde i kg, som skal blandes med 100 kg bindemiddel. Tallene gælder altid tørre materialer. Et par eksempler vil klargøre metoden.

K 100/1230 er en kalkmørtel med 1230 kg tørt sand pr. 100 kg kalk. Dersom blandemaskinen kan tage 150 kg tørt sand ad gangen, skal kalkmængden være $150 \cdot 100 : 1230 = 12,2$ kg. Fremstilles mørtlen af kulekalk, skal mængden korrigeres for denne kalksorts store vandindhold. KC 50/50/625 er på samme måde en kalkcementmørtel med 625 kg tørt sand pr. 100 kg bindemiddel, og dette består af lige vægtmængder kalk og cement. I afsnit 6.1 vil der blive givet flere og mere komplette eksempler.

Der er mange fordele ved denne betegnelsesmåde. Den er tydelig og smidig, idet den direkte fortæller, hvordan mørtlen er sammensat, og gør det nemt at skelne mellem mørtler, hvis sammensætning ligger hinanden nær. Ved prisberegninger er den direkte anvendelig, for så vidt delmaterialerne betales efter vægt. I Norge er betegnelsesmåden allerede fuldt accepteret i forskrifterne, i Finland og Sverige kan den bruges alternativt om muremørtel, og i Danmark bliver den optaget i de nye murværksnormer. I denne bog gennemføres betegnelserne.

I mange tilfælde, hvor der tales generelt om mørtler, er det en fordel at stryge sandtallene og kun betegne bindemiddelsammensætningen, altså f.eks. KC 35/65, KC 20/80 eller K 100. Så tænkes der ikke på en bestemt mørtel, men på en mørteltype; først når sandtallet tilføjes, er betegnelsen entydig og kun gældende én bestemt mørtel.

Tvinges man af en eller anden grund til trods alt at blande efter rumfang, er det naturligst også at opgive blandingsforholdet mellem delmaterialerne efter rumfang ved tal adskilt med kolon som velkendt i de nordiske lande. Den metode vil også blive brugt her i en række tilfælde, men suppleret med bindemiddelsymboler.

KC 2 : 1 : 12 betegner så en mørtel blandet af 2 rumfang kalk, 1 rumfang cement og 12 rumfang sand, og M 1 : 4 betegner en mørtel af 1 rumfang murcement og 4 rumfang sand. I Sverige opgives blandingsforhold efter rumfang også på en anden måde; blandingsforholdet KC 2 : 1 : 12 opgives f.eks. som KC 21/4. Denne betegnelse kan tolkes på to måder, nemlig enten sådan, at de to første tal angiver rumfangsforholdet mellem bindemidlerne kalk og cement, og det sidste angiver rumfanget af sandet pr. rumfang blandet bindemiddel, eller således, at mørtlen skal bestå af 2 rumfang K-mørtel og 1 rumfang C-mørtel begge blandet af bindemiddel og sand i rumfangsforholdet 1 : 4.

På grund af usøjagtigheden og usikkerheden ved blanding efter rumfang kan der ikke regnes nøjagtigt om fra rumfangsforhold til vægtforhold eller omvendt. Det kan kun gøres tilnærmet med skønnede værdier for bindemidlernes og sandets rumvægte. Regnes tør-læsket kalk at veje 600, Portland-Cement 1250 og murcement 1050 kg/m³, og regnes 1 m³ fugtigt sand at indeholde 1300 kg tørt, vil man finde, at KC 50/50/650 nogenlunde svarer til KC 2 : 1 : 12, og at M 100/500 nogenlunde svarer til M 1 : 4, men de gængse tal for delmaterialernes rumvægte er ikke helt de samme i de fire lande.

5.2. K-Mørtel

I K-mørtel er kalk det eneste bindemiddel, og hærdeningen kræver derfor, at der kan komme luft til. Hærdeningen indledes med en udtørring, som gør mørtlen stivere og mere åben for luften. Først når vandindholdet er blevet tilstrækkelig lille og antallet af åbne porer tilstrækkelig stort, begynder karbonatiseringen, den egentlige hærdening. Det dannede calciumkarbonat udskilles som små krystaller på overfladen af sandskorn og uopløste kalkhydratpartikler, og derved opnår mørtelmassen sin styrke. Luften omkring os indeholder imidlertid kun meget små mængder af kuldioxid, og for at virke karbonatiserende skal kuldioxidet endda være opløst i mørtel vandet. Hærdeningen foregår derfor langsomt og i øvrigt kun, når mørtlens vandindhold ligger inden for temmelig snævre grænser. Det skal helst ligge mellem 0,5 og 6 vægtprocent, og er mørtlen helt tør eller vandmættet, hærder den ikke. Grænserne 0,5 og 6 vægt-

procent svarer til mørtlens ligevægtsvandindhold i luft med et relativt fugtindhold på omkring 50 og 80 %, og det gunstigste synes at være en fugtighedsgrad på 65—75 %. Mørtlen får den største styrke, når karbonatiseringen foregår så hurtigt som muligt og indledes så tidligt som muligt.

Under den første kortvarige del af hærdningen har K-mørtlerne et meget stort svind. Det skyldes nok først og fremmest udtørringen, men kræfter opstået ved krystaldannelsen er formentlig medvirkende. Senere er K-mørtlernes svind ubetydeligt. I perioden, hvor det store svind sker, er mørtlen endnu plastisk, og svindet resulterer i en væsentlig forøgelse af porøsiteten, men fører forholdsvis sjældent til revnedannelse.

Da hærdningen kræver luft, foregår den fra overfladen og ind efter og med aftagende hastighed; i murværk med K-mørtel kan det derfor vare mange år, før al kalk er fuldt karbonatiseret. Dersom murværkets udtørring søges forceret ved opvarmning eller på anden måde, vil mørtlen have det gunstige vandindhold i en kortere periode, og der må derfor samtidig sørges for øget tilførsel af kuldioxid, dersom styrken skal nå sin fulde værdi. Dette opnås, når der anvendes varmeovne, hvis kuldioxidrige forbrændingsluft cirkuleres langs mørteloverfladen, men det nås ikke ved at cirkulere luft, der er opvarmet af radiatorer eller elektriske ovne.

Den tid, der medgår til karbonatiseringen af et mørtellag, er stærkt afhængig af lagets porøsitet, og drejer det sig om et pudslag, der skal slutpudses, bør arbejdet hermed foretages så sent som muligt, fordi slutpudslaget i reglen er lidet porøst.

Selv om K-mørtel kun har ringe styrke, har den dog stor betydning i flere af de nordiske lande. En af grundene er, at kalk er et meget finkornet bindemiddel, der kan gøre selv magre mørtler smidige. I så henseende er kulekalk væsentlig mere virkningsfuld end hydratkalk, men også denne kalksort kan give fuld smidighed, hvis kalken «sættes i støv» før brugen, eller hvis mørtlen lagres en vis tid. Det samme gælder pulverkalk, der derfor må læskes i god tid før mørtelfremstillingen, medmindre mørtlen kan lagres. Det er i øvrigt fælles for K-mørtlerne, at de kan lagres meget længe uden at tage skade, når blot de beskyttes mod udtørring og karbonatisering f.eks. ved at stå med blankt vand på overfladen. Sådan mørtel

kan når som helst røres op og få den ønskede smidighed; dog synes dette ikke at gælde mørtel, der har været udsat for frost. K_2C -mørtler behandles i afsnittet om KC-mørtler, fordi de har meget til fælles med disse.

5.3. C-Mørtel

I C-mørtler er cement det eneste bindemiddel, og de hærdner som følge af cementens reaktion med vand. Fysisk set har det produkt, som dannes, når cementpastaen hærdner, en gélagtig og uhyre finporet struktur. De kemiske reaktioner binder en vis brøkdelen af mørtelvandet ved stærke adsorptionskræfter i gélporerne. Resten af vandet suges ind i de tilgrænsende materialer eller fordamper, og dette overskudsvand, som det jo på en måde er, øger mørtlens porøsitet ved at forsvinde. De gængse C-mørtler er dog altid langt tættere end de gængse K-mørtler.

Når de kemiske processer er kommet i gang, indledes en periode, hvor de ikke må forstyrres. C-mørtel af almindelig Portland-Cement skal derfor være opbrugt på højst 3—4 timer fra vandtilsætningen at regne. Er mørtlen først begyndt at størkne, lader den sig ikke røre op igen til passende konsistens uden at skades.

C-mørtels hærdning er betinget af, at der er vand nok til disposition. Forsvinder mørtelvandet hurtigt på grund af kraftig sugning eller fordampning, vil hærdningsprocesserne hæmmes eller afbrydes. En høj fugtighedsgrad i hærdningsluften influerer ikke på hærdningsforløbet, hvorimod cementen, der jo er et hydraulisk bindemiddel, hærdner udmærket under vand.

C-mørtels svind afhænger i høj grad af, hvor hurtigt den afgiver sit vandindhold. Normalt indledes svindet først, når størkningen er begyndt, og mørtlen har fået en vis styrke, og dette sidste betyder, at risikoen for svindrevner oftest er større end hos K-mørtlerne. Jo længere tid mørtlen holdes fugtig, desto større bliver imidlertid dens trækstyrke og desto mindre dens revnetendens. C-mørtel skal derfor helst vandes eller på anden måde holdes fugtig i de første døgn efter anbringelsen.

C-mørtels største fordel ligger i, at styrken vokser hurtigt og kan blive meget høj. Betingelsen er dog, at hærdningsforholdene er

de rette, og at mængden af overskudsvand er ringe. C-mørtels største ulempe — ved siden af revnetendensen — er dens mangelfulde smidighed og dens tilbøjelighed til vandudskillelse. Disse ulemper kan der dog bødes på f.eks. ved forbedring af sandets sigtekurve, ved bedre blanding (aktivering), ved tilsætning af kalk, murcement, kasein og PVA-dispersioner. De forskellige metoder omtales nærmere i afsnit 7.2.

Inden for visse grænser vokser C-mørtels styrke med cementindholdet, altså med mørtlens fedhed. Men samtidig vokser også svinde så stærkt, at det sætter en grænse for, hvor højt man kan gå med cementindholdet. For mørtler til almindelige mure- og pudsearbejder ligger den praktiske grænse ofte ved C 100/325.

5.4. KC-Mørtel

I KC-mørtler er der to bindemidler, kalk og cement, som nok har ret forskellige egenskaber, men dog arbejder meget godt sammen, og ved at ændre mængdeforholdet mellem de to kan man inden for vide grænser fremhæve og undertrykke de mørtelegenskaber, som er karakteristiske for hvert af disse bindemidler.

Når en KC-mørtel hærder, foregår der to forskellige hærdningsprocesser på samme tid; kalken karbonatiseres, og cementen hydratiseres. Den første proces er langsom, den sidste hurtig, og de kan foregå hver for sig uden at influere på hinanden, men ofte er de dog ikke indbyrdes uafhængige; et hydraulisk bindemiddel i en K-mørtel vil f.eks. medføre, at hærdningens forløb bliver mere uafhængigt af mørtlens vandindhold. Cementen vil hærde, selv om vandindholdet i mørtlen er så stort, at kalken ikke kan karbonatisere, og er vandindholdet lavt, kan det gavne cementens hærdning, at der frigøres vand ved kalkens karbonatisering. Endvidere får kalken bedre end cementen mørtlen til at fastholde mørtelvandet, og i tørre hærdningsperioder vil KC-mørtler derfor holde sig fugtige i længere tid end C-mørtler.

Cementen i KC-mørtlerne gør det nødvendigt, at de bruges op i løbet af højst 3-4 timer. Det kan være fristende at sætte mere vand til og røre op igen — det gælder nok især cementfattige KC-mørtler,

som godt kan stå i baljen en nat over uden at stivne helt — men den mørtel, man får ud af det, vil virke som en mager K-mørtel med cementen som filler. En sådan mørtel vil blive porøs, måske utæt, svinde stærkt og blive for svag. KC-mørtler, der er begyndt at stivne, skal derfor *altid* kasseres.

KC-mørtlers styrke vokser med cementmængden, men kun fra en vis grænse at regne. De hydratiserede cementkorn virker nemlig tætnende på mørtlen, og er mængden af dem så lille, at kalken yder et væsentligt bidrag til styrken, kan deres tætnende virkning hæmme kuldioxidets adgang og dermed kalkens hærdning så meget, at styrken bliver ringere end den rene K-mørtels. Skal man være sikker på en styrkestigning, må cementmængden op på mindst 35 % af bindemidlets vægt, og KC-mørtler med mindre end 50 % cement i bindemidlet foreskrives sjældent i Skandinavien.

KC-mørtlernes smidighed aftager med kalkholdigheden, især ved små kalkprocenter. Blot en kalkprocent på 10 kan øge mørtlens smidighed i mærkbar grad, og KC-mørtel 10/90 må i virkeligheden betragtes som en cementmørtel, hvortil der er sat kalk som tilsætningsstof eller filler.

De virkninger, som tilsætning af cement i voksende mængde vil have på en KC-mørtel, kan sammenfattes på følgende måde.

Bearbejdigheden og vandholdeevnen (se side 192) bliver dårligere.

Mørtlens hydrauliske karakter bliver mere fremtrædende.

Mørtlens ømfindtlighed overfor hurtig udtørring og overfor brugen af meget vand ved blandingen (højt v/b tal) bliver større.

Mørtlens svindtendens nærmer sig den rene C-mørtels.

Hærdningen foregår hurtigere, og slutstyrken bliver større.

Trykstyrken vokser hurtigere end trækstyrken; mørtlen forekommer sprødere.

Kapillarsugning bliver langsommere, og de transporterede vandmængder mindre; mørtlen bliver tættere.

Modstandsdygtigheden mod frost vokser.

K₁-mørtler hærder principielt på samme måde som cementfattige KC-mørtler, og de kan derfor sidestilles med disse; den væsent-

ligste forskel er, at de hydrauliske bestanddele i hydraulisk kalk fører til en lidt senere størkning end den almindelige Portland-Cements. Mange K_1 -mørtler kan derfor lagres lidt længere end KC-mørtler uden at tage skade. Det hænder, at der — for at opnå en højere styrke — blandes cement i den hydrauliske kalk, men i så fald må cementens brugstid på højst 3—4 timer overholdes. En sådan K_1 C-mørtel får i reglen en større styrke end en tilsvarende KC-mørtel, men den bliver sjældent så smidig.

For KC-mørtler og K_1 -mørtler må der — ligesom for C-mørtler — regnes med en øvre grænse for bindemiddelmængden, og maksimum synes også her at ligge ved ca. 100 kg pr. 325 kg sand.

5.5. M- og MC-Mørtler

M- og MC-mørtlerne hærdner principielt på samme måde som C-mørtler, altså ved at cementen i bindemidlerne reagerer med vand. M- og MC-mørtler skal derfor behandles på samme måde som C- og KC-mørtler. De skal f.eks. være opbrugt på højst 3—4 timer fra vandtilsætningen at regne, og de skal holdes fugtige i de første par døgn.

Det mest karakteristiske ved M-mørtlerne er deres store smidighed, som er fremkaldt ved at sætte poredannende stoffer til murcementen og ved at male den meget fint. Mørtlen behøver kun en meget primitiv blanding for at opnå udmærkede bearbejdelighedsegenskaber, men det ser ud til, at andre egenskaber bliver forbedret, når der anvendes mere energi på blandearbejdet, især en aktivering, og det synes ikke at nedsætte smidigheden.

De fleste murcement, som fabrikeres i Norden i dag, har egenskaber, der ligger ret nær ved det normalt krævede, men herudover findes der murcement, som giver mørtler med betydelig højere styrke og tæthed. Når der her og i efterfølgende afsnit diskuteres M- og MC-mørtler med opgivne blandingsforhold, gælder det murcement af den første slags. De stærkere murcement bør klassificeres på anden måde og anvendes i andre blandingsforhold.

Den almindeligste M-mørtel — M 100/525 — har egenskaber, som ligger nær de mest anvendte mørtler af typen KC 50/50. Skal dens styrke og tæthed forbedres, kan det gøres ved at sætte Portland-Cement til, og man får så en MC-mørtel. Det viser sig — mærkeligt

nok — at mængden af luftporer i en M- og MC-mørtel er forholdsvis uafhængig af blandingsforholdet mellem de to bindemidler, og det betyder, at man kan iblande temmelig store cementmængder og alligevel opnå en mørtel, som har bevaret en stor del af M-mørtlens gode bearbejdelighed. Som en yderste konsekvens heraf kan man altså anvende små mængder af murcement til forbedring af en C-mørtels smidighed. Murcement må da betragtes som et rent tilsætningsstof, der kan anvendes med fordel, fordi det er langt lettere at dosere end et almindeligt poredannende middel.

M- og MC-mørtler har et noget mindre frit svind end KC-mørtler, og deres elasticitetstal er mindre. De burde derfor også vise en mindre tendens til revnedannelse, men det kræver, at hærdningsforholdene er gunstige. Da M- og MC-mørtlerne jo er rent hydrauliske og samtidig ret fattige på bindemiddel, er de særlig ømfindelige overfor en hurtig udtørring, og det er derfor særlig vigtigt at sørge for gunstige hærdningsforhold, specielt en samvittighedsfuld vanding i de første døgn.

I enkelte tilfælde har det vist sig, at M- og MC-mørtel har haft en ikke fuldt tilfredsstillende vedhængning til underlaget. Årsagerne hertil er — ligesom vedhængningsforholdene som helhed — endnu ikke klarlagte. Takket være indholdet af luftporer er disse mørtlers modstandsdygtighed mod frost derimod meget god; den er bedre end for tilsvarende K- og KC-mørtler uden poredannende midler.

Ligesom for C- og KC-mørtlerne kan også M- og MC-mørtlernes styrke øges ved at øge bindemiddelmængden, men også her sætter svindet en øvre grænse. For mørtler til almindeligt brug kan den regnes at ligge ved M 100/400 for det ublandede bindemiddel med jævn og gradvis overgang gennem MC-mørtlerne til mørtel C 100/325.

5.6. G- og GK-Mørtler

Der findes et meget stort antal mørteltyper, hvori gips indgår som bindemiddel, men i Norden er kun følgende aktuelle.

G 100/0, gipsmørtel uden sand.

GK 50/50/0, mørtel af gips og hydratkalk uden sand.

G 100/100 — G 100/400, gipsmørtel med sand.
GK 50/50/100 eller lignende, mørtel af gips og
hydratkalk med sand.

Brandbeskyttende mørtel af gips og et sand af
meget lette korn.

Mørtlerne uden sand anvendes først og fremmest som slutpuds;
gipsen skal så være helt hvid, og undertiden bruges mørtlerne uden
tilsætning af retarderende stoffer.

Sættes der sand til disse mørtler, aftager styrken, som det med
tilnærmelse er angivet i efterfølgende tabel.

| Bindemiddel/sand efter vægt | Relative styrketal |
|--------------------------------|-----------------------|
| 100/0 | 100 |
| 100/100 | 75 |
| 100/200 | 60 |
| 100/300 | 45 |
| 100/400 | 25 |

Magrere mørtler end den sidstnævnte bruges sjældent. Det mest
karakteristiske ved alle mørtler, hvori hovedparten af bindemidlet
er gips, er, at de ikke svinder under hærdningen, men tværtimod
svulmer lidt. Dette er naturligvis ensbetydende med, at revneten-
densen er minimal. Styrken vokser meget hurtigt og når sin fulde
værdi på 2—3 døgn. Den fulde værdi nås også i tilfælde, hvor mørt-
len tørrer ud på et tidligt tidspunkt, og dette er ofte en fordel.

Gips er tungt opløselig i vand, men nok til at G-mørtel ikke kan
anvendes til udvendigt puds eller indvendigt puds i særlig fugtige
rum. I fugtighed svulmer mørtlen op, og styrken falder til henved
det halve. Endelig er gipsmørtlerne temmelig porøse og fremmer
korrosion; skal der bruges armeringsjern i gipsholdig mørtel, skal
jernet være forzinket eller lakeret.

Gips må aldrig blandes med Portland-Cement eller hydraulisk
kalk, fordi der i mørtler med et sådant bindemiddel er mulighed for
en unormal krystaldannelse med afsprængninger til følge. Sådanne
skader er endda i enkelte tilfælde konstateret, hvor der er pudset
med G-mørtel på meget våd beton. Gipspuds på beton er i øvrigt en
vanskelig kombination, fordi vedhængen i reglen ikke bliver

god nok, og de to materialer arbejder forskelligt ved vekslende tem-
peratur og fugtindhold.

G-mørtel tåler ikke temperaturer over 80°C, fordi gipsen da be-
gynder at afgive krystalvand. G-mørtel bruges alligevel som brand-
beskyttende puds som nærmere omtalt på side 148.

5.7. Specielle mørtler

Syrefast mørtel

Mørtler med kalk, cement og gips som bindemiddel bliver angre-
bet og mere eller mindre ødelagt af de fleste syrer. C-mørtlernes
modstandsdygtighed mod syrer kan forbedres ved at anvende slag-
gecement, alcement eller sulfatbestandig cement i stedet for Port-
land-Cement, eller ved at tilsætte aktiv kiselsyre, fluat eller PVA.
Forbedringen er dog i reglen utilstrækkelig, og til murværk eller
flisebeklædte flader, som kommer i kontakt med aggressive væsker,
bør der regnes med specialmørtler. De syrefaste mørtler, som ofte
kaldes syrefast masse eller syrefast kit, tilhører i hovedsagen to
typer, silikatmørtler (vandglasmørtler) og plasticmørtler.

Silikatmørtler fremstilles af metaloxider og vandglas, oftest kali-
vandglas. Ved hærdningen dannes der metalsilikater, som er mod-
standsdygtige mod alle syrer undtagen flussyre. Mørtler af denne
type opnår deres fulde styrke og modstandsdygtighed på 3—5 døgn,
og de kan tåle temperaturer helt op til 1000°C. Modstandsdygtig-
heden mod syrer er afhængig af, at sammensætningen af de nævnte
metaloxider er korrekt, og materialet bliver derfor næsten altid købt
som en færdigblandet tørtmørtel. Tørtmørtlen røres op med vandglas
på byggepladsen, og brugstiden er kun ca. ½ time. Begynder mørt-
len at stivne inden brugen, skal den kasseres. Da silikatmørtlerne
er meget sprøde, kan de ikke følge med til ret store bevægelser i
murværket. De anvendes især til opmuring af syrefaste, keramiske
beklædninger, f.eks. i cellulosekogere. De kan også anvendes i skor-
stene blandt andet som fugemørtel i den øverste del, hvor der er
risiko for fortætning og angreb af svovlsyreholdigt vand.

Syrefast mørtel med plastic-bindemiddel kan kun anvendes på
steder, hvor temperaturen aldrig kommer over 100—150°C. De

plasticstoffer, som anvendes, er først og fremmest fenolformaldehyd, furan, polyester og epoxy, og tilslagsmaterialet er i reglen kvartssand. Plasticmørtlerne er væsentlig mere eftergivende end silikatmørtlerne, og de kan derfor følge med til større bevægelser i murværket. De anvendes blandt andet som lægnings- og opsætningsmørtel til fliser i industrilokaler, hvor der spildes syrer, eller luften indeholder syredampe, samt til keramiske foringer, alt under forudsætning af, at mørtlen ikke udsættes for høje temperaturer. Disse mørtler købes færdige, og den ledsagende brugsanvisning skal følges nøjagtigt.

Ildfast mørtel

Ved muring af ildsteder, industriskorstene og visse typer af varmluftskanaler bør der i reglen anvendes en særlig ildfast mørtel. Sådanne mørtler forhandles altid som fabriksblandede tørtmørtler og fås hos de firmaer, der også forhandler ildfaste sten. Tørtmørtlerne består i de fleste tilfælde hovedsagelig af ildfast ler, som kan være blandet med chamotte (ildfast ler, der er brændt og knust), kvartsit eller almindeligt sand. Under brugen fører de høje temperaturer til, at leret efterhånden bliver til ildfast sten. I enkelte tilfælde bruges der mørtler, som hærdner ved forholdsvis lav temperatur, f.eks. mørtler af chamottemel og vandglas eller alcement-mørtler. Er der yderligere muligheder for syreangreb, kan silikatmørtler anvendes (se forrige afsnit).

Ved valget af ildfast mørtel må arten af de anvendte teglsten kendes, og den er bestemt af de temperaturer, som murværket skal kunne tåle, og af de stoffer, det kan komme i berøring med (f.eks. smeltet slagge, basisk eller sur). I alle tilfælde skal de givne brugsanvisninger følges nøjagtigt.

Brandbeskyttende mørtel

De fleste mørtler virker brandbeskyttende som pudslag på ikke ildfaste materialer som træ og stål. Varmeledningstallet for almindelige mørtler ligger mellem 0,8 og 1 kcal/m·h·°C, og blot et pudslag af sådan mørtel giver en vis beskyttelse.

Er kravene strengere, kan der anvendes gipsmørtel med sand af ekspanderede og meget lette mineraler (perlit, vermiculit) som til-

slagsmateriale. Sådant mørtel kan få et varmeledningstal så lavt som 0,05 kcal/m·h·°C, og den kan ikke brænde. Ved opvarmning begynder gipsen at afgive krystalvand, og dertil bruges varme; samtidig kan ekspansionen i mineralkornene genoptages, hvilket medfører en yderligere sænkning af rumvægten og varmeledningstallet.

Sådan brandbeskyttende mørtel anvendes især på bærende stålsøjler og -bjælker; da mørtlen er svag, må pudslag på udsatte steder beskyttes mod stød og slag.

Strålingsbeskyttende mørtel

Der findes specialmørtler, som kan virke beskyttende mod radioaktiv stråling af ringe intensitet. Puds af sådanne mørtler finder også anvendelse som tillæg til andre strålingsbeskyttende lag som f.eks. almindelige betolvægge, vægge af tungbeton, blyplader eller vandfyldte beholdere.

C-mørtel med baryt (tungspat, bariumsulfat) som tilslagsmateriale virker strålingsbeskyttende og anvendes som puds. Laget bliver meget tungt, mørtlens rumvægt kan komme op i nærheden af 4000 kg/m³. Barytmørtel forhandles i reglen som en tørtmørtel, der skal oprøres med vand på byggepladsen; vandtilsætningen skal begrænses til det mindst mulige, fordi det tunge tilslagsmateriale ellers fører til en stor vandudskillelse.

Akustisk mørtel

Lydabsorptionen i et almindeligt pudslag er meget ringe, og det er underordnet, om binde midlet er kalk eller cement. Absorptionskoefficienten — som stiger med lydets frekvens — er af størrelsesordenen 0,02—0,05, mens den for f.eks. en 2,5 cm tyk mineraluldsmåtte kan ligge i området 0,09—0,77.

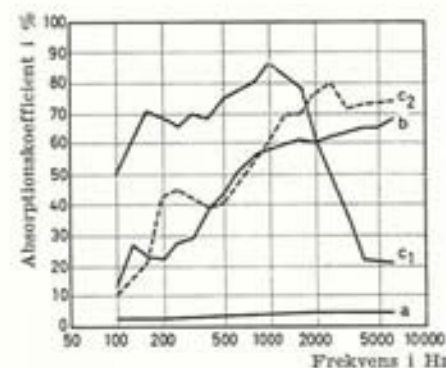


Fig. 5.01. Lydabsorptionskurver for a: almindelig KC-puds på teglvæg, b: akustisk puds med stor absorptions-evne, c₁ og c₂: to slags akustiske plader.

Lydabsorptionen kan forøges en del ved at øge pudslagetets porøsitet; det sker ved at anvende en mørtel med gips, cement eller kalk som bindemiddel og et tilslagsmateriale af meget lette og porøse korn. Hertil benyttes savsmuld, perlit, vermiculit og pimpsten. En god pudsmørtel af denne type kan få en absorptionskoefficient på 0,10—0,60 (fig. 5.01), men det er da en forudsætning, at pudslagetets overflade også har fuld porøsitet, altså at der ikke er trukket et slamlag frem på overfladen, og at den ikke er malet eller behandlet på anden måde.

Den almindeligste og sikreste måde at opnå en høj lydabsorption på er imidlertid at anvende specielle beklædningsplader.

Opsætningsmørtel

Til opsætning af keramiske vægfliser vinder specialmørtler stigende anvendelse. En almindelig type af disse består af cement, stenmel samt kasein, som gør den friske mørtel mere klæbrig og smidig. Ved rigtig arbejdsteknik vil vedhængningen blive god nok på de fleste underlag. Mørtlen hærder hurtigt, og styrken kan blive som for mørtel C 100/400 eller C 100/500.

Andre ret udbredte typer af opsætningsmørtel indeholder plastic som bindemiddel; de leveres brugsfærdige i lufttætte beholdere og må nærmest henregnes til materialegruppen lim. Flere af disse opsætningsmørtler bliver bløde, når de bliver våde.

Murlim

Der er nogle typer af mursten — specielt af porebeton — som ikke mures i mørtel, men limes sammen. Det kræver stor nøjagtighed hos stenene, og fugerne kan da gøres så tynde, at de næsten ikke kan ses.

Den almindeligste murlim ligner opsætningsmørtel, idet den fremstilles af cement, fint stenmel og kasein; eventuelt tilsættes et cellulosederivat. Kasein forbedrer mørtlens smidighed og vedhængning, men øger tillige vandholdeevnen, hvilket er meget vigtigt for tynde limlag mellem stærkt sugende stenflader.

Ren plasticlim af f.eks. epoxy-typen er også i enkelte tilfælde blevet brugt som murlim, men sådan lim er for dyr til almindelig brug. Vandglas med filler anvendes også som murlim.

Savsmulds mørtel

Savsmulds mørtel fremstilles af forbehandlet savsmuld (se side 128) med kalk og cement eller cement alene som bindemiddel. Skal mørtlen gøres stærkere og stivere, blandes der ofte natursand i.

Blandingsforholdene efter rumfang kan være som følger.

| | | |
|-------------|---------|---------------------|
| Muremørtel: | 1:1:4:4 | (K:C:sand:savsmuld) |
| Pudsmørtel: | 1:1:4 | (K:C:savsmuld) |
| Gulvmørtel: | 1:2:2 | (C:sand:savsmuld) |

Rumvægtene for de 3 mørtler efter hærdningen kan regnes at være omkring 1200, 700 og 1300 kg/m³ og varmeledningstallene ved normal fugtighedsgrad 0,30, 0,18 og 0,33 kcal/m · h · °C. En savsmulds mørtel kan altså i modsætning til de gængse mørtler yde et mærkbart tillæg til en ydervægs varmeisoleringsevne.

Alle savsmulds mørtler svinder og svulmer imidlertid mere end de gængse mørtler ved vekslende vandindhold, og de tørrer langsommere. Ulemperne kompenseres i nogen grad af, at mørtlernes elasticitetstal er lavt, men dog ikke helt, idet det kan hænde, at savsmulds mørtel anbragt på et svagt underlag arbejder sig løs, fordi dens fugtindhold svinger.

Savsmulds mørtel bruges fremdeles som underlag for linoleum og andre lignende materialer til gulvbeklædning. Det skyldes ikke alene materialets gode varmeisoleringsevne, men blandt andet også, at mørtlen dæmper bedre for trinlyd end gængs mørtel. Der anvendes også savsmulds mørtel til akustisk puds (se side 150).

PVA-mørtel

Med PVA-mørtler menes her mørtler, der både indeholder PVA og cement som bindemiddel.

Polyvinylacetat-dispersjoner har gennem mange år været brugt som bindemiddel i visse slidlag på beton. Foruden PVA indeholder disse gulvmørtler tilslags- eller fyldstoffer som stenmel og træmel samt pigmenter. Sådanne mørtler hærder ved, at vandet suges fra dem eller fordamper, og i fugtig luft eller i vand får de ingen styrke. Ved anvendelsen i gulve må mørtlen udlægges i mange og tynde lag, og hvert lag må være tørt og fast, før det næste udlæg-

ges. Det færdige lag er elastisk med god slidfasthed og god vedhængning til underlaget; men som nævnt er det ømfindtligt overfor fugt.

Sættes der cement til ved fremstillingen af sådanne PVA-holdige mørtler, sker der ingen ændring ved små doser. Under mikroskop kan det ses, at cementkornene ligger spredt som korn fra en inaktiv filler. Men kommer cementmængden op over en vis værdi, vil der under hærdningen dannes et cementskelet med PVA i mellemrummene mellem cementkornene. Mørtler af denne art adskiller sig på en række punkter fra almindelig C-mørtel. PVA-mørtlerne har således

- langt større smidighed i frisk tilstand
- betydelig bedre træk- og bøjningsstyrke
- meget større brudforlængelse
- lavere elasticitetstal
- større modstandsdygtighed mod slid
- betydelig bedre vedhængning til de fleste underlag
- større frit svind
- mindre ømfindtlighed overfor hurtig udtørring
- større styrkeforskel mellem tørt og vådt materiale.

PVA-indholdet skal op på mellem 5 og 10 vægtprocent, før ændringer som de opregnede bliver tydelige; der menes da, at PVA-mængdens tørvægt skal udgøre mellem 5 og 10 % af cementvægten. Kommer PVA-indholdet op på 25—30 %, begynder PVA-stoffet at danne et sammenhængende skelet på bekostning af cementskelettet. I de mørtler, som har byggeteknisk interesse, ligger PVA-indholdet mellem 10 og 20 %.

Forholdet mellem cement og PVA og mellem den samlede mængde af bindemiddel og sand må afpasses efter de egenskaber, mørtlen skal have. Der kan f.eks. opnås en meget god styrke og en minimal revnetendens hos meget magre mørtler med lavt PVA-indhold. Høj trækstyrke og stor stivhed kræver en noget federe mørtel og især et højt PVA-indhold. Der vil senere blive givet flere eksempler på sammensætning af PVA-mørtler til specielle formål.

PVA-mørtler med mindst 10 % PVA har den karakteristiske egenskab at blive desto stærkere, jo hurtigere de udtørres. Det er

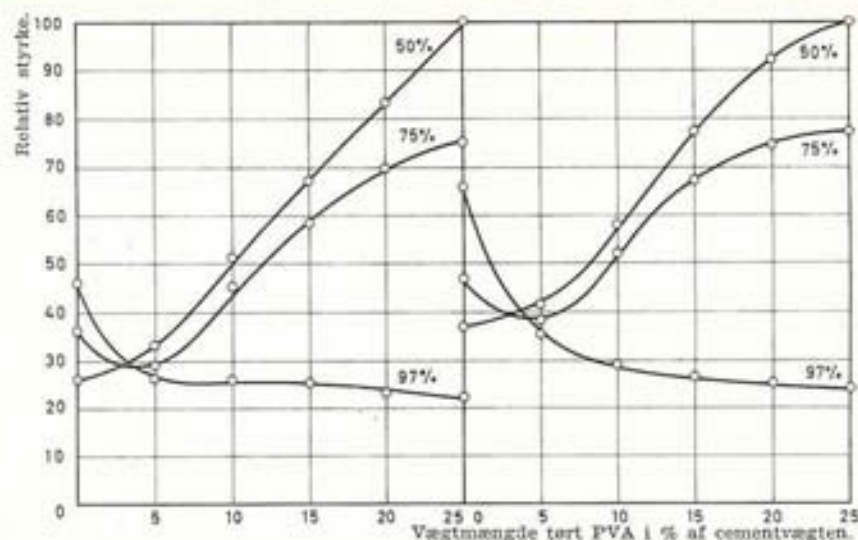


Fig. 5.02. Lagringsluftens relative fugtindholds indflydelse på PVA-mørtlers styrke ved forskellige PVA-indhold. Kurverne til venstre og højre gælder henholdsvis bøjnings- og trykstyrke.

altså forkert at holde dem fugtige i hærdningstiden; de skal hærde så tørt som muligt. I fig. 5.02 ses det, hvordan trykstyrken kan variere med lagringsluftens relative fugtindhold.

Mørtlernes svind vokser stærkt med PVA-indholdet, men da elasticitetstallet er lavt og brudforlængelsen stor, er revnetendensen ringe, formentlig altid mindre end hos tilsvarende C-mørtler. Men det bør undgås at bruge stærke PVA-mørtler på svage materialer.

De PVA-dispersioner, som er i handelen, kan have et tørstofindhold mellem 15 og 55 %, og de forskellige fabrikater kan desuden afvige f.eks. i henseende til partikelstørrelse og polymerisationsgrad eller i henseende til indhold af blødgørende stoffer og lignende. Dersom der ikke foreligger erfaringer nok for et bestemt produkt, bør der derfor gennemføres så mange forsøg, at man tør bestemme sig for at anvende det og kan fastsætte doseringen. Blandt handelsprodukterne findes PVA i pulverform. Det danner en dispersion, når det blandes med vand, men det kan være svært at få dispergeringen til at blive helt effektiv, og det gør det — i hvert fald indtil

videre — tvivlsomt at føre PVA-mørtler på markedet som tørmørtler. Prisen på PVA er i øvrigt endnu så høj for både pulver og dispersion, at PVA-mørtlerne kun kan have interesse i specielle tilfælde.

Gummilatex har været brugt i mørtler på samme måde og med samme hensigt som PVA. Plastic-stoffet synes imidlertid at have så mange fordele på sin side, at latexmørtler ikke længere er aktuelle.

Plasticmørtler

Ved plasticmørtler forstås mørtler, hvor bindemidlet kun er plastic. PVA-mørtlerne skiller sig således ud, fordi de også indeholder cement som bindemiddel.

Nogle af plasticmørtlerne er allerede omtalt under syrefaste mørtler (side 147), andre er beregnet til tynde ud- og indvendige pudslag. Som bindemiddel anvendes f.eks. PVA, akryl, polyester eller epoxy, og disse kan foreligge både som dispersioner og som opløsninger. Mørtler, hvor der som bindemiddel er anvendt visse typer af gummi (elaster), hører også med til denne gruppe. Tilslagsmaterialet er skærvesand, og ofte er der yderligere iblandet pigmenter.

Plasticmørtler er gerne forholdsvis dyre, og nogle har den mangel, at de bliver bløde, når de fugtes, men de er langt mindre ømfindtlige overfor sugende underlag end de gængse mørtler med kalk og cement som bindemiddel.

Sandspartelmasser.

Sandspartelmasser bruges til fyldning af små huller og udjævning af væg- og loftflader, men kun indvendigt. Bindemidlet er i almindelighed en vandopløselig celluloseæter eller en PVA-dispersion. Som tilslag anvendes forskellige finkornede materialer, f.eks. stenmel. Masserne leveres færdige til brug og består da oftest af 2—5 % bindemiddel, 60—80 % tilslag og 20—35 % vand.

Alle sandspartelmasser er i nogen grad ømfindtlige overfor fugt; det gælder i særlig grad de masser, som er fremstillet med celluloseæter som bindemiddel.

5.8. Tørmørtel

Ved tørmørtel forstås en blanding af alle de tørstoffer, som indgår i en vilkårlig mørtel. Tørmørtler sammensættes og blandes på fabrik og leveres som et tørt pulver. Oprøringen med vand eller anden væske sker umiddelbart før brugen, og tørmørtel er altså strengt taget kun et halvfabrikat.

Tørmørtler til meget specielle anvendelser, f.eks. til syrefaste eller ildfaste mørtler, har været i handlen i mange år, og det samme gælder tørmørtel til mineralpuds, men i de senere år er området udvidet og brugen af tørmørtel blevet mere almindelig.

Ser man bort fra specialmørtlerne, kan det være praktisk at skelne mellem farvede og ufarvede tørmørtler.

Farvede tørmørtler eller *ædelmørtler*, som de oftest kaldes, bruges i hovedsagen kun til puds. De blandes af hvid cement — ofte tilsat en lille mængde hydratkalk — skærvesand og i reglen pigment. De fleste ædelmørtler indeholder desuden et eller flere tilsætningsstoffer såsom poredannende, plastificerende og vandafvisende midler. Der lægges stort arbejde i at give ædelmørtlerne den rette sammensætning, størst måske i tilslagsmaterialets kornsammensætning og farve. Der findes en række forskellige typer af ædelmørtler alt efter, hvilken slags puds de skal anvendes til; dette vil blive omtalt i kapitel 9.

Ufarvede tørmørtler fremstilles som regel på kalk- og cementbasis og bruges til almindelige mure- og pudsearbejder. De bragtes oprindeligt på markedet med henblik på reparationsarbejder og arbejder på byggepladser, hvor der ikke var plads til lagring af mørtelmateriale og opstilling af blandemaskine, men i de sidste år har produktionen fået et videre perspektiv. I flere lande er der bygget mørtelværker, som hovedsageligt eller helt beskæftiger sig med fremstilling af tørmørtel og har taget konkurrencen op på store byggepladser.

Den største hindring for tørmørtlernes udbredelse ligger i, at sandet skal tørres, og mørtlen dermed fordyres. En tørring er nødvendig både for natursand og skærvesand, og efter tørringen skal sandet sigtes. Ved den afsluttende blandeproces anvendes de mængder af de forskellige fraktioner, som giver sandet en gunstig sigtekurve, og bindemiddel og eventuelle tilsætningsstoffer blandes i.

Tørmørtlerne har dog nogle vigtige fordele, som gør deres tilstedeværelse på markedet værdifuld. De kan for det første leveres med garanteret rigtig og konstant sammensætning, selv til meget store arbejder. For det andet kan sandets kornstørrelsesfordeling gøres gunstigere, end den er i de i naturen forekommende sandaflejringer. For det tredje kan der på byggepladsen blandes helt i takt med forbruget, og ikke anvendt tørmørtel kan lagres og bruges et andet sted. Så længe det godtages, at der blandes efter rumfang på byggepladserne og uden særlig strenge krav om overholdelse af foreskrevne blandingsforhold, kan tørmørtlerne næppe konkurrere med de gængse mørtler til de almindelige arbejder, men mulighederne ændres formentlig, når kravet om blanding efter vægt bliver almindeligere, og kravet om nøjagtighed bliver skærpet.

Tørmørtler leveres i de allerfleste tilfælde i sække, men levering i løst mål forekommer også. Tørmørtlerne må lagres efter de regler, som gælder deres mest krævende bindemiddel.

KAPITEL 6



FREMSTILLING AF MØRTLER

Når der i en arbejdsbeskrivelse er anført et bestemt blandingsforhold for en mørtel, ligger der deri forudsat, at den hærdnede mørtel vil få ganske bestemte egenskaber, men dette sker kun, dersom en hel række almindelige og i og for sig selvfølgelig krav respekteres. Det gælder f.eks. forholdene ved delmaterialernes lagring, deres udtagning i de ønskede mængdeforhold, blandemåden og transporten og behandlingen fra blandemaskine til brugssted. Mørtlen skal sammensættes i det rigtige mængdeforhold af sunde materialer, og den skal være ens ved alle blandinger. Mørtlen i den enkelte portion skal være ensartet eller homogen, som det kaldes, således at forstå, at mængdeforholdet mellem de indgående mate-

rialer er ens i alle områder i portionen. Endelig skal fremstillingen gennemføres på en sådan måde, at mørtlens bearbejdelighed bliver tilfredsstillende, og portionernes størrelse skal være således afpasset i forhold til forbruget, at mørtlen bliver brugt op, inden den forandrer egenskaber.

Fremstillingen kan ske på mørtelværk eller på byggeplads, eller fremstillingen kan indledes på mørtelværk og afsluttes på byggepladsen. Forudsætningerne for at fremstille mørtlen på tilfredsstillende måde er naturligvis størst på et mørtelværk med dets stationære installationer og dets bedre muligheder for gennemført løbende kontrol med såvel delmaterialer som færdigt produkt. Endelig er det også lettere for myndighederne at føre kontrol på nogle få mørtelværker end på de mange byggepladser.

Men langt fra alle mørtelværker er indstillet på at levere C- og KC-mørtler; hovedparten leverer kun K-mørtel og baserer forretningen på, at iblandingen af cement med tilhørende mængdemålninger sker på byggepladsen. Måske ændres dette af sig selv, hvis brugen af tørtmørtler vinder indpas; i så fald skal der naturligvis blandes på byggepladsen, men alt det arbejde, som kræver præcision, vil være udført på fabrik. Fordelene ved at anvende tørtmørtel er mest iøjnefaldende for de små byggepladser; med voksende størrelse vokser antallet af tilfælde, hvor det både i økonomisk og i andre henseender vil lønne sig at opføre en effektiv blandestation på byggepladsen. Hvad enten mørtlen blandes det ene eller det andet sted, må det dog fastslås, at kvaliteten af mørtlen vil afhænge af mandskabets dygtighed og ansvarsfølelse.

Blandingen på byggepladsen foregår lettest, dersom delmaterialerne foreligger som tørre bindemidler og naturfugtigt sand. Skal der anvendes kalk i form af kulekalk, skal dens vandindhold være kendt, og det kræver ekstraudstyr og tager tid. Ganske vist bliver kulekalkmørtel smidigere end hydratkalkmørtel, men denne forskel kan ophæves ved hjælp af tilsætningsstof eller effektivere blanding. Ved fremstilling af KC-mørtel vælges det desværre ofte at anvende K-mørtel fra værk som udgangsmateriale og at tilsætte tørt cementpulver på byggepladsen. Det er en uheldig fremgangsmåde, for det første fordi det er vanskeligt at få den tørre cement ensartet fordelt, det kræver stort energiforbrug, helst aktivering, for det andet

fordi K-mørtlens blandingsforhold så godt som altid skal være et andet — magrere — end det blandingsforhold for ren K-mørtel, som værket rutinemæssigt er indstillet på. Rigtigere er det på byggepladsen at blande en C-mørtel med en sandmængde, der sammen med den fabriksblandede K-mørtels, giver den rigtige sandmængde i KC-mørtlen, men det medfører en del regnearbejde og kræver kendskab til K-mørtlens kalkindhold. Det bliver i hvert fald besværligere end at blande af tørre bindemidler og naturfugtigt sand.

I de følgende afsnit vil fremstillingen af mørtel blive beskrevet skridt for skridt. De anvisninger og råd, som gives, vil på en del punkter skille sig ud fra daglig praksis på mange blandestationer, men det kan heller ikke bestrides, at der findes mange byggepladser og mørtelværker, hvor mørtelfremstillingen delvis er styret af tilfældigheder og sjuskeri. Resultaterne heraf har ofte været sørgelige; mængden af bindemiddel findes sommetider alt for lav, sommetider for høj, og mørtlens smidighed, tæthed og svindtendens bliver springende, og det har givet sig udslag i alvorlige mangler i murværk og puds.

6.1. Blandingsanvisning

I arbejdsbeskrivelsen for mure- eller pudsearbejdet karakteriseres mørtlerne som omtalt i afsnit 5.1, altså f.eks. KC 20/80/500, men ved fremstillingen skal der bruges et skema, hvori der står, hvilke mængder af bindemidler og sand, der skal fyldes i den foreliggende blandemaskine til hver mørtelportion. Det er dette skema, som er kaldt en *blandingsanvisning*. Når en sådan blandingsanvisning skal udarbejdes, må man først kende blandemaskinens kapacitet, d.v.s. den største mørtelmængde, som den kan blande på tilfredsstillende måde. Tallet kendes i reglen af erfaring og står ofte at læse på maskinen; det bør aldrig overskrides, og det må i reglen frarådes at gå ret meget lavere, idet blandingen af portioner, der er små i forhold til kapaciteten, sjældent bliver effektiv.

Overslagsmæssigt kan man derefter regne med, at den færdigblandede portion fylder det samme som sandet alene, og at 1 m³ fugtigt sand indeholder 1300 kg tørt sand. Ganger man derfor kapa-

citeten i m³ med 1300, får man vægten i kg af tørt sand pr. mørtelportion.

Dernæst skal bindemiddelmængderne beregnes. Skal mørtlen have blandingsforholdet KC k/c/s (som f.eks. kan være KC 20/80/500), findes kalkmængden ved at gange vægten af tørt sand pr. mørtelportion med k og dividere med s. På samme måde findes cementmængden c ved at gange vægten af tørt sand med c og dividere med s. De fundne værdier må i visse tilfælde korrigeres. Skal man som i Danmark tage hensyn til, at handelsproduktet Hydratkalk aldrig er helt rent calciumhydroxid, må tallet k divideres med renhedsgraden, som f.eks. er 0,95 for hydratkalk med 95 % calciumhydroxid. I Norge ser man bort fra renhedsgraden. Bruges der kulekalk, skal der altid korrigeres for det høje vandindhold, og da nøjes man i reglen med denne korrektion; indeholder kulekalken 40 vægtprocent tørstof, skal det for k fundne tal divideres med 0,4. Sandet er næsten aldrig tørt; indeholder det f.eks. 4 vægtprocent vand, skal mørtelportionens sandmængde i kg være tørvægten ganget med 1,04.

For en blandemaskine med en kapacitet på 0,4 m³, hvori der skal blandes mørtel KC 20/80/500, findes blandingsanvisningens tal på følgende måde:

Mængden af tørt sand bliver $0,4 \cdot 1300 = 520$ kg. Sandet indeholder 4 vægtprocent vand, og der skal derfor afvejes $520 \cdot 1,04 = 540$ kg fugtig sand til hver portion.

Kalken er hydratkalk, og kalkmængden pr. portion bliver da $20 \cdot 520 : 500 = 21$ kg. Da kalkens renhedsgrad er 0,95, skal de 21 divideres med 0,95, og der skal derfor afvejes 22 kg hydratkalk.

Cementmængden pr. portion bliver $80 \cdot 520 : 500 = 83$ kg.

Blandingsanvisningen kommer da til at se således ud:

| | |
|----------------------------|-------|
| <i>Mørtel KC 20/80/500</i> | |
| Hydratkalk | 22 kg |
| Cement | 83 » |
| Sand (4 % fugt) | 540 » |

Strengt taget burde sandmængden kun være 539 kg, fordi urenhederne i hydratkalken udgjorde 1 kg, der vil indgå som sand,

men på en byggeplads kan sandmængden ikke ventes afvejet med større nøjagtighed end 1 kg, og de 540 kg er derfor ikke ændret.

Det ville lette arbejdet ved blandemaskinen, dersom portionen kunne gøres så meget større, at cementmængden kom op på 100 kg, så der altså skulle bruges 2 sække cement ved hver blanding. Det ville imidlertid betyde en overskridelse af kapaciteten på godt 20 %, og det må frarådes. Det var bedre at få fat på en blandemaskine med en 20 % større kapacitet, altså 0,5 m³; i så fald kom blandingsanvisningen til at se således ud:

| | |
|----------------------------|-------|
| <i>Mørtel KC 20/80/500</i> | |
| Hydratkalk | 27 kg |
| Cement (2 sække) | 100 » |
| Sand (4 % fugt) | 650 » |

Skal KC-mørtel fremstilles på basis af K-mørtel fra værk, må der skaffes nøjagtig oplysning om mængden af calciumhydroxid og tørt sand i 1 kg af den leverede K-mørtel. Denne oplysning må enten indhentes fra værket eller skaffes fra et laboratorium efter analyse af en mørtelprøve. Derefter kan det beregnes, hvor meget cement og eventuelt sand der skal sættes til K-mørtlen for at opnå det ønskede blandingsforhold. Som eksempel kan det igen dreje sig om mørtel KC 20/80/500 og en blandemaskine med en kapacitet på 0,4 eller 0,5 m³. Sandet på byggepladsen indeholder denne gang 5 vægtprocent vand, og mørtelværket oplyser, at K-mørtlen indeholder 0,080 kg calciumhydroxid og 0,800 kg tørt sand pr. kg jordfugtig mørtel. Værket leverer altså mørtel K 100/1000.

Udregningen af blandingsanvisningen kan foregå på følgende måde:

For at få 20 kg kalk skal der afvejes $20 : 0,080 = 250$ kg K-mørtel, og mængden af tørt sand deri er 200 kg. For at komme op på 20/80/500 må der altså tilsættes 80 kg cement og 300 kg tørt sand. Af det fugtige sand skal der altså afvejes $300 \cdot 1,05 = 315$ kg.

Ved at sammenholde disse tal med tallene i den første blandingsanvisning kan det ses, at portionen passer godt til 0,4 m³ maskinen, og blandingsanvisningen bliver da:

Mørtel KC 20/80/500

| | | |
|-----------------|-------|--------------------|
| Cement | 80 kg | } Blandes med vand |
| Sand (5 % fugt) | 315 > | |
| K 100/1000 | 250 > | |

Sættes til C-mørtlen. Ny blanding

Lægges der vægt på at bruge hele sække cement, må 0,5 m³ maskinen i brug, og ved at gange alle tallene med 100 : 80 fås tallene til den nye blandingsanvisning:

Mørtel KC 20/80/500

| | | |
|------------------|--------|--------------------|
| Cement (2 sække) | 100 kg | } Blandes med vand |
| Sand (5 % fugt) | 395 > | |
| K 100/1000 | 310 > | |

Sættes til C-mørtlen. Ny blanding

De sidste to blandingsanvisninger bekræfter det tidligere anførte, at en mørtel af type KC 20/80 ikke kan fremstilles ved at sætte cementpulver til almindelig kalkmørtel til muring; det kan kun gøres, dersom værket leverer en mørtel K 100/2500, som jo svarer til 20/0/500, og det er en meget kalkfattig K-mørtel.

Der kan være tilfælde, hvor vejning på byggepladsen ikke kan gennemføres. Er der forlangt blanding efter vægt i arbejdsbeskrivelsen, må der indhentes godkendelse fra bygherren til i stedet at anvende blanding efter rumfang med kontrolvejning. Det kræver adgang til en kontrolvægt og egnede målekar til hvert af delmaterialerne. Disse kar eller beholdere skal være store, deres højde og tværmål skal være omtrent ens, og de skal renholdes med omhu. Når blandingsanvisningen her skal udregnes, må man først bestemme delmaterialernes rumvægte, d.v.s. man skal finde, hvor mange kg af de forskellige delmaterialer målekarrerne kan rumme. Arbejdet hermed skal udføres på byggepladsen med de materialer, som skal bruges, når mørtelfremstillingen kommer i gang, og af den mand, som skal passe blandemaskinen. Med hvert målekar og det tilhørende materiale skal der foretages mindst 3 og måske 5 målinger, alt efter hvor sikkert han arbejder. Ifyldning og afstrygning skal i alle detaljer udføres på samme måde fra gang til gang, og ligger de 3 til 5 vejerresultater ikke tæt ved hinanden, må der findes ud af, om skovlen vendes forskelligt, om den løftes til forskellig højde, om den nu og da rammer karret, og om dette kan vakle på

underlaget, eller om maskiner eller trafik kan sætte det i rystelser. Når afvigelserne fra vejning til vejning er blevet tilstrækkelig små, holdes der fast ved den arbejdsmåde, som man fandt frem til, sådan at den bliver anvendt senere, når mørtelfremstillingen kommer i gang.

Ved beregningerne går man først frem på samme måde som ved blanding efter vægt og med de samme korrektioner for vandindhold og renhedsgrad, og når vægtmængderne er fundet, bruges rumvægtene til omregning fra vægt til mål og antal målekar. Kan mængderne afpasses således, at et eller måske endda flere af bindemidlerne kan indgå i hele sække (eventuelt halve), betyder det en stor arbejdsbesparelse og øget nøjagtighed. Kan dette ikke lade sig gøre, skal målekar og maskinkapacitet afpasses sådan, at der kun skal bruges helt fyldte kar. Blandingsanvisningen kan f.eks. blive som følger:

Mørtel KC 20/80/500

| | |
|-----------------|---------------|
| Hydratkalk | 2 K-bøtter |
| Cement | 2 sække |
| Sand (3 % fugt) | 9 trillebøere |

Under arbejdets gang er det nødvendigt at kontrollere vægtmængderne nu og da, for sandets vedkommende ved hver ny levering.

Dersom der i modsætning til det lige omtalte tilfælde er foreskrevet blanding efter rumfang med kontrollerede mål — hvilket normalt kun bør ske ved byggearbejder af underordnet betydning — så vil mørtlen være karakteriseret ved rumfangsforhold, og det er da helt ligetil at opstille en blandingsanvisning. Der skal som før regnes med, at den færdige mørtel har samme rumfang som sandportionen, og i blandingsanvisningen må der kun regnes med hele eller halve sække bindemiddel eller med hele antal målekar. Karrerne skal tilfredsstille de foran nævnte krav, og rumfangene skal være kontrolleret. Blandingsanvisningen får en overskrift som f.eks. KC 1 : 2 : 11, og teksten under overskriften bliver af samme art, som i den foregående anvisning.

6.2. Lagring af delmaterialer på byggepladsen

Hovedsagen ved lagring af bindemidler er at beskytte dem mod fugt. Leveres bindemidlerne i løs vægt, må de lagres i silo, og be-

skyttelsen mod fugt volder da intet besvær. Bindemiddel i sække skal — i det mindste på store byggepladser — lagres i et skur med trægulv hævet mindst 20 cm over terrænet. Skuret skal være lukket til 3 sider, og den 4' skal kunne lukkes med en presenning (fig. 6.01). Sækkene skal ligge ned i stabler på højst 12 sække og med mindst 10 cm afstand fra de faste vægge.

Det bør skrives på sækkene — eller i hvert fald på hver stabel — hvornår de er modtaget, så det kan undgås, at enkelte sække fra en leverance ligger over og bliver for gamle. Skal der udmåles delportioner, som er mindre end en sæk, bør der forefindes en bindemiddelkasse med tætsluttende låg samt en vægt i skuret.

På små byggepladser kan sækkene lagres på paller eller andre platforme, som er løftet over jorden, således at bindemidlet afskæres fra fugttilførsel nedefra, og opadtil må der kunne lukkes med presenning (fig. 6.02). Hvadenten lagringen foregår i skur eller under presenning, bør bindemidlerne ikke ligge mere end 3 uger på byggepladsen, under presenning helst ikke mere end 2. Selv om papirsækkene består af mange lag, formår de ikke helt at hindre luftens vanddamp i at trænge ind og nedsætte bindemidlets kvalitet.

Kulekalk, hydratkalk i blød og K-mørtel skal opbevares sådan, at hurtig vandafvigelse ved fordampning eller sugning såvel som en udvaskning fremkaldt af regnvand er forhindret. Om vinteren kan særlig frostbeskyttelse være nødvendig.

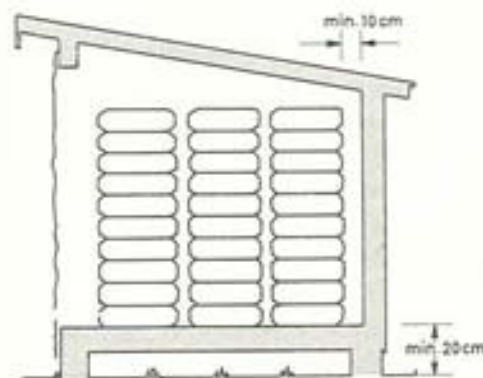


Fig. 6.01. Lagring af bindemiddel på stor byggeplads.

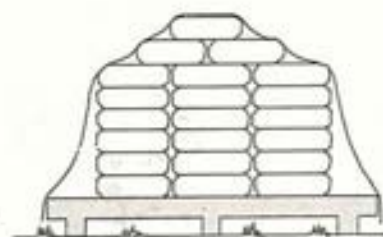


Fig. 6.02. Lagring af bindemiddel på lille byggeplads.

Tilslagsmaterialerne, som jo næsten altid leveres i løst mål, må holdes adskilt og beskyttet mod forurening især fra jorden, samt i nogle tilfælde også mod regn. Underlaget bør være træflager eller lignende, og beskyttelsen mod regn — f.eks. ved hjælp af presenninger — er nok vigtigst for sandets vedkommende; presenningerne beskytter også mod fordampning og hjælper således med at holde sandets fugtighed fast på den værdi, der er regnet med i blandingsanvisningen. Det tørre sands tendens til at afblande modarbejdes også, hvis sandet holdes tildækket. Disse problemer er man fri for på store byggepladser, hvor man — ligesom på mørtelværkerne — kan lagre tilslagsmaterialerne i siloer.

Skal overkorn fjernes, eller skal der af anden årsag foretages en sigtning, bør denne — så vidt det overhovedet lader sig gøre — foretages af leverandøren; sigtning på en byggeplads er vanskelig at gennemføre. Om vinteren skal sandet — i hvert fald nogle af dets fraktioner — kunne opvarmes; metoderne kan være forskellige, og man bør holde sig til de mest kendte, hvilket formentlig vil sige de i betonindustrien anvendte.

Der er nogle typer af tilslagsmaterialer, som leveres i sække og på grund af særlige egenskaber skal lagres tørt; de skal behandles som bindemidler. Tørmørtler skal lagres på samme måde som bindemidler, og da de er tørre, separerer de let, f.eks. når de udtømmes fra en silo; dette arbejde skal derfor foretages med omtanke. Det vand, der skal bruges ved blandemaskinen, kan næsten altid føres helt frem i en ledning. Hvor dette ikke kan gennemføres, må der opstilles en beholder med dække, og ved vinterarbejder skal vandet da kunne holdes opvarmet.

Tilsætningsstoffer — af hvad art de end er — bør opbevares under tag.

6.3. Udtagning af delmaterialer efter vægt og rumfang

Når udtagningsmåden diskuteres, anføres det ofte, at det er vanskeligt at skaffe velegnet udstyr til vejning, men dette er ikke længere rigtigt. Der findes nu et så stort udvalg af vægte og vejesystemer i handlen, at så at sige alle fordringer kan opfyldes.

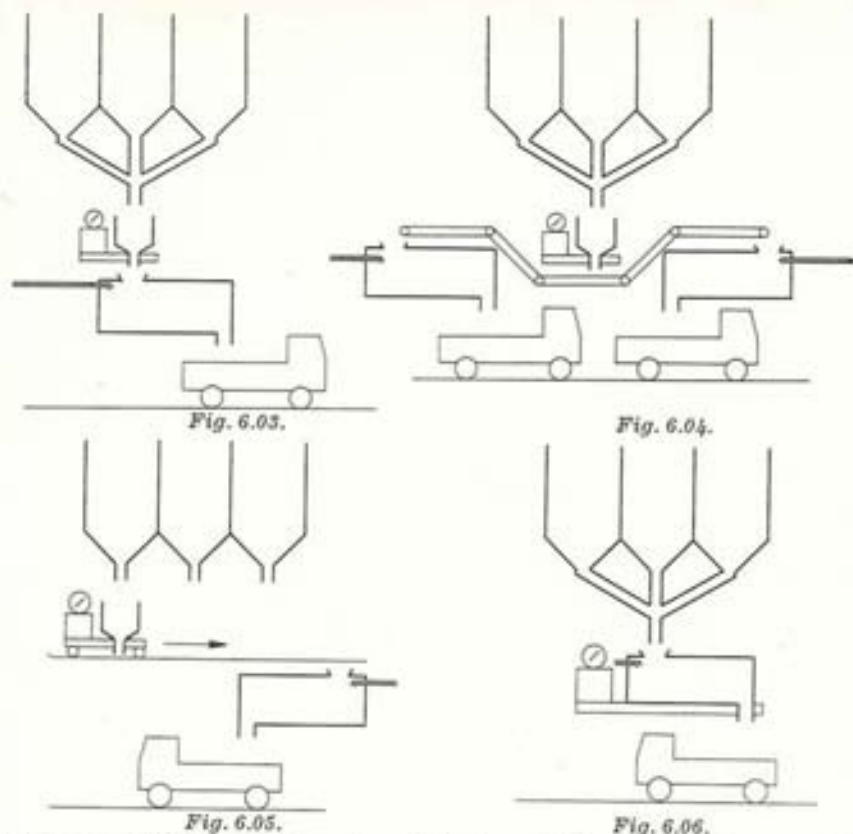


Fig. 6.03—6.06. Vejeanordninger for udtagning af delmaterialer på mørtelværk eller på blandestation på stor byggeplads.

En del af dette udvalg skal kort omtales her.

1. En vægt, der tømmes fra bunden direkte ned i blandemaskinens tragt er skitseret på fig. 6.03. Delmaterialerne føres til vægten fra højt placerede siloer. Bundklapperne i siloer og vægt i dette og de tre næste systemer manøvreres hydraulisk eller med trykluft.
2. En vægt som foran med fyldning som foran tømmes fra bunden ud på et transportbånd, der fører de afvejede delmaterialer til én eller flere blandemaskiner (fig. 6.04). Systemet kræver ikke så stor højde som det førstnævnte.

3. To vægte, der tømmes fra bunden over et fælles transportbånd, én for bindemidler og én for tilslagsmaterialer. Tømningen foregår samtidig, hvilket medfører en vis forblanding.
4. En vægt, der tømmes fra bunden, er anbragt på skinner og kan køres fra silo til silo for fyldning og hen over blandemaskinen for tømning (fig. 6.05).

Disse fire vejesystemer er især beregnet på mørtelværker.

5. Blandemaskinen er monteret på en vægt, og delmaterialerne fyldes fra siloerne direkte ned i maskinen gennem et fælles rør (fig. 6.06). Klapperne åbnes og lukkes med hånden eller manøvreres med trykluft.

Dette sidste system er beregnet såvel for mørtelværker som for store byggepladser. De følgende er beregnet for mindre byggepladser, hvor vejeindretningen må være væsentlig enklere.

6. En skydelodsvægt med vejebro opstillet på jorden med ramper for op- og nedkørsel (fig. 6.07). Delmaterialerne bringes på vægten på trillebør — for hvilken der er tareret — og tippes ned i blandemaskinen. Systemet er ret tidskrævende, og vægtarmen er svær at holde ren.
7. En viservægt med vejebro og speciel vægtarm for tarering er hurtigere at arbejde med og mere robust (fig. 6.08). Skal der arbejdes med flere mørtler, kan der anvendes viserskiver med speciel gravering, én for hver mørtel (fig. 6.09).

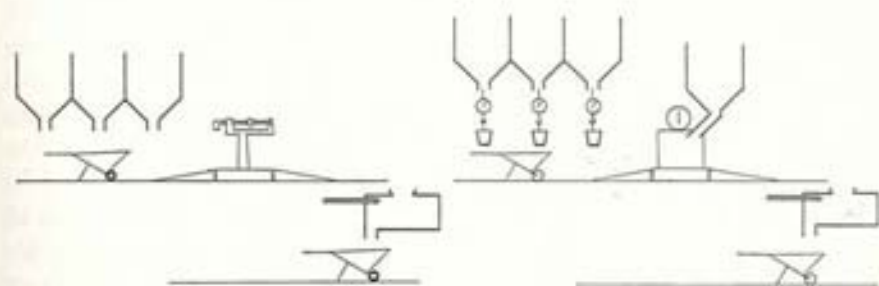


Fig. 6.07 og 6.11. Vejeanordninger for udtagning af delmaterialer på almindelig byggeplads.



Fig. 6.08. Viservægt med vejebro og vægtarm for tarering.



Fig. 6.09. Udskiftelig vægtskala med speciel gravering.

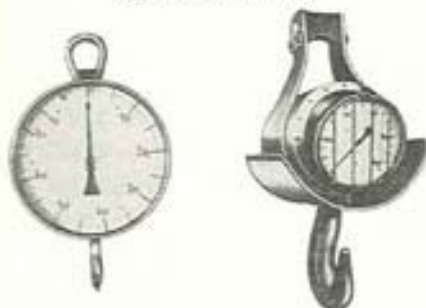


Fig. 6.10. Fjedervægt og hydraulisk kranvægt.

Viservægtene skal stå på et fast underlag og nøjagtigt i lod og vage; endvidere kræver de regelmæssig kontrol ved hjælp af 2 eller 3 lodder, der altid skal følge vægten.

8. Fjedervægte og hydrauliske vægte (fig. 6.10) kan med held anvendes på små byggepladser, idet de er billige og effektive til små materialemængder. En kombination som den foran (fig. 6.11) viste med en viservægt med vejebro til tilslagsmaterialet og en fjedervægt til hvert bindemiddel og måske filler har vist sig brugbar. Hver vægt skal have sin vejespand med tydeligt mærke, og på vægtene skal der være tareret for spandene og trillebøren.

9. Bismervægte kan bruges på samme måde som fjedervægte, men vejeområdet er i reglen mindre, og lodet kan let skubbes ud af stilling, uden at det opdages.

10. Som eksempel på en primitiv vejemetode, der kan bruges som nødhjælp, skal til slut nævnes det på fig. 6.12 skitserede arrangement. En mindst 2 m lang planke er på midten understøttet af en buk med en smal overligger.

I plankens ender hænger to ens beholdere; den ene er fyldt til kendt vægt, i den anden «afvejes» samme vægtmængde.

De her omtalte vejesystemer skal ikke alene vise, at der kan købes vejeudstyr, som passer til enhver byggeplads, men også at vejarbejdet rigtigt planlagt kan gøres til en overskuelig og ret hurtigt gennemført arbejdsproces, og når man vil sammenligne blanding efter vægt med blanding efter rumfang, må det huskes, at det er rumfangsmåling under kontrol, der skal tænkes på. Udmåling med skovl, som jo bliver praktiseret på alt for mange byggepladser, er en parodi på rumfangsmåling, og har aldrig været godkendt i en nordisk forskrift, og rigtigt udført rumfangsmåling kræver både tid og omhu.

Fremgangsmåden ved rumfangsmåling er behandlet i forbindelse med omtalen af blandingsanvisningen. Både en fjedervægt og en bismervægt egner sig meget godt til kontrolarbejderne; på sådanne vægte kan små målekar vejes direkte, tomme og fyldte. Store målekar og bære fyldes forskriftsmæssigt, og indholdets vægt bestemmes derefter ved portionsvis vejning i et af de små målekar (uden at glemme tareringen). Kontrollen med målekarrenes rumfang kan f.eks. ske ved at måle, hvor mange liter vand de kan rumme. Målekar med plan overkant skal altid fyldes til lidt over kanten og overskuddet stryges af med et helt lige brædt. Trillebøre, som ikke har plan overkant, skal altid fyldes til samme højde, som kan være markeret ved en streg eller en liste, eller der kan stryges af med en «ko» (fig. 6.13). Ved måling af kulekalk og jordfugtig K-mørtel må man sikre sig, at karret virkelig er fyldt uden hulrum i massen, og målekar, som bruges til sådanne fugtige materialer, kræver særlig hyppig rengøring.



Fig. 6.12. Primitiv vejeanordning, brugbar som nødhjælp.



Fig. 6.13. Trillebør med afstryger (ko) til brug ved rumfangsmåling.

Blanding

Ved blandingen skal mørtlens delmaterialer fordeles ensartet i hele massen ikke alene af hensyn til den færdige mørtels egenskaber, men også af hensyn til den friske mørtels smidighed og tendens til at sætte vand op i baljen.

Der findes blandemetoder og blandemaskiner med snart sagt alle grader af effektivitet, fra det absolut dårlige til det meget gode. I normer og forskrifter er dette forhold ret upåagtet, og det er et spørgsmål, om der ikke burde stilles et minimumskrav til blandingens effektivitet, i hvert fald ved vanskelige mørtler og vigtige arbejder.

Håndblanding er heldigvis omtrent gået af brug; for alle almindelige mørtler er håndblanding forkastelig, fordi den ikke kan ventes at føre til fuld homogenitet. Det er særlig grelt, når KC-mørtel håndblandes ved at sætte cement til en jordfugtig K-mørtel, sådan som det er vist på fig. 6.14, hvor cementen sættes til på øjemål og fordeles i K-mørtlen ved, at det hele skovles et par gange igennem. Selv om cementen bredes ud i et jævnt lag over K-mørtlen før gennemskovlingen, bliver fordelingen oftest som skitseret på fig. 6.15, og noget lignende er i reglen tilfældet, når der sættes cement til i baljerne på stilladset. Dersom



Fig. 6.14. Forkastelig fremgangsmåde ved blanding af K-mørtel og cement.

håndblanding er nødvendig, f.eks. ved reparationer, bør blandingforholdet fastsættes under hensyntagen til, at fordelingen bliver mangelfuld, og blandingen må sættes i system; bindemidlerne skal



Fig. 6.15. Demonstration af mangelfuld cementfordeling i sand eller K-mørtel ved blanding med skovl.

først blandes tørt med sandet, før vandet tilsættes, og den endelige blanding med vand skal være både grundig og langvarig.

Der er alligevel visse specielle mørtler, som kan håndblandes uden større risiko; det gælder f.eks. nogle af de fabriksfremstillede tør-mørtler, herunder flere ædelmørtler og ild- og syrefaste mørtler. Brugsanvisningen for disse mørtler giver i reglen besked om, hvordan der skal blandes, og den skal naturligvis følges; dog forbedres både kvalitet og bearbejdelighed næsten altid, hvis man i stedet for skovlen bruger en blandevinge anbragt på en elektrisk håndboremaskine (fig. 6.16).

Ved maskinblanding kan man ikke uden videre gå ud fra, at en god betonblandemaskine også er velegnet til mørtel; den store forskel på den maksimale kornstørrelse gør blandingprocesserne ret forskellige. Ved blandingen skal delmaterialerne holdes i stadig og hurtig indbyrdes bevægelse, og det er derfor vigtigt, at blandemaskinen virkelig har den dertil fornødne motor-kraft; den indre friktion i mørtelmassen er ofte så stor, at den giver anledning til en følelig temperaturstigning.

Den enkleste form for blandemaskine er en fritfaldsblander (fig. 6.17). Den er ret langsomgående og rent principielt ikke velegnet til mørtelblanding. Den forekommer i mange typer med noget varierende effektivitet. Ofte kan man umiddelbart se, om maskinen blander godt eller dårligt (fig. 6.18); går mørtelmassen som et hele rundt i beholderen, er blandingen ikke ret effektiv, det er bedre, hvis mørt-



Fig. 6.16. Blandevinge anbragt i elektrisk håndboremaskine.

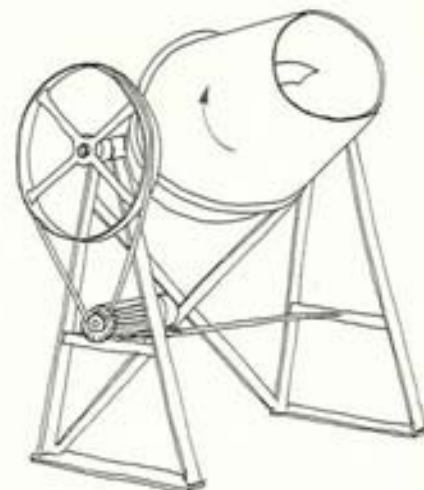


Fig. 6.17. Lille fritfaldsblandemaskine.



Fig. 6.18. Mørtel med lyse cementstriber i dårlig blandemaskine.



Fig. 6.20. Tvangsblender med modsat-roterende beholder.

len stadig er i indbyrdes bevægelse i de forskellige områder. I bedste fald er en ret lang blandetid dog ønskelig, såfremt mørtlen skal blive nogenlunde velblandet, f.eks. 8-10 minutter. Tvangsblandere er ikke så enkle som fritfaldsblanderne. I den almindelige tvangsblender er beholderen faststående, men blandearmene roterer, ofte med planetbevægelse (fig. 6.19). I en anden udformning af tvangsblenderen — en modstrømsblender — roterer også beholderen og i modsat retning (fig. 6.20). Rigtigt byggede tvangsblendere giver meget velblandede mørtler, men de giver kun små forbedringer i forhold til fritfaldsblandere, når det gælder mørtlernes smidighed og evne til at stå i baljen. Tvangsblandere er tunge og ret langsomme at anvende, og de bruges derfor ikke på ret mange byggepladser. De er bedre egnede for mørtelværker, og til fabrikation af tørtmørtler er det nødvendigt at anvende tvangsblendere, for at undgå afblanding af sandet.

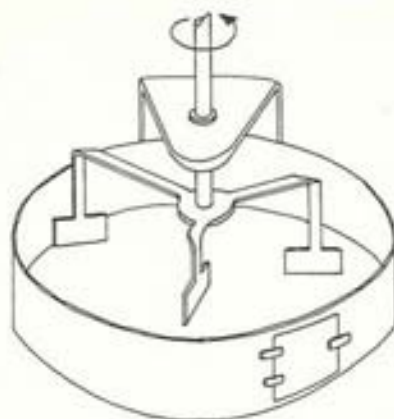


Fig. 6.19. Tvangsblender med fast beholder.

len stadig er i indbyrdes bevægelse i de forskellige områder. I bedste fald er en ret lang blandetid dog ønskelig, såfremt mørtlen skal blive nogenlunde velblandet, f.eks. 8-10 minutter.

Tvangsblandere er ikke så enkle som fritfaldsblanderne. I den almindelige tvangsblender er beholderen faststående, men blandearmene roterer, ofte med

Liggende blandemaskiner — blandesnegle — har en vandret, roterende akse med skråtstillede knive eller skovle (fig. 6.21). De kan enten være kontinuerligt virkende eller udformet til portionsvis blanding. Den første type giver desværre så godt som ingen mulighed for at holde mørtlens sammensætning helt konstant i den almindelige udformning, og uden dette kan en kontinuerligt virkende blandemaskine ikke betegnes som egnet til mørtelblanding. Med rigtigt indstillede og rigtigt formede skovle, med rigtigt omdrejningstal og rigtig blandetid kan blandesnegle derimod yde en meget effektiv blanding ved portionsvis mørtelfremstilling. Blandesnegle bruges ikke længere på byggepladser, men nok på en del mørtelværker.

Aktivatoren er en blandemaskintype af finsk oprindelse, men ejendommeligt nok anvendes aktivering i dag mere udbredt i de andre nordiske lande, måske mest i Sverige, og maskinerne afviger i øvrigt nu en del fra den oprindelige udformning. Aktivatoren er en meget hurtigtgående blandemaskine (fig. 6.22), hvor vingernes hastighed langs beholdervæggen kan komme op på 6—10 m/sek., hvilket medfører, at motorkraften må være 2—3 gange motorkraften i langsomt gående blendere med samme kapacitet. Ved så store hastigheder kan mørtlen ikke drives med rundt, og der opstår derved en piskningseffekt med overvindelse af den indre friktion og med temperaturstigning til følge, ofte på 5—10 °C. Mørtlens partikler udsættes for en kraftig rivning, som fører til, at sammenkittede korn skilles og fordeles. Klaser af bindemiddelpartikler bliver derved åbnet, og

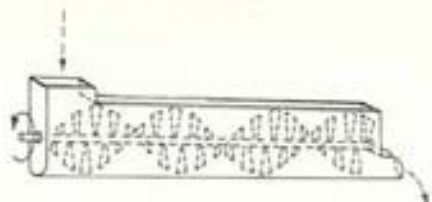


Fig. 6.21. Blandesnegl med skråtstillede knive.

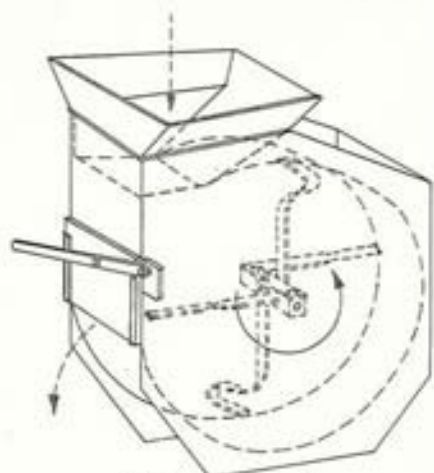


Fig. 6.22. Aktivator.

efterhånden som vandet trænger ind i de enkelte partikler og opbløder overfaldelaget, vil det slides af og et nyt lag blive fugtet. Dette fører til en bedre udnyttelse af bindemidlet og giver sig blandt andet udtryk i, at der må bruges mere vand i forhold til bindemiddelmængden end i mørtel blandet i langsomtgående blandemaskine.

Erfaringen fra såvel byggepladser som laboratorier i alle de nordiske lande viser, at aktivering medfører en række vigtige fordele:

- Mørtlen bliver meget ensartet.
- Smidigheden forbedres væsentligt især i cementrige mørtler.
- Tendensen til at sætte vand op bliver væsentlig mindre.
- Selv magre mørtler kan blive smidige.
- Tætheden mod vandgennemtrængning bliver væsentlig større.

Men aktivatorerne har også deres negative sider:

- Energiforbruget er stort.
- Sliddet på maskinen er stort, især på vingerne.
- Kapaciteten er forholdsvis lille.
- Maskinen er ikke bekvem at bruge.

Da bindemidlet udnyttes bedre, ikke alene kan men bør aktiverede mørtler være lidt magrere end langsomt blandede. Aktiveringstiden skal være kort, mellem 3 og 5 minutter; blandes der i 10—15 minutter, kan kvaliteten dale; mørtlen overaktiveres.

Alle K-, C- og KC-mørtler kan udmærket blandes i aktivator, og den mindre smidighed, som følger med brugen af tørlasket kalk, bliver praktisk talt ophævet derved. Mørtler med luftindblandingsmidler — som f.eks. M- og MC-mørtler — kan i reglen blandes udmærket selv i fritfaldsblandere, og af denne grund, og fordi en aktivator nok pisker en del luft ud af sådanne mørtler, bliver det nu og da hævdet, at de ikke bør aktiveres. Flere forsøg tyder imidlertid på, at dette ikke er rigtigt, og at aktiveringen af luftrige mørtler tværtimod forbedrer enkelte af deres egenskaber uden at have nogen forringende indflydelse på bearbejdigheden; det kan se ud, som om luftindholdet begrænses opadtil og stabiliseres på en gunstig værdi.

Alt i alt kan praktiske erfaringer og forsøg siges at vise, at aktivatoren er en betydelig bedre blandemaskine end de øvrige nævnte typer; der er ingen tvivl om, at den burde anvendes i større udstrækning end i dag, og især hvor der stilles store krav til mure- og pudsearbejdet. Det må forudses, at der vil dukke nye typer af blandemaskiner med lille eller stor aktiveringseffekt op på markedet, og det ville derfor være nyttigt at finde frem til en formulering af de krav, der bør stilles. Måske skal kravene knyttes til den temperaturstigning, som mørtlen opnår under blandingen; sådanne krav indgår i Norsk Standard NS 422 A.

Ifyldningsmåden og den rækkefølge, hvori delmaterialerne ifyldes, kan spille en ret stor rolle for mørtlens kvalitet. Teoretisk set skulle det være bedst at sætte samtlige delmaterialer til samtidig og med sådan hastighed, at de ankom i det mængdeforhold, der svarer til blandingsforholdet. Derved ville der være opnået en vis ensartethed i massen allerede fra starten, men en sådan fyldning lader sig vanskeligt praktisere. En af vanskelighederne ligger i, at nogle af delmaterialerne er fugtige og dermed har en meget større indre friktion end de tørre materialer, så maskinen derved kan overbelastes. En anden vanskelighed ligger i, at de halvvåde materialer hænger fast på vinger og vægge og derfor ikke blandes. Ifyldningsmåden bør derfor i nogen grad gøres afhængig af blandemaskinens konstruktion.

I tvangsblendere — også modstrømsblendere — bør bindemidlet og tilslagsmaterialet tørblendes, før der sættes vand til. I andre maskintyper kan det være fordelagtigt først at fylde hovedparten af vandet i, derefter bindemidlerne og helst lidt af sandet og så vente med resten af sandet og vandet, indtil massen i maskinen er blevet gennemblendet. Først når alle delmaterialerne er tilsat, regnes blandetiden at begynde. Ved fremstilling af KC-mørtel af fabriksblandet K-mørtel, kan det være bedst først at tilsætte vandet, cementen og sandet og til sidst — efter en vis forblanding — K-mørtlen.

En vigtig medbestemmende faktor ved valget af rækkefølgen er blandetromlens og tilførselskanalernes renholdelse; blandevingerne og væggene i maskinen må f.eks. ikke have en skorpe af bindemiddel siddende tilbage, når mørtlen er tømt ud. Alle mørtler på gipsbasis

skal blandes på en speciel måde. Man indleder med at hælde den vandmængde, som skal bruges, op i et blandekar og tilsætter derefter gipsmængden ved langsomt at drysse den ud over vandoverfladen. Karret lades derefter i ro, indtil hele gipsmængden har trukket vand, hvilket let kan ses på farven. Først da må omrøringen begynde, og den sker med håndkraft og fortsættes, indtil G-mørtlen danner en jævn vælling uden klumper. Skal der tilslagsmaterialer eller kalk eller K-mørtel i, sættes de først til, når vællingen er færdigblandet, og denne iblanding kan foregå i maskine.

6.5. Transport og lagring af mørtel

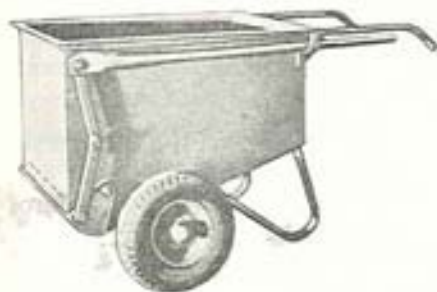


Fig. 6.25. Mørtelkørrer til transport på stilladset.



Fig. 6.24. Mørtelbeholder til transport med kran.

Transporten af mørtel fra fabrik til byggeplads foregår i reglen i lastbiler med åbent kasselad, der kan tippes. I stærk regn må transporten indstilles eller mørtlen eventuelt holdes under presenning. Mørtlen er i reglen kun jordfugtig, blandt andet for at undgå separation under kørslen. På byggepladsen må mørtlen så blandes op med mere vand i en effektiv blandemaskine. Skal mørtlen leveres brugsfærdig fra værk, bør transporten foregå i biler med roterende tromle. Uanset bilens indretning må køretiden i hvert fald ikke være over 1 time, såfremt mørtlen indeholder hydrauliske bindemidler som cement, murcement og hydraulisk kalk.

På selve byggepladsen kan man endnu se, at mørtlen bæres til baljerne i kasser, men det hører til sjældenhederne, og det

normale er, at mørtlen køres i specielle kærre (fig. 6.23) ved den vandrette transport og hejses ved den lodrette, eller at mørtlen fra blandemaskinen fyldes i en beholder med skod i bunden og i denne føres hen over baljerne på stilladset af en kran (fig. 6.24). På nogle byggepladser anvendes en mørtelpumpe (fig. 6.25), der via rørledning eller slange fører mørtlen fra blandestationen til arbejdsstedet. Der kan f.eks. bruges membranpumper, men mørtlen skal være smidig og have godt indre sammenhæng for at imødegå risikoen for separation.

Skal brugsfærdig mørtel lagres en kort tid, inden den føres til brugsstedet, kan det være nødvendigt at holde den i bevægelse eller at røre den op, inden den føres videre; hvis mørtlen er tyndflydende, skal det gøres. Hertil kan bruges en maskindrevet omrører som den på fig. 6.26 viste; skal arbejdet gøres for hånden, må der udvises stor omhu for at få mørtlen ensartet inden hver udtagning. Tømningen skal ske gennem et skod ved bunden, og det skal også bruges ved spulingen, for at alle mørtelresten og -skorper kan skylles ud. Beholderen eller kassen er i reglen hævet så meget over terræn, at spande eller kærre kan føres ind under den. Baljerne på stilladset er af træ, jern eller plastic og rummer i reglen 80 liter; jern- og plasticbaljer er nemmest at holde rene.

K-mørtel kan som før nævnt lagres meget længe på byggepladsen, når den beskyttes mod udtørring og karbonatisering. Lagringstiden for hydrauliske mørtler er nærmere omtalt i kapitel 5. Begge slags mørtler skal beskyttes mod nedbør og frost, og det kan der-



Fig. 6.25. Pumpe til mørteltransport i rør (det skrå) fra blandestation til stillads.



Fig. 6.26. Flytbar mørtelbænk med maskindrevet omrører.

for være at foretrække at lagre dem under tag. Ved arbejdet med farvet mørtel er det vigtigt, at alle redskaber — bære, baljer, spader o.s.v. — som kommer i berøring med mørtlen, er helt rene.

6.6. Blandestationens indretning

Både delmaterialerne og den færdige mørtel er tunge og uhåndterlige, og planlægningen af en blandestation — stor eller lille — skal derfor først og fremmest sigte på en rationel transport, og princippet bør være, at delmaterialerne til indledning løftes så højt, at de senere kan passere gennem blandestationen ved hjælp af tyngdekraften alene, og at løftearbejde under produktionen i hvert fald undgås.

Som overalt er der også her en voksende tendens til at søge så meget som muligt af det strenge arbejde overført fra mennesker til maskiner, og dette kan gennemføres i desto videre grad, jo større blandestationen er.

På de nyeste mørtelværker og på rigtig store blandestationer er mekaniseringen i reglen drevet meget langt. Ved interimistiske blandestationer, som kun skal fungere i kort tid, klarer man sig med mindre, men selv i sådanne tilfælde kan man ved planlægning ordne arbejdet mere praktisk og rationelt, end det ofte bliver gjort.

For mørtelværkeres vedkommende vanskeliggøres driften af, at efterspørgslen ikke er jævn, og at forbrugerne kun kan aftage mørtlen i ret små portioner, fordi den — bortset fra K-mørtel — skal være opbrugt på få timer. Størrelsen af de portioner, som blandes på fabrikken, må af den grund holdes nede på 1 højst 2 m³. Samtidig kan antallet af kunder være stort og kravene til mørtlens sammensætning veksle fra bestilling til bestilling. At drive kontinuerlig produktion er derfor praktisk taget ugørligt; værket må basere driften på flere små blandemaskiner og hurtige ændringer i blandingsanvisningerne. Værker, som leverer tørmørtel, står i så henseende gunstigere, fordi de kan producere til lager.

Her skal gives nogle skematiske eksempler på indretningen af værker af forskellig størrelse, men det siger sig selv, at der også findes andre løsninger, som kan være lige så gode eller bedre i en bestemt situation.

Fig. 6.27 viser én måde at indrette et stort mørtelværk på. Delmaterialerne løftes ad transportbånd eller rørledning op til toppen af bygningen og fordeles derfra i et silobatteri. Siloernes bundklapper åbnes og lukkes ved hjælp af trykluft eller servomotorer, og materialerne falder direkte ned i vejebeholderen og føres fra denne ned i blandemaskinen. Vand kan tilledes fra vandværksledning eller fra en vandtank. Blandetiden overholdes automatisk, og den færdige mørtel kan tømmes ud på et transportbånd eller falde direkte ned på en mørtelvogn.

Alle de klapper og haner, som på skitsen er markeret med et kryds, kan styres fra et fælles manøverbord, hvorfra vejningen

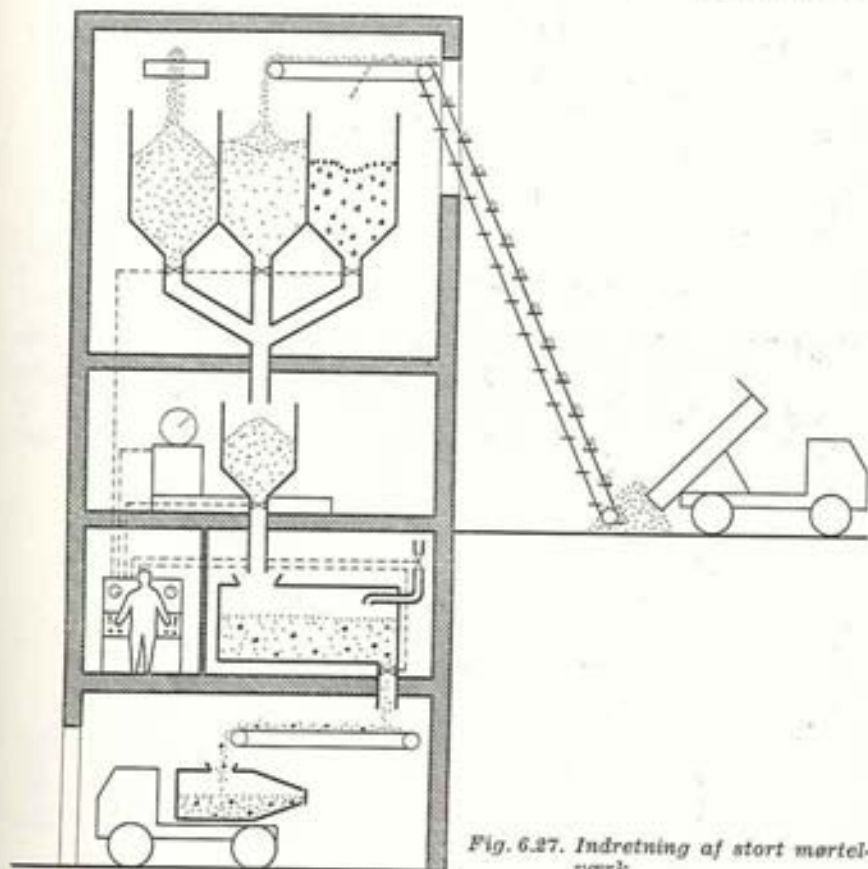


Fig. 6.27. Indretning af stort mørtelværk.

også kan følges. Er værket højt automatiseret, kan automatikken være elektronisk reguleret så vidt, at blandemesteren kun skal indsætte de rigtige hulkort og holde øje med signallamper. Er automatiseringen ikke drevet helt så vidt, styres produktionen ved hjælp af knapper på manøverbordet. Hertil bruges blandingsanvisninger, der praktisk kan skydes stykke for stykke ind i en kassette med en rude, hvorigennem der kun kan læses én vægtmængde ad gangen; herved nedsættes mulighederne for fejlflæsning.



Fig. 6.28. Indretning af stor blandestation.

Fig. 6.28 viser indretningen på en ret stor byggeplads, hvor alle delmaterialerne føres til silo. Delmaterialerne vejes på viservægte med vejebro i tarerede trillebøer, én vægt og én bær for hvert, og tippes direkte fra børene ned i blandemaskinen. Her anvendes der kun maskinkraft på blandemaskinen.

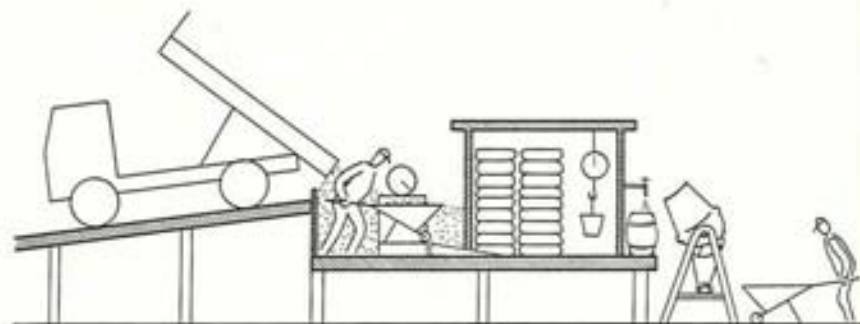


Fig. 6.29. Indretning af lille blandestation.

Fig. 6.29 viser indretningen på en ret lille byggeplads, hvor tilslagsmaterialerne lagres under åben himmel, og bindemidlerne lagres i et skur med åben gavl; begge lagre er placeret på en platform hævet over terrænet, og materialerne tilkøres ad en rampe. Tilslagsmaterialerne vejes i tareret trillebør på viservægt med vejebro og tippes fra børen direkte ned i blandemaskinen; platformens højde over terrænet er bestemt af denne tipning. Bindemidlet vejes i tareret spand på en justeret og permanent ophængt fjedervægt. Kan blandingsanvisningen indrettes til hele sække bindemiddel, kan vejningen af bindemiddel stryges. Bruges der en større blandemaskine med elevator (hejs), er der i reglen ingen grund til at hæve platformen over terrænet, og det samme gælder, dersom forholdene gør det nærliggende at indrette en simpel hejseanordning for trillebøren med sand og bindemiddel, så materialerne på den måde kan fyldes i blandemaskinen.

God orden og klar adskillelse mellem delmaterialerne letter og fremmer i høj grad arbejdet på blandestationen. Til god orden hører også, at maskinerne holdes rene og i god stand; dette sidste må sikres ved regelmæssigt eftersyn. Det er af særlig betydning at holde øje med sliddet på blandevinger og -arme, navnlig på aktivatorer, hvor sliddet er meget stort; bliver delene ikke fornyet i rette tid, bliver maskinens blandeeffekt stærkt nedsat.

KAPITEL 7



MØRTLERNES EGENSKABER

Mørtlernes anvendelsesområde er meget stort, og de krav, der stilles til dem, er derfor meget forskellige. Muremørtlen i et højhus af tegl skal først og fremmest have gode styrkeegenskaber. En mørtel til udvendigt puds i strengt klima skal være tæt overfor slagregn og være modstandsdygtig overfor frostens påvirkninger. Ved andre anvendelser kan det blive krævet, at mørtlen skal være syrefast, at dens vedhængning til underlaget skal være særlig stor, eller at dens svindtendens skal være særlig lille. De materialer, som mørtlen kommer i berøring med — mursten, fliser, underlaget for puds o.s.v. — stiller ofte supplerende krav, og alt dette betyder, at arten af

delmaterialerne i en mørtel og blandingsforholdet imellem dem må kunne varieres inden for vide grænser.

I dette kapitel bliver samhænet mellem disse variationer og mørtlernes egenskaber behandlet med henblik på de valg, der skal træffes, når der skal foreskrives mørtel til en bestemt opgave med formulerede krav. Hovedvægten vil blive lagt på mørtler med kalk og cement som bindemiddel — de er jo fremdeles de vigtigste og mest anvendte — men først skal de nordiske bygningsmyndigheders klassificering af de gængse mørtler omtales.

7.1. Standard-mørtler

I alle de nordiske lande er der regler for, hvordan de gængse mørtler skal blandes og anvendes. Disse regler kan enten foreligge som krav fra bygningsmyndighedernes side, eller de kan foreligge som anvisninger eller rekommandationer udarbejdet af byggetekniske institutioner eller standardiseringsorganer. Nogle af disse regler — f.eks. de af bygningsmyndighederne fastsatte — skal altid overholdes, andre skal kun følges, når der er henvist til dem, og når det er forlangt i arbejdsbeskrivelsen.

Fra begyndelsen har sådanne regler mest bygget på erfaringer fra praksis, og de var derfor i høj grad påvirket af byggetraditionerne i de pågældende lande og af, hvilke materialer der var nem og rigelig adgang til. Klimaforholdene har også haft indflydelse på reglerne gennem deres betydning for de erfaringer om forvitring og regn- og frostskeer, de har ført til. Men denne baggrund er i hovedsagen forsvundet, idet udvisningen af skellet ved landegrænserne jo også har ført til, at byggemetoderne er blevet omtrent de samme, og at nye byggematerialer holder deres indtog på samme tid i de fire lande. Endnu større betydning har det vel haft, at der nu drives en omfattende systematisk forskning vedrørende mørtel, og at denne forskning i Norden er sket i intimt samarbejde landene imellem.

Gennemgår man de nordiske reglementer og anvisninger, får man alligevel indtryk af, at de på mange punkter er ret forskellige. Dette skyldes nok delvis, at de i tillæg har en række særbestemmelser og alternerende muligheder, som er ret afvigende, men trods dette kan der dog findes en fælles linie og en tydelig tendens til tilnærmelse.

Det gælder især reglerne for mørtlernes sammensætning, deres blandingsforhold.

I foråret 1965 var de vigtigste af disse bestemmelser samlet i efterfølgende publikationer:

- Danmark: Akademisk Arkitektforenings Generalbeskrivelse (GB 4), 1960.
 Finland: Normer för murverk av brända tegel (Poltetuista tiilistä muurattujen rakenteiden normit), 1958.
 Norge: Norsk Standard 422 A, Del 1, 1963.
 Sverige: Byggnadsstyrelsens Anvisningar till Byggnadsstadgan (BABS), 1960.
 Allmän material- och arbetsbeskrivning för husbyggnadsarbeten (ByggAMA), 1960.

De danske, norske og svenske bestemmelser gælder for både mure- og pudsmørtler; for Sveriges vedkommende giver BABS kun regler for muremørtler, medens ByggAMA også omhandler pudsmørtler. De finske normer gælder oprindeligt kun muremørtler, men de anførte blandingsforhold er også blevet anvendt til pudsmørtler. I alle bestemmelserne er der opgivet blandingsforhold for et ret lille antal standardmørtler, hvis sammensætning varierer fra rene K-mørtler over KC-mørtler til rene C-mørtler.

De vigtigste af disse mørtler er afbildet som punkter i den grafiske fremstilling på fig. 7.01, hvor det procentvise vægtforhold mellem kalk og cement er vist på den vandrette og vægtmængden af tørt sand i kg pr. 100 kg bindemiddel er vist på den lodrette akse. Punkterne kan afsættes umiddelbart efter de finske, norske og svenske normer, fordi blandingsforholdene er opgivet i vægtforhold efter KC-systemet. Den danske generalbeskrivelse opererer derimod kun med vægtforhold for den rene kalkmørtels vedkommende og ellers med rumfangsforhold, og blandingsforholdene må derfor omregnes til vægtforhold på grundlag af talværdier fundet ved laboratorieundersøgelser. Da sandets rumvægt varierer med sandsorten, er de udregnede værdier behæftede med en vis usikkerhed.

Figuren synes at vise, at der er ret store forskelle mellem de fire landes normer, selv om der er en tydelig fælles tendens. Specielt synes de finske mørtler at skille sig ud ved et lavt sandindhold,

altså ved at have et højt indhold af bindemiddel, men dette har vist sig at have en naturlig forklaring. Da den finske norm blev udarbejdet, måtte der tages hensyn til, at den finske kalk havde et særlig højt indhold af kemisk uvirksom filler, og der blev regnet med et hydroxidindhold på 60 %. I den norske standard er der regnet med, at hydroxidindholdet kan gå ned til 90 %, og i Sverige kan der regnes med et indhold på 90—95 %. I Danmark bliver der som foran nævnt taget hensyn til kalkens renhedsgrad, og de danske blandingsforhold er således baseret på rent calciumhydroxid.

I Finland er der nu en ændring under udvikling, idet fabrikerne er i færd med at stille om til nye kalktyper med et hydroxidindhold på mindst 80 %. Dette medfører, at murværksnormerne må revideres, og indtil det bliver gennemført, arbejdes der efter provisoriske regler, hvis blandingsforhold også er vist på fig. 7.01 (de lyse firkanter); det ses hurtigt, at de finske mørtler derved rykker de øvrige et væsentlig stykke nærmere.

Det er nærliggende og let gjort at omregne de finske, norske og svenske mørtlers K-indhold til ligesom de danskes at være baseret på ren calciumhydroxid. Dette er gennemført, og de stoffer i kalken, som ikke er hydroxid, er medregnet som sand. Den grafiske frem-

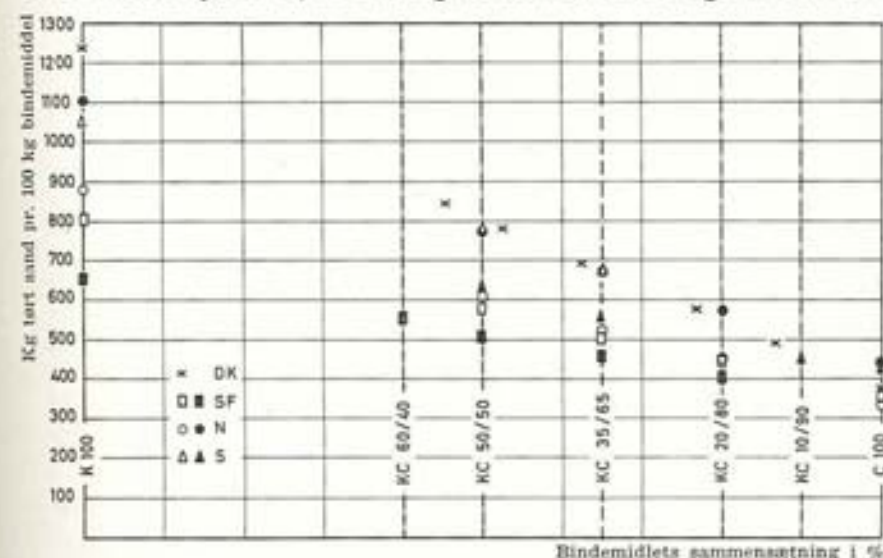


Fig. 7.01. Standardmørtler i de nordiske lande.

stilling kommer da til at se ud som vist på fig. 7.02, som jo viser en anderledes god overensstemmelse fra land til land end fig. 7.01. På figuren er der indtegnet to grænselinier, der afgrænser det område, som samtlige mørtler ligger i; det har vist sig, at disse linier netop svarer til de norske standardblandingsforhold for aktiveret (øverste linie) og langsomt blandet mørtel.

Man kan roligt påstå, at de afvigelser, som forekommer i fig. 7.02, er overraskende små, de er mindre end de udsving, der ofte forekommer i praksis på grund af usøjagtigheder ved udmålingen af delmaterialer. Afvigelserne i sandmængderne er mindst for de rene C-mørtler og vokser jævnt med kalkholdigheden, hvilket er ganske naturligt, fordi de cementrige mørtlers egenskaber ændres stærkere med sandindholdet end de kalkrige, når blot disses bearbejdelighed er tilfredsstillende.

At de nordiske bygningsbestemmelser således opererer med mørtler, hvis blandingsforhold talmæssigt varierer betydeligt, selv om de i virkeligheden er ret nær ens, medfører, at der i en fællesnordisk lærebog ikke godt kan anvendes fulde mørtelbetegnelser, uden at oversigten lider derved. Søger man f.eks. en mørtel KC 50/50/620 i

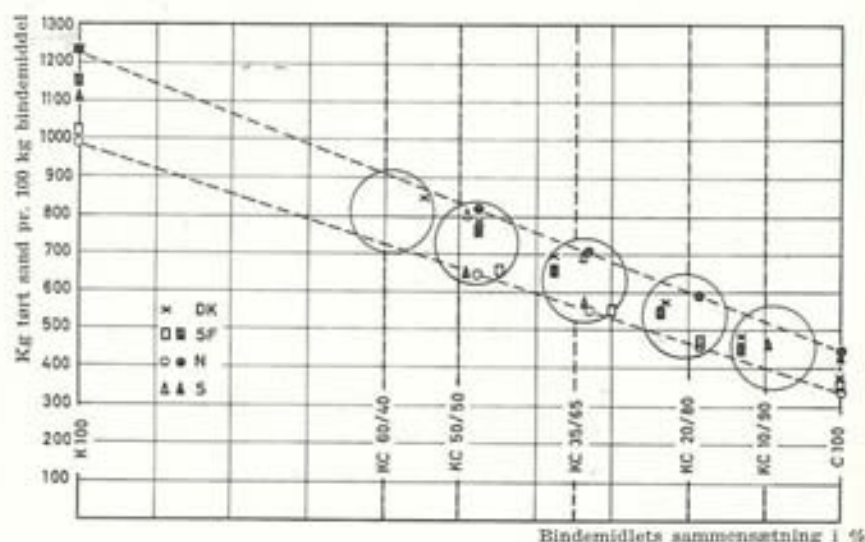


Fig. 7.02. Omregnede blandingsforhold for de nordiske standardmørtler (kalkmængden regnet som calciumhydroxidmængden).

fig. 7.01, ser man, at der i Norge og Sverige (henholdsvis NS 422 A og BABS) findes mørtler af praktisk taget dette blandingsforhold, men de danske og finske mørtler med samme blandingsforhold mellem kalk og cement indeholder 780 og 500 kg sand, altså helt andre sandmængder.

Til gengæld viser fig. 7.02, at de sande blandingsforhold for de nordiske standardmørtler gruppevis ligger hinanden så nær, at det er berettiget at betragte mørtlerne indenfor hver gruppe som en enhed. Disse grupper er indcirklede på figuren, og det er netop mørtlerne i en sådan gruppe, der foran blev betegnet som mørtel af en bestemt type, f.eks. mørtel af type KC 50/50 eller af type KC 20/80. I nedenstående tabel findes 7 sådanne mørteltyper, og det kan ses, hvilke standardmørtler de svarer til i hvert land. For Finlands vedkommende er det kun de nye, midlertidige blandingsforhold, der er taget med. En tom rubrik i tabellen betyder, at vedkommende mørtel mangler.

| Mørteltype | Standardmørtlens betegnelse i | | | |
|------------|-------------------------------|--------------|----------|------------------------------|
| | Danmark | Finland | Norge | Sverige |
| K 100 | Kalkmørtel (Muremørtel) | K 100/800 | K 100 | K 100/1050 |
| KC 60/40 | Mørtel nr. 4 | | | |
| KC 50/50 | Mørtel nr. 3 | KS 50/50/575 | KC 50/50 | KC 50/50/625 KC 50/50/775 |
| KC 35/65 | Mørtel nr. 2 | KS 35/65/500 | KC 35/65 | KC 35/65/550 KC 35/65/675 |
| KC 20/80 | Mørtel nr. 1 | KS 20/80/450 | KC 20/80 | |
| KC 10/90 | Mørtel nr. 0 | | | KC 10/90/450 |
| C 100 | Cementmørtel | S 100/350 | C 100 | C 100/425 |

I Danmark (hvor nye normer er under udarbejdelse) hænder det allerede, at man i stedet for mørtelnumrene direkte foreskriver mørtler med KC-systemets betegnelser, f.eks. KC 60/40/800 eller

KC 20/80/500; fig. 7.02 viser, at disse mørtler ligger ret nær generalbeskrivelsens mørtler nr. 4 og nr. 1. I de svenske bestemmelser findes der rumfangsbetegnelser side om side med vægtbetegnelserne, men de er ikke taget med her.

I nogle bestemmelser tillades det at erstatte de i tabellen nævnte standardmørtler med mørtler med hydraulisk kalk eller murcement som bindemiddel. Reglerne herom er forskellige og skal ikke omtales nærmere. Når det i de følgende afsnit anbefales at bruge mørtel af en bestemt type, er det underforstået, at der lige så vel kan bruges den tilsvarende standardmørtel som en hvilken som helst anden mørtel, der i vedkommende land officielt betegnes som jævnbyrdig. Dersom der til et bestemt murerarbejde bliver anbefalet en mørtel af type KC 50/50, betyder det f.eks. i Sverige, at man kan bruge mørtel KC 50/50/625 eller M 100/525 eller en af de K₂C-mørtler, der er tilladt i henhold til BABS.

Det område, som tabellens mørtler dækker, omfatter mørtel til både muring og pudsning. Udenfor dette findes der en lang række andre mørtler til forskellige formål; disse mørtler er mere eller mindre grundigt beskrevet i normer og anvisninger og skal ikke omtales nærmere her.

7.2. Frisk mørtel

De krav, som mureren stiller til mørtlen i baljen, gælder først og fremmest god bearbejdelighed. Dette krav er meget vigtigt, og det bør altid opfyldes, så vidt som hensynet til den hærdnede mørtels egenskaber tillader det. Når der tales om god bearbejdelighed, tænkes der på den lethed, hvormed mørtlen lader sig behandle af mureren under de arbejdsoperationer, som muringen eller pudsningen omfatter. Begrebet omfatter således en række forskellige egenskaber, som hver for sig er svære at definere og tilmed i høj grad griber ind i hinanden; her skal nogle af de vigtigste omtales nærmere.

To begreber, som altid anvendes i forbindelse med talen om bearbejdelighed, er stivhed eller konsistens og smidighed. *Stivheden* er direkte bestemt af, om der er sat lidt eller meget vand til mørtlen, og forskellige arbejder fordrer i reglen forskellig stivhed. Ved lægning af fliser bruges der f.eks. en meget stiv mørtel, medens mørtel

til berapning kan repræsentere den modsatte yderlighed, en mørtel der ikke må være stiv. Stivhed er altså ingen materialegenskab hos mørtlen, men en betegnelse for dens tilstand. Skal man sammenligne flere mørtlers bearbejdelighed, må deres stivhed være den samme.

Der findes flere apparater, som kan måle mørtlers stivhed, når den blot ikke er alt for stor eller alt for lille. Det gælder først og fremmest Mo-måleren, som er vist forrest i dette kapitel, og rystebordet. I begge apparater bringes mørtlen til at flyde ud ved et antal stød eller fald; jo mindre stivheden er, desto hurtigere eller desto mere flyder mørtlen ud.

Hvis man lader et antal erfarne murere fra samme egn røre mørtel op til et bestemt arbejde, viser det sig i reglen, at mørtlerne får det samme Mo-tal eller det samme rystebordstal, og det vil også gælde, hvis de skal arbejde med andre mørteltyper. Gentages eksperimentet i et andet land, finder man den samme overensstemmelse for den nye gruppe murere, men det tal, man finder med apparatet, kan være et andet. Det viser for det første, at apparatet virkelig måler stivhed, og for det andet at arbejdsvanerne kan være meget forskellige fra sted til sted. Her i Norden foretrækker de fleste finske murere at arbejde med en betydelig stivere mørtel end murerne i de tre andre lande. I England mures der mange steder med en mørtel, der er så stiv, at de fleste nordiske murere ville kalde den ubrugelig.

Det ord, der bedst dækker den bearbejdelighedsegenskab, som nok er den vigtigste, er *smidighed*, og denne egenskab bestemmes både af mørtlens plasticitet og af dens kohæsin. Plasticiteten er et udtryk for, hvor let mørtlen lader sig forme, altså hvor ringe den indre friktion i massen er. Kohæsionen er et udtryk for mørtlens indre sammenhæng, dens evne til at hænge sammen, når den skifter form. Er kohæsionen dårlig, siger mureren, at mørtlen er «kort». Af disse to del-egenskaber er plasticiteten den vigtigste ved de fleste murerarbejder. Det er endnu ikke lykkedes at fremstille et apparat, der kan give korrekte talværdier for smidighed hos mørtler, heller ikke for plasticitet eller for kohæsin. Den eneste vej til en vurdering og sammenligning på dette område er indtil videre murerens bedømmelse. Det siger sig selv, at denne bedømmelse kun

kan blive grov, blandt andet fordi arbejdsvanerne som lige nævnt kan være ret forskellige, men den giver dog en række sikre holdpunkter.

Luftkalk kan give en smidig mørtel, som både har ringe indre friktion og meget godt indre sammenhæng, og jo mere finkornet kalken er, desto smidigere bliver mørtlen. I samme retning virker kalkens renhed, men der er stor forskel på den virkning, læskningsmåden har på kalkens evne til at gøre mørtlen smidig. Anvendes kalken som kulekalk eller anvendes der hydratkalk, som har stået i blød — været sat i støv — i nogen tid, bliver smidigheden stor, hvorimod den samme smidighed langt fra opnås, dersom kalken føres i blandemaskinen som hydratkalk i pulverform. Dette skyldes nok blandt andet, at tørlæsket kalks partikler til en vis grad hænger sammen som druer i en klase.

Cement har en langt ringere evne end kalk til at gøre en mørtel smidig, og en ren C-mørtel vil murerne normalt betegne som værende «tung» og for «kort»; sandskornene glider ikke let nok i massen, og det indre sammenhæng er ikke så stort som i K-mørtel. Ligesom for kalken giver en mere finkornet cement en større smidighed.

Sandets sigtekurve har også en væsentlig indflydelse på mørtlens smidighed; jo nærmere kurven ligger idealkurven, desto større bliver smidigheden. Især er det vigtigt, at sandet indeholder den fornødne mængde filler, jo mere desto mindre bindemiddelmængden i mørtlen er. Fillerforbruget må på den anden side ikke overdrives, idet den hærdnede mørtels egenskaber kan forringes derved f.eks. i henseende til svind og styrke. Begrænsningen af fillermængden er omtalt i kapitel 4 (grænsekurverne).

Såvel K- som C-mørtler bliver smidigere, når bindemiddelmængden øges, altså når mørtlerne gøres federe, et forhold som har ledt mange i fristelse og givet årsag til mange skader. Når svenden klager over mørtlens bearbejdelse, sætter murerarbejdsmanden måske mere kalk til, og mørtlen bliver da i mange tilfælde for fed, somme tider også for svag. I KC-mørtler spiller kalkens læskningsmåde i øvrigt en endnu større rolle end i ren K-mørtel. En tilstrækkelig gammel kulekalk eller en hydratkalk, der har været sat i støv, har en mærkbar gunstig indflydelse på smidigheden af selv

meget cementrige mørtler som f.eks. mørtler af typen KC 20/80 og KC 10/90.

Da brugen af hydratkalk vokser på kulekalkens bekostning, er kalkens rolle som smidiggørende middel i tilbagegang, og dermed vokser behovet for at tilsætte luftporedannende midler til kalken. Disse stoffers virkning er allerede omtalt i kapitel 4. Stofferne kan tilføres med kalken, med murcement eller tilsættes direkte i blandemaskinen. I alle tilfælde fører de til, at der dannes en mængde små luftblærer i mørtlen. Luftblærerne er så små, at de kun lige netop kan ses med det blotte øje, og de har kugleform; deres virkning kan måske sammenlignes med kuglernes i et kugleleje, idet de letter sandkornenes bevægelser ved at nedsætte den indre friktion. Mens mørtlens plasticitet således forbedres i meget væsentlig grad, spiller luftblærerne en forholdsvis lille rolle for kohæsionen, og poredannende stof i en ren C-mørtel vil altså nok gøre den let og bekvem at forme, men mureren vil stadig finde, at den føles noget «kort». Da plasticiteten spiller den dominerende rolle, er resultatet dog blevet, at murerne er meget tilfredse med tilsætningen af luftindblandingsmidler.

Plastificerende stoffer øger også en mørtels smidighed. Stoffer med fugtende og dispergerende virkning gør kontakten mellem vand og kornoverflader mere intim og virker spredende på bindemiddelpartikler, som danner «klaser»; derved bliver bindemidlet mere ensartet fordelt og både plasticitet og kohæsion forbedret. Geldannende stoffer øger kohæsionen meget stærkt, men de har i sig selv kun ringe indflydelse på plasticiteten. Dog indeholder de ofte følgestoffer, som virker poredannende og derfor øger plasticiteten. PVA har en virkning, som minder meget om de geldannende stoffers; mørtlens kohæsion bliver fuldt tilfredsstillende, og følgestoffer fører næsten altid til en ret kraftig poredannelse.

Blandingsmådens betydning for smidigheden blev berørt i kapitel 6; den energi, der skal anvendes for at få delmaterialerne ensartet fordelt, kan være ret forskellig — lavest for visse mørtler med poredannende og plastificerende tilsætningsstoffer — og er delmaterialerne uens fordelt, går såvel plasticiteten som kohæsionen ned. Størst virkning på smidigheden har aktivatoren, den medfører som nærmere beskrevet i kapitel 6 en mere effektiv udnyttelse af binde-

midlet formentlig ved at formindske den reelle kornstørrelse og føre til en bedre spredning. Dette må være forklaringen på, at aktivering forårsager så stærk en forbedring af mørtlens smidighed. Det ytrer sig meget tydeligt i den før omtalte kendsgerning, at aktiveret hydratkalkmørtel bliver lige så smidig som kulekalkmørtel, og i den smidighed som aktiveringen kan bibringe rene C-mørtler.

En anden vigtig egenskab med nøje tilknytning til bearbejdelse er tendensen til *vandudskillelse*; er den lille, har mørtlen god evne til at stå i baljen uden at sætte vand op, hvilket har stor betydning for murerens arbejde. Det er karakteristisk, at de smidigste mørtler sætter mindst vand op, altså at stor smidighed giver lille vandudskillelse. K-mørtler står gennemsnitligt bedre i baljerne end C-mørtler, og bindemiddelrige mørtler bedre end bindemiddelfattige. En rigtig fillermængde, tilsætningsstoffer som forbedrer smidigheden, samt aktivering virker i gunstig retning. En nem metode til bedømmelse af vandudskillelsen er omtalt i kapitel 12.

En nær beslægtet egenskab er *vandholdeevnen*, som angår mørtlens evne til at fastholde vandet overfor de sugende kræfter fra mursten eller andre underlag. Denne egenskab er vigtig, men de metoder, som anvendes for at måle den, er endnu ikke gode nok, og iøvrigt ved man for lidt om den måde, hvorpå vandholdeevnen influerer på murværkets eller pudslagets kvalitet. Det er nærliggende at tro, at vandudskillelse og vandholdeevne er to forskellige udtryk for samme egenskab, og man finder da også ofte, at mørtler med ringe vandudskillelse har en stor vandholdeevne, men det holder ikke altid stik; f.eks. kan aktivering af en mørtel fra en fritfaldsblander nedsætte vandudskillelsen meget stærkt, uden at vandholdeevnen berøres mærkbart. Mange har ment, at en stor vandholdeevne var gunstig, og gunstigere jo større den var, men denne opfattelse er forladt, og i dag er den almindeligste mening den, at vandholdeevnen hverken skal være så stor eller så lille som muligt, men normalt bør ligge i en passende afstand fra begge yderværdier. Spørgsmålet bliver nærmere omtalt i kapitel 8.

Nogle mørtler viser en ofte tydelig tendens til at blive stivere, efter at de er færdigblandede, men før bindemidlernes størkning er indledt. Tit skyldes det simpelthen, at fordampningen fra baljen er for voldsom, f.eks. som følge af varme eller blæst, men årsagen

kan også være, at sandet indeholder tørre, porøse korn, der suger vand fra mørtlen, indtil de er mættede. Det kan også være, at årsagen ligger hos bindemidlerne, f.eks. kan cementen vise falsk størkning, eller den kan undtagelsesvis have for kort størkningstid. Det er også hændt, at murcement eller kalk har gjort mørtlen stivere kort tid efter blandingen, uden at man med sikkerhed har kunnet sige hvorfor.

Denne tendens til stivnen er ikke farlig i sig selv, men indirekte kan den være meget uheldig ved at friste mureren til at sætte mere vand til mørtlen og røre den op til større smidighed. Dette må undgås, fordi mørtlens kvalitet forringes derved. I tørt og varmt vejr med blæst skal baljerne kun fyldes til en trediedel eller halvt op, og er de ikke muret tomme til pauserne, bør de overdækkes. Er tilsættet eller bindemidlet årsag til stivhedstilvæksten, kan man i nogen grad bøde derpå ved at blande med så meget mere vand, at mørtlen er bekvem, når den hældes i baljerne.

At mørtlen bliver for tidligt stiv har intet at gøre med begrebet brugstid. Med *brugstid* menes det tidsrum efter blandingen, hvori mørtlen kan bruges uden risiko for, at de kemiske processer er gået for langt. Mens K-mørtel har en næsten ubegrænset brugstid, har mørtlerne med hydrauliske bindemidler altid en begrænset brugstid, hvis længde afhænger af bindemidlets art og mængde, af mørtlens temperatur, af de anvendte tilsætningsstoffer m.m. Man regner at være på den sikre side ved at fastsætte, at mørtler med cement eller hydraulisk kalk ikke må bruges, hvis de er mere end 3 timer gamle. Er temperaturen høj, kan dette dog blive for lang en tid for meget cementrige mørtler, eller mørtler med tilsætning af accelererende stoffer. Cementrige mørtler med mere end 15 % PVA kan også have en brugstid på under 3 timer; en mørtel som C 100/450 med 20 % PVA skal i reglen være opbrugt inden 1 time.

Brugstiden for G- og GK-mørtler er omtalt side 117.

Af andre egenskaber, som har relation til mørtlers bearbejdelse, skal endnu nævnes *klæbeevne* og *rumvægt*. Ved klæbeevnen forstås i denne forbindelse mørtlens tendens til at klæbe til såvel værktøj som underlag. En mørtel med god bearbejdelse skal kunne hænge ved skeen, dersom den drejes en omgang og holdes i ro med bagsiden opad, men mørtlen skal med lethed glide af skeen, dersom

den holdes på højkant, og kastes mørtlen ud på en væg, skal mørtlen hænge godt fast på væggen uden tendens til skridning. Klæbeevnen er i reglen god hos smidige mørtler, men den er stærkt afhængig af mørtlens bindemiddelmængde og rumvægt. Rumvægtens betydning ligger i hovedsagen i dens indflydelse på murerens energiforbrug ved mure- og pudsearbejde. Mørtler med normalt luftindhold har en rumvægt, som vokser jævnt fra ca. 1800 kg/m³ for K-mørtler til ca. 2200 kg/m³ for C-mørtler, når de er fremstillet af almindeligt sand. Når luftindholdet øges, aftager rumvægten tilsvarende, og heri ligger nok en af årsagerne til, at poredannende stoffer er velsete på byggepladserne.

Alle de foran omtalte egenskaber hos frisk mørtel har betydning for bearbejdelsen og er altså i høj grad af interesse for murerne. Det er dog en selvfølge, at ønsket om at opnå en tilfredsstillende bearbejdelse aldrig må føre til indgreb, som nedsætter pudsets eller murværkets kvalitet. Noget sådant kan f.eks. ske, hvis man — som allerede nævnt — griber til at anvende overmål af bindemiddel eller filler, eller til at overaktivere mørtlen. Et luftindhold over det tilstræbte kan også virke skadeligt, og bruges der poredannende tilsætningsmidler, kan en regelmæssig kontrol være påkrævet (en simpel og nøjagtig metode er beskrevet side 359).

7.3. Mørtel i hærdningstiden

Når mørtlen kommer i kontakt med porøse materialer, begynder den at stivne allerede efter nogle sekunder eller minutter, fordi en del af mørtelvandet suges fra den. Sammen med vandet trækkes også noget bindemiddel og nogle af de fine fillerpartikler over i kontaktmaterialets poresystem, og dermed er begyndelsen til vedhængningen lagt.

Man ved endnu for lidt om, hvordan vedhængningen mellem mørtel og underlag skabes, og hvori den egentlig består. Populært og ikke helt korrekt kan man måske antage, at vedhængningen er fremkaldt af en mekanisk, en fysisk og en kemisk effekt. Den mekaniske effekt opnås, når dele af mørtlen trænger ind i underlagets porer, fordybninger og huller og efter hærdningen danner et stift system af «fingre» eller «rødder», som modvirker adskillelse, især

den som skyldes forskydning langs skillefladen. Den fysiske effekt kan tænkes at opstå, når de to materialer kommer i så intim kontakt med hinanden, at de holdes sammen af molekyllære kræfter i retning vinkelret på skillefladen. Endelig kan man forestille sig, at kemiske fænomener i skellet mellem de to materialer kan bidrage til mørtlens sammenbinding med underlaget.

Dersom disse betragtninger kan godkendes, betyder det, at det meget hurtigt vil være afgjort, om vedhængningen vil blive god eller dårlig eller helt udeblive. Det er rimeligvis afgjort allerede, når det kan mærkes, at mørtlen er begyndt at stivne.

Der foreligger naturligvis en del erfaringer om forskellige mørteltypers evne til vedhængning til forskellige underlag. Er underlaget kun lidet sugende, eller suger det slet ikke, vil en cementholdig mørtels vedhængning vokse med cementholdigheden. Selv på ikke sugende underlag, der er meget glatte, kan man opnå god vedhængning for mørtel C 100/100, men betingelsen er, at laget er meget tyndt og ført på i meget tyndtflydende tilstand.

Den største og mest pålidelige vedhængning opnås på moderat sugende underlag, og næsten alle mørtler på kalk- og cementbasis giver da tilfredsstillende resultater. Men vokser sugesevnen, vokser vanskelighederne også. Fede, cementrige mørtler er mest ømfindtlige, de lider ikke et selv ringe vandtab, uden at det går ud over hærdningen i hvert fald i kontaktlaget. Kalkrige mørtler er mindre ømfindtlige overfor vandtab, men også for dem kan det blive for stort.

For hele rækken af gængse mørtler ser det ud til, at et stort luftindhold øger deres ømfindtlighed overfor vandaf sugning. Det er slet ikke klarlagt, hvorfor det er sådan. Det er antydnet som en mulighed, at der trækkes luftporer til skillefladen, således at der af den grund sker en svækkelse. En anden teori går ud fra den kendsgerning, at luftporerne øger mørtlens vandholdeevne — i nogle tilfælde meget stærkt — med det resultat, at fugttransporten i mørtlen bliver langsommere og måske fører til, at hærdningsprocesserne i kontaktlaget går i stå.

Mange problemer vedrørende vedhængningens «mekanik» er endnu uløste, og derfor gøres der ofte overraskende iagttagelser. Et typisk eksempel herpå er, at magre, vandrige C-mørtler ofte får en fuldt ud tilfredsstillende vedhængning til stærkt sugende under-

lag. Forklaringen kan være den, at sådanne mørtler har et stort overskud af vand og en så ringe vandholdeevne, at de når at aflevere vand nok til hel eller delvis mætning af underlaget, uden dog at afgive mere, end at mørtlens v/b -tal bringes ned på en gunstig værdi til gavn for styrken.

Når mørtlen i nogen tid har været i berøring med underlaget og har opnået en vis stivhed som følge af dets sugning, begynder den egentlige styrkning og hærkning, som sættes i gang af kemiske processer. Mørtlens styrke vokser, og for cementrige mørtler kan den allerede efter nogle få døgn være oppe på halvdelen af den endelige. Hvor stor slutstyrken kan blive, afhænger dog i høj grad af hærtningsbetingelserne og da især af deres indflydelse på mørtlens vandindhold (se side 201). Mørtlerne kan komme ud for så skarp og hurtig en udtørring, at de kemiske processer går helt i stå, og styrken bliver da kun en brøkdel af den forudsatte. Høje temperaturer øger den hastighed, hvormed de kemiske processer udvikler sig, og lave temperaturer nedsætter hastigheden, bringer den måske ned på nul.

Parallelt med styrkestigningen udvikles mørtlens primære svind. Svindet indledes i virkeligheden allerede, når mørtlen kommer i berøring med underlaget og begynder at stivne, men på dette tidspunkt er mørtlen dog endnu så plastisk, at svindet ikke fører til revnedannelse. Kommer der revner, er det i reglen først på et tidspunkt, hvor hærtningsprocesserne er kommet igang, og mørtlen har opnået en vis styrke. Det er disse revner og ikke svindet i sig selv, man er bange for.

Vil man nærmere ind på problemerne vedrørende revnedannelsen, må man skelne mellem frit og hindret svind. Det frie svind er ret let målt, f.eks. ved at følge nogle lange mørtelstængers forkortelser, medens de tørrer og hærder, og de talværdier for svind, som man finder i litteraturen, er i reglen bestemt på den måde. I fig. 7.03 ses nogle typiske kurver fra en forsøgsrække med standardmørtler, som meget karakteristisk viser, at det frie svind vokser vældigt i de første timer, og at væksten øges med voksende kalkholdighed og aftagende cementholdighed, og det er lige så karakteristisk, at disse kurver giver et meget dårligt billede af den virkelige risiko for revner.

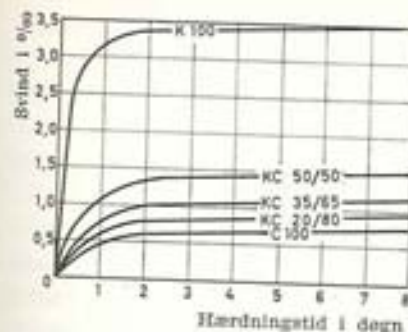


Fig. 7.03. Det frie svind for 5 mørteltyper.

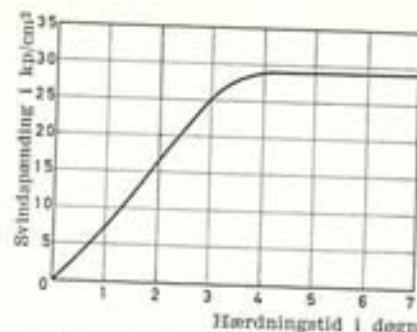


Fig. 7.04. Svindspændinger i C-mørtel ved hindret svind.

Ved måling af hindret svind drejer det sig om at bestemme spændinger og ikke længdeændringer. De stangformede prøvelegemer fastspændes ved enderne, således at længden ikke kan ændre sig, og derefter måles de trækspændinger, som svindkræfterne giver årsag til. I mange tilfælde afbrydes forsøget af, at stængerne brister, fordi trækspændingerne bliver lige så store som trækstyrken. Da forsøgene er meget tidsrøvende og apparaturet kompliceret og kostbart, foreligger der ikke noget stort forsøgsmateriale, men noget er dog afklaret. Det har f.eks. vist sig, at rene K-mørtlers og kalkrige mørtlers svindspændinger vokser meget langsomt og kun når små værdier, selv om væksten fortsætter i lang tid; kun i enkelte meget sjældne tilfælde sker der brud under prøvningen af sådanne mørtler. Går man over til cementholdige mørtler, vokser spændingerne hurtigere og hurtigere og til desto højere værdier, jo større cementholdigheden er. I stænger af rene C-mørtler kan svindspændingerne nå op på omkring 30 kp/cm^2 , og dette kan ske indenfor 3—4 døgn (fig. 7.04). Når cementholdigheden vokser, vokser også hyppigheden af brud under prøvningen. Forsøgsresultaterne fra målinger af hindret svind stemmer bedre med erfaringerne om revnedannelse i praksis, end resultaterne fra måling af frit svind. Dette er også at vente, fordi mørtlen i praksis jo altid er hindret i at bevæge sig frit; pudsmørtel fastholdes ved den ene bredflade langs underlaget, og muremørtel fastholdes langs begge bredflader.

I alle mørtler på kalk- og cementbasis skyldes svindet en skrump-

ning i «mikromørtlen», den del af mørtlen, som består af bindemiddel, filler og vand.

I K-mørtel skyldes skrumpningen i første omgang, at en del af vandet forsvinder, og at der dannes calciumhydroxid-krystaller. På dette tidspunkt er mørtlen endnu så plastisk, at skrumpningen sjældent fører til revnedannelse, men derimod til dannelse af porer. Snart efter begynder en karbonatisering af krystallerne under rumfangsformindskelse, men sker karbonatiseringen blot med normal hastighed, får den svage mørtel dog så god tid til at følge rumfangsændringerne, at de foregår plastisk, altså uden at der opstår spændinger.

I cementgelen foregår der også en skrumpning, først og fremmest fordi en del af mørtelvandet bliver kemisk bundet under rumfangsformindskelse (*intrinsic shrinkage*). En stor del af denne proces kan også regnes at foregå så tidligt, at mørtlen endnu kan følge rumfangsændringerne uden at revne, og også her vil de give anledning til poredannelse. Den farligste del af svindet foregår under mørtlens tørring. Vandet forsvinder først fra de største porer, men efterhånden som tørringen skrider frem, vil også en del af gelporerne tømmes. Disse porer er så snævre, at adsorptionskræfterne får dem til at trække sig sammen, når vandet forsvinder (se side 46). Da denne sammentrækning først indtræder, når mørtlen har opnået en ret stor stivhed, fører den til ret store spændinger og eventuelt til revnedannelse.

Denne beskrivelse af svindets mekanik kan forklare opkomsten af mange af de revner, som forekommer i praksis. Da svindet foregår i mikromørtlen, er det klart, at en forøgelse af indholdet af bindemiddel, filler og vand altid vil føre til en forøgelse af svindet. Det er også forståeligt, at tørringsmåden spiller så stor en rolle, især for cementrige mørtler. Så længe mørtlen holdes fugtig, indskrænker svindet sig til «intrinsic shrinkage», som ikke er særlig farligt, men i en sådan periode vokser mørtlens trækstyrke — ofte endda stærkt — og der er således chance for, at trækstyrken er blevet stor nok til at hindre revnedannelse, når tørringssvindet senere sætter ind. Dette er baggrunden for, at det så ofte anbefales at holde et pudslag fugtigt i de første 3—4 døgn. Selv under disse forhold kan udtørringen føre til store spændinger, men de vil gradvis aftage

som følge af krybning i den hærdnede mørtel. Kan mørtlens trækstyrke øges f.eks. ved forbedring af sandets kornkurve, tilsætning af PVA eller lignende, vil faren for revnedannelse aftage; en samtidig forøgelse af brudforlængelsen, som den PVA tilsætningen f.eks. medfører, gør selvsagt risikoen endnu mindre.

Et pudslag må op på en vis styrke, før man tør udsætte det for mekanisk påvirkning; i den første del af hærdningsperioden, hvor det jo ikke længere er plastisk, er laget ømfindtligt, og sår eller brud heles ikke igen. Kommer der f.eks. revner i et pudslag, fordi det slutbearbejdes på et for sent tidspunkt, bliver de varige; det samme sker med muremørtlen omkring en mursten, hvis den rokkes eller flyttes, efter at mørtlen er suget død; brudfladerne lukker sig ikke igen.

Alle de processer, som er nævnt i dette afsnit — den ved afsugningen fremkaldte stivhed, styrkens vækst, vedhængningens opståen og svindet — er afhængige af den rådende temperatur. I koldt vejr går de kemiske processer meget langsomt eller de går helt i stå (se side 324), i meget koldt vejr ændrer de karakter. I meget varmt vejr vil udtørringen gå meget rask. Det hænger sammen hermed, at efteråret regnes for gunstigst til pudsearbejder.

7.4. Hærdnet mørtel

Den hærdnede mørtel er det færdige produkt, og det skal altså svare til de forudsætninger, der blev gjort, da arbejdsbeskrivelsen blev affattet. Det er et meget stort antal forskellige egenskaber, der kan være tænkt på, og i det følgende vil nogle af de vigtigste blive omtalt.

Styrke

Trykstyrken har i mange år været anset for at være den vigtigste egenskab hos hærdnet mørtel, og i mange lande er mørtelnormerne baseret på den. Den kan bestemmes på forskellige måder, men i de seneste år er den såkaldte nordiske metode blevet anvendt i voksende omfang til undersøgelse af mure- og pudsmørtel. Prøvelegemerne hertil er mørtelstænger med målene $25 \times 25 \times 170$ eller eventuelt $20 \times 20 \times 120$ mm. Stængerne støbes i forme (fig. 7.05)

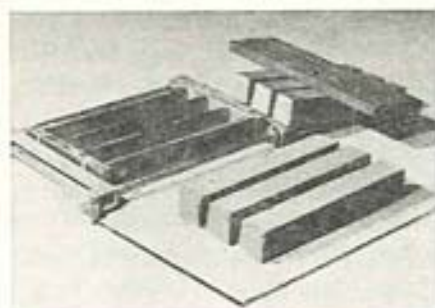


Fig. 7.05. Mørtelstænger, støbeform og udskyder.

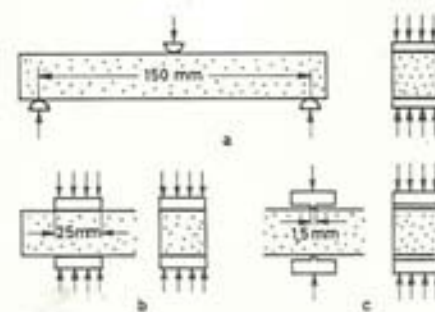


Fig. 7.06. Belastningsmåde ved bestemmelse af a: bøjningstrækstyrke, b: trykstyrke, c: spaltningstrækstyrke; b og c udføres med brudstykkerne fra a.

7.06 c, og trækstyrken udregnes ved at dividere brudlasten med arealet af tværsnittets indskrevne cirkel ($d = 25$ eller 20 mm). Med de 3 stænger i en form kan der fås 3 enkeltværdier af bøjningstrækstyrken, 6 af trykstyrken og 6 af spaltningstrækstyrken.

Selv om man bestemmer trykstyrken for en bestemt mørtel under kontrollerede forhold i et laboratorium, må man dog regne med visse variationer fra gang til gang og altså også fra laboratorium til laboratorium. Det skyldes variationer i bindemidlets og sandets kvalitet, små afvigelser i hærdningsbetingelserne samt forskelligheder i prøvningsapparaterne, og afvigelserne kan næppe helt undgås. Resultaterne fra trykprøvning af en serie standardmørtler er

til 3 stænger side om side efter bestemte regler, og de forsynes med flere lag af normeret træk-papir under og over. Træk-papirets sugning fra den friske mørtel skal efterligne sugningen fra mursten eller underlag. Stængerne trykkes ud af formen med en særlig udskyder 3 timer efter ifyldningen og lagres derefter i 7 eller 28 døgn i luft med temperatur ca. 20°C og relativt fugtindhold ca. 70 %. Også anden temperatur og relativ fugt kan være aktuell. Ved prøvningen bestemmes først bøjningstrækstyrken ved at belaste stængerne med en linielast på midten (fig. 7.06 a), og derefter trykprøves de to brudstykker ved at blive belastet mellem kvadratiske stålplader (fig. 7.06 b). Trækstyrken kan også bedømmes ved den såkaldte spaltningstrækstyrke; her belastes brudstykkerne som vist i fig.

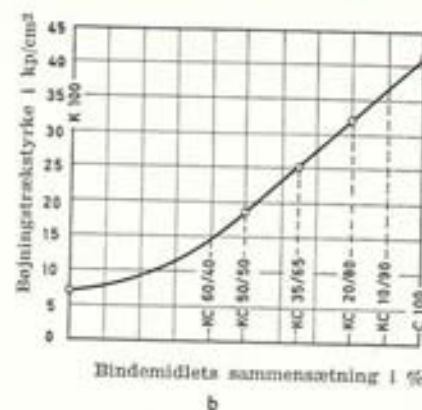
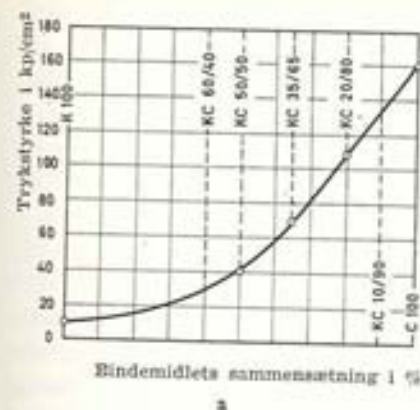


Fig. 7.07. Eksempel på mørtelstyrkens variation med mørtelens sammensætning.

vist i fig. 7.07 a, der giver et typisk billede af 28 døgns styrkens variation med blandingsforholdet. Temperaturen var 20°C og RF 70 %. Det ses, at cementens indflydelse er ringe, når cementmængden udgør under ca. 35 % af bindemiddelmængden.

På byggepladserne varierer trykstyrken for en mørtel, der fremstilles efter en bestemt blandingsanvisning, naturligvis mere end for laboratoriefremstillede mørtler. Det, der især kan forårsage for lave styrker, er bindemidler, der har taget skade under lagringen, sand med forkert sigtekurve, unøjagtighed ved udtagningen af delmaterialer samt ugunstige temperatur- eller fugtforhold i hærdningstiden. Og disse skadelige faktorer virker summeres op; er f.eks. sandet så dårligt, at det kun fører til to trediedele af den ventede styrke, og halveres styrken på grund af sløseri med overholdelsen af blandingsanvisningen, bliver styrken af den fremstillede mørtel kun en trediedel af det ventede. Poredannende stoffer kan nedsætte styrken med op til $2\frac{1}{2}$ % for hver procent luft, de tilfører.

Det er flere gange omtalt, at trækstyrken tit betyder mere for murværks og pudslags kvalitet end trykstyrken. Men prøvnings-teknisk er det vanskeligt at bestemme trækstyrken helt korrekt, og derfor måler man hellere bøjnings- eller spaltningstrækstyrken, som ganske vist heller ikke giver helt korrekte talværdier for trækstyrken, men dog værdier, som regnes at være proportionale med

trækstyrken. I fig. 7.07 b er det vist, hvordan bøjningstrækstyrken for den under a omtalte mørtelserie varierer med blandingsforholdet. Da kurvens forløb ligner trykstyrkekurvens, gøres der ikke nogen stor fejl ved at basere normernes krav til mørtlerne på trykstyrkerne. Ved en nøjere sammenligning af de to figurer lægger man mærke til, at K 100-mørtlens bøjningstrækstyrke er ca. 60 % af trykstyrken, og at tallet for C 100-mørtlens kun er ca. 25 %. Tallet falder jævnt med voksende cementholdighed, og murværk af kalkrige mørtler synes altså at skulle få større styrke, end svarende til mørtlens trykstyrke. Der er også på andre måder afvigelser mellem tryk- og trækstyrkens variation. Trækstyrken er således mere afhængig af tilslagsmaterialernes egenskaber end trykstyrken, f.eks. giver skærvesand højere trækstyrke men ikke højere trykstyrke end almindeligt sand, og et vist lerindhold i sandet nedsætter trækstyrken mest. Det samme gælder i øvrigt revner og lokale hulrum i mørtlen, som f.eks. luftporer fra poredannende midler og «lommer» fra tilsat vand.

De normerede mørteltypers elasticitetstal vokser omtrent i takt med trykstyrken fra ca. 30 000 kp/cm² for K-mørtlen til maksimalt 200 000—300 000 kp/cm² for C-mørtlen. Brudforlængelsen er omtrent den samme for alle mørtlerne og ligger mellem 0,2 og 0,4 ‰;

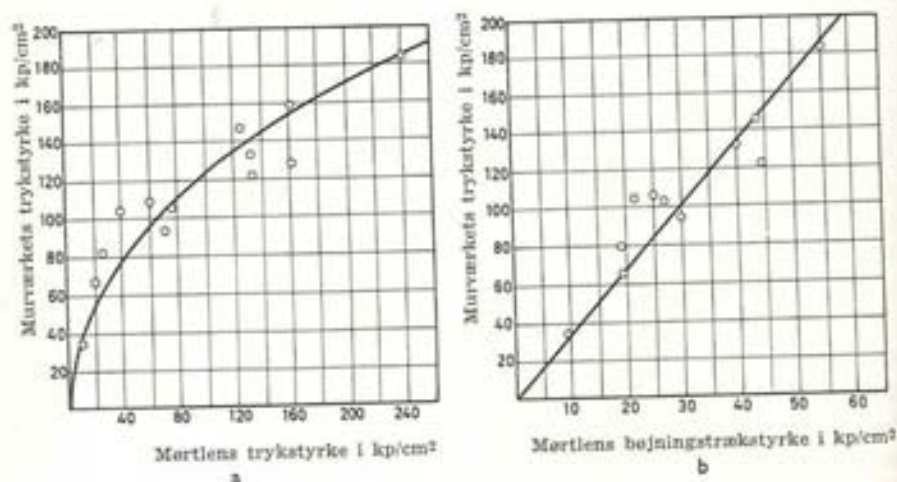


Fig. 7.08. Eksempel på mørtelstyrkens betydning for murværksstyrken.

det er meget lave værdier, som gør det berettiget at kalde mørtlerne for sprøde materialer. Mørtlernes ret store evne til langsomt at deformeres under stadig belastning, altså til krybning, ophæver dog til en vis grad generne ved, at de er sprøde; svindspændinger vil f.eks. blive mindre med tiden. En C-mørtel kan ved PVA tilsætning få brudforlængelsen 20-doblet.

Drejer det sig om muremørtel, bestemmes mørtelstyrken for at give orientering om murværksstyrken, og de forsøg, der er udført for at finde sammenhængen mellem mørtelstyrke og murværksstyrke, har givet ret forskellige resultater. Et enkelt eksempel på resultater fra en forsøgsrække med 1 m høje 1-stens piller opmuret af teglsten i forskellige standardmørtler er vist i fig. 7.08. Murstenene havde en trykstyrke på 300 kp/cm² og en minutsugning på 15 g/dm², og murværksstyrken er vist i relation til såvel mørtlens trykstyrke (a) som dens trækstyrke (b). Ofte er begge kurver krumme og viser, at pillestyrkens vækst med mørtelstyrken er væsentlig større for de cementfattige end for de cementrige mørtler.

Vedhængning

Den almindelige måde at bestemme vedhængning på er med et rørbor at skære en cirkulær rille igennem puds- eller muremørtlen, lime en stiv metalplade fast på mørtelfladen inden for rillen og påvirke den med en jævnt voksende trækraft, indtil der sker et brud (se fig. 9.40). Trækkraften skal være nøje centreret og virke vinkelret på mørtelfladen. Metoden er enkel og kan anvendes på en byggeplads. I praksis påvirkes dog kun loftspuds på denne måde. Derimod er det meget almindeligt, at der virker forskydningskræfter i skillefladen mellem mørtel og underlag; de kan være fremkaldt af et pudslags eller en flisebeklædnings vægt, af forskellig svindtendens hos mørtel og underlag, af forskellig temperaturbevægelse, af statiske påvirkninger m.m. I liggefugerne i belastet murværk kan forskydningsspændinger opstå, fordi fugen sammentrykkes under lasten og søger at udvide sig i vandret retning.

Forskydningsspændinger frembyder den største risiko for, at vedhængningen ophæves, og ofte er det derfor vigtigere at kontrollere vedhængningen ved forskydningsforsøg end ved trækforsøg. Et

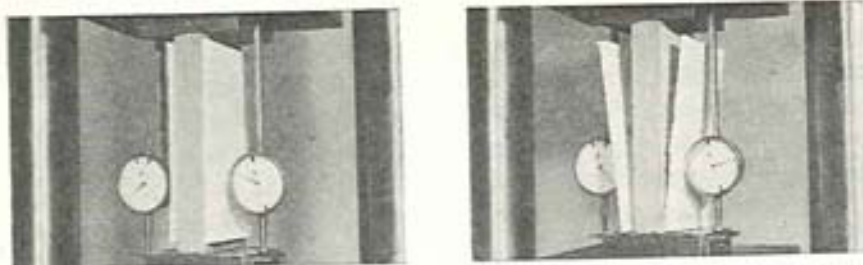


Fig. 7.09. Enkel fremgangsmåde til bedømmelse af flisers vedhængning under påvirkning til forskydning.

arrangement til gennemførelse heraf er vist i fig. 7.09, hvor en betonplade med pudt på begge sider (men ikke helt ud til enderne) belastes, indtil pudsskiverne løsnes. Den sammentrykning, som fremkaldes i betonen, må overføres til pudsskiverne, og derved opstår forskydningsspændingen på samme måde, som det kan ske i praksis. Denne metode kan ikke anvendes på en byggeplads.

Ved den første metode med trækspændinger i skillefladen kan bruddet foregå i denne, men også i mørtlen eller i underlaget eller delvis i det ene, delvis i det andet materiale. I førstnævnte tilfælde taler man om et rent brud, og det er det uheldigste resultat, selv om trækstyrken var stor; der må da udføres forsøg efter metode nr. 2 for at få oplyst, om vedhængningen er stor nok. Sker bruddet i mørtlen eller i underlaget, må det være et af disse materials trækstyrke, der er målt, og vedhængningen har da været større end denne trækstyrke. I sådanne tilfælde kan man med ret stor sikkerhed gå ud fra, at vedhængningen er god nok til den aktuelle anvendelse, og at forsøg efter metode nr. 2 er overflødige. Metode nr. 1 kan direkte anvendes til at bedømme et pudslags trækstyrke.

Forskydningsforsøgene efter metode nr. 2 bruges især i forbindelse med pudslag på beton og på opsætningsmørtel bag en flisebeklædning på beton. Man bedømmer da vedhængningen ud fra den sammentrykning, man måler i betonen i brudeøjeblikket. Sammentrykningen bør mindst være mellem 1 og $1\frac{1}{2}$ ‰, og helst skal forskydningsbruddet først komme sammen med trykbruddet i betonen.

Slidfasthed

En cementholdig mørtels slidfasthed vokser stærkt med cementmængden, og på steder med stor slidpåvirkning — f.eks. på mange betongulve — bruges der kun rene C-mørtler. Man regner i almindelighed med, at slidfastheden hos C-mørtler af almindeligt sand vokser med cementindholdet, indtil dette når op på omkring 350 kg/m^3 nogenlunde svarende til C 100/300.

Det er i første række mikromørtlen — den del af mørtlen, som udgøres af cementpasta og filler — der slides, og det er altså vigtigt at undgå et slamlag på mørteloverfladen. Det er tilmed en fordel at få tilslagsmaterialerne frem til overfladen, og slidfastheden kan netop øges ved at bruge særlig slidfaste korn i sandet.

Disse forhold vil blive noget nærmere behandlet i kapitel 14.

Frostfasthed

Man kan danne sig et indtryk af en mørtels modstandsdygtighed mod frost ved at udsætte mørtlen for en række frysninger i luft med mellemliggende optøninger i vand, men metoden har vist sig upålidelig, og det er derfor sikrere at bygge på de erfaringer, der efterhånden er samlet rundt omkring i Norden. Ud fra disse erfaringer kan man opstille visse regler. Det ser ud til, at «normale» mørtler, d.v.s. mørtler med nogenlunde rigtig sammensætning, blandet på almindelig måde og hærdnet under normale, rimelige betingelser, står sig i frost, blot cementholdigheden i det mindste er som i mørtel af typen KC 50/50. På særlig hårdt udsatte steder, og hvor det f.eks. gælder pudt på fritstående mure, må der dog nok regnes med mørtel af type KC 20/80. Men der er mange ting, som kan medføre, at mørtlens modstandsdygtighed bliver mindre end ventet; f.eks. kan sandet være uheldigt valgt, sandmængden forkert, blandingen dårlig og hærdningsbetingelserne ugunstige. Farligst er det nok, hvis mørtlen har grove hulrum f.eks. «lommer» efter over-skudsvand, eller hvis den er blevet unormalt porøs på grund af for hurtig udtørring. Porer, som skyldes poredannende midler, har til gengæld en absolut gunstig virkning, så længe luftindholdet ikke

overstiger en vis værdi. Aktivering har også en gunstig virkning, hvilket nok hænger sammen med, at mørtlen bliver særlig ensartet og uden vandlommer ved denne blandingmåde.

Vandtæthed

Når der tales om en mørtels vandtæthed, kan der både tænkes på dens tæthed mod vand under tryk og mod slagregn. I første tilfælde kan tætheden måles ved at udsætte den ene side af en mørtelskive for et bestemt vandtryk — en vandsøjle af en bestemt højde — og måle, hvor meget vand, der siver igennem. I efterfølgende tabel gengives nogle resultater fra en forsøgsserie gennemført med højt vandtryk.

| Mørtel | Vandgennemgang |
|--------------|---------------------------------------|
| K 100/1050 | 55,0 liter pr. m ² og døgn |
| KC 50/50/625 | 7,3 > > > > > |
| KC 35/65/550 | 3,9 > > > > > |
| KC 10/90/450 | 2,2 > > > > > |
| C 100/425 | 2,3 > > > > > |

I andet tilfælde kan undersøgelsen foregå i et apparat, hvor mørtlen udsættes for kunstig slagregn og et overtryk svarende til det, vinden kan fremkalde.

Denne sidste prøvningsmetode bruges især til bedømmelse af mørtel til udvendigt puds. Som underlag anvendes da porebetonplader af en bestemt kvalitet f.eks. i størrelse 100 × 50 × 10 cm; de forbehandles på normeret måde og pudses derefter med den mørtel, der skal undersøges. Slagregntætheden kan enten bedømmes ved pladernes vægtstigning eller ved den gennemsnitlige dybde, hvortil vandet trænger ind i pladen. Fig. 7.10 a viser resultaterne fra et forsøg med forskellige mørtler udsat for en slagregns mængde på 10 liter pr. m² i timen og et overtryk svarende til 75 mm VS i en forsøgstid på 40 timer. Slagregnsutætheden er angivet ved indtrængningsdybden, og kurverne viser, at utætheden aftager stærkt med voksende cementmængde fra et vist trin. De cementrige mørtlers tæthed bliver yderligere meget væsentlig forbedret ved

aktivering (kurve 2), og dette er yderligere interessant, fordi sandmængden i de aktiverede mørtler er væsentlig større end i de uaktiverede (kurve 1), som det ses af grænselinierne i fig. 7.02. Tætheden overfor vand under tryk er især bestemt af sandets sigtekurve. Tætheden vokser også med voksende bindemiddelmængde, men dog kun til et vist punkt; bliver indholdet så stort, at mørtlen får svindrevner, synker tætheden brat. Pudslaget viser sig også mere gennemtrængeligt, hvis det er tørret hurtigt og er blevet porøst. Luftblærer fra poredannende midler har ingen uheldig virkning, så længe mængden er moderat; men kommer luftindholdet op over 18—20 %, bliver tætheden hurtigt mindre.

Mørtlen kan gøres tættere ved hjælp af forskellige tilsætningsstoffer, som enten virker vandafvisende eller porestoppende. I første tilfælde drejer det sig især om stearat- og siliconepræparater, i sidste tilfælde oftest om stoffer, der bygger på aktiv kiseltsyre (SiO₂). Kiseltsyren reagerer med fri kalk i mørtlen og danner kalksilikater. De fleste tørtmørtler til tyndpuds indeholder stoffer med vandafvisende virkning som nærmere omtalt i kapitel 4.

Diffusionstæthed

Diffusionstallet for en mørtel bestemmes næsten altid ved den såkaldte dåsemetode, hvor en cirkulær skive af den mørtel, som skal undersøges, er anbragt som låg på en metaldåse. Mørtelskiven er eventuelt anbragt som et pudslag på en tynd plade af et normeret underlagsmateriale (ofte porebeton), og der er sørget for, at låget lukker luft- og damp tæt langs dåsens rand. I dåsen er anbragt en portion af et vandsugende salt, som holder luftens relative fugtighed i dåsen på en konstant lav værdi, selv om det optager en stor fugtmængde. Dåsen henstår i et rum med konstant temperatur og med et konstant og ret højt relativt fugtindhold. Der vil så foregå en vandring af vanddamp gennem prøvelegemet ind i dåsen, og mængden kan bestemmes ved vejning, hvorefter diffusionstallet kan udregnes (se side 51). I fig. 7.10 b er der tegnet en kurve, som viser, hvordan diffusionstallet er fundet at variere med blandingforholdet for en række standardmørtler. Kurven har en tydelig lighed med kurverne ved siden af for slagregnsutæthed, men forløbet

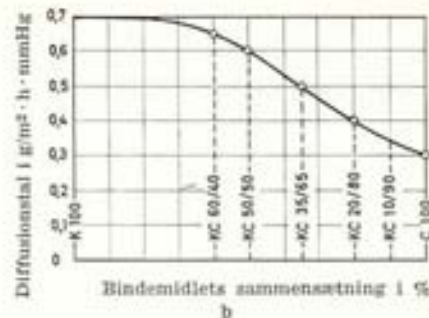
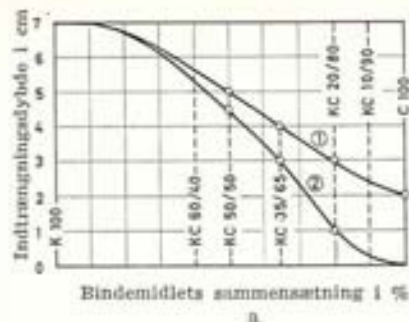


Fig. 7.10. Mørtelsammensætningens betydning for slagregnsindtrængning og diffusionstal. (Tallene gælder 10 mm tykke pudslag.)

er jævner, idet virkningen af at forøge små cementmængder er større, og virkningen af at forøge store cementmængder er mindre. Det er ejendommeligt, at en aktivering af mørtlerne ikke ændrer diffusionstallet.

Tætheden mod vanddampdiffusion vokser, når sandets sigtekurve forbedres, og når bindemiddelmængden øges, medens den aftager, når mørtlen bliver mere porøs; men udslagene er langt mindre end for tætheden mod vandgennemgang. Tilsætningsstoffer, der virker porestoppende, har en meget stor indflydelse på vanddampgennemgangen og bør derfor aldrig anvendes i udvendige pudslag. Vandafvisende midler medfører derimod kun en svag forøgelse af diffusionstætheden. For ethvert udvendigt overladelag, altså også for et pudslag, må man kende diffusionstallet og passe på, at det ikke bliver så lille, at væggens udtøringsmuligheder hæmmes for stærkt.

Svind og svulmning. Temperaturbevægelser

Kendskabet til de talmæssige størrelser for spændinger og bevægelser fremkaldt ude i bygningerne ved materialernes varierende fugtighed og temperatur er ikke stort. Svind og svulmning skyldes dér de samme mekanismer som i hærdningstiden — optagelse og afgivelse af vand i gelporerne og fortsat karbonatisering af kalciumhydroxid — men bevægelserne er mindre end under hærdningen, og trækstyrken er blevet større. Man kan være nogenlunde sikker på, at en mørtel, der er kommet igennem hærdningstiden

uden at få revner og sprækker, heller ikke senere vil få svindskader. Der findes dog undtagelser. Puds, der meget hyppigt skifter mellem vådt og tørt, kan få revner i tidens løb, måske som følge af en slags træthed eller udmattelse. Man har også set, at en stærk rystelse pludselig får et pudslag til at revne, antagelig fordi store svindspændinger i pudslaget er blevet bragt op til brudspændingen ved rystelsen. Endelig kender man en del tilfælde, hvor svind- og temperaturspændinger har virket i samme retning og forårsaget revnedannelser; sådanne revner opstår især i facadepuds på syd- og vestvendte vægge, og især når pudslaget har en mørk farve (se side 67).

Korrosionsbeskyttelse

Mørtlen omkring jern i armeret murværk og i puds skal hindre, at jernet rustet. Dertil kræves, at mørtlen skal have en høj pH-værdi — være basisk — være meget tæt og uden revner. Disse krav bliver bedst opfyldt, når mørtlen indeholder meget cement og lidt kalk, f.eks. er af typen KC 20/80 eller KC 10/90. Mørtel af typen C 100 yder også god beskyttelse, men kun så længe den er uden revner, og den anbefales derfor ikke. Derimod anbefales det som ekstra sikkerhed at svumme de jern, der skal indstøbes, såfremt svumningen kan gennemføres.

G- og GK-mørtler virker korrosionsfremmende.

Andre egenskaber

De mørtelegenskaber, som nu er omtalt, omfatter langt fra alle de krav, som kan stilles. Egenskaber som vandfasthed, varmetæthed, brandbeskyttelse, ild- og syrefasthed, sejhed og strålingsbeskyttelse vil blive omtalt mere eller mindre indgående i andre afsnit.

Mørtler med andre bindemidler

Ved omtalen af hærdnet mørtels egenskaber er der især tænkt på K-, KC- og C-mørtler, men mørtler af f.eks. murcement og hydrau-

lisk kalk frembyder ikke principielle afvigelser. Som før nævnt (side 188) godkender bygningsmyndighederne i de forskellige lande ofte sådanne mørtler som sidestillede med en standardmørtel, og denne godkendelse kan enten være generel eller begrænset til en del af standardmørtlens brugsområde. Godkendelsen indebærer, at der må regnes med, at den specielle mørtel har samme egenskaber som den standardmørtel, den må gå i stedet for.

KAPITEL 8



MURING

Muringsarbejdets formål er at føje mursten sammen til vægge, som skal afgrænse et rum og beskytte dette mod ydre påvirkninger. De mursten, man kan vælge til opmuring af vægge, kan være af mange forskellige materialer og have vidt forskellige formater; men det er karakteristisk, at de sten, der indgår i den enkelte væg, så godt som altid er af samme materiale — f.eks. er af tegl eller af letbeton — og at de så godt som altid har det samme format, der ofte er et standardformat eller et normalformat. De ydre påvirkninger, som rummet ønskes beskyttet imod, kan også være meget forskellige (se kapitel 2); men generelt gælder det, at væggen skal have en vis styrke. Da murværkets styrke ikke er bestemt af stenenes og mørt-

lens styrke alene, men også af den omhu og faglige dygtighed, hvormed murerarbejdet udføres, kan der tillades højere spændinger, når der foreligger garanti for bedre arbejdsudførelse. En sådan garanti opnås gennem tilsyn og kontrol på byggepladsen, og i flere landes normer gradueres styrkekravene netop efter, hvor skarpt kontrollen gennemføres.

8.1. Vægtyper

De vægtyper, som udviklingen har bragt frem i de fire nordiske lande, er ikke ens, og alene af den grund er der visse uoverensstemmelser mellem de anvendte betegnelser. Sammenstiller man de gængse ord for vægtyper, som er ens, vil man yderligere finde, at nogle af ordene er mindre heldigt valgt; dette kan endda i flere tilfælde også siges at gælde ordvalget inden for de enkelte lande. Det har derfor været naturligt i denne bog at søge frem til en fælles nomenklatur med almengyldige og tydelige betegnelser, og arbejdet hermed har ført til følgende ord og definitioner:

Væg: Bygningsdelen som helhed; således også omfattende eventuelle udvendige og indvendige overfladelag som puds, maling o. lign.

Mur: Muret del af en væg. En væg kan således bestå af to mure.

Vægskive: Sammenhængende skiveformet del af en væg; materialet kan være murværk, beton, træ eller andet. Vægskiver forekommer oftest parvis; i ydervægge betegnes de ydre og indre vægskive, for murværk formur og bagmur (på norsk: vanger, på svensk: väggskivor). Vægskiver er i reglen adskilte af en lodret spalte eller et hulrum, men de kan også være sammenmurede, så der kun er en mørtelfyldt fuge imellem dem.

Skalmur: Muret ydre vægskive helt adskilt fra en indre og kun opført for at beskytte den indre mod klimaets påvirkninger samt for at gøre udseendet tiltalende.

Afhængigt af den måde, hvorpå vægge, i hvilke der indgår murværk, beskyttes mod fugt og varme eller kulde, skelner man mellem følgende tre hovedtyper:

Massiv væg: Væg muret uden udspæringer. Fugtbevægelser fra den ene side til den anden kan ske ved ubrudt kapillarsugning.

Skalmursvæg: Hul væg, hvis ydre vægskive er en selv bærende skalmur. Den indre vægskive er bærende og skalmuren forbundet med den ved trådbindere; i visse tilfælde kan disse dog udelades. Hulrummet mellem vægskiverne udelukker fugtbevægelse fra den ene side til den anden ved kapillarsugning; desuden muliggør det, at overføring af frit vand til den indre vægskive kan hindres. Der må ikke forekomme generende kuldebroer i en skalmursvæg.

Er den indvendige vægskive muret, er skalmursvæggen identisk med den danske hule væg med ståltrådsbindere, når der ikke er muret massivt under dæk og omkring muråbninger.

Kanalvæg: Væg som danner en overgangsform mellem massive vægge og skalmursvægge. Den består af en ydre og en indre vægskive, men disse er stedvis massivt forbundet, i reglen således, at hulrummet deles op i adskilte, lodrette kanaler. De massive områder muliggør fugtbevægelser fra den ene side til den anden ved kapillarsugning, og områderne kan virke som kuldebroer. Den danske murede hule væg med faste bindere er en form for kanalvæg.

I det følgende skal disse tre vægtyper, samt nogle vægtyper, som ikke uden videre kan siges at tilhøre disse, beskrives mere detaljeret.

Massive, murede vægge



Massive vægge i vor tids huse opmures oftest af mursten med ens format, og ved valget af dette er flere vigtige forhold taget i betragtning. F.eks. er stenbredden i reglen valgt under hensyntagen til, at den er bestemmende for tykkelsen på de tyndeste vægge, der kan opmures med stenene liggende på bredfladen, og længden er valgt blandt andet under hensyntagen til, at den er bestemmende for de overlapninger, der kan opnås. Også hensynet til stenenes håndterlighed og vægt har været medbestemmende. De mursten,

som anvendes, kan som nærmere omtalt i kapitel 3 være natursten, teglsten, kalksandsten, forskellige slags letbetonprodukter eller betonsten.

Alle murstenene i en massiv væg er dog ikke altid af samme materiale eller kvalitet. De sten, der bliver synlige i facaden, kan f.eks. være valgt med særlig hensyntagen til udseende eller vejrfasthed, og de, der ligger bagved, med særlig hensyntagen til varmeisolation. Har de to slags sten samme størrelse, kan de mures i forbandt, men er dette ikke tilfældet som f.eks. i en ydervæg, hvori der anvendes almindelige facadestene af tegl og blokke af letbeton bagved, kan dette ikke altid gøres. Kan det ikke gennemføres, kommer væggen til at virke som sammenmuret af to vægskiver, hvilket har flere mangler. En af dem er, at de to slags mursten sjældent yder samme modstand mod sammentrykning, når væggen belastes, således at der kan opstå spændinger mellem skiverne. Det samme kan ske, dersom fugeandelen er forskellig på grund af forskelligt stenformat. En tredje mangel kan være, at den kapillære sugkraft er mindst i facadestenerne og størst i de inderste, således at der af den grund er en tendens til transport til og akkumulering af fugt fra slagregn i de inderste sten.

Massive vægge af natursten forekommer som regel kun i bygninger, der skal virke særlig monumentale eller udsættes for særlig kraftige påvirkninger, og sådanne vægge skal ikke omtales nærmere i denne bog.

Massive vægge af letbeton eller andet materiale med lav rumvægt opmures ofte af mursten, hvis bredde svarer til vægtykkelsen. På grund af den lave rumvægt kan dette gennemføres selv for ret store vægtykkelser, uden at stenene bliver for tunge at arbejde med; sådanne mursten betegnes mange steder som blokke.

Ønsker man at udnytte de fordele, der er forbundet med at kunne mure vægge af forskellig tykkelse med sten af ét bestemt format, anvendes mest det nationale normalformat for teglsten; men andre, i reglen større, formater forekommer. Det almindeligste materiale til sten af normalformat er da tegl, men også sten af kalksandsten, moler, letbeton og almindelig beton fremstilles i dette format.

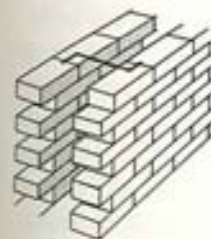
Med mursten med normalformat kan der opnås et stort antal vægtykkelser; men de varierer i spring svarende til stenbredden.

En massiv vægs tykkelse angives som $\frac{1}{2}$ -stens eller 1-stens, eftersom den er lig med stenbredden eller stenslængden; angives tykkelsen som $1\frac{1}{2}$ -stens, er tykkelsen af mellemfugen medregnet. Der mures undtagelsesvis vægge af mursten på kant, såkaldte $\frac{1}{4}$ -stens vægge med tykkelse svarende til murstenenes højde; men $\frac{1}{2}$ -stens vægge regnes for de tyndeste bærende vægge.

Hvad væggenes højde og bredde angår, afhænger de ikke alene af stenenes mål, men også af fugernes, og er stenstørrelsen springende, kan murværket ikke få de forudsatte mål, uden at fugetykkelsen varierer. Det bliver således de for murstenene gældende måltolerancer, der bliver afgørende for, hvor ensartet fugetykkelsen kan blive. Med øgede muligheder for at mure med ens fugetykkelse, øges også mulighederne for at gøre fugerne tyndere, hvilket blandt andet fører til en bedre udnyttelse af murstenenes bæreevne (se side 74). Porebetonblokke med efterbehandlede flader kan sammenmures med fuger, der kun er 0,5—2 mm tykke; for murværk i almindelighed er fugetykkelsen omkring 12 mm.

Hvad de massive vægges tæthed mod regn og lyd angår, vil fugefyldningens dominerende betydning blive omtalt i afsnit 8.4 under murearbejdet. Her skal det understreges, at der ved anvendelse af kapillarsugende mursten i massive vægge også er en risiko for fugtskader hidrørende fra vandmætning af gennemgående sten; derfor anvendes upudsede 1-stens teglvægge ikke som ydervægge i boliger i Skandinavien. Er der derimod i hvert skifte en langsgående og sammenhængende lodret fuge inde i væggen — en såkaldt mellemfuge — som f.eks. i en $1\frac{1}{2}$ -stens væg, er risikoen for fugtskader af denne art meget væsentlig nedsat, fordi en sådan fuge i reglen virker kapillarbrydende og i høj grad sinker vandets bevægelse.

Er klimaet meget hårdt — som f.eks. ved den norske vestkyst — må det dog anses for nødvendigt, at massive vægge pudses udvendigt eller beskyttes på anden måde.



Skalmursvægge

Skalmuren i en skalmursvæg opføres i de fleste tilfælde af facadestene af tegl, og også kalksandsten anvendes. Dersom skalmuren må pudses ud-

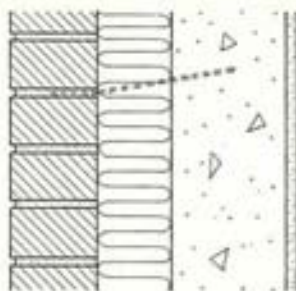


Fig. 8.01. Skalmursvæg med indre vægskive af beton.

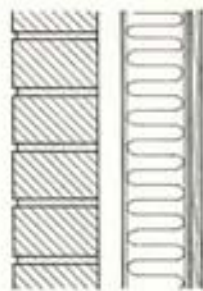


Fig. 8.02. Skalmursvæg med indre vægskive af særlig varmeisolerende materiale.

vendigt, kan også andre stenarter blive aktuelle. Skalmuren er normalt $\frac{1}{2}$ sten tyk, og hulrummet bag den har i reglen en tykkelse på mellem 5 og 10 cm.

Den indre vægskive, der jo skal være bærende, kan opføres af mange forskellige materialer. I høje bygninger med stærkt belastede vægge anvendes beton eller teglsten med høj trykstyrke (fig. 8.01). I lave bygninger, hvor kravene til væggenes bæreevne er små, er det almindeligt at anvende materialer, der er mere varmeisolerende, såsom forskellige typer af letbeton, lette teglsten eller træ, ofte i form af etagehøje elementer (fig. 8.02). Den almindeligste skalmursvæg i Norden i dag er den hule teglvæg med en $\frac{1}{2}$ -stens skalmur (formur) af facadestenen og en indre vægskive (bagmur) af lette bagmursten. Hulrummet mellem vægskiverne er i reglen udfyldt af et højisolerende materiale som mineraluld, skumplastic eller

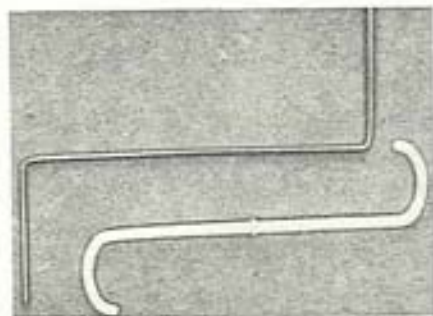


Fig. 8.03. Løse trådbindere (kobber og plastic).

opblæret, kornet materiale. I så fald må skalmuren betragtes som en koldmur, og de sten og den mørtel, den opmures af, må da udvælges med henblik på den øgede risiko for frostskafer.

De to vægskiver — formur og bagmur — forbindes med trådformede bindere af forzinket ståltråd, rustfast stål, kobber, plasticovertrukket ståltråd eller endda af ren plastic (fig. 8.03),

og de er i reglen ca. 5 mm tykke. Ved valget af materiale må man altid tage hensyn til de påvirkninger, som binderne kan blive udsat for i form af belastning og korrosion. Binderne mures ind i liggefugerne, f.eks. i hvert 3' eller 4' skifte med ca. $\frac{1}{2}$ m vandret afstand og forsat sådan, at de er jævnt fordelt over hele vægfladen. Antallet varierer noget fra land til land; der foreskrives mellem 3 og 8 stk. pr. m² i nogen grad afhængigt af stenstørrelse og belastning. I nogle tilfælde indlægges der kun bindere udfor dækkene, og materialet er da rustfast stål med f.eks. 10 mm diameter. Når begge vægskiver mures, lægges binderne ud, når både formur og bagmur er oppe i den aktuelle højde. Når den indre vægskive ikke er muret, opføres den i reglen først og forsynes med bindere, som rager ud — f.eks. som strittere i beton — og når skalmuren opføres, indmures de i liggefugerne efter at have fået en bøjning på 90° i den indmurede del.

Skalmursvæggen er baseret på princippet om 2-trins tætning; der må således sørges for, at vand, som eventuelt trænger gennem skalmuren, ledes ud igen. Dette opnår man ved at indbygge vandtætte lag på de steder, hvor vand kan samle sig og gøre den indre vægskive fugtig, som f.eks. på soklen og på stik over alle åbninger i ydervæggene. De vandtætte lag kan være tagpap, plasticfolie eller metalplader placeret og formet således, at vandet føres udefter. Et eksempel på indbygning af vandtætte lag er vist i fig. 2.10, og forskellige løsninger er beskrevet i afsnit 8.7.

Indtrængende vand kan imidlertid også nå over til indre vægskive på andre steder, f.eks. langs trådbindere eller murstensbrokker, som er tabt og blevet hængende mellem vægskiverne. Er der ikke isolerende fyld i hulrummet, kan vandet nå over ved stænkning fra

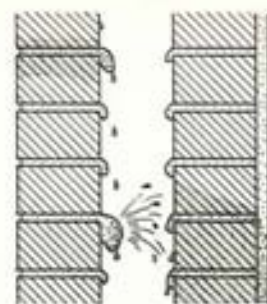


Fig. 8.04. Overføring af vand fra formur til bagmur ved stænkning.

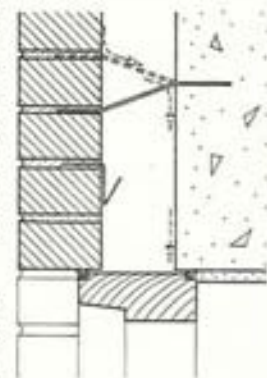


Fig. 8.05. Trådbindere skal indmures med fald udefter; den øverst viste er forkert.



Fig. 8.06. Muring med brædt på trådbinderne.

på binderne eller batts'ene (fig. 8.06) og hælde mørtlen på brættet over i baljen, hver gang der igen skal udlægges bindere eller indsættes batts. Det er meget nyttigt for tætheden mod slagregn at gå sådan frem ved opmuringen, at skalmuren etapevis er nogle skifter højere oppe end den indre vægskive. Mørteltungerne på bagsiden af skalmuren kan da jævnes ud med en våd kalkkost, før

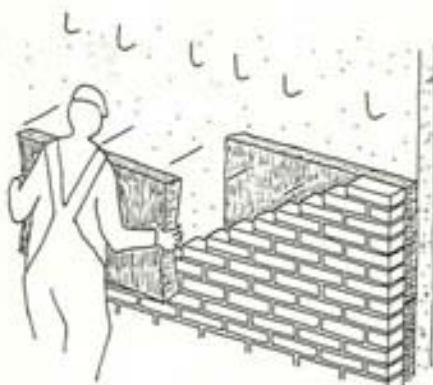


Fig. 8.07. Muring af skalmur mod støbt indre vægskive med isoleringsmætter.

vanddråber, der til stadighed falder fra det laveste punkt på en mørteltunge ned på en anden (fig. 8.04). Er der f.eks. mineraluldsbatts i hulrummet, kan spilmørtel mellem to batts danne en fugtbro over til den indre vægskive.

Alt dette kan undgås, dersom murerarbejdet udføres rigtigt og med fornøden omhu. Vandoverføring langs binderne undgås, når de indmures med fald udefter (fig. 8.05) eller når der anvendes bindere med drypnæse. Gener fra spilmørtel kan undgås ved at mure med brædt

på binderne eller batts'ene (fig. 8.06) og hælde mørtlen på brættet over i baljen, hver gang der igen skal udlægges bindere eller indsættes batts. Det er meget nyttigt for tætheden mod slagregn at gå sådan frem ved opmuringen, at skalmuren etapevis er nogle skifter højere oppe end den indre vægskive. Mørteltungerne på bagsiden af skalmuren kan da jævnes ud med en våd kalkkost, før brættet løftes, og derved forbedres fugefyldningen. Er den indre vægskive der allerede, når skalmuren opføres, kan mørteltungerne trækkes af med brættet eller undgås ved, at der mures mod isoleringsmætter (fig. 8.07).

Ved skalmursvægge uden hulrumsfyld er det almindeligt at lade nogle stødfuger i skalmuren stå åbne ved soklen og under taget for derved at skabe en vis ventilation i hulrummet,

uden at varmetabet gennem væggen øges ret meget. Ved ventilationen opnås både, at byggefugten hurtigere fordamper, og at risikoen for regngennemslag nedsættes, fordi trykfaldet over skalmuren bliver mindre. De åbne stødfuger ved soklen tjener samtidig som dræn for vand på bunden af hulrummet. Er der derimod isolationsmateriale i hulrummet, kan ventilationen få en meget mærkbar indflydelse på varmetabet gennem væggen; skalmuren må da ikke have åbninger under taget, og åbningerne ved soklen bør være få og små, afstanden mellem dem f.eks. ca. 2 m. Er hulrummet drænet under terræn (fig. 8.08), kan åbninger i skalmuren helt udelades.

De isoleringsmaterialer, der anvendes som hulrumsfyld, må ikke være vandsugende, men helst vandafvisende. Det er vigtigt, at isoleringsmaterialet optræder som en sammenhængende skive uden revner eller spalter. Anbringes det under muringen i form af måtter eller plader (batts), vil åbne spalter mellem enhederne øge mulighederne for luftcirkulation og vandoverføring. Har isolationsmaterialet form af korn eller granuler, må der skabes sikkerhed for, at det fylder hulrummet helt og ikke har tendens til at synke sammen i tidens løb. Er isolationsmaterialet skumplastik, som er blæst ind i hulrummet, er det af største betydning, at de enkelte komponenter er af den rette kvalitet, og at de føres sammen i det rigtige blandingsforhold; det er afgørende for

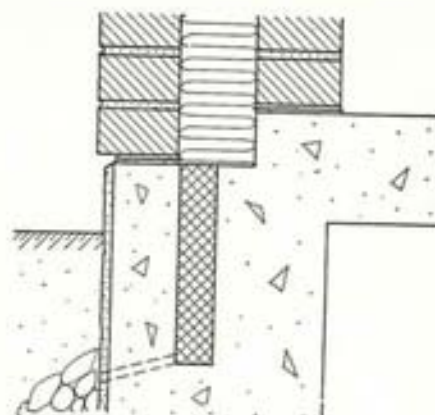


Fig. 8.08. Hul væg drænet under terræn.

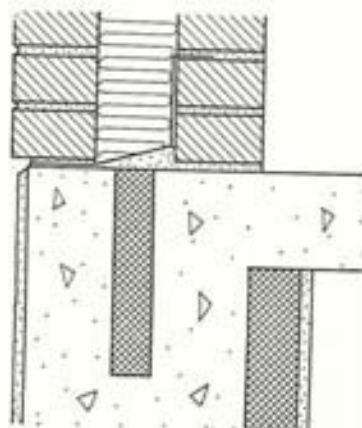


Fig. 8.09. Hul væg, hvor kuldebroen ved fundamentet er brudt.

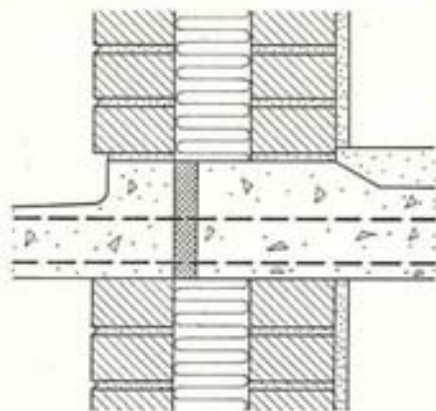


Fig. 8.10. Hul væg med delvis brudt kuldebro ved altan. Isolationspladen er afbrudt ved armeringsjernene, hvor en mindst 5 cm bred stribe er udfyldt med beton i hele pladens højde.

varmeisolerende, og det skal derfor være så tørt som muligt. At standse regnvandet er skalmurens opgave, og den skal derfor være muret med fyldte fuger; er den ikke det, må reparationsarbejdet dreje sig om at gøre skalmuren tæt. Og vælges det samtidigt at anvende isolerende hulrumsfyld, må det anvendes sådan, at vand på bagsiden af skalmuren ikke kan optages i isolationsmaterialet eller gennem det ledes over til den indre vægskive; vandet skal ende på de vandtætte lag og herfra ledes ud igen.

Ved mange skalmursvægge forekommer der detaljer, som er i strid med vægtypens princip. Det gælder f.eks. den kuldebro, som ofte dannes langs soklen af et hus (fig. 2.10), og den kan forholdsvis let undgås (fig. 8.09). Ved altanplader må man både sørge for en tilfredsstillende anbringelse af et fugtstandsende lag, og for undgåelse af kuldebroer (fig. 8.10).

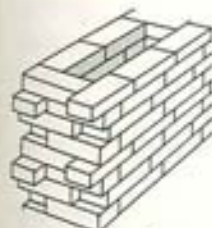
Bygningsmyndighederne sætter grænser for, hvor højt en $\frac{1}{2}$ -stens skalmur må føres op som selvberende. Skal man højere op, må man enten øge vægtykkelsen forned eller føre nogle af dækkene så langt frem, at der kan mures videre på dem. I første tilfælde kan skalmursvæggens princip uden videre overholdes, i andet tilfælde kan man anbringe vandstandsende lag ved de aktuelle dæk, ligesom

det hærtnede skums varighed og svindtendens. Skumplastic af dårlig kvalitet kan have meget dårlige virkninger, og det har ikke den fordel, som man kan nævne for det kornformede materiale, at det kan tømmes ud, dersom ifyldningen f.eks. har medført fugtskader.

Helt principielt må det til slut siges om hulrumsfyldet i skalmursvægge, at det aldrig må betragtes som fugtstandsende lag, altså som et universalmiddel, der både er varmeisolerende og ophæver fugtskader. Isolationsmaterialets opgave er at virke

ved soklen, men dækkene vil virke som kuldebroer. Der er i øvrigt eksempler på, at jernbetondæk føres frem i facader uden at skulle bære en skalmur; det har ført til ret omfattende skader — revnedannelse — i skalmuren, i reglen på grund af plastiske og elastiske bevægelser i betonen.

Kanalvægge



Vægge af denne type er afledt af de massive, murede vægge ud fra ønsket om at bruge færre mursten og opnå lavere vægt, men beholde vægtykkelsen, en udvikling, som førte til bedre varmeisolerende og større tæthed mod slagregn. På steder med hårdt og regnrigt vejr var regntætheden dog ikke tilstrækkelig, og her førte udviklingen frem til skalmursvæggen, som nu er dominerende, hvor det gælder blank mur. I visse egne i Skandinavien, hvor klimaet er mindre hårdt, har skalmurens totale adskillelse fra bagmuren dog ikke været nødvendig, og her er kanalvæggene endnu udbredte. De forekommer da enten som egentlige kanalvægge med lodrette kanaler — oftest med 2 stens bredde — adskilt indbyrdes af binderkolonner i $\frac{1}{2}$ -stens bredde, eller som en overgangsform til skalmursvæggen, hvor der kun er muret massivt omkring åbninger og under dæk. I den førstnævnte vægtype — den danske hule væg med faste bindere — kan et gennemgående, vandstandsende lag ved soklen ikke føres op langs den indre vægskive for binderkolonnerne, og disse fungerer som kuldebroer og kan tilmed give anledning til kapillær vandoverføring til bagmuren. Dette sidste kan kun hindres effektivt ved at føre et vandtæt bændel (impregneret pap, plasticfolie eller lignende) i zig-zag op gennem hver eneste binderkolonne, hvilket er uigennemførligt i praksis. Begge disse forhold taler til ugunst for denne type af kanalvægge, og for kanalvægge i almindelighed gælder, at de — ligesom massive vægge med samme tykkelse — ikke bør bruges uden puds eller anden beskyttelse på steder med meget hårdt klima. I den anden kanalvægstype, hvor der kun er muret massivt omkring åbninger og under dæk, er ulemperne ved de massive områder naturligvis mindre, for såvidt områderne er



Fig. 8.11. Hul væg med fuldt udmuret dorfals med indlagt papstrimmel.

mindre. Fugtisoleringen ved soklen kan gennemføres på helt tilfredsstillende måde, og de massive områder under dæk er ofte — i hvert fald ved lave huse — beskyttet af tagudhæng; men tilbage bliver falsene ved åbningerne, og de kan kun sikres ved indlægning af et vandstandsende bændel (fig. 8.11) som foran omtalt. Hvor det kun drejer sig om forholdsvis få false, kan denne fremgangsmåde praktiseres; men en ren skalmur er sikrere og mindre arbejdskrævende.

Ved udfyldningsmure forstås mure, der udfylder felter mellem dæk og bærende søjler eller vægge. De kan udføres af mange slags materialer og forekommer især i ydervægge og som skillevægge i skelethuse samt i ydervægge i bygninger med bærende skillevægge. Udfyldningsmure er aldrig bærende; deres væsentligste påvirkning kommer i reglen fra vindkræfter, som må overføres til selve bygningen langs randen af muren. Det sker ved hjælp af trådbindere eller rundjern eller ved indmuring i udsparede riller. I bygninger med udfyldningsmure i ydervæg kræves der særlige forholdsregler for at undgå generne ved de kuldebroer, som uvægerligt opstår langs randen af væggene; revnedannelse langs randen volder ligeledes besvær. Udfyldningsmure kan også forekomme som den indre vægskive i en skalmursvæg, hvis den ydre vægskive mures fritstående på almindelig måde (den bærende ramme om udfyldningsmuren skal da — i henhold til definitionen på en skalmursvæg — medregnes til den indre vægskive).

Vægge med beklædning

Her forstås vægge med forsiden dækket med en forholdsvis tynd vægskive — beklædningen — der ligger an mod underlaget eller højst er adskilt fra dette af en smal spalte. Beklædningen er aldrig

selvbærende, og formålet med at anbringe den er i reglen såvel at forbedre væggen udseende som at forbedre dens vejrfasthed eller varmeisoleringssevne, og det volder sjældent vanskeligheder at opfylde begge formål.

Vægskiven kan f.eks. udføres af plader af natursten, eternit, emaljeret stål, aluminium eller glas, af keramiske plader eller mosaik. Pladerne opsættes i reglen i mørtel — oftest med ankre — eller fastgøres på imprægnerede trælistor; i visse tilfælde mures de op — det sker f.eks. med de såkaldte teglstave, der har form som mesterpetringer (se fig. 8.12) — eller de sømmes på (de svenske spiktegel) med et paplag under. Sker fastgørelsen på trælistor, eller fremkaldes der på anden måde et hulrum bag beklædningen, er der mulighed for at anbringe et isolerende lag i spalten til forbedring af varmetæthed. Spalten bør da være ventileret, og man har så en 2-trins tætning (fig. 2.21 a). Ventileret beklædning er nærmere omtalt i kapitel 15.

Murede skillevægge

Skillevægge mures i langt de fleste tilfælde som massive vægge. Kun når det drejer sig om lydisolering, forekommer der skillevægge opført af 2 adskilte vægskiver. Opmuringen af skillevægge rejser ikke andre problemer end opmuringen af ydervægge.

8.2. Forbandt

Når et murværk, som opføres af sten med samme format, skal have den størst mulige styrke, skal stenene henmures sådan, at stenene danner et fletværk med størst mulig overlappning samt sådan, at fugerne omkring dem får den samme tykkelse, og denne bliver så lille som muligt. Af andre grunde er det endvidere ønskeligt, at stenene udlægges i vandrette lag. Dette medfører, at stenenes længde og bredde må stå i et bestemt forhold til hinanden, og at der bliver faste regler for stenenes placering i væggen.

De vandrette lag — skifterne — adskilles af vandrette fuger — liggfuger eller langfuger — der altså er gennemgående fra væggen ene ende til dens anden i modsætning til de lodrette fuger

— stødfugerne eller studserne — der ikke må løbe i hinandens forlængelse fra et skifte over i det næste. En mursten kan hennemures som løber eller som kop; ligger den på langs, betegnes den løber, og ligger den på tværs, betegnes den kop. De lange smalsider betegnes løbersider, de korte kopender. En sten, der er hennemuret som kop, betegnes også en binder, fordi den — i vægge med mere end $\frac{1}{2}$ -stens tykkelse — tjener til at sammenbinde de vægskiver, som ville opstå, dersom alle sten hennemurede som løbere. Et skifte med stenene i den betragtede flade hennemurede som løbere kaldes et løberskifte, et skifte med stenene hennemurede som kop, et kopskifte eller et binderskifte. I en væg, der er mere end 1 sten tyk, kan et skifte se ud som et løberskifte i den ene side af væggen og som et kopskifte i den anden (fig. 8.12). Når mureren følger reglerne om stødfugernes forskydning, fugernes tykkelse, overlappningens længde m.m., kommer stenene til at danne et regelmæssigt mønster såvel i væggens sideflader som i vandrette snit. En sådan væg siges at være muret i forbandt; stenenes mønster i sidefladerne kaldes forbandtet og kan karakteriseres ved en forbandtkode (fig. 8.12—8.16).

Når der mures i forbandt, er det således af styrkemæssige grunde og altså ikke først og fremmest, fordi det ser pænere ud, at stenene og fugerne danner et regelmæssigt mønster; men det har dog vist sig, at forbandtet kan varieres på talrige måder, uden at murværkets sammenhængskraft bedømt f.eks. ved brudbelastning af etagehøje prøvevægge ændres nævneværdig derved. Dette er en stor fordel, idet man da selv ved ret stærkt belastet murværk kan lade æstetiske synspunkter være dominerende ved valg af forbandt i vægge, der ikke skal pudses. En af de ting, der nedsætter friheden ved valget, er kravet om mindst $\frac{1}{4}$ stens overlappning, en anden er kravet om, at mindst ca. 20 % af antallet af stenene i en vægflade skal være bindere. Opmuringshastigheden er heller ikke ens for de forskellige forbandter, og økonomiske synspunkter kan altså også få indflydelse. Ved opmuring af vægge, hvis tykkelse er lig med stenenes bredde, mures der meget ofte med en overlappning svarende til den halve stenslængde, altså med stødfugerne ud for stensmidten i skiftet under og over. Dette forbandt kaldes halvstensforbandt (skorstensforbandt) og hører til de simpleste og hurtigste at mure.

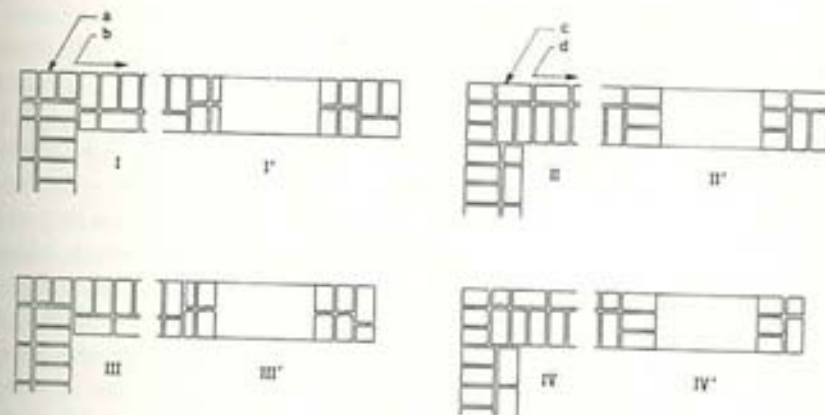
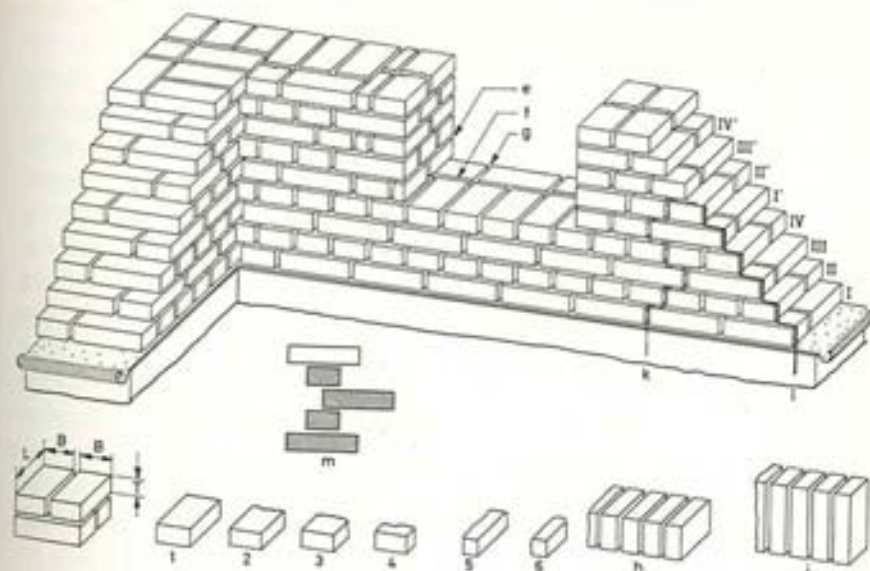


Fig. 8.12. $1\frac{1}{2}$ -stens massiv mur i krydsforbandt. Skifterne er nummererede med romertal. Murstenenes mål er betegnet L, B og T. De øvrige betegnelser gælder: 1. $\frac{1}{2}$ -sten, 2. $\frac{3}{4}$ -sten, 3. $\frac{1}{2}$ -sten (knakket kop), 4. petring, 5. mesterpetring, 6. $\frac{3}{4}$ mesterpetring, a. kop, b. kopskifte, c. løber, d. løberskifte, e. liggefuge, f. mellemfuge, g. stødfuge, h. rulskefte, i. standerskifte, k. stående forbandt, l. aftrapning, m. forbandtkode.

De fleste varianter er i øvrigt knyttet til murværk af sten med det nationale normalformat for teglsten, og de hertil knyttede betegnelser og fagudtryk kan findes på fig. 8.12, der viser et hjørne af en $1\frac{1}{2}$ -stens massiv ydermur muret i krydsforbandt. I dette forbandt er hvert andet skifte et kopskifte, hvert andet et løberskifte, og medens kopperne overalt ligger lige over hinanden, er løberne forskudt en halv stenlængde fra løberskifte til løberskifte, således at de kun ligger lige over hinanden i hvert fjerde skifte. Det fremgår af figuren, at der må bruges tilhuggede sten ved hjørner og vinduesåbninger for at få forbandtet til at gå op. Forbandtkoden viser, at skiftgangen gentages i hvert 4' skifte, og stenenes placering i et vilkårligt skifte ved hjørne og vinduesåbning kan derfor vises på 4 skitser (I—IV). Med den valgte placering af vinduet er det nærliggende at anbringe både petringer og mesterpetringer i falsene, hvilket af mange anses for uheldigt; det kan undgås ved at anvende $\frac{3}{4}$ -sten og $\frac{3}{4}$ -stens petringer og foretage nogle lokale ændringer i skiftgangen, som vist på figuren.

Krydsforbandt i blank mur kræver mange facadesten, fordi der indgår så mange kopper. Det samme gælder blokforbandtet (fig. 8.13), der kun afviger fra krydsforbandtet ved, at også løberne er i lod i alle løberskifter. Forbandtkodens bredde er 1 sten og dens højde 4 skifter.



Fig. 8.13. Murværk i blokforbandt.

Hverken krydsforbandtet eller blokforbandtet er særlig velegnet til skalmursvægge med $\frac{1}{2}$ -stens skalmur, fordi kopskifterne da skal mures af knækkede kopper dannet ved at hugge sten midt over, hvilket resulterer i ulige store $\frac{1}{2}$ -sten. Dette undgås i løberforbandterne, hvor alle skifterne er løberskifter. Løberne kan da være forsat $\frac{1}{4}$ sten (fig. 8.14) eller afvekslende $\frac{1}{2}$ og $\frac{1}{4}$ sten (fig. 8.15) i forhold til hinanden. Forbandtkodens bredde er henholdsvis $1\frac{1}{2}$ og $1\frac{3}{4}$ sten; men højden er i begge tilfælde 4 skifter.



Fig. 8.14. Murværk i løberforbandt med $\frac{1}{4}$ -stens spring.



Fig. 8.15. Murværk i løberforbandt med $\frac{1}{2}$ - og $\frac{1}{4}$ -stens spring.

Til kanalvægge, der mures som hule

vægge med faste bindere, skal der i reglen være 2 stens afstand mellem binderkolonnerne, hvilket gør det naturligt at mure med 2 løbere og 1 kop i hvert andet skifte og at mure de mellemliggende skifter som løberskifter som vist på fig. 8.16. I bagmuren vil der da enten komme en løber eller en stødfuge mellem to løbere udfor formurens kopper. Her er forbandtkoden $2\frac{3}{4}$ sten bred og 4 skifter høj.



Fig. 8.16. Forbandt i kanalvæg (hul væg med faste bindere).

Når væggene skal mures i forbandt, og stenene skal overlape hinanden med mindst $\frac{1}{4}$ stens længde, er det umiddelbart indlysende, at målene på piller og åbninger må falde ud i spring på mindst $\frac{1}{4}$ stenlængde, dersom antallet af huggede sten skal være det mindst mulige. Dette er af betydning for murværks tilpasning til den indførte modulordning.

Modul betyder mål-enhed. I Norden er det vedtaget at anvende 100 mm som mål-enhed i byggeriet, altså som byggemodul. Den betegnes M, og angives et mål f.eks. som 18 M, betyder det, at målet er 1800 mm. Mål, der er multipla af byggemodulen, kaldes modulmål, og ideen bag modulordningen er, at så mange byggemål som muligt skal være modulmål, idet byggemålene gælder den plads, bygningsdelene inklusive deres fugeandele optager ved sammenbygningen. Herved vil grænselinierne i fugerne kunne bringes til at falde på linierne i et modulnet, et net med kvadratiske masker med 100 mm maskevidde. Det har vist sig praktisk også at arbejde med større mål-enheder end byggemodulen på 100 mm. Herunder hører f.eks. planlægningsmoduler, der ikke er fastsatte mål-enheder, men kan have én værdi i én bygning og en anden i den næste; endda inden for én og samme bygning kan det vise sig praktisk at have forskellig planlægningsmodul for dæk og vægge. Blandt planlægningsmodulerne går nogle hyppigt igen fra bygning til bygning, mens andre sjældent vælges. Blandt de hyppigst anvendte har planlægningsmodulerne 3 M for vandrette mål og 2 M for lodrette særlig interesse i forbindelse med murværk, fordi de muliggør murværks indpasning i modulordningen. Gælder det teglstensmurværk,

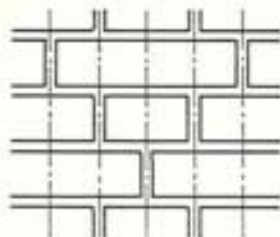


Fig. 8.17. Lodrette murværks-systemlinier.

medfører kravet om forbandt som foran nævnt, at der skal være et bestemt forhold mellem stenenes længde og bredde; længden L af en løber inklusive $\frac{1}{2}$ fugetykkelse f ved hver ende skal være lig med 2 gange bredden B af en kop inklusive dens fugeandele. Tænker man sig lodrette linier indlagt midt i alle stødfuger, vil der da blive 4 pr. løber eller 2 pr. kop (fig. 8.17), og afstanden mellem dem vil blive $\frac{1}{4} \cdot (L + 2 \cdot \frac{f}{2}) = \frac{1}{2} \cdot (B + 2 \cdot \frac{f}{2})$. Tænkes yderligere et 100 mm modulnet ind-

lagt, vil nogle af linierne i de to net falde sammen. Dersom stenbredden er 11 cm og fugetykkelsen 1 cm, vil afstanden mellem systemlinierne blive 6 cm, og sammenfald med modullinierne vil da ske i hver 3', eller med 30 cm afstand. Dersom stenbredden er 12 eller 13 cm, og fugetykkelsen er ca. 1,3 cm, vil sammenfald ske i hver 2' eller hver 5' modullinie eller med 20 eller 50 cm afstand. I Danmark, hvor stenbredden er 11 cm, er det vandrette præferencemål således 30 cm. Det lodrette præferencemål fastsættes ud fra antallet af skifter pr. m; i Danmark, hvor der mures med 15 skifter pr. meter, falder de vandrette systemlinier gennem liggefugerne sammen med hver 2' af linierne i 100 mm modulnettet, og det lodrette præferencemål er derfor fastsat til 20 cm.

I nogle lande har man indført såkaldte modulsten, der giver 10 cm høje skifter, 10 eller 20 cm bredde og 20 eller 30 cm længde, alt inklusive fugeandele.

Denne murstentype i tegl har endnu ikke vundet almindelig udbredelse.

Når der mures med større enheder — blokke — må der ofte anvendes særlige passtykker eller pasblokke, og der mures da i reglen efter specielle skiftegangsplaner, som det f.eks. er vist for en porebetonvæg i fig. 8.18.

Hensigten med modulordningerne er at lette industrialiseringen af byggeriet, således at fabriksfremstillede produkter i så stort omfang som muligt kan anvendes uden tilpasning i husene. Det gælder ikke alene de elementer, hvoraf råhuset opføres, men også det inventar og de tekniske indretninger, som skal indbygges. Jo

mindre det murede byggeris præferencemål er, desto lettere indpasses de forskellige katalogvarer med modulmål i bygningerne; men ordningens betydning afhænger naturligvis af, at råhusets mål virkelig bliver som forudsat. For at nå dette må der sættes grænser for den usøjagtighed, hvormed de i råhuset indgående dele — herunder også murstenene — tilvirkes og indmures. Den tilladte usøjagtighed betegnes *tolerancen*, og den angiver altid forskellen mellem et maksimums- og et minimumsmål f.eks. længdeforskellen mellem den længste og den korteste sten, som kan godkendes. Tilvirkningstolerancerne

for mursten er endnu ikke fastsat; men det må anses for sikkert, at kravene til stenenes målnøjagtighed må skærpes.

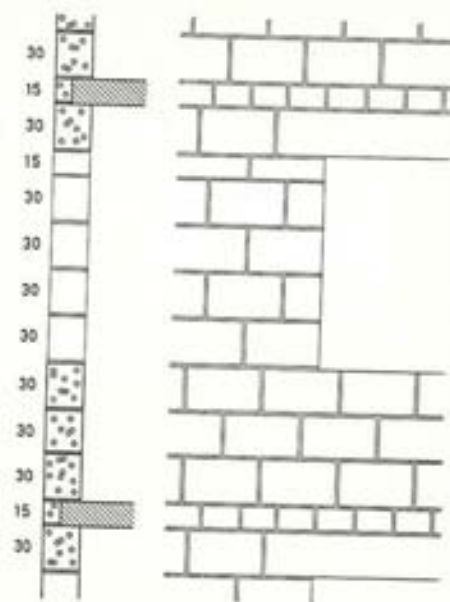


Fig. 8.18. Skiftegangsplan for mur af porebeton.

8.3. Valg af mørtel

Ved valget af mørtel til et bestemt murerarbejde må der naturligvis lægges stor vægt på, at mørtlens trykstyrke er tilstrækkelig stor, men andre egenskaber kan være lige så vigtige, og mørtlen er kun til en vis grad bestemmende for murværkets kvalitet. I henseende til styrke er det hovedsagen, at mørtlen formår at sikre en tilfredsstillende spændingsfordeling mellem og sammenbinding af murstenene, og dette lykkes desto bedre, jo bedre fugefyldningen er, og jo bedre kontakt der er mellem sten og mørtel i både liggefuger og stødfuger. Murværkskvaliteten kommer derfor til i høj grad at afhænge af mørtlens bearbejdelse, dens evne til let at lade sig forme og behandle af mureren, og kravet om god bearbejdelse må derfor aldrig overses ved mørtelfremstillingen.

Et andet forhold, som måske er endnu vigtigere for sammenbindingen, er vandringen af fugt fra mørtel til sten lige efter, at stenen er bragt på plads. Denne vandring afhænger både af stenens evne til at opsuge vand og af mørtlens evne til at fastholde det. Sammenspillet mellem de kræfter, vandet i mørtelfugen udsættes for, er meget kompliceret og lidet afklaret, men så meget er sikkert, at sammenbindingen kan blive dårlig, såvel når vandtransporten er meget stor, som når den er meget lille; det bedste resultat opnås ved en mellemliggende værdi.

Er vandtransporten fra mørtel til sten meget lille, kan den dårlige sammenbinding have flere årsager. Dersom bindemidlet helt eller hovedsagelig er kalk, vil det vare længe, før vandindholdet kommer ned i det for kalkens hærkning gunstige område. Det medfører, at mørtlen længe er svag, og at murværket kan få uheldige deformationer. Og uafhængigt af, om bindemidlet er kalk eller cement, vil den ringe vandafgivelse dels kunne føre til, at mørtlen holder sig plastisk længe nok til at synke lidt sammen eller sive lidt ud langs de frie kanter og altså stedvis slippe den overliggende sten, dels kunne forårsage, at stenen «svømmer» på mørtlen, så det bliver vanskeligt at mure i stok og i lod, fordi stenen let vil bevæge sig, når næste sten eller måske endda næste skifte henmures. Det er disse faktorer tilsammen, som kan føre til, at murværket ikke opnår den optimale tæthed og sammenbinding.

Er vandtransporten fra mørtel til sten derimod meget stor, må den dårlige sammenbinding — især når det drejer sig om cementholdige muremørtler — i hovedsagen tilskrives, at mørtlen mister så meget vand, at hærkningsforholdene forringes. Vandmanglen kan gælde mørtlen i hele fugens tykkelse eller kun den del, som ligger nærmest stenen — alt efter forholdet mellem stenens sugsevne og mørtlens vandholdeevne — og i begge tilfælde forringes sammenbindingen af stenene. Vandholdeevnen kan være så ringe i forhold til stenenes sugning, at mørtlen bliver suget «død» allerede i den korte tid, den må ligge, før mureren når at henlægge murstenen. Under sådanne forhold bliver der ingen eller kun en ringe sammenbinding i murværket, og der kan være områder, hvor stenenes liggeflade ikke er i kontakt med mørtlen. Det kan også risikeres, at mørtlen nok er «levende» endnu, når stenen henlægges,

men at den derefter suges så hurtigt «død», at der ikke er tid nok til at få bragt stenen på plads, således at den sidste korrektion sker med murerhammeren; i så fald får murværket en gennemgående revne langs den pågældende sten.

Alt dette bekræfter samhörigheden mellem stenenes sugsevne, mørtlens vandholdeevne og murværkets kvalitet, og det må ventes, at kendskabet dertil bliver uddybet så meget, at der kan opstilles klare regler for, hvordan en mørtel skal fremstilles for at passe til de mursten, der skal mures med.

Forudsat at murstenene bliver anvendt i takt med leveringen eller beskyttes mod vand på byggepladsen, vil teglsten kunne anses for praktisk talt tørre, når de henmures, medens andre typer af mursten — f.eks. letbetonsten — kan have et betydeligt vandindhold ved leveringen. Det kan i visse tilfælde være aktuelt at vande teglsten inden brugen — f.eks. til armeret murværk — men for de fleste murstensarter må vanding frarådes.

Da man må regne med, at de spændinger, som kan fremkaldes ved fugemørtlens svind, vil vokse med mørtlens styrke, bør der ikke anvendes stærk mørtel til sten af forholdsvis svagt materiale såsom porebeton og visse lette tegltyper. Det sker, at murværk af svage sten i stærk mørtel revner langs fugerne, og kombinationen er ubegrundet, fordi mørtel i sådant murværk kun har underordnet betydning for murværksstyrken.

Derimod er det rigtigt at anvende relativt stærke mørtler — mørtler med relativt stort cementindhold — til murværk af sten med god styrke og ringe sugsevne, især i fugtige og kolde vejrperioder. Det samme gælder murværk, hvortil der stilles særlige krav om frostfasthed eller om sikkerhed mod rustdannelse på armeringsjern i muremørtlen. Mørtlens frostfasthed kan forbedres yderligere ved luftindblanding i mørtlen (mindst 10 % luftindhold).

Udblomstrede salte på murværk er så godt som altid ført frem til overfladen af fugt i porerne, og saltene må altså være opløselige i denne fugt. Saltene udskilles, når fugten fordamper, og sker fordampningen helt fremme i poremundingerne, bliver saltene synlige. Saltene kan stamme fra murstenene eller mørtlen (oftest dens bindemiddel eller tilsætningsstoffer), og ofte er undgåelsen af udblomstringer en medbestemmende faktor ved valg af mørtelsammensæt-

ning. Cement indeholder forskellige mere eller mindre opløselige salte, og det ser da også ud til, at det især er murværk i C-mørtel og i cementrig KC-mørtel, som får udblomstringer.

De forskrifter og normer om murværk, som findes i de nordiske lande, sætter de tilladte spændinger i relation til bestemte kombinationer af mørtel- og stentyper. Mørteltyperne er begrænset til et ret lille antal standardmørtler, men det er som regel tilladt at bruge mørtler af anden art, dersom det eftervises, at de er jævnbyrdige med standardmørtlen.

Når man skal vælge en muremørtel, som tilfredsstiller normernes krav til murværket, må stenstyrken og den maksimale spænding være kendt. Man opsøger da den svageste af de standardmørtler, som fører til en tilladt spænding, der er større end den aktuelle maksimale spænding i bygningen, og overvejer derefter, om denne mørtel bør vælges, eller om hensynet til andre forhold end netop bæreevnen fører til valg af en anden og eventuelt stærkere mørtel. Særlige klimaforhold kan f.eks. medføre krav om en cementrigere mørtel eller brugen af et særligt tilsætningsstof. Ved valget kan det være praktisk at specificere de forskellige krav, som stilles, ordne dem efter prioritet og derefter træffe valget således, at så mange af kravene som muligt tilfredsstilles. Fremgangsmåden er fulgt i efterfølgende eksempler fra de 4 lande; de nationale forskrifter, som findes, er fulgt.

Danmark: En hårdt belastet ydervæg skal mures i $1\frac{1}{2}$ -stens tykkelse af teglsten. Den maksimale trykspænding, som kan regnes centrisk, overstiger ikke 30 kp/cm^2 . Der mures under skærpet kontrol, og der skal ikke mures i frostvejr. Huset ligger frit, og facaderne skal ikke pudses.

Teglstenene har normalt murstensformat, trykstyrken er over 400 kp/cm^2 , minutsugningen er under 15 g/dm^2 .

Kravene til muremørtlen samler sig om dens styrke, tæthed og vejrfasthed. Der vælges en aktiveret muremørtel KC 20/80/500.

Ved at sætte filler til det på stedet gængse mørtelsand kan kornkurven reguleres således, at mørtlen kan stå i baljen uden at sætte vand op samt blive så smidig, at det med den fornødne mørtelmængde på skeen ikke er vanskeligt at mure med fyldte fuger.

Da der ikke foreligger normkrav vedrørende en sådan væg, må der udføres trykforsøg med murværkspiller af de aktuelle materialer til påvisning af, at styrken er tilfredsstillende.

Mørtlens sammensætning og anvendelsen af aktivator regnes at give sikkerhed for mørtlens tæthed og vejrfasthed, og den skærpede kontrol regnes at give sikkerhed for fyldte fuger.

Finland: Et 2-etages enfamilieshus skal mures af porebetonblokke med rumvægt 650 kg/m^3 og trykstyrke 60 kp/cm^2 . Dimensioneringen foretages i overensstemmelse med Byggnadsingeniørforeningens Normer för Lättbetong. De beregnede påvirkninger er højst $2,5 \text{ kp/cm}^2$, den relative ekscentricitet er mindre end den højeste tilladte værdi 1,5, og slankhedsforholdet er 15.

Kravene til væggen gælder styrken.

For porebeton med trykstyrke 50 kp/cm^2 er den tilladte spænding $3,5 \text{ kp/cm}^2$, når slankhedsforholdet er 15. En interpolation for den virkelige trykstyrke på 60 kp/cm^2 er da overflødig. Den eneste mørtel, som kan komme på tale, er af typen KS 50/50.

Norge: En bærende skillevæg skal mures i $\frac{1}{2}$ -stens tykkelse af teglsten. Der er flere døråbninger i væggen, og hvor spændingen er højest, når den op på 15 kp/cm^2 og virker centrisk. Væggens slankhedsforhold er 16,5. Det er forudsat, at murværket over døråbningerne skal mures som armeret murværk.

Kravene til mørtlen omhandler styrke og vedhængning til armeringsjern.

Efter Norsk Standard, NS 421 medfører et slankhedsforhold på 16,5, at den tilladte spænding skal reduceres til 0,8 gange værdien for vægge med godkendt slankhedsforhold. Der kan så vælges mellem to materialekombinationer:

- Teglsten med brændingsgrad B eller C og mørtel KC 20/80 eller
- Teglsten med brændingsgrad AE eller A og mørtel KC 35/65.

I begge tilfælde er den tilladte spænding $20 \cdot 0,8 = 16 \text{ kp/cm}^2$. Da vedhængningen mellem mørtel og armeringsjern vokser med cementindholdet, foretrækkes mørteltypen KC 20/80.

Mørtlen sammensættes og blandes efter reglerne i NS 422 A. Som

armering bruges 2 kamstål med 6 mm diameter indlagt i nederste fuge over døråbningerne.

Sverige: En udvendig kældervæg skal mures af beton-hulblokke. Arbejdet skal udføres om vinteren, og der regnes med temperaturer på ned til, men ikke under 0°C. Den beregnede maksimale trykspænding er 4,5 kp/cm².

Kravene til mørtlen har følgende rækkefølge: Styrke, evne til at hærde ved lav temperatur og i fugtig luft, tæthed, bearbejdelighed, frostbestandighed.

Til en sådan væg kræver de svenske bygningsbestemmelser BABS en mørtel i gruppe B samt murerarbejdet udført efter klasse I. I gruppe B findes to jævnyrdige mørtler, KC 35/65/550 og MC 60/40/475. Begge mørtler opfylder de 3 første krav, men MC-mørtlen foretrækkes på grund af de 2 sidste. Der er da regnet med, at KC-mørtlen ikke indeholder luftindblandingsmiddel. Bliver forholdene særlig strenge, bør cementmængderne øges ved overgang til blandingsforholdene KC 20/80 eller MC 30/70.

Muring i klasse I kræver skærpet kontrol og blanding efter vægt og stiller visse krav til murerens fagkundskab.

8.4. Murearbejdet

Et af de vigtigste tekniske krav, som stilles til mureren ved opmuring af en væg, er, at han murer med fyldte fuger, altså at han murer sådan, at mellemrummene mellem de sten, han opbygger væggen af, er helt fyldt med mørtel. I modsat fald får væggen hverken den tæthed eller den bæreevne, som den burde få. Dette kan have meget generende konsekvenser f.eks. i form af fugtskader, og dette er helt meningsløst, fordi det kun kræver en lille ekstrainsats at mure med helt fyldte fuger, medens det kræver et meget stort og i reglen kostbart arbejde at reparere en væg med ikke fyldte fuger. Dertil kommer, at en repareret væg aldrig vil få samme kvalitet som en væg, der er muret korrekt fra begyndelsen.

Det er dog ikke murerens håndværksmæssige indsats alene, som er afgørende for, om fugerne bliver fyldt; foruden den faglige dygtighed må også værktøj og materialer være i orden. Drejer det sig om almindeligt murværk af teglsten, er det rigtige værktøj en ske, som er stor nok til at tage en mørtelportion, der forslår til fyldning

ikke alene af fugen under den sten, der skal henmures, men også til fyldning af de lodrette fuger mellem den og nabostenen eller nabostenene. Til det rigtige værktøj hører også en hammer med passende vægt og en skarp, retliniet pen, der er lige så bred, som stenen er tyk. Endelig hører der et lodbrædt til med justerede, tydelige libeller og stor længde, og en murersnor, der helst skal være af kunststof (perlon) og spundet, idet en sådan snor kan spændes meget stramt og ikke bliver stiv i frostvejr. Snoren kan farves og f.eks. gøres rød på strækninger svarende til stenslængden og hvid på strækninger svarende til stødfugerne; derved kan antallet af loddesteder måske nedsættes. Anvendelsen af skiftegangslægter med højdemærker svarende til f.eks. overkant af hvert skifte er almindelig ved nøjagtigt arbejde og tillige arbejdsbesparende. Der kan nævnes mange andre redskaber og hjælpemidler, som finder anvendelse ved muring i de nordiske lande, men en fuldstændig gennemgang heraf er fundet at ligge uden for denne bogs rammer. Det må dog nævnes, at en mekanisering af arbejdsprocessen er forsøgt, og at muremaskiner er under udvikling i Skandinavien.

Af murstenene må kræves, at måltolerancerne ikke overskrides, at stenene er rene og har en passende sugeevne, og at mørtlen må kræves en stor smidighed og god evne til at stå i baljen, uden at der udskilles vand på overfladen; baljen skal kunne mures tom, uden at det bliver nødvendigt, at mørtlen røres op nu og da.

Om selve mureteknikken kan der næppe foreskrives faste regler; der kan mures med fyldte fuger på flere måder; men fælles for dem alle er, at der skal udlægges en rigelig mørtelportion for hver sten, og at stenen ikke må flyttes selv nok så lidt, efter at mørtlen er suget død. Opdages det, at en sten et par skifter nede i en vægflade eller ved et hjørne er kommet til at stikke lidt for langt frem, er det nok muligt at få den på plads ved at slå på den med hammeren; men sandsynligvis er det for sent, og i så fald er der fuld sikkerhed for, at man bryder mørtelfugerne omkring stenen — i reglen også omkring nogle af nabostenene — og at de brudte fuger aldrig heles. Der opstår derved utætheder, som kan give anledning til vandindtrængning, og områdets og dermed hele væggenes bæreevne kan nedsættes mærkbart.

Om fugetykkelsen gælder, at den skal være så lille som muligt.

Når en sten henmures, skal der være mørtel nok under den, til at den let kan trykkes til snoren i flugt og i lod, og stødfugerne skal være så tykke, at mørtelmængden i dem er stor nok til at forblive plastisk, indtil stenen er på plads; der er i så fald også mulighed for, at noget af den mørtel, som lægges ud over en fuge ved muring af næste skifte, vil synke ned og efterfylde fugen, hvis den et eller andet sted ikke blev fyldt helt op. Det er disse to forhold som bestemmer den nedre grænse for fugetykkelsen, og det må understreges, at stødfugerne skal være meget nær helt fyldte, når stenen er på plads; efterfyldning af en kun halvfyldt fuge fører ikke til tæthed.

Figurerne 8.19, a—f viser én af de metoder, der kan bruges til opnåelse af fyldte fuger ved henmuring af en løber i facaden på en $1\frac{1}{2}$ -stens massiv ydervæg af teglsten. Man begynder med at slå en klat mørtel på den venstre kop ved forkanten (a) og udlægge mørtel (b). Forsiden af den udlagte mørtel glattes med bagsiden af skeen (c) ved at trække skeen langs væggens forkant i godt en stens længde. Så føres stenen hen over mørtlen med en svagt nedadrettet, skrå bevægelse, således at den skyder så meget mørtel foran sig både ved koppen og ved bagsiden, at mørtlen til sidst fylder begge fugerne mod nabostenene. Under denne bevægelse af murstenen holdes skeen mod muren i vandret stilling med kanten ca. 1 mm nede på det underliggende skifte (d), således at den mørteltunge, som her presses frem, glider ud på skeen uden at misfarve facaden (e). Som afslutning trykkes stenen til snoren i flugt og i lod, og den sidste mørtelpølse afskrabes (f). Skulle det ske, at mellemfugen kun er fyldt til $\frac{3}{4}$ højde ved en af enderne, bør den søges efterfyldt ved at slå den mørtel, som kom ud på skeen, hårdt ned i fugen i stedet for at kaste mørtlen tilbage i baljen. Disse operationer skal være tilendebragt, inden mørtlen har mistet sin smidighed på grund af stenenes sugning, og kan de ikke gennemføres i et normalt arbejdstempo, er stenenes sugsevne for stor eller mørtlens vandholdeevne for lille, og en af delene må da ændres.

Selv om en væg er muret med fuldkommen fyldte fuger, kan der dog ske vandindtrængning, såfremt vedhængen mellem mørtel og sten er dårlig. I så tilfælde kan der konstateres fine spalter langs stenene, spalter der dog viser sig ikke at være finere, end at vinden kan presse regnvand ind igennem dem. Disse spalter synes kun



a



b



c



d



e



f

Fig. 8.19. Muring med fyldte fuger.



Fig. 8.20. Mørtel på «slagtets» sten.

dyppe stenene, og man må da have prøvet sig frem til, hvor lang tid dypningen skal vare og hvor lang tid før hennemuringen, den skal foretages.

Om vedhængningen mellem sten og mørtel er tilfredsstillende afgøres nemmest ved at brække en hennemuret sten løs — slagte den, som det kaldes — når den har ligget i nogle minutter; sidder der mørtelrester på hele liggefladen (fig. 8.20), kan vedhængningen anses for god, og man behøver i så fald ikke at frygte for spalter langs stenene.

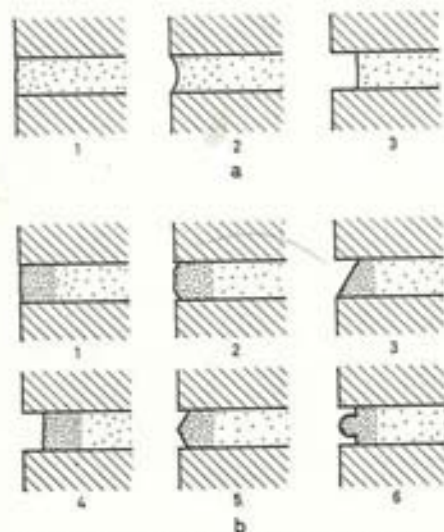


Fig. 8.21. Fugeformer i fuger (a) uden og (b) med fugemørtel.

at forekomme, når mørtelvandet suges enten meget hurtigt eller meget langsomt ind i murstenene (se side 229).

Skal stenene vandes — og i visse specielle tilfælde foreskrives det ligefrem, f.eks. ved muring af armeret murværk og ved skorstensmuring — må vandingen gennemføres systematisk, for ikke at få altfor varierende sugsevne. Det sikreste er at

Ved den beskrevne fremgangsmåde ved muring bliver fugerne fyldt helt ud til forkanten af stenene, og skal facaden stå som blank mur, kan fugernes synsflade formes enten i selve muremørtlen samtidig med opmuringen eller i en særlig fugemørtel.

I første tilfælde kan synsfladen lades ubehandlet, eller den kan behandles med fugejern eller der kan foretages en udkradsning, så synsfladen rykker tilbage. De tre fugeformer er

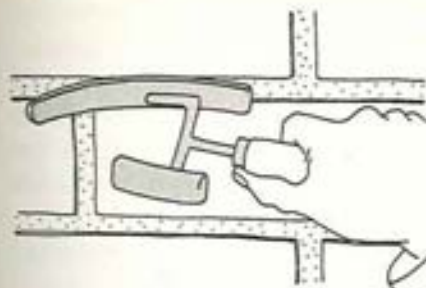


Fig. 8.22. Fugejern til fugeform a, 2 i fig. 8.21.

sjældent opnås med jern, der er smallere end fugen.

I andet tilfælde, hvor der tilføres en særlig fugemørtel, skal der i forbindelse med murearbejdet være foretaget en udkradsning til mindst 1,3 cm dybde og i hele fugens bredde. Inden den særlige fugemørtel tilføres, skal alle løse rester af muremørtel fjernes. Det kan alt efter omstændighederne ske ved spuling med vand, ved blæsning med trykluft eller ved kostning med stiv kost. Når fugemørtlen anbringes, sker det med et fugejern, med hvilket mørtlen trykkes ind mod muremørtlen, og overfladen formes. Tiden mellem fugemørtlens anbringelse og bearbejdningen af dens overflade skal være så lang, at mørtlen når at stivne lidt uden dog at blive uplastisk. Fig. 8.21 b viser 6 gængse fugeformer.¹⁾

For fugemørtlens hærkning er en ret høj fugtighedsgrad i mureoverfladen gavnlig; men det er lettere at holde facaden ren, når fugtighedsgraden er lav.

Fugemørtlen har normalt et større indhold af bindemiddel end muremørtlen, ofte indeholder den også farvepigmenter. Er selve muremørtlen dog så rig på bindemiddel, at den er tæt nok, er det sikrest at unnlade en særlig fugemørtel og udforme fugen i selve muremørtlen f.eks. med det på fig. 8.22 viste fugejern; det kan tænkes, at der arbejdes omhyggeligere med fugefyldningen, når det vides, at væggen ikke bagefter skal fuges. Foretages fugningen, efter at muremørtlen er begyndt at hærde, kan det være vanskeligt at få fuld vedhæftning og at undgå fine revner langs stenene.

Murearbejdet med en blank mur afsluttes ofte med en «afsyring»,

¹⁾ Kun 1, 2-a og 3-b hindrer vandsamling på vandret stenflade.

hvormed det tilsigtes at rense facaden for mørtelrester og eventuelle misfarvende salte. Syrebehandlingen foretages med fortyndet saltsyre, og der må altid fortyndes med mindst 5 og helst 10 mål vand til 1 mål syre. Det er af største vigtighed, at syren i så høj grad som muligt hindres i at trænge ind i væggen, og behandlingen bør derfor bestå af følgende 3 operationer, der gennemføres umiddelbart efter hinanden.

1. Fladen spules med vand fra slange, indtil sugningen er så ringe, at fladen kan holde sig blank af vand i 5 minutter.
2. Den blanke flade overkastes med netop så meget syre, at den bliver ren. Ofte må enkelte pletter gnubbes med en træpind eller skrubbes med en stiv børste for at fremskynde rensningen.
3. Fladen spules efter med vand, således at saltsyren skylles bort.

Syrebehandlingen bør ske på så sent et tidspunkt, at mørtlen i fugerne ikke mister sit sammenhæng i overfladen eller tværes ud ved overkostningen. Sker afsyringen på et for tidligt tidspunkt og med en for stærk syre, kan der dannes sprængende krystaller i fugemørtlen, der derved søger at vokse og ved sit tryk mod stenene kan sprænge store kantskaller af disse, så facaden må ommures (se fig. 13.25). Det må også understreges, at syrebehandlingen bør udføres, før der indsættes vinduer og andet, som kan skades af syrestenk. Er træværk, aluminium, glas eller andre sårbare materialer anbragt sådan, at der er risiko for stenkning, må de tildækkes. Er muren fuget med farvet mørtel, bør man forud for syrebehandlingen sikre sig, at syren ikke tager farven.

I det foregående er det forudsat, at den ene vægflade skal stå som blankt murværk med eller uden særlig fugeudformning. Det er da en selvfølge, at facadesiden skal være plan. Den modsatte vægflade skal så godt som altid pudses, og her er det lige så vigtigt, at fladen er plan, fordi der må lægges vægt på, at pudslaget får samme tykkelse overalt (se afsnit 9.3). Dette gælder alle vægflader, der skal pudses, altså også udvendige. Det kræver for det første, at der ikke forekommer ufyldte fuger i vægfladerne, og for det andet, at de løbersider og kopender, som pudset skal sidde på, ligger i meget nær samme plan, ligesom murstensfladerne i en blank væg. Et påbud om, at afvigelserne fra middelplanet ikke må være større end ± 1 cm, må betegnes som lempeligt. Om det kan efterkommes, vil for en stor

del afhænge af murerens omhu; men ved $\frac{1}{2}$ - og 1-stens vægge er det tillige nødvendigt, at henholdsvis stenenes bredde og længde kun afviger lidt fra gennemsnitsmålet. Drejer det sig om specielle pudsmørtler — f.eks. tyndpuds — kan det være umuligt at få mere end en vægflade tilstrækkelig plan, dersom der ikke er stillet særlige krav til stenenes ensartethed.

Der er foran regnet med, at murstenene er teglsten, og at mørtlen er almindelig mørtel fremstillet af et gængs bindemiddel og sand. Det, der er anført, gælder også for mursten af andre materialer, som skal hennemures i sandmørtler; også for dem er fugefyldningens fuldkommenhed afgørende for væggens kvalitet.

Skal der mures med blokke af stort format, er mureteknikken en anden end for sten med normalformat. Mørtlen til liggefugen lægges ud på gængs maner, men for at få fulde stødfuger, må der slås mørtel på hele endeflader af den sidst hennemurede blok (fig. 8.23), hvorefter den nye blok lægges ned på liggefugemørtlen og skubbes hen mod den foregående. Også her skal mørtelmængden være så rigelig, at der trykkes mørteltunger ud. Fyldning af stødfugen ovenfra er her særlig vanskelig, med mindre blokkenes vandrette tværsnit netop er udformet med henblik herpå.

I nogle tilfælde anbefales det at hennemure blokkene med delt fuge, sådan at muremørtlen i væggens forside og bagside ligger i adskilte striber. Kravet om fugefyldning må da naturligvis gælde hver stribe

for sig. Med henblik på indtrængning af slagregn er det endda særlig vigtigt, at mørtlen i disse striber helt fylder mellemrummet mellem stenene, fordi fugebredden og dermed modstanden mod vandindtrængning er formindsket, og i vægge, som udsættes for særlig hård slagregn, bør delte fuger nok ikke anvendes.

Ved muring med mursten med lodrette huller er tætheden i fugens yderste del af stor be-



Fig. 8.23. Muring med blokke i 2-hånds format.

ning. Kommer der regnvand ind i de yderste huller, er der stor risiko for, at det kan nå længere ind og forårsage fugtskader.

Mursten med særlig nøjagtige mål kan hennemures med særlig tynde fuger i specielle mørtelsorter, der snarere er lim end mørtel. Sådant murværk omtales nærmere i afsnit 8.6.

8.5. Armeret murværk

Murværk armeres for at øge dets evne til at optage bøjnings- og trækspændinger, og det gøres ved at lægge armeringsstål i fugerne, i særlige udsparinger — små eller store — i selve murstenene eller i mørtel- eller betonribber, der støbes mellem dem. Armeringsstålet er i reglen stænger af kamstål med diameter omkring 6—8 mm.

Armeret murværk forekommer i form af søjler, vægge, dæk og dør- og vinduesoverligger (fig. 8.24), og der stilles strenge krav til både arbejdsudførelse og materialer. Det er især vigtigt, at vedhængen mellem stål og mørtel og mellem mørtel og mursten er den størst mulige, og at stålet er tæt omsluttet af mørtlen, således at rustdannelse er udelukket. Mørtlen skal derfor være ret cementrig og nødigt svagere end KC 35/65; udendørs bør KC 20/80 eller C 100 nok anvendes, og mørtlen bør aktiveres. Med henblik på opnåelsen af den bedst mulige styrke — især med henblik på forskydningsspændingerne i skillefladerne — må det foreskrives, at stærkt sugende sten vandes før udstøbningen (side 230).

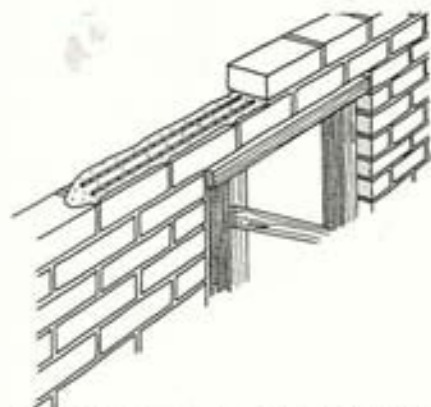


Fig. 8.24. Armeringsjern i liggefuge over muråbning.

Armeringsstålet skal ikke alene være tæt omsluttet af mørtlen, men mørtellaget udenom skal også have en vis tykkelse, og stålet må aldrig indstøbes således, at det rører stematerialet. I en ydervæg, hvor stålet ligger i fugerne, skal fugen i de fleste lande være mindst

7 mm tykkere end stålet, og dæklaget foran stængerne mindst 30 mm tykt. Armeringsstængerne skal være lige og indlægges nøjagtigt. I nogle tilfælde foreskrives det, at stængerne skal være overtrukket med et lag af cementvælling, før de indmures; dette kan ske enten ved dypning eller ved svumning. Der er dog større sikkerhed for at undgå rustdannelse, dersom stængerne som omtalt placeres i særlige udsparinger eller riller i stenene eller indstøbes i ribber imellem dem. I første tilfælde mures stenene sammen i rækker (fig. 8.25), hvorefter der fyldes mørtel i rillen (ikke vist på figuren). Et stykke armeringsstål lægges derefter ud på mørtlen og bringes på plads ved at blive trukket frem og tilbage, så det synker ned i mørtlen og omslutes helt. I nogle tilfælde armeres flere skifter, og drejer det sig om overligger til større åbninger, kan bæreevnen forøges ved, at nogle skifter over det øverste af de armerede mures med en særlig stærk mørtel, gerne med vandede sten. Sådanne skifter vil da fungere som trykhoved og kan medregnes som en del af bjælken. De armerede skifter kan opmures på stedet eller fremstilles forud på fabrik, i sidste fald ofte med forspændt armering (ståltegl).

Et forholdsvis nyt produkt af denne art i Norden er præfabrikerede vægelementer af mursten af tegl. Fremstillingsmåden kan være ret forskellig, og i nogle tilfælde mures der slet ikke. Er der tale om muring, er processen stærkt rationaliseret, men dog håndværk, eller den er helt eller delvis mekaniseret. Foregår fremstillingen uden muring, udlægges murstenene i en vandret form — i reglen i et gitter — i et eller andet mønster med eller uden forbandt, hvorefter stenene

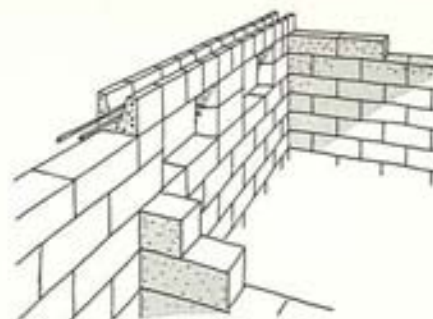


Fig. 8.25. Støbte blokke med udsparring for armering.



Fig. 8.26. Montering af teglelement.

vandes og dækkes med mørtel i en mængde svarende til fugernes rumfang. Mørtlen er ret tyndtflydende og i reglen cementrig, og ved at vibrere formen bringes mørtlen til at synke ned mellem stenene og udfylde fugerne helt. Elementerne armeres, hovedsagelig af hensyn til manipulationerne ved transport og montering (fig. 8.26).

8.6. Limet murværk

Det er tidligere omtalt, at et murværks kvalitet i reglen vokser med aftagende fugetykkelse; styrken vil f.eks. blive større og k-værdien mindre, da fugematerialet som regel leder varmen bedre end stenene. Dersom stenenes måltolerancer er særlig små, kan fugetykkelsen bringes så langt ned, at man kan bruge lim i stedet for mørtel.

De limtyper, som i øjeblikket er mest aktuelle, består af en blanding af Portland-Cement og stenmel, hvortil der er sat kasein, cellulosederivat eller andet lignende (se afsnit 5.7). Pulveret røres op med vand på byggepladsen, og ved muringen hældes det ud i striber på et stykke af det underliggende skifte og jævnes straks ud med en bred spartel (fig. 8.27) dels over det areal, som den nye sten skal ligge på, dels over den frie kopende på den forrige. Den nye sten lægges derefter på plads til snoren og bankes fast med en gummihammer. Det er nødvendigt, at fugerne bliver helt fyldte, og der må derfor udlægges så meget lim, at noget presses ud, når stenen bringes på plads; udpresset lim skal straks skrubes af. Højden må kontrolleres for hvert skifte — f.eks. med skiftegangslægte — og er den for stor, må den bringes ned ved høvling eller slibning, før der mures videre.



Fig. 8.27. Limfuge i mur af planfrasede porebetonblokke.

Hidtil er der kun udført limet murværk i væsentligt omfang af blokke af porebeton, men der er gjort forsøg med andre materialer, heriblandt med tegl, men der volder det vanskeligheder at få målnøjagtigheden på de sten, der anvendes, stor nok. I Finland er der gennemført byg-

gerier med limede teglelementer af lette teglsten, der blev slebet før limningen; limen fremstilledes af vandglas og teglmel fra slibningen. Også organiske limtyper er bragt i anvendelse, f.eks. epoxylim.

8.7. Muringsdetaljer

I dette afsnit omtales en række detaljer særlig med tilknytning til skalmursvægge, fordi disse især kræver nøjagtighed og omhu.

Vand, som trænger igennem skalmuren (formuren), må stoppes af vandstandsende lag over alle muråbninger og på soklen. En måde at gennemføre dette på ved hjælp af tagpap eller plasticfolie er vist på fig. 8.28. I bunden af hulrummet over vinduet skal laget have fald udad og helst være understøttet hele vejen (fig. 2.10). Ved enderne skal det nå mindst 10 cm ind i hulrummet. Vandet, som standses, kan så enten føres ud til siderne for muråbningen og der løbe ned over bagsiden af skalmuren, eller det kan ledes ud gennem åbninger lige over laget, f.eks. gennem korte plasticrør i bunden af nogle stødfuger. De kan indlægges under muringen og må helst nå ca. 1 cm ud fra facaden.

Hullerne kan også laves ved at indmure tynde træpinde (f.eks. runde blyanter) og trække dem ud igen, når mørtlen er stiv nok. Skal der senere fuges, stikkes der pinde i hullerne igen så længe.

En anden metode er vist på fig. 8.05, hvor vandet opfanges i en rende af zink eller kobber, som er anbragt på bagsiden af skalmuren med en flig ind i 2' liggefuge. Renden skal ligesom paplag eller plasticfolie føres mindst 10 cm ind i hulrummet til hver side for muråbningen, og den skal have fald mod en af siderne. Metoden er den simplest mulige i tilfælde, hvor den indre vægskive er opført forud.

Det vandstandsende lag på soklen kan også udføres på flere måder. Drejer det sig kun om at standse vandopstigning fra grunden, er et enkelt lag nok, men i reglen skal også vand oven på laget holdes borte fra den indre

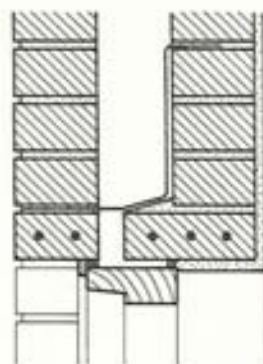


Fig. 8.28. Papindlæg i væg med forspændte teglbjælker som overliggere.



Fig. 8.29. Sammentrykning af paplag bag sokkelpuds har ført til spændingskoncentration og afsprængning ved stenenes forkant.

Det er vigtigt, at de vandstandsene lag også er vandtætte ved hjørner og overlapninger; samlingerne må derfor klæbes sammen med asfalt, limes eller lukkes på anden måde. Dersom der ikke drages omsorg for, at der under muringen ikke falder spildmørtel ned i hulrummet, bør der udelades nogle sten her og dér i nederste skifte og spildmørtlen trækkes ud gennem de dannede «renselemme», før de tilmures.

Det vandstandsene lag på soklen skal have væggen fulde bredde for at opfylde sin mission. Bruges der tagpap, har dette tillige en gunstig indflydelse på spændingsforholdene langs soklen, men kun dersom pappet har fuld bredde. Mangler der et par cm, vil den yderste stribe af væggen være direkte understøttet af mørtel og resten have et mellemlag af pap, der sammentrykkes lidt, efterhånden som huset vokser i højden. Spændingsfordelingen bliver derved ujævn med størst tryk langs den yderste stribe. Ved lave huse har dette ikke stor betydning, men jo højere huset skal være, desto stivere mørtel mures der med, og desto større bliver risikoen for, at trykspændingerne langs forkanten bliver så store, at der sprænges skaller af murstenene. Af samme grund er det forkert at føre sokkelpuds helt op til underkanten af nederste skifte i skalmuren (fig. 8.29). Soklerne pudses i reglen med en meget stærk mørtel, og føres pudslaget forbi kanten af paplaget på soklen, kan stenkanterne i nederste skifte få en så stor belastning, at de spræn-

ges af, dersom paplaget gi'r sig. Sokkelpudsets opkant udfor liggefugen under nederste skifte vil også virke som en næsten vandtæt ca. 1 cm høj tærskel for det vand, der eventuelt samler sig på det vandstandsene lag, og øge risikoen for, at vandet trænger ind i huset. Sokkelpuds bør altså ikke afsluttes som på fig. 8.29, men som vist på fig. 8.08, hvilket også må være at foretrække af æstetiske grunde.

Det vandstandsene lag på soklen skal ikke alene udlægges under ydervæggene, men også under indervægge, især i kælderløse huse. Sådanne indervægge pudses ofte, inden gulvene lægges, og føres pudset ned forbi det vandstandsene lag, kan pudset lede fugt fra grunden forbi laget og ophæve dets virkning. Pudslaget på indvendige vægge bør derfor gennemskæres udfor det vandstandsene lag eller ikke føres forbi.

Murkammen på fritstående mure bør også forsynes med et vandstandsene lag. Afsluttes den med et kantskifte, må der tages hensyn til vanskelighederne ved at opnå fuld sikkerhed mod vandindtrængning med så mange lodrette fuger endende i oversiden. Dette kan gøres ved at rette oversiden på det øverste normale skifte af med mørtel og udlægge pap eller plasticfolie, før kantskiftet mures. Kantskifter som murkroner er i æstetisk henseende meget tiltalende, men desværre ikke altid anbefalelsesværdige i teknisk henseende. Selv om der mures med omhu, er det svært at undgå vandindtrængning og deraf følgende frostskafer, og murkroner beskyttes bedst ved dækning med vandtætte plader i princippet som vist på fig. 9.31. Vælges det at bruge dækplader af beton eller natursten, er det gavnligt at anbringe et lag af pap eller plasticfolie under pladerne. Et sådant lag vil virke som glidelag mellem to materialer med forskellig temperaturbevægelse og hindre vandindtrængning under samlingerne.

Også under opmuringen er det vigtigt at holde de vandrette murflader beskyttede mod nedbør; det bør være en rutinesag at dække flugterne med tagpap, plasticfolie eller presenning hver aften, hvor der er risiko for regn.

Ved bygningernes udformning bør der også i størst mulig udstrækning drages omsorg for, at murværket beskyttes mod vandindtrængning. Gavlene kan f.eks. tit blive udsat for voldsomme

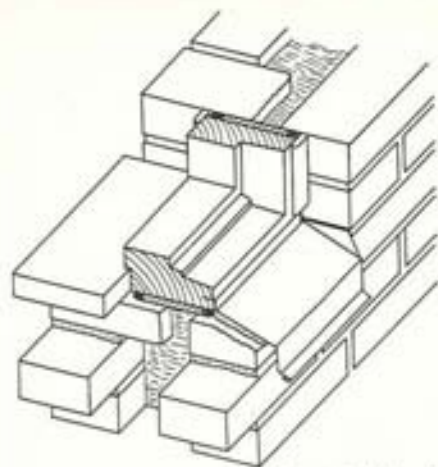


Fig. 8.30. Rigtig anbringelse af sålbænk af metal i blankt murværk.

føres ud. Sølbænken skal derfor også rage et stykke ud fra væggen, og fugen langs underkarmen skal være tæt, som det f.eks. er vist på fig. 8.30. Her ses det også, hvordan der er sørget for vindtæthed både ud- og indvendigt ved hjælp af plastisk fugekit, og hvordan den udvendige kitstreng er beskyttet mod vejrpåvirkning dels af sølbænken, dels af trælister. Levnes der en smal luftspalte foran kitten, får man en regulær 2-trins tætning. Den indre kitstreng er nødvendig for at hindre kold luft fra hulrummet i at trænge ind i stuen.

De vægge, som skal bære samme dæk, må helst opmures i samme

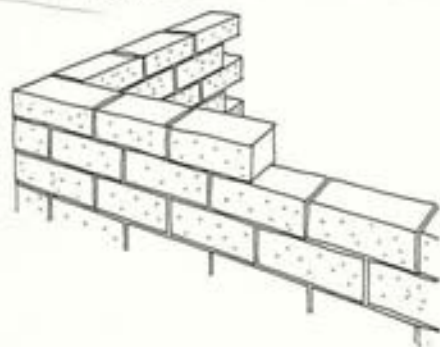


Fig. 8.31. Hjørne muret op med stående fortanding.

slagregnsangreb, og virkningen heraf kan mindskes mærkbart ved at give taget et kraftigt udhæng. Det kan naturligvis ikke beskytte hele gavlen, men det kan betyde meget for dens øverste og mest udsatte del. Under vinduerne er der også risiko for vandindtrængning, fordi al den regn, som træffer glasset, ledes ned dér. Derfor må sølbænkene udføres rigtigt. Længden skal være større end vinduesbredden, således at enderne kan føres ind i murværket i begge sider og vandet fra falsene

føres ud. Sølbænken skal derfor også rage et stykke ud fra væggen, og fugen langs underkarmen skal være tæt, som det f.eks. er vist på fig. 8.30. Her ses det også, hvordan der er sørget for vindtæthed både ud- og indvendigt ved hjælp af plastisk fugekit, og hvordan den udvendige kitstreng er beskyttet mod vejrpåvirkning dels af sølbænken, dels af trælister. Levnes der en smal luftspalte foran kitten, får man en regulær 2-trins tætning. Den indre kitstreng er nødvendig for at hindre kold luft fra hulrummet i at trænge ind i stuen. De vægge, som skal bære samme dæk, må helst opmures i samme takt, så sætningerne kan forventes at blive ens hele vejen rundt. Kan dette ikke lade sig gøre, må der ikke afsluttes med stående fortanding som vist bagud på fig. 8.31, men med en aftrapning som den, der er indledt på den fremadvendende mur. Stående fortanding bør aldrig forekomme; når arbejdet genoptages, bliver fugefyldningen omkring de indgribende

sten besværlig og dermed usikker, og den nye mørtels svind og krybning vil komme ud af trit med den gamles, således at der let opstår revner og utætheder.

Hugning af riller og huller for tekniske ledninger bør ligeledes undgås og må under ingen omstændigheder foretages i nymurede vægge. Udsparingerne må helst foretages under opmuringen, og små riller og huller kan uden risiko fræses eller bores ud med roterende værktøj. Der findes fræsere, som skærer to smalle spor side om side, således at rillen kan dannes ved at brække kammen mellem sporene bort; sporafstanden og dermed rillebredden kan varieres. Når ledningerne er indlagt, skal der fyldes efter med mørtel forud for pudningen.

8.8. Særlige murearbejder

Skorstensmuring

Skorstene med deres forbrændingsluft føres ofte op gennem opholdsstuer, passerer i mange tilfælde et koldt loftrum og ender over taget med en skorstenspipe, der er hårdt udsat for vind og vejr. Industriskorstene og varmecentralernes skorstene er fritliggende i næsten hele længden.

Når materiale, konstruktionsmåde og arbejdsudførelse skal vælges, er der en række krav, som må opfyldes. Først og fremmest skal væggene være så tætte, at forbrændingsluften ikke kan trænge ud igennem dem. Overfladetemperaturen inde i røgrøret må ikke blive så lav, at dampen i forbrændingsluften afkøles til fortætning. Omvendt må overfladetemperaturen på ydersiden aldrig blive så høj, at det medfører risiko for antændelse (maksimum ca. 60°C). Materialerne skal vælges sådan, at de både kan modstå røgens og vejrets påvirkninger.

Store og middelstore skorstene dimensioneres i reglen af specialister; for varmecentralers vedkommende af varme anlæggets konstruktør. Han bestemmer røgkanalens størrelse og skorstens højde ud fra varmebehovet, varme anlæggets konstruktion, brændslets art og røgens hastighed (naturligt eller kunstigt træk). Små skorstene til almindelige huse dimensioneres derimod så godt som aldrig, men opføres efter traditionelle metoder med røgrør, hvis mål er bestemt af de gængse murstens mål og af brændselsarter,

som anvendes i stadigt aftagende omfang. Mange skorstene har derfor uheldige dimensioner med for stort lysningsareal, således at røgens hastighed og dermed også temperaturen på den indvendige overflade bliver for lav. Resultatet bliver, at der sker fortætning i den øverste del af skorstenen, og svovlsyrlingholdigt eller svovlsyreholdigt vand tærer fugemørtlen. Der findes i dag, hvor brændslet er ændret, tusindvis af sådanne «forkerte» skorstene i de nordiske lande.

De gældende forskrifter for skorstensmuring er forskellige fra land til land på flere væsentlige punkter, og nogle af forskrifterne er under revision; emnet vil derfor her blive behandlet så generelt som muligt.

Materialer. Det traditionelle materiale til murede skorstene er fuldbrændte, massive mursten af tegl med rumvægt mellem 1600 og 2000 kg/m³. Brugen af mangelsten er omdiskuteret og i dag kun tilladt i Danmark. Hularealet må dog ikke overstige 25 %, når stenene har normalformat, og ikke 15 %, hvis de har andet format. I Danmark anvendes også de mere varmeisolerende molersten, og kalksandsten er brugt i skorstene både i Danmark og i Finland. Som andre eksempler på nyere materialer kan nævnes specielle kanalblokke af beton med og uden keramisk foring (fig. 8.32), foringer af bimsbeton og keramiske rør.

Der er for tiden grundige undersøgelser igang vedrørende forskellige mørtlers egnethed til skorstensmuring, specielt vedrørende deres modstandsdygtighed overfor syrer. Det er allerede fastslået, at ren kalkmørtel er uegnet, og at mørtelkvaliteten mindst skal svare til KC 50/50. Er påvirkningen særlig hård, bør der anvendes såkaldt syrefast mørtel. Den fritstående del af skorstenen — piben — skal altid mures af hårdtbrændte sten og cementholdig mørtel; dens murværk er særlig udsat, og materialerne her må være frostfaste.

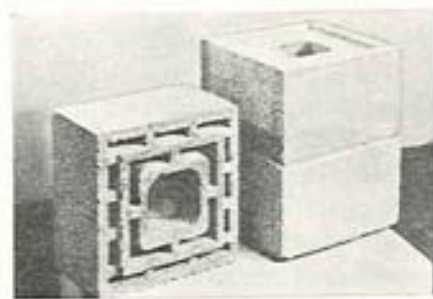


Fig. 8.32. Cementbundne skorstensblokke uden keramisk foring.

Arbejdsudførelsen må være særlig god; da murværket skal være så tæt, at røggennemgang er udelukket, er det dobbelt vigtigt, at der mures med fyldte fuger. Også vedhængningen mellem sten og mørtel må være den bedst mulige; i modsat fald kan der dannes fine spalter, som gør skorstenen utæt. Mursten og mørtel skal derfor være omhyggeligt afpasset til hinanden, og er stenene stærkt sugende, må de dyppes før henmuringen. For at undgå alt for hurtigt og kraftigt svind, når en nymuret skorsten skal tages i brug, må den opvarmes langsomt ved indblæsning af varm luft eller meget forsigtig fyring, og det må være en betingelse, at mørtlen har haft tid til at hærde.

Som en ekstra sikkerhed for tæthed forlanges det, at lysningsfladerne skal berappes og skures under opmuringen, og i reglen foreskrives det også, at de udvendige flader under tag skal berappes, fuges eller pudses. De flader, som ikke er tilgængelige, efter at huset er taget i brug — f.eks. udfor etageadskillelserne — kræves ofte pudset under opmuringen.

Konstruktionsdetaljer. Med henblik på vangernes tæthed skal der mures sådan, at antallet af stødfuger mod røgrøret bliver det mindst mulige, og sådan at overlappningerne bliver de størst mulige. Er skorstenen delt i flere rør, skal så mange stødfuger som muligt ligge midt for skillevæggene, og der bør i langt større udstrækning end hidtil anvendes $\frac{3}{4}$ -sten, og de skal helst være fremstillet i denne længde på værket. Det almindeligste er, at der mures i skorstensforbandt med visse modifikationer, som fører til bedre opfyldelse af de nævnte krav, men det burde være en fast regel, at der leveres en skiftegangsplan til hver eneste skorsten. På fig. 8.33 ses en speciel finsk teglsten, som kan mures med 10—11 mm fuger til alle sider.

Da røgrørets vægge skal være glatte både af hensyn til luftgangen i røret og til rensningsmulighederne, må huggede stenender ikke vende indad. At indersiden skal skures, er foran nævnt, og mørteltunger må altså ikke forekomme.

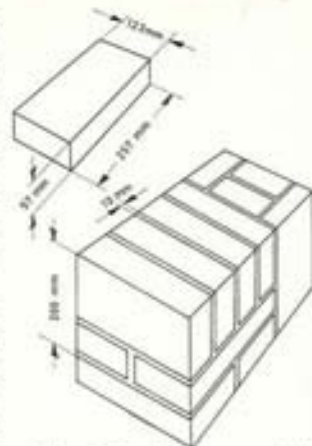


Fig. 8.33. Finsk specialteglsten til skorstensmuring.

Murede ventilationskanalers inderside skal behandles på samme måde som skorstenenes.

Kravet om en så høj temperatur på røgrørets inderside, at fortætning er udelukket, kan være vanskeligt at opfylde med massive skorstensvanger. Det er især vanskeligt, når det drejer sig om store og middelstore skorstene, men problemet kan også opstå med små skorstene. Man murer da med hulrum og kalder den ydre vange kappen og den indre kernen. For yderligere at forbedre varmeisolationsevnen kan hulrummet fyldes med et ikke brændbart isoleringsmateriale som f.eks. granuleret slagge, opblærede teglklinker eller egnet mineraluld. Kappe og kerne mures i reglen op, så de går fri af hinanden og altså kan bevæge sig uafhængigt af hinanden. En skorsten bør også holdes fri af andre bygningsdele, og selv hvor det ikke er direkte krævet, bør dæk og skorsten holdes adskilte, hvad enten skorstenen er dobbeltvægget eller har massive vanger. At andre bygningsdele aldrig må forbindes med en skorstens kerne, er en selvfølge. Hvor en dobbeltvægget skorsten er udsat for vejrliget, må man betragte kappen som en skalmur. Man må altså forudsætte, at regnvand kan trænge ind og løbe ned over indersiden. Dette vand skal opsamles og ledes ud igen over taget, f.eks. ved hjælp af en rende som den på fig. 8.05 viste.

Til beskyttelse af det øverste, særlig hårdt udsatte skifte i skorstenen anbringes en dækplade af natursten, beton eller metal. Pladen skal have godt fald — i reglen udad — og store fremspring med dyb vandrille. Er skorstenen dobbeltvægget, skal pladen kun fastgøres til kappen. Under normale forhold er det fordelagtigst at lade en muret skorstens yderside stå blank, men er beliggenheden udsat og vangen massiv, kan det være nødvendigt at beskytte den med et pudslag. Der må i så fald være sikkerhed for, at der ikke sker fortætning i den øverste ende af røgrøret, thi kan der det, er der stor sandsynlighed for, at frosten sprænger pudslaget af, og at det tager skaller af stenene med sig.

Muring af fabriksskorstene kan foretages med teglsten af normalformat, men der anvendes meget ofte radialsten som de på fig. 8.34 viste. Problemerne er her de samme som ved små skorstene — fortætning, syreangreb og trækforhold — men de er tit sværere at mestre.

En hel del fabriksskorstene bygges nu med selv bærende muret kerne og med en kappe, der enten er muret eller støbt af beton. Hulrummet mellem kerne og kappe er ofte 40 til 60 cm bredt, således at man derfra kan føre kontrol med ydersiden af kernen. Kernen mures i en tilstrækkelig syrefast og varmebestandig mørtel, kappen i KC mørtel. Den øverste del af kernen, som jo er mest udsat for fortætning og syreangreb, fuges gerne på indersiden med en plasticmørtel, som især må være syrefast, mens varmebestandigheden er underordnet. Kappens yderside bør fuges med samme mørtel fra toppen og ca. 3 m ned. De store skorstene tillader i reglen, at røgkanalen kan inspiceres i sin fulde længde.

Bygningen af store skorstene er af mange grunde et arbejde, som kræver specialister både til projektering og muring.

Forbedring af skadede skorstene er en opgave, hvis aktualitet vokser i takt med overgangen til at fyre med olie i stedet for med fast brændsel. Er skorstenens lysningsareal for stort, bliver røgshattigheden for lille, og er varmeisolationen tilmed utilstrækkelig, er fortætningen uundgåelig.

En forbedring af trækket er en af de ting, der bør tilstræbes. En af løsningerne er at gøre skorstenen højere — i småhuse regnes højden målt fra ildstedet at skulle være mindst 5 m — en anden er at øge varmeisolationen f.eks. ved at tillægsisolere i loftsrummet med mineraluld bag eternitplader. Er skorstenen helt eller delvis fritstående, bør det overvejes at forsyne den med en muret kappe og anvende isolationsmateriale i hulrummet.

Oftentimes kræves der dog mere radikale metoder, som f.eks. den på fig. 8.35 viste, som går ud på oppe fra at føre et stålrør ned i skorstenen. Stålrørets lysningsareal skal være væsentlig mindre end skorstenens, og mellemrummet skal fyldes med isolationsmateriale som f.eks. opblærede teglklinker eller granuleret mineraluld. Opadtil dækkes murværk og isolationsmateriale med en solid metalplade. Der opnås således på én gang et mindre lysningsareal, en højere

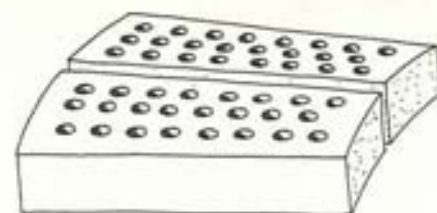


Fig. 8.34. Radial-teglsten til skorstensmuring.

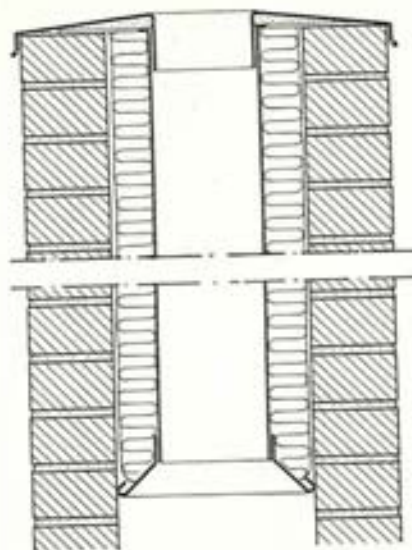


Fig. 8.35. Stålrandsats til forbedring af skadet skorsten.

til den slags arbejde. Ildfast murværk optræder normalt som en selvstændig, bærende bygningsdel og anvendes sjældent til beskyttelse af andre bygningsdele. Syrefast murværk har derimod ofte et rent beskyttende formål og anvendes da som et dækkende lag til undgåelse af tæring af det underliggende materiale, der f.eks. kan være beton eller stål. Som nævnt bør de fagfolk, som planlægger og udfører ild- og syrefast murværk, være specialister på dette område, men der bør dog peges på, at der ofte også må tages særlige hensyn til mere almindelige byggetekniske problemer.

Ildfast murværk forekommer især i industriovne, regenerators, kedelanlæg og fabriksskorstene, men naturligvis også i kaminer og pejser. Murværket skal kunne tåle i hvert fald 3 slags påvirkninger, nemlig fra høje temperaturer, fra voldsomme temperaturvariationer og fra reaktioner med andre stoffer ved de høje temperaturer. Disse og flere andre påvirkninger optræder sjældent alene, langt oftere gruppevis, men der findes næppe noget universalmateriale, som kan tåle alle de tænkelige påvirkninger på én gang, og man må derfor i hvert enkelt tilfælde — støttet på erfaringer —

overfladetemperatur og en beskyttelse af murværket på dets mest udsatte strækning. Stålrøret fremstilles ofte af forzinket plade, men det er bedre at bruge rustfast stål.

Der findes også elementer af anden art, som kan sænkes ned i en skorsten til formindskelse af lysningsarealet og til forbedring af varmeisolationen; materialet kan være letkornsbeton eller keramisk, og rørrøret er i reglen cirkulært.

Ild- og syrefast murværk

Ild- og syrefast murværk må projekteres og fremstilles af firmaer med særligt kendskab

søge frem til de materialer, der bedst tåler den forekommende kombination af påvirkninger. Der kan dog imødeses en fortsat udvikling på dette område, idet forskningen vedrørende ildfaste produkter er blevet mere intens takket være deres anvendelse i atomreaktorer og raketmotorer.

De temperaturer, som ildfast murværk udsættes for under driften, når i reglen op på mellem 1000 og 1800°C, og selv om de indgående materials smeltepunkt ligger højere end den maksimale driftstemperatur, kan der dog ske farlige deformationer. Man sikrer sig mod dette ved forud at udføre belastningsprøvninger ved den maksimale temperatur. Evnen til at tåle temperaturchok undersøges ved én eller flere gange at varme materialet op til driftstemperatur og afkøle det brat, måske endda i vand. Det bør også kontrolleres, at de slagter eller smeltede masser, som murværket kan komme i berøring med, ikke reagerer med det eller i hvert fald kun reagerer yderst langsomt.

Som allerede nævnt må murværket i mange tilfælde kun sætte sig meget lidt under driften, og både sten og mørtel må da vælges med henblik herpå. Fugerne skal være så små som muligt og muringen gennemføres med største omhu; mørtlen tilføres enten ved at stryge den ud på stenene i tynde lag eller blot ved at dyppe fladerne i mørtlen.

De forskellige stentyper er beskrevet i fabrikkernes brochurer og kataloger, og de vigtigste mørteltyper er omtalt her (kapitel 5). Til slut skal kun nævnes, at ildfast murværk i visse tilfælde kan erstattes af ildfaste masser, som formes ved stampning, støbning eller sprøjtning.

Syrefast murværk skal ikke alene være modstandsdygtigt overfor kemiske angreb, det skal også kunne tåle visse statiske og dynamiske påvirkninger; de sidste er ofte de farligste, fordi det syrefaste murværk i reglen er sprødt og altså ømfindtligt overfor vibrationer og slag. Murværket skal i visse tilfælde også være modstandsdygtigt mod almindeligt slid eller mod erosion, der ofte går mest ud over fugerne. Også temperaturbevægelser kan forårsage farlige påvirkninger, og kan det syrefaste murværk ikke tåle de påvirkninger, det udsættes for, kan det heller ikke beskytte det underliggende materiale. Det er ligeledes en betingelse, at underlaget har en

egnet form, at overfladelaget har den fornødne styrke og stivhed, og at dets temperatur og fugtindhold ikke svinger stærkt. Er disse betingelser ikke opfyldt, kan det nødvendige samarbejde mellem det syrefaste murværk og den bærende bygningsdel måske ikke etableres, idet der må regnes med, at de to komponenter ikke kan have ens egenskaber, f.eks. ikke ens varmeudvidelseskoefficient og ikke ens elasticitetstal.

De kemiske angreb kan fremkaldes af luftarter, vædsker, smeltede masser og faste stoffer, og de kan være af mange slags og af meget forskellig styrke. Overfor disse angreb er syrefast murværk blandt de mest modstandsdygtige. Ganske vist vinder plasticprodukterne frem som korrosionsbeskyttende materiale, men trods dette har det syrefaste murværk beholdt sin position.

Syrefast murværk bruges i stor udstrækning inden for den kemiske industri og mere almindeligt til gulv- og vægbeklædninger, hvor ligheden med tilsvarende flisebeklædning er stor.

Som allerede understreget er planlægning og udførelse af syrefast murværk i høj grad et specialarbejde, og detaljer om sten, mørtel og mureteknik vil ikke blive behandlet i denne bog. Sådanne oplysninger må søges i speciallitteraturen og i de respektive firmaers brochurer; her skal kun fremføres nogle almindelige betragtninger.

Når man ved planlægningen har besluttet sig for en bestemt metode til beskyttelse mod korrosion, bør der udarbejdes en detaljeret arbejdsbeskrivelse. I denne må der være anvisning på, hvordan de forekommende besværlige enkeltheder skal løses; som eksempler kan nævnes fremgangsmåden ved hjørner og vinkler, rørgennemføringer og gulvafløb. Også spørgsmål som indlægning af dilationsfuger og behovet for membranisolering må der være taget stilling til. I en muret flade, som står under vædsketryk, er der altid en mulighed for gennemsivning og en deraf følgende ødelæggelse af underlaget, og det gør det i visse tilfælde tilrådeligt at indlægge et blødt, fugefrit og tæt lag som katastrofesikring under eller bag det syrefaste murværk. Membranens art må specificeres, og der må gives anvisninger om opbøjning ved kanter og hjørner, ved søjler og afløb o.s.v. (se kapitel 15).

Som mursten anvendes især keramiske materialer valgt under

hensyntagen til de aktuelle påvirkninger. I specielle tilfælde kan andre materialer være påkrævede, f.eks. grafitsten ved cellulosekogere. I nogle tilfælde kan andre hensyn gøre det nødvendigt at bruge sten, hvis kemiske modstandsdygtighed måske ikke er tilstrækkelig, og da lægge hovedvægten på membranisoleringens kvalitet og regne med udskiftning af stenene nu og da.

Antallet af syrefaste mørtler er meget stort; en del af dem er omtalt i kapitel 5.

Muring med glasbyggesten

Det er karakteristisk for byggesten af glas, at de helt mangler porer og derfor ikke er sugende. Endvidere er de meget sprøde og har et højt elasticitetstal og en stor varmeudvidelseskoefficient. Manglen på porer medfører, at der må mures med mørtler, som kan hærde hydraulisk, og mørtler af type KC 35/65 er nok de almindeligst anvendte, men der bruges også cementrigere mørtler. I enkelte tilfælde anbefales det at sætte vandafvisende stoffer, især stearater, til mørtlen. Store vægge af glasbyggesten (fig. 8.36) bør armeres. Det kan gøres ved at indlægge ståltråd i 4—5 mm tykkelse i hveranden liggefuge, og der må da sørges for, at ståltråden er helt omsluttet af mørtlen og ikke rører glasset. Dersom et felt af glasbyggesten er fast indmuret i andet murværk eller i en jernbetonplade, kan sætninger, krybning eller temperaturbevægelser fremkalde så store spændinger, at glasset revner. For at undgå dette må feltet have bevægelsesmuligheder i begge retninger, hvilket f.eks. kan opnås på den på fig. 8.37 skitserede måde. Her er feltet muret op i en væg og til siderne og foroven indsat i en profiljernsramme, som det omgivende murværk er muret op imod. Mellem glasbyggestenene og stålrammen er der indlagt ekspansionsstrimler af skumplastic eller mineraluld, og langs kan-

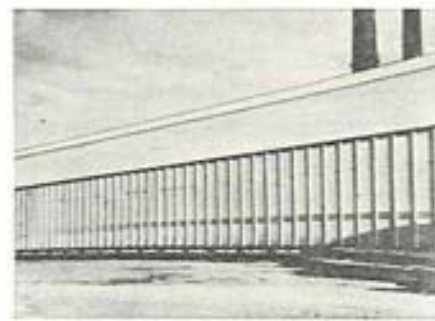


Fig. 8.36. Facade med felter muret af glasbyggesten.

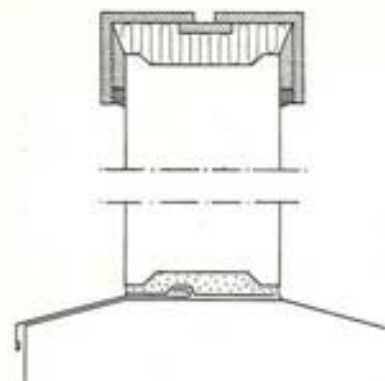


Fig. 8.37. Mur af glasbyggesten opad afsluttet af profileret jernskinne med blød fug.

8.9. Kældervægge og dræning

I alle huse med kælder findes ydervægge, som er ført ned under terræn. Sådanne ydervægge kan blive udsat for påvirkninger, som i flere henseender afviger fra, hvad almindelige ydervægge udsættes for. Slagregn spiller kun en ringe rolle, den kan højst have betydning for den del af væggen, som er over jorden, men lige i terrænhøjde kan fugtpåvirkningen blive stor, dersom is, sne og vand kan blive liggende i direkte kontakt med væggen. Under terræn kan grundvand nå frem til væggen og måske udsætte dens nederste del for vand under tryk. Grundvand fører altid salte med sig i opløsning, og foregår der en opadgående transport i væggen, er der risiko for både udblomstringer og frostsprængninger. Også jordtryk må der regnes med, og for visse byggegrundes vedkommende kan der være muligheder for frosthævninger; sætninger i grunden kan bringe en kældervæg til at revne.

Skader som de omtalte kan få et stort omfang og være nok så vanskelige at udbedre, og der må derfor lægges stor vægt på at undgå dem ved, at alt arbejde under terræn udføres med den størst mulige omhu og punktlighed. For det første skal selve kældervæggen være helt tæt, og ved hensigtsmæssig dræning og forsigtig tilfyldning bør det tilstræbes at få så lille et vand- og jordtryk på

terne er der tættet med en plastisk fugemasse. Undersiden af feltet er beskyttet mod vandopsugning af en metalplade; et asfaltlag eller et lag tagpap kan også anvendes.

Brugen af glasbyggesten kræver erfaring både med hensyn til udformning og muring, og det må i de fleste tilfælde være fordelagtigt at søge hjælp hos et anerkendt specialfirma, der på basis af erfaringer kan udtale sig om bl.a. dimensioner, dilatationsfuger og arbejdsteknik, det sidste fordi arbejdsteknikken kan variere fra fabrikat til fabrikat.

væggen som muligt. Disse arbejdsoperationer vil blive nærmere behandlet i det følgende, men kun for murede vægge, og for dræningsarbejdets vedkommende kun i grove træk. Der findes detaljerede forskrifter for dræning i hvert af de nordiske lande, men de er ikke enslydende.

Murede kældervægge

I mange gamle murstenshuse blev også kældervæggene murede, i reglen af teglsten. Efterhånden som betonen vandt indpas, gik man mere og mere over til at støbe kældervæggene, men murede kældervægge fremstilles dog stadigvæk omend i varierende omfang fra land til land og tid til tid; de forekommer især i små huse og mures næsten altid af mursten med blokformat.

Fordelene ved de murede kældervægge er i teknisk henseende, at de kræver kort byggetid og kan mures af selvbyggere samtidig med, at de kombinerer den nødvendige bæreevne med en i mange tilfælde tilstrækkelig varmeisolation. I nogle tilfælde kan transportforholdene også tale til gunst for de murede vægge. Manglerne er, at modstandsdygtigheden mod sidetryk og sætninger er mindre end hos støbte vægge, og at de sjældent bliver helt tætte. De murede kældervægge er derfor langt fra egnede for alle byggegrunde; bedst for klippegrund, fast lejret grus og sand eller fast og tørt ler. Er funderingsforholdene besværlige, f.eks. med afvigende eller ringe bæredygtighed, bør kældervæggene støbes af beton og i nogle tilfælde endda armeres. Det samme gælder, dersom der kan ventes at komme vand i grunden eller væsentlige vand- eller jordtryk.

Uafhængigt af jordbundsforholdene bør man dog altid regne med fugtpåvirkning på ydersiden af en kældervæg, og murstenene skal derfor være frostfaste. Endvidere bør væggenes varmeledningstal være så lavt, at krav som de på side 35 nævnte, kan opfyldes, og stenene skal kunne tåle de punktbelastninger, som kan forekomme fra sten i dræningskanalerne. De nordiske murstens typer, som tilfredsstiller disse krav, er enten betonsten med forskellige udsparringer eller blokke af klinkerbeton. I de gældende normer og forskrifter er der regler for mindste tilladte vægtykkelser og oplysninger om godkendte bloktyper.



Fig. 8.38. Fundamentklods under muret kældervæg.

at anvende beton af god kvalitet. Den flade, som væggen skal stå på, skal altid ligge midt på fundamentklodsens, og den skal rettes af så den er plan og i vage; den bør også være nivelleret sådan ind, at højden op til murkronen svarer til et helt antal skifter. På den plane flade udlægges en bane af svær plasticfolie med tætte overlapninger, så vandopsugning i væggen nedefra er hindret.

Kældervæggene skal opmures med så små fugetykkelser som muligt, helst ikke over 8 mm. Der bør derfor mures med skiftegangslægte, og det er af største betydning for bæreevne, tæthed og sikkerhed mod revnedannelse, at der mures med fyldte fuger. Blokke, der

ikke har gennemgående udspæringer, bør foretrækkes, og der må stilles strenge krav til mørtlen. Det almindeligste er, at der mures med ren cementmørtel; tilsættes der kalk, må det højst være i forholdet KC 10/90.

Til undgåelse af skrærevner under eventuelle kældervinduer bør der indlægges armeringsjern ét skifte under åbningen. På grund af de smalle fuger må der bruges fladjern 3·20 mm som vist på fig. 8.39; de føres 80—100 cm ud forbi åbningens i begge sider.

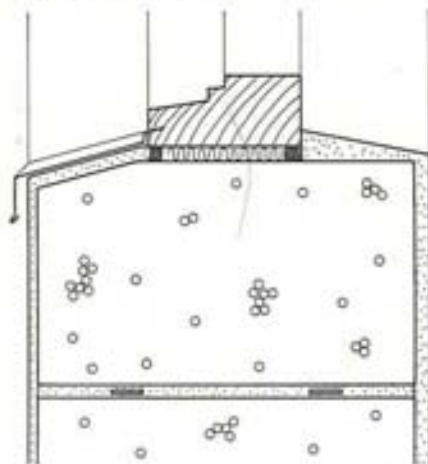


Fig. 8.39. Fladjernsarmering under kældervindue.

For at mindske risikoen for sætningsrevner skal væggene altid opmures på en fundamentklods, som ligger under frostfri dybde og er dimensioneret efter grundforholdene og gældende forskrifter. Oversiden på dens fremspring mod jordsiden bør have fald ud efter, så der ikke kan stå vand ved foden af væggen (fig. 8.38). På fast klippe er armering unødvendig, men ellers står man sig ved at armere med 2 rundjern med 12—16 mm diameter i hele fundamentklodsens længde og

Punktbelastninger på murkronen er en hyppig årsag til revnedannelser i kældervægge, og dette kan man gardere sig imod ved at forstærke murkronen, enten ved at udforme den som en selvstændig, sammenhængende jernbetonramme (fig. 8.40 a) eller ved at afslutte væggen med et skifte af særlige blokke med en opad åben udsparring til en armeret betonribbe (fig. 8.40 b). To rundjern — helst kamstål — med 12-16 mm diameter er normalt tilstrækkeligt; over særlig brede kældervinduer kan det dog være nødvendigt at forstærke armeringen. Går kældervinduet helt op til overkanten af kældermuren, må en eventuel bjælke indlægges ved dets underkant. Er dækket over kælderen et jernbetondæk, er forstærkningen af murkronen overflødig.

Behandlingen af kældervægges yderside er omtalt på side 307 under pudsedetaljer.

Dræning

Dræningen af grunden omkring en bygning har til formål at bortlede tagvand, overfladevand og grundvand fra kældervæggene.

Selve drænledningerne er rør af tegl, beton eller plastic, og de skal nedlægges sådan, at de danner en sammenhængende kæde uden forfundamenterne med jævnt fald til begge sider fra ledningens højeste sted og hen til afløbet. Rørene skal ligge i frostfri dybde, og selv på det højeste sted skal ledningens bund ligge et stykke lavere end oversiden af det færdige kældergulv. Hvor ledningen følger fundamentet, må den dog ikke graves længere ned end til dets underside, da dybere gravning kan forstyrre grundens bæreevne.

Ledningen kan lægges direkte på en glat afgravet jordflade, men det er bedre at lægge den på et 5—10 cm tykt lag af velkomprimeret, groft sand. På denne måde er det lettere at få et jævnt fald, og fine jordpartikler hindres i at trænge ind ved fugerne mellem rørene.

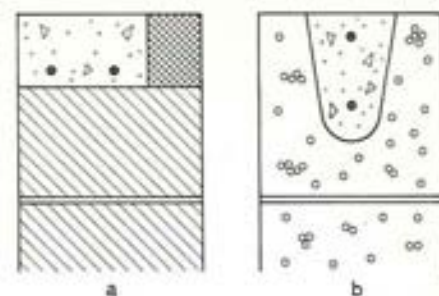


Fig. 8.40. Armering af murkronen i kældermur.

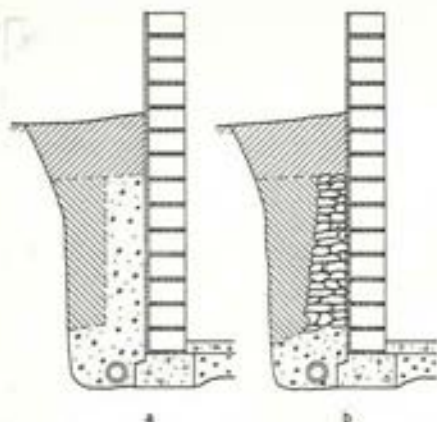


Fig. 8.41. Filterlag over dræn ved kældermur.

Rørene lægges tæt sammen rø mod rør og skråhugges ved alle hjørner, så de også dér slutter tæt sammen. Princippet er jo, at vand, men ikke jord eller andre partikler, skal trænge ind i rørene ved samlingerne. Som en ekstra sikkerhed bør der derfor ofte lægges et filterlag langs siderne og over ledningen; det skal også være groft sand eller grus med kun få fine korn. Består byggegrunden af en finkornet jordart, bør der etableres et tilsvarende filter i 20—25 cm bredde som dræn langs kældervæggen (fig. 8.41 a). Filtersandet kan fyldes ned mod f.eks. en træplade, som trækkes med op i takt med ifyldningen. Bag pladen fyldes der med jord fra udgravningen. Er grunden klippe, groft sand eller fast og tæt ler, kan et tilsvarende filter opnås ved at stable sten op (fig. 8.41 b). Filtrene føres så højt op som muligt, helst helt op, men mindst op til undersiden af muldlaget. Dersom man er helt sikker på, at kældervæggen ikke vil blive udsat for jordtryk eller frosthævninger, kan filterlagets virkning opnås ved at stille belgeeternit op langs væggen som tidligere omtalt (fig. 2.23 a). Hvis forholdene tillader det, bør der sørges for, at terrænet nærmest væggen har faldt udad, så overfladevandet ledes bort.