

OM TEGLS FROSTFASTHED

EN LITTERATURGENNEMGANG

JØRN JESSING OG H. P. NIELSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · RAPPORT NR. 28
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1958

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

(Borgergade 20, København K. Tlf. Minerva 5630)

er en selvstændig institution, der ledes af en bestyrelse udpeget af boligministeren, er oprettet ved lov nr. 123 af 19. marts 1947,

har til opgave »- at følge, fremme og samordne teknisk, økonomisk og anden undersøgelses- og forskningsvirksomhed, som kan bidrage til en forbedring og billiggørelse af byggeriet, samt at udøve oplysningsvirksomhed angående byggeforskningens resultater.

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT

(Oslo - Blindern, Tlf. 69 5880)

NBI er et selvstendig institutt under Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd, som oppnevner styret. NBI ble opprettet 1953 og avløste det midlertidige Kontoret for byggforskning fra 1949.

NBI skal fremme byggforskningen ved å klargjøre oppgavene og få dem løst; ved å virke for frivillig koordinering av tiltak og sørge for at forsøksresultater blir gjort kjent.

NBI skal samarbeide med myndigheter, organisasjoner o. a. og bistå offentlige og private oppdragsgivere.

STATENS NÄMND FÖR BYGGNADSFORSKNING

(Styransgatan 26, Stockholm Ö. Tel. 630965)

SNB sorterar under Socialdepartementet.

SNB övertog 1953 och utvidgade det arbete, som tidigare utförts av Statens Kommitté för Byggnadsforskning, som tillkom 1942.

SNB har till ändamål att främja forskning och rationalisering inom byggnadsfacket med tonvikten lagt på husbygge.

SNB sprider forsknings- och försöksresultat i form av meddelanden, rapporter och broschyrer samt genom artikler i facktidningar.

STATENS TEKNISKA FORSKNINGSANSTALT

VALTION TEKNILLINEN TUTKIMUSLAITOS

(Lönnrotsgatan 37, Helsingfors. Tel. 11 151)

Anstalten som konstituerades 16. 1. 1942 (förfatningssamling n:o 44) är underställd handels- och industriministeriet.

På Statens tekniska forskningsanstalt ankommer att bedriva teknisk forskningsverksamhet i vetenskapligt och allmännyttigt syfte mm. på byggnadstekniska området, att utföra materialprovningssuppdrag jämte andra forskningsuppdrag samt att bistå tekniska högskolan i undervisnings- och forskningsarbete.

OM TEGLS FROSTFASTHED

EN LITTERATURGENNEMGANG

JØRN JESSING OG H. P. NIELSEN
CIVILINGENIØRER

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · RAPPORT NR. 28
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1958

I samarbejde med Kalk- og Teglværkslaboratoriet, Århus, har Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) foretaget undersøgelser over problemer vedrørende tegls frostfasthed.

Emnet har gennem årene været taget op fra mange forskellige sider, og litteraturen er blevet så omfattende, at det er vanskeligt at skaffe sig et overblik over den, desuden er den spredt over så mange bøger og tidsskrifter, at det er vanskeligt at finde den. SBI har derfor antaget, at der er et behov for både en litteraturoversigt og en litteraturliste vedrørende dette emne. Som en vigtig del af arbejdet blev den eksisterende litteratur derfor samlet og gennemgået af SBI ved civilingeniør Jørn Jessing, og det er denne rapports hovedformål at give et resume heraf.

Den udarbejdede litteraturliste foreligger i form af kartotekskort med korte resumeer af de enkelte værkers indhold. Fortegnelsen omfatter dog andre materialtekniske forhold end tegls frostfasthed, men økonomiske og produktionstekniske spørgsmål er underordnet dette hovedsynspunkt. Det har især været tilstræbt at registrere litteratur omhandlende frostfasthedsproblemet i de to sidste tiår, medens fortegnelsens omfang iøvrigt kun har været begrænset af den til rådighed værende tid og mulighederne for materialets fremskaffelse. Enkelte artikler vedrørende andre materialer end tegl er taget med for så vidt, det har været muligt herigennem at belyse problemer og principper af interesse for undersøgelsen af tegl.

Rapporten indeholder først en oversigtsartikel om tegls frostfasthed, udarbejdet af civilingeniør H. P. Nielsen, Kalk- og Teglværkslaboratoriet, på grundlag af kortene, og dernæst følger en faksimile-gengivelse af selve kortene.

Kortene er ordnet efter det internationale UDC-system, af hvilket de benyttede uddrag er angivet på særlige kort. Ikke alle her anførte tal er bragt til anvendelse, men er medtaget for overskuelighedens skyld. Enkelte kort er anbragt under to DK-tal for at fremme anvendeligheden. Kolonforbindelse er kun benyttet for at indicere materialet. I gruppen 620 er kolonforbindelse kun anvendt for materialer, der ikke er tegl.

Referaterne er ordnet efter følgende hovedinddeling:

389.6	Normer
620	Materialprøvnin
666	Keramik. Kunststen (Teknologi)
691	Byggematerialer
693	Udførelse af bygningsarbejder.

Nærværende rapport vil endvidere blive udsendt på fransk og tysk ved »Fédération Européenne des Fabricants de Tuiles et de Briques« (TBE)'s foranstaltning.

Instituttet vil gerne benytte lejligheden til at rette en varm tak til såvel Kalk- og Teglværkslaboratoriet som til TBE for godt samarbejde i denne sag.

Marts 1958

Niels Munk Plum

Indholdsfortegnelse til artiklen

Forord.

- I. Frostskadernes art.
- II. Årsager til frostskaderne.
 - Måtningsgraden.
 - Strukturen.
 - Bratte temperaturfald.
 - Brændingstemperaturen.
 - Teglmassens styrke.
 - Porositeten.
 - Hårrørsvirkningen, hårrørens form og størrelse.
 - Porefordelingen.
 - Lermassens ensartethed.
 - Tørring, vakuumbehandling, formgivning.
 - Deformationsevnen.
 - Tagstenenes udformning.
 - Tagets konstruktion og orientering, klima.
 - Underafkøling.
- III. Foranstaltninger til imødegåelse af manglende frostfasthed.
- IV. Prøvningsmetoder til bedømmelse af tegls frostfasthed.

Forord

Gennem de sidste 20-25 år er problemerne vedrørende tegls frostfasthed blevet undersøgt og belyst på mangfoldige måder. Problemerne er jo ikke lokalt danske, men internationale, og i litteraturen finder man dem indgående behandlet af forskere fra mange forskellige lande. Det er i det efterfølgende forsøgt at give en oversigt over hovedtrækkene i denne litteratur. Forskningen er i de sidste par år foregået i stedse stigende omfang, og så at sige hver dag bringes nye resultater frem. Alene af den grund er det her skrevne ikke komplet, men oversigten kan forhåbentlig alligevel gøre nytte ved at belyse emnets mangfoldighed og lette interesserede i arbejdet med at finde frem til tidligere kilder og måske i nogle tilfælde også ved i sig selv at indeholde de ønskede oplysninger.

I. Frostskadernes art

De forskellige former for frostskader kan groft samles i 4 grupper efter det udseende, stenen har, når den er frostskadet, nemlig i

1. Afskailing af ganske tynde lag
2. Revner
3. Afsprængning af store stykker
4. Smuldring (opdeling i mange stykker, pulverisering) (forekommer sjældent).

Af disse forekommer afskallinger især hos tagsten, hvorimod de 3 sidstnævnte arter af skader forekommer både hos tagsten og mursten.

II. Årsager til frostskaederne

De årsager, der opregnes, er mangfoldige og den betydning, der tillægges dem, meget varierende.

Hos 37 forfattere nævnes en høj vandmætningsgrad 13 gange som vigtigste årsag til frostskaeder, struktur 12 gange, bratte temperaturfald 11 gange, mangelfuld brænding 10 gange, mangelfuld styrke 9 gange og stor porøsitet 7 gange. Af andre, mindre hyppigt nævnte årsager må omtales formgivningsprocessen, herunder mundstykkets kvalitet og anvendelse af vakuum, teglmassens porestørrelsesforhold og mængden af små porer, lermassens ensartethed og lermassens indhold af »kalkspringere«, for hurtig tørring af de rå sten, teglets form og teglmassens deformationsevne, tagets konstruktion og orientering, og underafkøling af porevandet.

Mætningsgraden

Mætningsgraden — hos nogle forskere benævnt porefyldningsgraden eller vandfyldningsgraden — er udtryk for, hvor stor en del af det samlede porerumfang, der er fyldt med vand. Mætningsgraden bestemmes på forskellig måde f. eks. som S-værdi eller som C/B-værdi, af hvilke den sidste angiver forholdet mellem den vandmængde, stenen frivilligt optager ved 24 timers lagring i koldt vand og den vandmængde, som stenen optager ved 24 timers lagring i koldt vand + 5 timers lagring i kogende vand. I stedet for kogning anvender nogle forskere vandoptagelse under overtryk, andre vandoptagelse under vakuum. I det følgende betegnes mætningsgraden som S-værdien, selv om dette begreb — på grund af afvigende fremgangsmåder ved bestemmelsen — kan have mangfoldige betydninger.

Næsten alle de forskere, hvis artikler er gennemlæst, er enige om, at frostheden ikke afhænger af en enkelt, men af mange faktorer. Ligeledes er de enige om, at af disse er stenens S-værdi af væsentlig betydning. En enkelt forsker, *H. Breyer*, hævder endda, at bestemmelse af S-værdien er den eneste sikre metode til bedømmelse af en stens frostheden, og han angiver $S = 0,80$ som øvre grænse for frostheden. Andre forskere, *W. Sommer*, *H. Roth*, *B. Butterworth*, *E. Pfeil*, *A. J. Rijken*, *L. A. Poggi*, *A. Dietzel & Weisner-Kieffer*, *P. Haller*, *K. Bergmann*, *Mc. Burney & Eberle*, *Mc. Mahon*, *Drögler*, *F. Geiger*, *M. Andrä*, *W. N. Thomas*,

Mc. Burney, *A. Stutz*, *H. Kreüger* anser ikke stenens S-værdi for at være et tilstrækkeligt frosthedskriterium, skønt man er enige om, at nedsat S-værdi betyder øget frostheden. Svarende til Breyers $S = 0,80$ angiver Rijken $S = 0,84$, Roth og Thomas $S = 0,80$ og *Mc. Burney* $S = 0,73$. *Mc. Burney*'s forsøg viste, at alle sten med $S > 0,80$ blev frostskadede. At de kritiske værdier, der opgives for mætningsgraden er forskellige, kan formentlig delvis forklares ved, at de forskellige forskere ikke har bestemt værdien på samme måde.

Strukturen

Om strukturens indflydelse på frostheden er de fleste forfattere af den mening, at struktur svækker stenene.

W. Sommer, *K. Spingler*, *H. Roth*, *A. J. Rijken*, *E. Pfeil*, *Dietzel & Weisner-Kieffer*, *P. Haller*, *H. F. Schmidt*, *H. Hirsch*, *O. Carlsson* og *H. Kreüger* hævder alle, at struktur, især lamelagtig lagdeling i teglmaterialet har medført en nedsat frostheden, selv om stenens S-værdi er lav. *Carlsson* omtaler ringstruktur som farlig for mursten, men mener, at spalter parallelt med liggefladen ikke er så farlige. *Roth* nævner, at grovporet tegl med $S > 0,9$ giver isen mulighed for at udvide sig og måske derfor er frostheden. *Roth* mener endvidere, at utilstrækkelig blanding af råleret alene eller af råleret og forskellige tilsætningsstoffer og mangelfuld behandling ved formgivning, tørring og brænding kan give struktur, som nedsætter frostheden uden at ændre S-værdien. *Dührkop* har ved fryseforsøg med strimler skåret ud af frostheden tagsten med grov, synlig struktur fundet, at strimlerne fryser i stykker; han forklarer dette ved, at spalterne i de hele sten optræder som lukkede hulrum, der forbliver luftfyldte og snarere gør gavn end skade. *Spingler* påpeger, at de kraftige maskiner, som anvendes i vore dage, kan give lerstrengen farlige spændinger, når strengen passerer mundstykket. Ved vakuumpresser kan udluftningen »skjule« spændinger, som ellers ville have givet »dragetænder«. Spændingerne giver inhomogeniteter i leret, struktur. *Schmidt* omtaler forskellen mellem på den ene side gamle, håndstrøgne, men strukturfrie tagsten, der på grund af utilstrækkelig brænding i dag ville blive betegnet som ikke frostheden, men i praksis har vist sig frostheden, og på den anden side yngre, strengpressede, tætte og velbrændte tagsten, som fryser i stykker, fordi de har struktur. De

gamle sten har grove porer, i hvilke isen kan udvikle sig, hvorimod de yngre sten har strukturdannelse, som gør dem lagdelte og medfører afskallinger i lag. Endvidere mener *Schmidt*, at revolverpressede sten ikke har så megen struktur, og at skaderne, når de sker, er af en helt anden karakter, idet der opstår huller og sker afsprængninger af større eller mindre stykker. Man kan frembringe grove porer i stenene ved at tilsætte et kornet »melfint« magringsmiddel. *Schmidt* omtaler også de farlige spændinger i leret.

Bratte temperaturfald

Alle de forskere, hvis artikler er gennemlæst er enige om, at stor frysehastighed er farligere for teglprodukterne end lille frysehastighed. *A. J. Rijken*, *K. Bergmann*, *Otto Graf & Kurt Walz*, *H. F. Schmidt*, *H. Hirsch* og *W. N. Thomas* nævner dette, og i nogle af artiklerne forklares det, at isen ikke når at undvige (udvide sig) til de grove porer, når frysningen sker pludseligt. Ved langsom frysning kan dette nå at finde sted, og de farlige spændinger kan herved formindskes, eventuelt helt udeblive. *H. Kreüger*, *W. N. Thomas*, *H. Hirsch*, *E. Pfeil* og *Otto Graf* og *Kurt Walz* omtaler, at en underafkøling af vandet f. eks. på grund af saltindhold netop vil bevirke en pludselig frysning og derfor være farlig. Problemet vedrørende underafkøling bør dog undersøges nærmere. *Richmond & Mc. Burney* omtaler fryseforsøg, af hvis resultater det kunne sluttes, at frysehastigheden er af større betydning end minimumstemperaturen. *H. Roth* og *H. Breyer* nævner, at hastigheden vokser med voksende varmeledningstal. *W. Sommer* omtaler, at der var særligt mange tagstensskader i Vesttyskland i vinteren 1952-53, og at de måske netop skyldes bratte temperaturfald i foråret, »overrumplingskader«. *H. Dührkop* omtaler, at vinteren 1950-51 i Danmark, som nogle steder havde 68 % flere frysepunktspassager end gennemsnitsvinteren for de 30 år fra 1923 til 1953 og samtidig stor nedbør medførte særligt mange tagstensskader. Det store antal passager giver måske mange på hinanden følgende hurtige frysninger, og det store antal isdannelse kan give »træthedsbrud« i tagstenene. *W. N. Thomas* nævner, at i sten med stort vandindhold er frysehastigheden lille, mens den er stor i sten med lille vandindhold. *Geiger* har udført fryseforsøg med helt og delvis mættede sten, de sidstnævnte frøs først i stykker.

Brændingstemperaturen

Der er almindelig enighed om, at høj brændingstemperatur øger frostheden. *Stutz* omtaler betydningen af den rette brændingstemperatur; *Butterworth* siger, at frostheden fås ved god brænding, som karakteriseres ved at foreskrive en nedre grænse for trykstyrken, en øvre for vandoptagelsen og en øvre for S-værdien. *A. J. Rijken* skriver, at forhøjet brændingstemperatur nedsætter porøsitet og S-værdi og giver større frostheden. *Dietzel & Weisner-Kieffer* refererer egne forsøg, som viste, at man kan bestemme en »rigtig« brændingstemperatur — der som regel ligger højere end normalt på værkerne — som giver den mindste S-værdi. *Mc. Mahon & C. R. Amberg* refererer nogle fryseforsøg med prøvelegemer fremstillet af forskellige lerblandinger, med forskellig formgivningsmetode (tørpresset, blødstrøget og strengpresset) og brændt ved forskellige brændingstemperaturer. Disse forsøg viste, at højere brændingstemperatur gav større frostheden, hvorimod vandoptagelse og S-værdi var praktisk talt uafhængig af brændingstemperaturen. *K. Bergmann* omtaler forsøg med sten fra forskellige værker; forsøgene viste, at S-værdien aftager med voksende brændingstemperatur. For sten fra samme værk kunne S-værdien variere fra f. eks. 0,75 til 0,85 eller fra 0,67 til 0,80, hvilket formentlig skyldes en variation i brændingstemperaturen, der angives at kunne variere 100-150° C fra et punkt til et andet i ovns tværsnit. Der er endvidere udført forsøg med prøvecylinder brændt ved forskellige temperaturer og med forskellig hastighed. En hurtigt brændt prøvecylinder havde lille S-værdi og ringe frostheden. De øvrige forsøg viste, at frostheden vokser, når S-værdien aftager. Den hurtigt brændte cylinder var tydelig lagdelt i 3 lag med forskellig kapillar- og poreopbygning. *Bergmann* anbefaler, at temperaturvariationen over ovns tværsnit gøres så lille som muligt; han nævner, at tagstenene fra et værk, som før havde en temperaturvariation i ovntværsnittet på ca. 100° C og en hertil svarende frostheden teglmængde på 60 % ved 25' frysning, ophørte med at få frostheden, efter at temperaturvariationen var nedsat til 30° C. Der kom endda ingen skader i de nye sten, selv om de underkastedes 50 frysninger.

M. Andrä fandt ved fryseforsøg med keramiske masser brændt ved temperaturer fra 500° C til 1250° C, at kun prøver med porerumfang under

eller nær ved 20 % frøs i stykker. Disse prøver havde hver for sig ensartet porestørrelse. Ved højere brændingstemperatur (porerumfang over 20 %) optræder både grove og fine porer. Det sluttes af forsøgene, at frostheden kan forbedres ved højere brændingstemperatur og ved magring af leret. Samtidig forøges dog vandgennemtrængeligheden.

O. Carlsson har ved undersøgelser af laboratoriefremstillede prøvelegemer brændt ved temperaturer fra 500 til 1000° C fundet, at den maksimale poreradius vokser med voksende brændingstemperatur, altså i overensstemmelse med *Andrä*, at højere brændingstemperatur giver grovere porer. Kurver optegnet over den reciproke værdi af vandopsugningstiden som funktion af brændingstemperaturen viser god overensstemmelse med kurver optegnet over frostheden som funktion af brændingstemperaturen. Højere brændingstemperatur giver grovere porer, hurtigere vandopsugning og større frosthed. *H. Roth* har ved forsøg med 10 forskellige sorter tagsten fra forskellige værker fundet andre resultater end de foran omtalte. Stenene blev efter tørring brændt ved 800, 850, 900 eller 1000° C. Vandgennemtrængeligheden var i alle tilfælde mindst for sten brændt ved 850° C (stemmer med *Andrä's* resultater). Derimod fandtes for de 9 sorters vedkommende frosthed og bøjningsstyrke at være praktisk talt uafhængig af brændingstemperaturen. En tagstenssort viste små bladede afskallinger, når brændingen var sket ved 1000° C.

I flere artikler nævnes, at brandhudens karakter (tæt eller porøs) har stor betydning for frostheden. Det samme har forskel i udvidelseskoefficient hos brandhud og skærv.

Teglmassens styrke

H. Kreüger, *O. Graf* & *K. Walz* og *B. Butterworth* mener, at stor styrke giver større frosthed end lille styrke. Der er som regel ikke gjort nærmere rede for, om der menes træk- eller trykstyrke. *Dietzel* & *Weisner-Kieffer*, *H. Roth* og *P. Haller* hævder, at frostheden er afhængig af materialets mindre trækstyrke, d.v.s. trækstyrken vinkelret på lagdelingens retning. Forsøg udført i Danmark af *C. Falk* med tagstensskiver gav som resultat, at der ikke var noget sammenhæng mellem skivernes frosthed og trækstyrke. *O. Carlsson* fandt ved forsøg med 2 forskellige lerblandinger ingen overensstemmelse mellem frosthed og bøj-

ningsstyrke. *W. N. Thomas* har fundet, at bøjningsstyrken er lavere end normalt, når stenen prøves i våd eller frosset tilstand. *Mc. Mahon* & *C. R. Amberg* fandt ved forsøg, at forøget trykstyrke gav forøget frosthed. *H. Hirsch* fandt ved fryseforsøg, at mursten med trykstyrker fra 200 til 400 kg/cm² kunne fryses i stykker. *Bonnell* & *Butterworth* tillægger ikke styrken så stor betydning som flere af de øvrige forskere, men har bedømt frostheden af sten indgående i en udvendig prøvemur og sat den i relation til stenenes vandopsugning, S-værdi og trykstyrke. De fandt god overensstemmelse mellem resultaterne af denne »praktiske« frosthedsprøvning og den bedømmelse, man kunne nå vedrørende frostheden for de samme sten ved at anvende *Mc. Burneys* metode til bestemmelse af S-værdien. *H. Breyer* siger, at trykstyrken normalt tillægges for stor betydning ved bedømmelsen af en stens frosthed og nævner de mange andre faktorer, som spiller ind.

Porøsiteten

Denne er et udtryk for rumfanget af de hulrum eller porer, som findes i stenen. Den tilsyneladende porøsitet refererer til rumfanget af åbne porer, den sande til det samlede rumfang af åbne og lukkede porer; et mål for den tilsyneladende porøsitet er stenens vandoptagelse ved neddykning i vand i en vis tid.

De fleste forskere er af den mening, at stor porøsitet giver mindre frosthed end lille porøsitet. Nogle er dog af en anden mening, hvilket fremgår af det følgende.

H. Roth skriver, at jo større porøsitet og jo mindre kapillardiameteren er, desto mindre er frostheden. *A. Kohl* siger, at kun porøse sten fryser itu, hvorimod tørre og tætte sten aldrig gør det. Grove porer er ufarlige, fine porer farlige for frostheden. *B. Butterworth* mener, at en frosthed sten ikke må have for stor vandoptagelse, og *A. J. Rijken* mener, at en stor porøsitet i laget lige under brandhuden er en hyppig frostårsag. Begge forskere anbefaler et nøjere studium af poreegenskaberne (porøsitet, S-værdi og porestørrelsesfordeling). *Rijken* nævner, at porøsitet, vandoptagelse og S-værdi i fællesskab har betydning for frostheden. *Bonnell* & *Butterworth* har bedømt stens frosthed på grundlag af vandopsugning (porøsitet), S-værdi og trykstyrke. *P. Haller* nævner porøsitetens betydning og *Mc. Burney* hævder, at forskelle i vandoptagelse for sten

af samme ler og fremstillet på samme måde vil kunne sige noget om forskelle i frosthed, men regner vandoptagelsen alene for utilstrækkelig som frosthedskriterium. *K. Bergmann* refererer bl. a. nogle forsøg med vingetagsten: forsøgene viste, at vandindholdet varierede over stenens tværsnit og var størst i løbet, hvilket han bl. a. forklarer ved, at stenens kapillar- og poreforhold varierede over tværsnittet. Forsøgene viste, at frostheden aftog med voksende vandindhold (porøsitet). *Mc. Mahon* & *C. R. Amberg* refererer nogle forsøg med blødtørrede sten; forsøgene viste, at sten med vandoptagelse på 20 % eller mere ikke bestod frosthedsprøvningen; stenene stod sig desto dårligere, jo større vandoptagelsen var. *O. Drögsler* har bestemt 146 strengpressede stens vandoptagelse ved forskellige lagringsmetoder. Han hævder, at en tagsten er frosthed, når vandoptagelsen er mindre end $x\%$, S-værdien mindre end $y\%$ og trykstyrken større end z kg/cm². *F. Geiger* hævder, at frostheden afhænger af porernes rumlige fordeling og af porefyldningsgraden. Fryseforsøg med ensartet våde sten, der fik revner, og med uensartet våde sten, der som regel fik afskallinger og afsprængninger, dannede grundlag for *Geigers* udledning af et »frosttal« bestemt som produktet af porerumfang og S-værdi. Forfatteren angiver, at sten med frosttal over 0,43 ikke er frosthed, og at frostheden vokser med aftagende frosttal.

I modsætning til forannævnte forskere hævder *K. Spingler*, at porøsitetens betydning er underordnet, hvilket han begrundet med henvisninger til praksis, hvor man ofte ser frosthed sten med 10–15 % vandoptagelse, mens andre med kun 5 % vandoptagelse viser anelige skader. *H. Hirsch* hævder, at den gængse opfattelse, at frostheden aftager med voksende porøsitet, er forkert; for det første fordi isen som en vædske lettere flyder ud til overfladen i de porøse tegl, og for det andet, fordi de porøse sten har et lavere elasticitetstal end de hårdbrændte. Fryseforsøg med mur- og tagsten viste, at det ikke var stenene med størst porøsitet, der frøs i stykker. *O. Carlsson* har ved sine forsøg ikke fundet nogen overensstemmelse mellem frosthed og porøsitet. *H. Kreüger* mener, at porøsitetens betydning er ringe, hvorimod vandopsugningsevnen (kapillariteten) og porestørrelsen spiller en stor rolle.

Det ses, at meningene om porøsitetens betydning er stærkt delte. Uenigheden er dog måske

delvis tilsyneladende og kan hidrøre fra, at det ikke altid tydeligt defineres, hvad forfatterne forstår ved vandoptagelse og porøsitet.

Der er nogenlunde almindelig enighed om, at voksende mætningsgrad medfører aftagende frosthed. Går man ud fra, at dette er rigtigt, og erindrer man sig, at mætningsgraden er defineret som forholdet mellem den tilsyneladende porøsitet (vandoptagelsen) og den sande, så vil øget vandoptagelse også medføre aftagende frosthed, vel at mærke dersom den sande porøsitet er uændret eller nok er øget, men blot i mindre grad end den tilsyneladende. Er dette sidste ikke blevet undersøgt, er muligheden til stede for, at to forskere når til modsatte resultater vedrørende virkningen af at ændre poreforholdene således, at vandoptagelsen vokser.

Ud fra mætningsgradens definition ser man iøvrigt, at *Geigers* »frosttal«, som er produktet af porerumfanget og mætningsgraden, i virkeligheden bliver identisk med vandoptagelsen eller den tilsyneladende porøsitet.

Hårrørvirkningen, hårrørens form og størrelse

K. Spingler omtaler hårrørvirkningens betydning; et mål for hårrørvirkningen har man i vandets stighøjde, den kapillare sugenhøjde. Han hævder, at hårrørvirkningen er uafhængig af, om leret bearbejdes lidt eller meget, og af om det stryges med eller uden vakuum, og at dette derfor heller ikke influerer på frostheden. *H. Roth* siger, at jo mindre hårrørdiameteren er, des mindre er frostheden. *H. Kreüger* nævner, at når hårrørens vandopsugning er stor, nedsættes frostheden. *P. Haller* refererer forsøg, som har vist, at frostheden afhænger af mange ting, og mener, at især stenoverfladens poreforhold er af betydning. *O. Graf* & *K. Walz* siger, at vandmætningsgraden afhænger af størrelsen af hårrørsdiametrene, der for tegl ligger mellem 0,14 μ og 70 μ . Hårrørvirkningen kan muligvis forårsage frysepunktssænkning, der giver pludselig isdannelse og udvidelse. *K. Bergmann* har foretaget omfattende undersøgelser af vandindholdet i sten oplagt på tage. Det viste sig, at vandindholdet varierede stærkt over stenens tværsnit, men altid var størst i løbet. Dette skyldes ikke alene stenens form, men også forskelle i poreforholdene over stenens tværsnit.

I »Die Ziegelindustrie«, 1954, nr. 21: *Versuche zur Klärung von Frostschäden*, nævnes, at for-

skelle i hårrørens opbygning og form fra sted til sted i stenens tværsnit kan føre til sprængning af væggene omkring de snævrere hårrør. Der refereres nogle forsøg med hårrør af glas, kapillarrør af forskellig form og diameter. Disse forsøg viste, at krumme hårrør med bratte ændringer i diameteren skades meget hurtigere end lige hårrør med jævnt varierende diameter, også selv om de kun er delvis vandfyldte. Kender man hårrørens form, vil S-værdien være retningsgivende for frostfastheden. »Diskontinuerlige« hårrør optræder i teglsten, idet diameteren af snævre porer i brandhuden ofte får en pludselig tilvækst ved overgangen til skærven lige under brandhuden. Dette kan forårsage afskallinger, fordi den sprængende kraft er størst, hvor springet i diameter sker. Der er i den forbindelse udført forsøg dels med sten, som de leveredes, dels med sten, hvis brandhud var fjernet fra den ene eller begge sider ved sandblæsning. Stenene blev frosset 25 gange, og ved 14. frysning fik stenene med brandhud skader, som tiltog kraftigt ved de følgende frysninger; skaderne optrådte på de samme steder på alle stenene begyndende i kanterne og fortsættende både på over- og underside. Stenene med brandhud fjernet fra undersiden fik lignende skader også begyndende ved 14. frysning, men skaderne fortsatte kun i ringe grad på undersiden. Af de sten, der fik fjernet brandhuden fra begge sider, skadedes 1 ved 10. frysning, medens de øvrige endnu efter 25 frysninger ingen skader havde lidt. Det sluttedes heraf, at skaderne skyldes forskelle i hårrørdiameter og lejringstæthed i brandhud og skærv.

Porefordelingen

I litteraturen fra de senere år findes flere steder omtalt betydningen af ikke alene at kende porernes størrelse, men også deres fordeling. Denne kan f. eks. karakteriseres ved at inddele porediameterområdet i intervaller med spring på f. eks. 10 eller 20 $m\mu$ og udtrykke mængden af porer i hvert interval f. eks. i % af det samlede porerumfang.

B. Butterworth skriver herom, at man i fremtiden må ind på et nøjere studium af de porøse legemers karakter (porerumfang, S-værdi, porestørrelsesfordeling) og nævner, at man nu kan bestemme porestørrelsen ved hjælp af en metode, hvor man anvender kviksølv under tryk. P. Haller gør opmærksom på, at hårrørens størrelse og fordeling er afgørende for

den hastighed, hvormed vandet trænger igennem en tagsten. F. Geiger nævner, at frostfastheden bl. a. afhænger af den rumlige placering, fordeling og størrelse af de forskellige typer af hulrum. O. Carlsson refererer forsøg med prøvelegemer af 2 forskellige lersorter, hvor han ved hjælp af Cantors formel og Poiseuilles lov bestemte porefordelingen. Resultaterne viste, at de grove porers betydning for frostfastheden er stor, men Carlsson understreger, at et nøjere studium af de allermindste porers ($<100 m\mu$) betydning er påkrævet og nævner, at sådanne undersøgelser er i gang. Også A. J. Rijken anbefaler studiet af poreegenskaberne.

Lermassens ensartethed

Dette emne er allerede berørt under afsnittet om struktur, men skal her omtales lidt nærmere. H. Roth skriver, at utilstrækkelig blanding af råleret og eventuelle tilsætningsstoffer kan forårsage nedsat frostfasthed. Forarbejdning på forskellige slags snekkepresser, ændring af leremnets størrelse ved presning af falstagsten, tagstenenes geometriske udformning, anvendelse af metal- eller gipsforme, glasering og engobering kan ændre frostfastheden. E. Pfeil og H. Breyer nævner, at frostfastheden nedsættes, dersom leret indeholder tilpas store kalkkorn, »kalkspringere«, der udvider sig kraftigt under læskning. Mc. Mahon & C. R. Amberg refererer forsøg, som har vist, at lersorten og formgivningen har betydning for frostfastheden. Strengpressede sten, som undersøgte blev anset for mindre frostfaste end undersøgte blødstøgne sten. A. Stutz anfører strukturen som hovedårsag til frostskaderne. Strukturen afhænger blandt andet af materialets uensartethed, dets forbehandling, vandindhold, formgivning, tørring og brænding.

Tørring, vakuumbehandling, formgivning

K. Spingler påpeger, at der kan opstå spændinger i lerstrengen, når den passerer mundstykket, især ved kraftige presser. Vakuumpresser kan undertiden camouflere sådanne spændinger, fordi ler, der stryges pænt i en vakuumpresse, måske ville give »dragetænder«, hvis det blev strøget i en almindelig maskine. Også hurtig tørring kan give farlige spændinger. H. Roth skriver, at mangelfuld tørring og formgivning nedsætter frostfastheden. A. Dietzel & M. Weisner-Kieffer omtaler, at vakuumpresning forhøjer stenenes S-værdi.

Deformationsevnen

Forskellig deformationsevne i brandhud og skærv eller eventuelt i engobe og skærv kan give spændingsforskelle, som fører til frostskader. Er deformationsevnen særlig lille, altså teglmassen særlig sprød, kan det samme ske, idet materialet da ikke kan tåle de udvidelser, som isen forårsager. Herom skriver H. Roth, P. Haller og O. Graf & K. Walz, at jo ringere deformationsevnen er, desto mindre frostfast er stenen. A. J. Rijken nævner, at stenens plasticitet og elasticitet er vigtig. W. N. Thomas refererer forsøg, som viste, at en givet deformation fremkalder mindre spændinger, når stenene er frosne, og at det samme gælder, når stenene er våde. Forholdet mellem spænding og deformation aftager endvidere med voksende mætningsgrad. Han anbefaler, at reduktionen i elasticitetstal ved frysning og vædning bestemmes og anvendes som frostfasthedskriterium. H. Kreüger skriver, at bl. a. varmeudvidelseskoefficient, styrke og hårdhed er vigtige for frostfastheden. Han foreslår, at hårdhedstabet ved vædning indgår i bedømmelsen af en stens frostfasthed. Hårdhedstabet angives at være omtrent proportionalt med styrketabet.

Stenens udformning

Om selve stenens form siger A. J. Rijken, at form og tykkelse spiller en vigtig rolle for holdbarheden. K. Bergmann har foretaget forsøg, hvor han har målt temperaturen på øst- og vestvendte vingetagsten samt på nord- og sydvendte falstagsten i tage. Af de optegnede temperaturkurver ses, at der kunne være ret store forskelle på temperaturen i vingen og i løbet, formentlig som følge af, at der længe lå sne i løbet, mens vingen var snefri. Løb og vinge får altså ikke samme antal frysepunktpassager. Flade tagsten vil i snerige vintre ofte være udsat for et ringere antal passager end mere svungne tagsten, og på sådanne tagsten er vingen udsat for flere passager end løbet. Iagttagelser på 30 tage tækket med vingetagsten viste, at i ca. 90 % af tilfældene optrådte skaderne i vingen og i underkanten af stenen. Tagstenenes form har også betydning for vandindholdets variation over tværsnittet, idet det viste sig, at det største vandindhold fandtes i løbet, hvor det ved tøbrud kunne være større end efter 3 døgn vandlagring. Endvidere kunne sten, der i 2 timer overrisledes i løbet, være helt tørre i vingen.

Tagets konstruktion og orientering, klima

B. Butterworth, A. J. Rijken og W. Schnell nævner, at frostfastheden bl. a. afhænger af de ydre betingelser (atmosfæriske forhold, vejret) tagets konstruktion, hældning og beliggenhed. Det samme gør K. Bergmann, som ved forsøg med de under afsnittet »Stenens udformning« omtalte tage fandt, at antallet af frysepunktpassager var betydeligt større i teglstenene end i luften (10 imod 3). Man kan altså ikke bedømme en tagstens påvirkning ved blot at følge lufttemperaturen. O. Graf & K. Walz nævner, at de praktiske påvirkninger, som en tagsten udsættes for, hidrører fra variationer i frysehastighed og temperatur og fra frysepunktpassager. Temperaturmålinger 3 gange i døgnet giver indtryk af færre passager end målinger hver time. Til gengæld findes udsvingene fra positive til negative temperaturer små, og det skønnes at målingerne 3 gange i døgnet netop giver så store udsving, at teglet kan siges at have passeret frysepunktet. Antallet af passager vokser med stedets højde over havet. Kieslinger finder et årligt antal frysepunktpassager på mellem 50 og 100 og angiver luftens afkøling om natten til gennemsnitligt $1/2^{\circ}$ pr. time. Det antal frysepunktpassager, en teglsten i praksis er udsat for, afhænger af klimaet, af konstruktionens art og af beliggenhed i forhold til opvarmede rum. Tagtegl viser hyppigst skader på sydvendte, solbeskinnede flader. F. Geiger skriver, at teglsten i praksis er udsat for stadige temperatursvingninger, som er farlige, såfremt stenene ikke er ensartet opvarmet eller afkølet og ensartet vandfyldt. H. F. Schmidt nævner betydningen af de lokale meteorologiske forhold, som stenen er underkastet. H. Dührkop refererer en stor undersøgelse, hvor det fandtes, at 96 af 100 skadede tage lå på lave huse, nemlig 69 på huse med 1 etage og 27 på huse med 2 etager. 51 af 100 skadede tage lå på huse med længderetning øst-vest, og af disse havde 49 flest skader på nordsiden. 49 af 100 skadede tage havde ingen ventilation i tagrummet. H. Kreüger skriver, at klimaundersøgelser viser, at kystegnene giver bygningerne de hårdeste påvirkninger: han nævner, at vandoptagelsen i praksis efter regn er den samme, som opnås efter 4 døgn vandlagring i laboratorium. H. Roth understreger, at de nederste sten på et tag er mest våde og mest skadede i praksis. På et »praktisk« tag i laboratoriet blev vandmængden i øverste række sten ved 72 timers »regn« målt til 95 % af nederste

rækkes. Sættes antallet af frysninger før 1' skade til 100 for øverste række, var det 75 for nederste. Hvis fordampningen hindredes, ved at stenene dækkedes med gummisvampe, var antallet af frysninger før 1' skade 52, når det var 100 uden dækning med svampe.

Underafkøling

De forskellige forskere er enige om, at dette emne er for lidt udforsket og anbefaler et nøjere studium heraf. *E. Pfeil* skriver, at salt i havluft underafkøler denne og kan give anledning til pludselige frysninger, hvorved isen ikke når at undvige til de grove porer. *A. Dietzel & Weisner-Kieffer* har ved forsøg med selvvalgte lerblandinger, som blev brændt og underkastet fryseforsøg, ikke konstateret nogen underafkøling af vandet ved frostfasthedsprøvningen. *O. Graf & K. Walz* nævner, at frysepunktsænkning på grund af hårrørsvirkning og saltindhold er mulig, men forholdene med hensyn til underafkøling bør undersøges nærmere. De to forskere støttes i denne antagelse af *H. F. Schmidl, Hans Hirsch* og *H. Kreüger*.

W. N. Thomas skriver, at vandets frysning i teglsten sker på følgende måde: Når temperaturen falder, underafkøles stenen, indtil frysningen pludseligt indtræder samtidig med, at temperaturen stiger til 0° C, og der dannes is meget hurtigt. Derved opstår der et tryk på grund af det indespærrede vand. Trykket skaber en vis ligevægt mellem is, vand og damp, som først forrykkes i retning mod isen, når temperaturen igen falder. Når alt vandet er frosset, aftager trykket ved fortsat temperaturfald, fordi isens temperaturudvidelseskoefficient er større end det omgivende materiales. Denne udvikling er godtgjort ved dilatometer- og extensometerforsøg.

III. Foranstaltninger til imødegåelse af manglende frostfasthed

I det foregående er der beskrevet en række mulige årsager til frostskaderne, idet årsagerne — stort set — er omtalt én for én i hver sit afsnit. I det følgende omtales i samme orden en række foranstaltninger til imødegåelse af manglerne.

Mætningsgraden

Der er stort set enighed om, at teglstenenes selv-mætningssevne, S-værdien, skal være så lille som muligt, og iblandinger eller andre forholdsregler, som forårsager en mindre selv-mætningssevne, må derfor antages for gavnlige.

Strukturen

De fleste forskere hævder, at struktur nedsætter stenens frostfasthed i væsentlig grad; i de senere år er det dog blevet påvist, at karakteren af strukturen spiller en rolle for dens skadelighed. I visse tilfælde kan den måske endda være gavnlig, nemlig hvis den ytrer sig som grove, lukkede spalter, hvortil isen kan udvide sig. Det er den fine struktur, som ikke falder i øjnene, der er den farlige, og den kan imødegås ved regulering af lerets kornkurve, bedre homogenisering af leret, strygning med »blødt« ler, forsigtig tørring og brænding samt ved en så strømliniet udformning af tagstenene som muligt.

Frysehastigheden

På dette punkt kan der ikke foretages modforholdsregler ved fabrikationen af tagsten.

Brændingstemperaturen

Frostfastheden forøges, når brændingstemperaturen øges indenfor de grænser, som følger med, at stenene f. eks. skal bevare deres form. Brændingstemperaturen skal derfor være højst mulig og brændingstiden passende lang.

Stenens styrke

Der synes ikke at være givet bevis for noget lovmæssigt sammenhæng mellem en teglmasse frostfasthed og styrke.

Poreforhold

Med henblik på frostfasthed må en tagstens porer hellere være grove end fine, og lag med forskellig porøsitet og porevidde må ikke forekomme.

Lermassens ensartethed

Uensartethed i lermassen virker nedsættende på både styrke og frostfasthed. Leret må derfor homogeniseres bedst muligt, før det formes. Stenstykker, grove teglstykker eller andre grove indlejring er også skadelige, og ved forarbejdningen må sådanne korn altså fjernes eller nedknuses.

Tørring, vakuumbehandling, formgivning

Det er foran nævnt, at skadelig struktur kan modarbejdes ved forsigtig tørring og rigtig formgivning. Vakuumbehandlingens betydning for tagstens frostfasthed er blevet meget diskuteret, og det syntes slået fast, at uheldige erfaringer især knytter sig til anvendelsen på finkornet

ler. Vakuumbehandling af finkornet ler bør derfor ikke igangsættes uden nærmere undersøgelse af virkningen.

Deformationsevnen

Lag med forskellig deformationsevne må undgås, fordi de kan forårsage skadelige spændingsforskelle mellem lagene og deraf følgende revnedannelser.

Stenens form

Det er foran nævnt, at skadelig struktur kan imødegås, dersom stenene udformes således, at skarpe kanter undgås, og lerets muligheder for at »flyde« bliver begunstiget. Undgåelse af højdeforskelle i stenenes synsflade, således at sne ligger lige længe på hele tagstenen, kan regnes at give mere ensartet påvirkning ved frysepunktpassagerne og derfor mindre fare for frostskader.

Tagets konstruktion og orientering, klima

Ved tagets konstruktion kan man mindske faren for frostsprængninger ved at gøre tagfladen så stejl som muligt og ventilere tagrummet så godt som muligt. Særlig omhyggelig må man være med at sørge for udluftningsmuligheder for de nederste rækker tagsten, der i udnyttede tagetager ligger ud for skunkrummet. De nederste rækker tagsten er de mest våde og derfor de mest udsatte. Understrykningsmørtlen må ikke være så stærk, at tagstenene danner en sammenhængende plade, da der derved kan opstå farlige spændinger, når tagstenene udvider sig og trækker sig sammen ved temperaturvariationer.

Jo større regnmængderne og antallet af frysepunktpassager pr. vinter er, desto vigtigere er det at udforme taget rigtigt.

IV. Prøvningsmetoder til bedømmelse af tegls frostfasthed

Prøvning ved frysning i frysebox er den almindeligt anvendte metode, og pålideligheden af denne metodes resultater kan kun bedømmes ved sammenligning med erfaringerne fra praksis. Alle nyere metoders større eller mindre velegnethed afgøres ved sammenligning af disses resultater med resultaterne fra frysebox og praksis. Ved frysning i frysebox skal teglet i så høj grad, som det er muligt, udsættes for de samme påvirkninger, som optræder i praksis. Helt at opnå dette er umuligt, og alene

fastsættelsen af de betingelser, under hvilke frysningerne skal foretages, byder på store vanskeligheder. Dette fremgår da også tydeligt af afvigelserne mellem de forskellige landes normer. Afvigelserne omfatter bl. a. fryse- og optøningstemperaturen, fryse- og optøningsperiodens længde, optøningsmediet (luft eller vand), frysehastigheden, fryseboxens fyldningsgrad, teglets vandmætningsgrad, antal frysninger og optøninger, fordampningsmulighederne under frysningen, prøvens placering i fryseboxen, dennes konstruktion og sidst, men ikke mindst, bedømmelsen af resultaterne. Nogle forskere afgør frostfastheden ved synsbedømmelse, andre ved bestemmelse af det væggtab, teglet lider under frysningen.

Af foranstående ses det tydeligt, at en normering af fryseforsøgene i frysebox vil være af stor værdi, idet man da direkte vil kunne sammenligne resultaterne fra et laboratorium med resultaterne fra et andet. Normeringen skal omfatte både forsøgsbetingelserne og bedømmelsen af resultaterne. Et normeringsforslag udarbejdet af *Fédération Européenne des Fabricants de Tuiles et de Briques* i 1956 er under prøvning i en lang række vesteuropæiske laboratorier. Selv om en normering af fryseprøvningen laboratorierne imellem — ja helst landene imellem — blev gennemført, hvilket ville være et stort fremskridt for forskningen, ses det dog af det foranstående, at en sådan prøvningsmetode aldrig vil blive fuldt ud tilfredsstillende, fordi stenenes påvirkning fra vejrliget ikke kan efterlignes generelt. Forsøg i denne retning med opbygning af et »prøvetag« i et rum, hvor taget kunne udsættes ikke alene for frost, men også for regn, sol, blæst, forskellig temperatur udvendig og indvendig o.s.v. har været gjort, men støder på meget store praktiske hindringer.

Flere forskere har valgt at anbringe de tagsten, de ville undersøge, i et eksisterende tag og holde dem under observation dér i den fornødne tid, men denne prøvningsmetode er for langvarig, og andre har derfor foretrukket at anbringe tagstenene halvt nedgravet, således at den opragende del kunne suge vand til sig fra den del, der stak ned i jorden. Derved ville den del af tagstenene, der befinder sig lige over jordskorpen, blive særligt udsat for frostspræng-

ninger. Dette viser sig også at være tilfældet, men alligevel bliver også denne metode for langvarig.

Det har også været forsøgt at bedømme tagstens frostfasthed ved indirekte prøvningsmetoder af forskellig art. Ved disse har selvmætningsevnen spillet en dominerende rolle, mens det nu må regnes for erkendt, at selvmætningsevnen kun er én af de faktorer, der er afgørende for frostfastheden, altså ikke den eneste.

Blandt de indirekte metoder må også nævnes krystallisationsmetoden, efter hvilken man mætter stenene med et salt, som enten ved dannelsen eller senere — ved optagelse af krystalvand — udvider sig kraftigt og derfor virker sprængende. Kræfternes opståen og virkemåde kan dog ikke ganske

sammenlignes med, hvad der sker ved porevands omdannelse til is, og metoden er derfor ikke meget anvendt.

En prøvningsmetode, som stadigt forfølges, går ud på at måle teglets rumfangsændringer under afkøling fra stuetemperatur til en temperatur passende langt under frysepunktet. Frostfaste og ikke frostfaste tagsten synes at deformere sig afgørende forskelligt under afkølingen, og metoden, som vel ligger på grænsen mellem direkte og indirekte prøvningsmetoder, bør derfor undersøges nærmere. Af indirekte metoder, som er bragt i anvendelse, bør yderligere nævnes konstatering af elasticitetsændringer, mikroskopering, porediamettermåling, klanganalyser og måling af lyd-dæmpningsevnsens ændring.

SBI anvisninger

er byggeforskningens resultater i praktisk form til brug ved projektering og byggeri. Fortegnelsen omfatter kun anvisninger, der endnu ikke er udsolgt.

- 5: *Bedre varmeisolering er billigere*. 1950. 47 p. A₄. Kr. 3,-.
- 6: *Fugt i nye huse*. Plakat til ophængning. 1949. 9. udg. 1958. A₄. Kr. 5,- pr. 100 expl.
- 7: *Fugt og isolering*, Poul Becher og Vagn Korsgaard. 1951. 2. udgave 1957. 111 p. A₃. Kr. 8,-.
- 8: *Brug og valg af betonblandere*, Niels H. Krarup og K. Malmstedt-Andersen. 1951. 66 p. A₅. Kr. 3,-.
- 10: *Kunstig belysning på byggepladser*, Jens Thorsen og Mogens Voltelen. 1951. 2. udg. 1953. 20 p. A₃. Kr. 2,-.
- 11: *Omsætningsmål for trædimensioner*. 1951. 1 p. A₄. (Udsolgt). Udsendt 1957 som DS 1002: Normaldimensioner på høvlet fyrretræ.
- 12: *Valg af dæk*, Fleming Nielsen. 1952. 48 p. A₅. Kr. 2,-.
- 13: *Byggeprisens bestanddele beregnet ved et 3-etagers boligbyggeri i provinsen i april 1951*. 1952. 4. udgave 1957. 28 p. A₅. Kr. 2,-.
- 15: *Dækforme i boligbyggeri*. 1955. 62 p. A₅. Kr. 3,-.
- 16: *Mekaniseret håndværktøj på byggepladsen*, Fleming Nielsen. 1955. 48 p. A₅. Kr. 4,-.
- 17: *Betonstøbning om vinteren*, Poul Nerenst, Erik Rastrup og Gunnar M. Idorn. 1953. 108 p. A₅. Kr. 8,-.
- 20: *Undgå fugt*. Folder til ophængning. 1954. 3 p. A₈. 1 stk. : kr. 0,40. 100 stk. : kr. 25,-.
- 21: *Hvilket dæk?* Folder til ophængning. 1954. 20 p. A₅. Kr. 2,50.
- 22: *Normalvinduer af træ*, Poul Kjærgaard. 1955. 128 p. A₄. 6 stk. tillæg A₄. Pris incl. 6 tillæg : kr. 28,-. Med 1 tillæg : kr. 22,-. Tillæg pr. stk. kr. 1,50. 4 tillæg er 1958 udsolgt og udsendt som Dansk standard. B 3. 0: DS 1006, B 4. 0: DS 1007, B 4. 9: DS 1008, D 2. 0: DS 1009.
- 23: *Vinterbyggeri*. Folder til ophængning. 1953. 16 p. A₅. 1 stk. : kr. 1,-. 100 stk. : kr. 50,-.
- 24: *Udarbejdelse af instruks for varmemestre*, Poul Becher og Frederik Olsen. 1953. 16 p. A₅. 1 stk. : kr. 2,-. 50 stk. : kr. 50,-.
- 25: *Simpelt regnskabsystem for murermestre*, Fleming Nielsen. 1954. 2. udgave 1956. 24 p. A₅. Pris incl. prøvesæt af formularer i samlemappe kr. 5,-. Blokke med regnskabsblade til for- og efterkalkulation kan købes særskilt.
- 26: *Plan over byggepladsen*. 1956. 30 p. A₅. Kr. 4,-.
- 27: *Vejledning i betonkontrol*. 1956. 122 p. A₅. Kr. 12,-.
- 28: *Bygningsfundering*, ved Geoteknisk Institut. 1955. 82 p. A₅. Kr. 4,-.
- 29: *SBI betonberegner*, Poul Nerenst og Johannes Landbo. 1955. Plasticskyder med tilhørende vejledning. A₈ og A₅. Kr. 4,-.
- 30: *Bestagelister til normalvinduer af træ*, Klaus Blach og Johannes Brixen. 1956. 28 p. A₅. Kr. 4,-.
- 31: *Møbleringsplaner*, ved »Bygebogen«. 1956. 2. udg. 1958. 24 p. A₅, med indlagte fortegninger i mål 1 : 100, 4 ark A₅. Kr. 4,-. Fortegninger i mål 1 : 50, 4 ark A₃, kan købes særskilt for kr. 4,- pr. sæt.
- 32: *Tårnkraner ved traditionelt boligbyggeri*, John Brøndum Hillers. 1956. 78 p. A₅. Kr. 4,-.
- 33: *Luftindblandet beton*, Erik V. Meyer. 1955. 32 p. A₅. Kr. 2,50.
- 34: *Byggeriets modul-ABC*, SBI's modulkomite ved Edvard Heiberg. 1957. 24 p. A₅. Kr. 4,-.
- 35: *Teglprodukter*. 1956. 105 p. A₅. Kr. 8,-.
- 36: *Rudestørrelser*, Klaus Blach, Preben Ankerstjerne og Johannes Brixen. Folder til ophængning. 1956. 14 p. A₅. Kr. 4,-.
- 37: *Udvendig puds på letbeton*. Folder. 1957. 8 p. A₅. Gratis.
- 38: *Oversigtstidsplanen og skitsetidsplanen ved traditionelt etagebyggeri*. 1957. 16 p. A₅. Kr. 4,-. 20 stk. skemablade og datostokke, format A₃, kan købes særskilt for kr. 4,-.
- 39: *Byggefejl*, billedsamling ved Børge T. Lorentzen. 1957. 20 blade i samlemappe. A₅. Kr. 4,-.
- 40: *Gulve direkte på jord*, Poul Becher og Harry W. Petersen. 1958. 20 p. A₅. Kr. 4,-.

Alle instituttets publikationer kan købes gennem boghandlerne eller hos Teknisk Forlag, Vester Farimagsgade 31, København V. BY. 9288.

TEGN ET SBI-ABONNEMENT for 24,- kr. om året.

De får da hvert år tilsendt alle ny SBI-anvisninger og andre udvalgte SBI-publikationer til en samlet bogladepris af mindst 32,- kr. og De bliver holdt orienteret om alt, hvad SBI udsender.

Ring til TEKNISK FORLAG BY. 9288 og bestil et SBI-abonnement.

SBI rapporter

er beretninger om selvstændige forskningsarbejder, som udføres for eller af instituttet, referater af byggetekniske møder afholdt af instituttet. m. m. Fortegnelsen omfatter kun rapporter, der endnu ikke er udsolgt.

- 1: Økonomisk varmeisolering (*Economical Heat Insulation*), Poul Becher. 1949. 2. udgave 1950. 61 p. A₄. Kr. 7,-.
- 11: Mørteltilsætningsstoffer til brug ved vinterbyggeri (*Mortar Admixtures for Winter Construction*), Henry Dührkop. 1953. 40 p. A₄. Kr. 3,-.
- 12: Luftlyd i beboelsejendomme (*Airborne Sound in Dwellings*), Fritz Ingerslev og Jørgen Petersen. 1954. 40 p. A₄. Kr. 7,-.
- 13: Byggetiden ved 10 eenfamiliehuse (*The Construction Time of 10 Single-family Houses*). 1956. 53 p. A₄. Kr. 12,-.
- 14: Prøvning af tre kontinuerlige betonblandere (*Testing of Three Continuous Concrete Mixers*). Per Brødsdorff, Johannes Landbo, Paul Nerenst og Niels Munk Plum. 1956. 146 p. A₄. Kr. 16,-.
- 15: Trægitterspærter til parcel- og rækkehusbyggeri. 1956. 37 p. A. Kr. 8,-.
- 16: Nyere etageboligplaner. Plantypekatalog og forslag til planvurdering (*Contemporary Plans of Flats. A Catalogue of Plans, with Suggested Criteria for Comparative Evaluation*), Aage Dalgas Rasmussen og Finn Vedel-Petersen. 1956. 92 p. A₄. Kr. 28,-.
- 17: Projekterede spisepladser i etageboliger, Grethe Meyer. 1956. 126 p. A₄. Kr. 24,-.
- 18: Økonomisk rørsisolering (*Economic Pipe Isulation*), Poul Becher og Kristian Engelsen. 1957. 93 p. A₄. Kr. 12,-.
- 19: Problemer vedrørende installation og drift af oliefyrringsanlæg, Otto Juul Jørgensen og Frederik Olsen. 1957. 42 p. A₄. Kr. 12,-.
- 20: El-installationer i boligbyggeri, H. Justesen. 1957. 26 p. A₄. Kr. 8,-.
- 21: Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri, B. J. Rambøll. 1957. 24 p. A₄. Kr. 8,-.
- 22: Økonomisk rørdimensionering ved centralvarmeanlæg (*Economical Dimensioning of Pipes for Central Heating Systems*), Poul W. Marke. 1957. 82 p. A₄. Kr. 20,-.
- 23: Akustiske problemer i skolebygninger (*Acoustics in School Buildings*), Fritz Ingerslev, Jørgen Petersen og Jørgen Kristensen. 1957. 45 p. A₄. Kr. 12,-.
- 24: Pudsfri beton (*Plaster-free Concrete*), V. Galloe. 1958. 32 p. A₄. Kr. 8,-.
- 25: Korrosionsproblemer i byggeriet, H. H. Arup. 1958. 25 p. A₄. Kr. 8,-.
- 26: Anlægsudgifter ved centraliserede og decentraliserede opvarmingsanlæg (*The Investments at Centralized and Decentralized Hot-water Heating Systems*), Kristian Engelsen. 1958. 36 p. A₄. Kr. 12,-.

SBI studier (serien afsluttet 1956)

er en blandet publikationsrække, der spænder fra litteraturgengivelser og diskussioner til forskningsprogrammer, foreløbige beretninger og lignende. Fortegnelsen omfatter kun studier, der endnu ikke er udsolgt.

- 11: Brandtekniske fejl og mangler i bygninger, H. Hoeg. 1954. 20 p. A₄. Kr. 3,-.
- 12: Fejl ved projektering af centralvarmeanlæg, Poul Becher. 1954. 2. udgave 1955. 38 p. A₄. Kr. 3,-.
- 14: Fejl og mangler i forbindelse med bygningsmaling, Svend Andersen og H. K. Raaschou Nielsen. 1954. 2. udgave 1955. 30 p. A₄. Kr. 3,-.
- 16: Staldventilering - hvordan? Hans R. Junge. 1955. 43 p. A₆. Kr. 2,50.
- 17: Bibliography on Winter Concreting, Poul Nerenst. 1955. 16 p. A₅. Kr. 1,50.
- 18: Nyere betonforme, Knud E. C. Nielsen. 1955. 68 p. A₄. Kr. 4,-.
- 19: Typisering af affaldsskatten, Sven Lindholm. 1956. 49 p. A₄. Kr. 12,-.
- 20: Varmluftopvarmning af småhuse, Niels Didriksen og Vagn Korsgaard. 1955. 3. udgave 1957. 38 p. A₄. Kr. 8,-.
- 21: Fejl og mangler ved teglstensmurværk, Henry Dührkop. 1956. 44 p. A₄. Kr. 12,-.
- 22: Fejl og mangler ved tagdekninger, E. Frimand Klausen. 1955. 38 p. A₄. Kr. 5,-.
- 23: Røg fra centralvarmeskorstene. 1956. 30 p. A₄. Kr. 8,-.
- 24: Problemer ved byggepladsledelse, Bent Gregersen. 1956. 19 p. A₄. Kr. 4,-.

PRIS KR. 16,— (incl. bilag)