LUND UNIVERSITY

Puts- och ytskiktsproblem : vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet

Sandin, Kenneth

1983

Link to publication

Citation for published version (APA):
Sandin, K. (1983). *Puts- och ytskiktsproblem : vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet*. (Rapport TVBM; Vol. 3013). Avd Byggnadsmaterial, Lunds tekniska högskola.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

AVDELNINGEN FÖR BYGGNADSMATERIALLÄRA
TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
DIVISION OF BUILDING MATERIALS
LUND INSTITUTE OF TECHNOLOGY

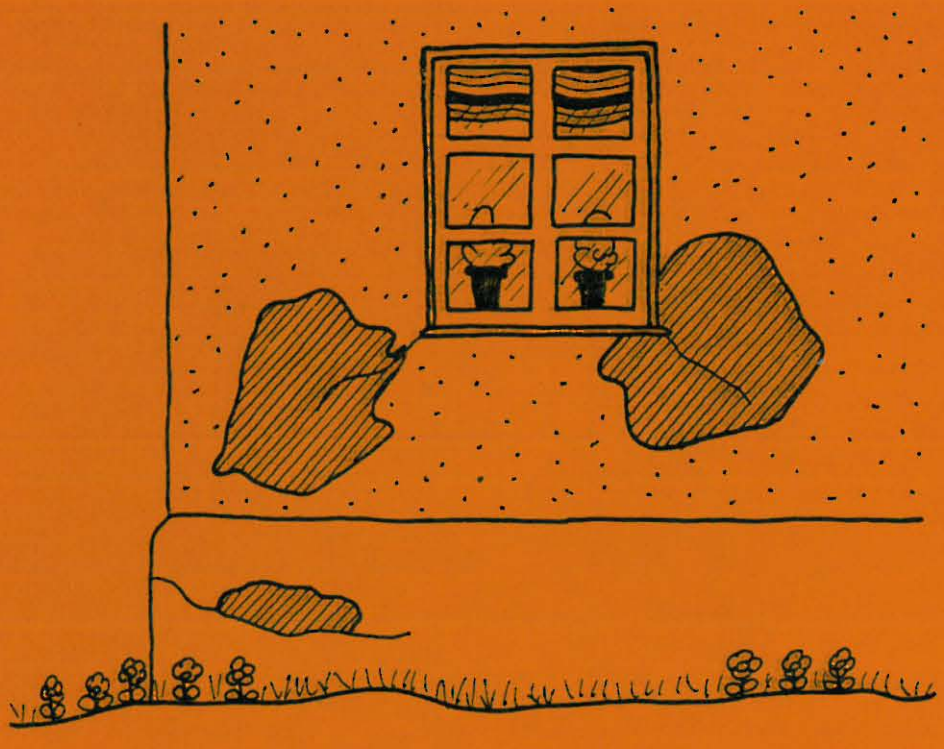
PUTS- OCH YTSKIKTSPROBLEM

vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet

RENDERINGS AND SURFACE COATINGS

knowledge, hypothesis and practical experience

KENNETH SANDIN



RAPPORT TVBM-3013
LUND Sweden 1983

CODEN: LUTVDG/(TVBM-3013)/1-113/(1983)

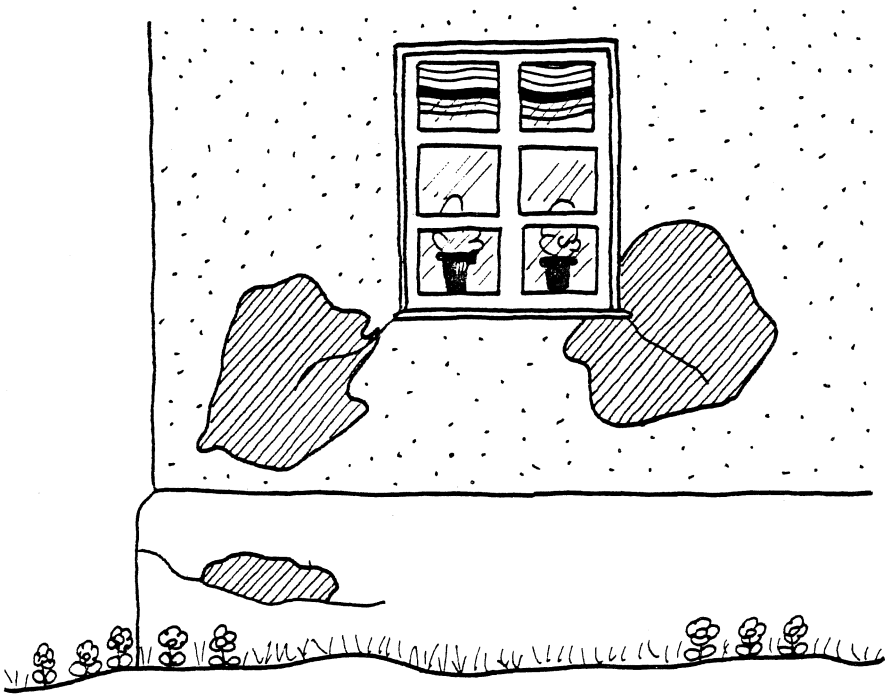
PUTS- OCH YTSKIKTSPROBLEM

vetenskap, hypoteser och praktisk erfarenhet

RENDERINGS AND SURFACE COATINGS

knowledge, hypothesis and practical experience

KENNETH SANDIN



ISSN 0348-7911

RAPPORT TVBM-3013
LUND Sweden 1983

INNEHÅLL

	FÖRORD	2
	SAMMANFATTNING	3
	SUMMARY	4
1	INLEDNING	5
2	PUTSKUNNANDETS NUVARANDE STÅNDPUNKT	7
2.1	Erfarenhet - vetenskap - hypotes	7
2.2	Krav på puts/ytskikt	9
2.3	Problemkomplex	10
2.3.1	Allmänt	10
2.3.2	Vattenavvisande ytbehandling	11
2.3.3	Nedbrytning på grund av luftföroreningar	16
2.3.4	Provning och redovisning av materialegenskaper	23
3	ANALYS AV VISSA TEKNISKA FRÅGOR	27
3.1	Allmänt	27
3.2	Frostsprängning	28
3.2.1	Allmänt	28
3.2.2	Frysmekanismer	29
3.2.3	Provningsmetoder	31
3.2.4	Sammanfattande diskussion	35
3.3	Saltangrepp	38
3.3.1	Allmänt	38
3.3.2	Vanliga salter	38
3.3.3	Fuktkällor och fukttransport	39
3.3.4	Saltskademekanismer	42
3.3.5	Provningsmetoder	43
3.3.6	Sammanfattande diskussion	44
3.4	Vidhäftning	48
3.4.1	Allmänt	48
3.4.2	Påfrestningar på vidhäftningszonen	48
3.4.3	Faktorer som påverkar vidhäftningen	50
3.4.4	Provningsmetoder	54
3.4.5	Sammanfattande diskussion	55
3.5	Rörelser - sprickbildning	57
3.5.1	Allmänt	57
3.5.2	Påkänningar i putsen/ytskiktet	58
3.5.3	Generell teoretisk diskussion	65
3.5.4	Spänningar i puts/ytskikt och underlag	69
3.5.5	Spricköverbryggande förmåga hos ytskikt	79
3.5.6	Väsentliga materialdata	84
3.5.7	Sammanfattande diskussion	96
3.6	Åldring - nedbrytning	99
3.6.1	Allmänt	99
3.6.2	Inverkande faktorer och mekanismer	99
3.6.3	Ändring av materialegenskaper	101
3.7	Diverse utseendefel	105
	LITTERATUR	108

FÖRORD

Vid Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola genomfördes 1975-80 ett forskningsprojekt rörande putsens inverkan på fasadens fuktbalans. Under arbetets gång framkom önskemål om en allmän behandling av hela putsproblematiken. BFR beviljade anslag för att göra detta och föreliggande rapport är en del av slutredovisningen av detta projekt (BFR-anslag 800118-5). Förutom föreliggande rapport består slutredovisningen av en mer praktiskt inriktad behandling av putser och ytskikt, Sandin (1983).

Till projektet har en referensgrupp varit knuten. Under första tiden ingick Arne Hillerborg, Lars-Erik Nevander, Sven Persson, Vitold Saretok och Lars-Erik Wargsjö i denna grupp. Senare utökades gruppen med Olof Andersson och Ingmar Holmström. Referensgruppen har varit till stor hjälp vid uppläggning och genomförande av projektet.

För utskrift och figurritning har Marita Karlsson och Britt Andersson svarat.

Till ovanstående och till många andra, både personal vid LTH och utomstående, framför jag mitt varma tack.

Lund i mars 1983

Kenneth Sandin

SAMMANFATTNING

Dagens putskunnande grundar sig till stor del på praktisk erfarenhet. Denna praktiska erfarenhet kan dock skilja i mycket hög grad mellan olika personer. Företrädare för en viss åsikt pekar ofta på faktorer som är till fördel för honom, men glömmer lätt faktorer som pekar åt motsatt håll. Att i sak bevisa eller motvisa inlägg i putsdebatten är ofta mycket svårt. De strikt vetenskapliga kunskaperna är helt enkelt för bristfälliga.

Föreliggande rapport är ett försök att ge en allsidig belysning av ett antal tekniska frågeställningar. En grundläggande tanke har varit att ange vad man vet respektive inte vet. Härvid redovisas praktisk erfarenhet, hypoteser och vetenskapligt verifierade kunskaper. I vissa fall är resonemangen enbart principiella och mycket summariska. I andra fall görs en relativt djupgående teoretisk analys.

De tekniska problemområden som behandlas är frostsprängning, saltangrepp, vidhäftning, rörelser - sprickbildning samt åldring - nedbrytning. Olika mekanismer, materialegenskaper och provningsmetoder som är aktuella för de olika problemområdena redovisas och kommenteras.

I rapporten finns även några avsnitt med kortfattade resonemang kring några större ofta diskuterade problemkomplex. De områden som diskuteras är vattenavvisande ytbehandling, nedbrytning på grund av luftföroreningar samt redovisning av materialegenskaper.

SUMMARY

Knowledge regarding renderings is mainly based on practical experience. This experience may differ considerably from person to person. This means that there are many different opinions concerning renderings and surface coatings. These opinions are often based on some personal aspects. All the aspects, which may be of importance, are seldom considered.

This report is an attempt to illuminate some of the technical questions. The main idea has been to state what we know and what we don't know. Practical experience, hypothesis and verified knowledge are described. In some cases the discussions are treated primarily whereas in other cases detailed studies are carried out.

Technical questions treated are frost- and saltaction, bond, movements-crackformation, and ageing-deterioration. Different mechanisms, material properties and testing methods are described.

In the report there are also some chapters containing brief discussions about some principle questions. These questions concern water repellant treatments, the effect of air-pollution and information about material properties.

1 INLEDNING

Fasadputs har funnits under mycket lång tid och de praktiska erfarenheterna är omfattande. Periodvis har det dock förekommit misslyckanden i putssammanhang, liksom i de flesta andra sammanhang. Dessa misslyckanden har ibland dramatiserats och medfört att förtroendet för putsade fasader blivit dåligt. Detta gäller både traditionella tjockputser och den senare tidens organiska tunnputser och färger.

Dagens kunskaper inom putsbranschen grundar sig främst på praktiska erfarenheter. De strikt vetenskapliga kunskaperna är däremot i många avseenden bristfälliga. Med tanke på framtida utveckling av nya material och metoder är det i högsta grad angeläget att den vetenskapliga kunskapsnivån höjs. Görs inte detta riskerar man återigen att begå misstag när nya material och metoder introduceras. En högre vetenskaplig kunskapsnivå kanske även kan bidra till att putsningsförfarandet kan förenklas.

Bristen på enhetliga och vetenskapliga kriterier på en fasadbehandling är ibland mycket besvärande för putsbranschen. Olika puts- och ytskiktstillverkare framhåller ofta de goda egenskaperna hos sina egna produkter men glömmer lätt de negativa sidorna. En av anledningarna till detta är att det i allmänhet inte finns några entydiga krav på ytskiktsbehandlingar i olika situationer. Att det inte finns sådana krav beror i sin tur på att man inte siffermässigt kan kvantifiera önskvärda egenskaper. Till viss del är det även oklart vilka egenskaper som är väsentliga!

Vid diskussioner med företrädare för materialtillverkare, entreprenörer, fastighetsförvaltare och forskare har ovanstående framkommit gång efter gång. Alla är överens om att något måste göras. Vid diskussionerna framkom vidare att en lämplig början skulle vara en systematisering av "dagens putskunnande".

Det visade sig snart att en sådan systematisering inte gick att göra helt objektivt, så att alla olika intresseriktningar var nöjda. En viss subjektiv värdering av olika frågor var oundviklig. Detta gällde främst bedömningen av vilka problemområden som skulle behandlas, i rapporten förekommande "råd och tips" samt avgörandet om förekommande uppfattningar är vetenskapligt bevisad kunskap, hypotes eller allmänt tyckande.

Föreliggande rapport är resultatet av ett försök att systematisera dagens putskunnande. Syftet med rapporten är att peka på och diskutera de van-

ligaste problemområdena inom putsbranschen. I en del fall är lösningen mycket enkel och redovisas i form av korta råd och anvisningar. I andra fall är lösningen på problemen inte entydig utan olika uppfattningar står mot varandra. I sådana fall redovisas och diskuteras olika argument för olika lösningar.

Rapporten skall inte uppfattas som en putshandbok, utan närmare som en sammanställning av kunskapsnivåer, hypoteser och uppfattningar i samband med olika problem. Vid behandlingen av olika problemområden anges även om möjligt vilka materialegenskaper som är väsentliga. I den mån dessa egenskaper är kända redovisas de direkt eller genom hänvisning till annan litteratur.

Nomenklaturen i putssammanhang är i vissa fall något svävande. Ibland används ett visst uttryck för olika saker. För att eliminera risken för missförstånd, definieras här vissa i rapporten förekommande begrepp:

Ytbehandling: (Fasadbehandling)	Generellt begrepp för en behandling i skyddande och/eller förskönande syfte (putsning, målning, impregnering).
Puts:	Generellt begrepp för en fasadbehandling som ger ett heltäckande skikt med minst 0.5 mm tjocklek. Kan avse både enskilt skikt och ett helt system.
Ytskikt:	Generellt begrepp för det yttersta skiktet i en fasadbehandling (färg, ytputs, slutputs).
Impregnering:	Behandling av fasadytan med ett preparat som tränger in i materialet och inte bildar något synligt skikt på ytan.
Tjockputs:	Puts med oorganiskt bindemedel och en totaltjocklek större än 8 mm.
Tunnputs:	Puts med en tjocklek 0.5-4 mm.
Slamning:	En tunnputs som kvastats ut. Underlagets struktur syns, t ex fogindelning.
Underlag:	Det material på vilket en puts, ett ytskikt eller en impregnering appliceras. (För ett ytskikt kan alltså putsen vara ett underlag).

2 PUTSKUNNANDETS NUVARANDE STÅNDPUNKT

2.1 Erfarenhet - vetenskap - hypotes

Dagens putskunnande grundar sig till stor del på praktisk erfarenhet. Några exakta vetenskapliga "dimensioneringsregler" finns inte. Från den praktiska erfarenheten har det framkommit olika hypoteser, som i vissa fall accepterats såsom varande vetenskapligt bevisade fakta utan att vara det. De laboratorieundersökningar som finns publicerade är ofta av jämförande karaktär eller avser vissa avgränsade områden.

Den mest omfattande svenska publikationen som behandlar putskunnandet är "Bruk-murning-putsning", författad av Dührkop, Saretok, Sneck och Svendsen (1966). I denna bok ges det samlade nordiska putskunnandet i form av praktiska erfarenheter, slutsatser från olika undersökningar och materialdata i den mån dessa fanns tillgängliga. Boken kan användas både som läro- och uppslagsbok. Kapitlet om puts i HusAMA 72 bygger till stor del på denna bok.

Ett annat omfattande arbete rörande puts och putsning är Saretok (1957). I denna bok, som är en litteraturinventering, sammanfattas och diskuteras en mängd olika rent tekniska frågor i samband med puts.

En tredje omfattande publikation rörande putserfarenheter är Svendsen (1954). Denna bok är anpassad till norska förhållanden och redovisar både praktiska erfarenheter och en mängd resultat från laboratorieundersökningar.

Specialfallet puts på lättbetong behandlas i Granholm (1956).

Ett annat större specialarbete är Hindersson (1958). Här redovisas ett stort antal provningar av bland annat hållfasthet hos kalk- och kalkcementbruk. Inverkan av olika faktorer studeras grundligt.

Puts- och murbrukslaboratoriet publicerade 1956-64 ett antal putsundersökningar. Som exempel kan nämnas Högberg (1956), Högberg (1958a), Högberg (1958 b), Högberg (1961) samt Högberg & Hedelin (1964).

I Sandin (1980b) detaljstuderas putsens inverkan på fasadens fuktbalans. I denna rapport betonas sambandet mellan egenskaperna hos puts och underlag.

Skador och reparationsåtgärder i samband med tjockputser behandlas utförligt i Svendsen (1961), Svendsen (1966) och Saretok (1976).

Ovan redovisade publikationer är till stor del inriktade på tjocka oorganiska putser. Till en viss del ingår även tunna ytskikt i form av färger och tunnputser. Någon mer omfattande svensk publikation rörande tunna ytskikt på mineraliska underlag finns inte. Specialfallet med kalkfärg redovisas i "Kalkfärg på fasad" (1979), där bland annat arbetsanvisningar ges. Specialfallet målning på betong har studerats utförligt vid Nordiska institutet för Färgforskning i Köpenhamn och publicerats i ett antal skrifter av Bengt Lindberg.

I Tyskland har på senare tid publicerats ett flertal böcker som behandlar tunna ytskikt på mineraliska fasader. Som exempel kan nämnas Klopfer (1976), Honold (1979) och Brasholz (1981).

Den ovan redovisade litteraturen kan tyckas vara omfattande och heltäckande. Med avseende på de praktiska erfarenheterna och arbetsanvisningar vid nyproduktion är detta riktigt. Den rent vetenskapliga behandlingen av putsproblematiken (studium av olika mekanismer och dimensioneringskriterier) lyser dock med sin frånvaro i litteraturen. Denna brist har på senare tid visat sig alltmer, i takt med att renoveringar av äldre putsfasader har ökat. Kunskaperna finns för att putsa på gammalt välkänt sätt. När nya material och metoder introduceras blir dock osäkerheten stor. Som exempel kan nämnas användandet av organiska tunnputser, vilket i början medförde en hel del misslyckanden. Efterhand fick man praktiska erfarenheter av den nya situationen och idag är misstagen mindre. De misstag som förekommer idag beror till stor del på att man inte bryr sig om tidigare vunnen erfarenhet. Ett idag aktuellt frågetecken är putsning på högisolerade ytterväggar, vilket en del anser vara tveksamt. Några mer omfattande vetenskapliga kunskaper om olika mekanismer finns inte. Med utgångspunkt från olika misslyckanden har en mängd hypoteser lanserats om hur man skall undvika misslyckanden. Följer man dessa ökar möjligheterna för ett gott resultat. Någon garanti för att slippa misslyckanden är de dock inte. Vidare finns risken att man satsar för mycket på att uppfylla "kraven" enligt en viss hypotes, med följd att man får andra problem. En annan konsekvens av bristen på mer exakta dimensioneringskriterier är att man frestas att välja en fasadbehandling som är "helt säker" med åtföljande fördyring som följd.

Osäkerheterna och olika hypoteser vid renovering av äldre fasader diskuteras ytterligare i Holmström (1975) och Sandin (1980a).

2.2 Krav på puts/ytskikt

Kraven på en puts eller ytskiktsbehandling kan beskrivas på många sätt. För en beställare kanske kraven är att putsen skall vara estetiskt tilltalande och hållbar samtidigt som kostnaden skall vara så liten som möjligt. En annan beställare vill kanske av kulturhistoriska skäl ha en viss putstyp. Många gånger kan olika krav, till exempel estetiska, tekniska, kulturhistoriska och ekonomiska, vara motstridiga.

En väsentlig fråga när man diskuterar olika krav är frågan om en rimlig kravnivå. Denna fråga är starkt beroende av sättet att uttrycka kraven. I vissa fall kan man enkelt ange kraven i siffror, vilket gör det lätt att fastställa en kravnivå. I de flesta fall är det däremot svårt att ange några relevanta numeriska krav, varför man blir nödsakad att använda generella uttalanden. Som exempel på det senare kan nämnas att en puts skall vara "ånggenomsläpplig", "svagare än underlaget", "töjbar" och "beständig".

I HusAMA 72 anges vissa generella krav på delmaterial till bruk, handhavande av bruk, putsningsarbetet och den färdiga putsen. Den färdiga putsen skall enligt HusAMA 72 ha god vidhäftning, ensartad ytstruktur och vara fri från störande eller tekniskt skadliga sprickor. Putsen skall vidare vara fri från störande utblomstringar och ojämnheter i kulör. För utomhusputs gäller även att den skall vara frostbeständig. För att underlätta valet av puts i olika situationer anges i tabeller olika kravnivåer med avseende på planhet, tjocklek, ytjämnhet, ythållfasthet och täthet.

I vissa fall ställs även speciella krav, till exempel med avseende på densitet, värmeisolering och brandskydd.

De påfrestningar en puts utsätts för och olika funktionskrav behandlas utförligt av Saretok (1982) och Malmquist (1974). Funktionskraven är ofta självklara (putsen skall helt enkelt fungera på avsett sätt). Väsentligt svårare är det att fastställa vilka egenskaper putsen skall ha, för att uppfylla kraven. Detta diskuteras i detalj för vissa funktionskrav i kapitel 3.

2.3 Problemkomplex

2.3.1 Allmänt

Valet av fasadbehandling påverkas av en mängd olika faktorer och krav. Många gånger går det inte att uppfylla alla krav utan det slutliga valet får bli en kompromiss. Hur skall man då välja fasadbehandling och vem skall göra valet? Att enbart ge i uppdrag åt en konsult eller entreprenör att välja fasadbehandling är troligen inte alltid den bästa lösningen för en fastighetsägare. En konsult kan däremot hjälpa till vid valet. Konsultens uppgift bör vara att ta reda på fastighetsägarens krav och önskemål, ange olika faktorer som påverkar valet samt redogöra för konsekvenserna av olika tänkbara fasadbehandlingsalternativ. Det slutliga valet bör dock fastighetsägaren göra själv.

Som exempel på krav, som ibland är motstridiga, kan nämnas de rent tekniska och de estetiska/kulturhistoriska kraven. Vid en tilltänkt tilläggsisolering av ett gammalt putsat hus, är det kanske ur teknisk synvinkel bäst med en utvändig tilläggsisolering. Med hänsyn till kulturhistoriska/estetiska krav kanske man trots detta måste välja en invändig tilläggsisolering eller ingen isolering alls. Andra motstridiga krav kan vara kostnad och kvalitet. God kvalitet betyder i allmänhet en större kostnad. Är fastighetsägaren beredd att vidta åtgärder som kostar lite extra för att få ett "säkrare alternativ" eller vill han chansa på ett billigare alternativ? Enbart fastighetsägaren själv kan svara på detta!

Förutom att det finns olika motstridiga krav, finns det även olika principiella uppfattningar om lämpliga lösningar på olika problem och om konsekvenserna av olika fasadbehandlingar. En kontroversiell fråga i detta sammanhang är användandet av vattenavvisade ytbehandlingar.

I följande avsnitt diskuteras några problemområden där det delvis rådor olika uppfattningar. Resonemangen är ganska allmänt hållna med en redovisning av olika faktorer som man bör beakta. Den rent tekniska behandlingen av vissa detaljproblem finns i kapitel 3.

2.3.2 Vattenavvisande ytbehandling

Inom fasadbranschen finns det olika uppfattningar huruvida en ytbehandling skall vara vattenavvisande eller inte. Förespråkare för vattenavvisande ytbehandlingar pekar på den torra väggens fördelar. Som exempel på sådana fördelar nämns mindre energiförluster, långsammare nedbrytning och mindre nedsmutsning. Motståndarna till vattenavvisande ytbehandlingar pekar främst på riskerna. Ökad risk för salt- och frostsprängning och ojämn nedsmutsning nämns som exempel.

I motiveringarna för eller emot vattenavvisande ytbehandlingar utgår man delvis från samma problemområde (exempelvis nedsmutsning) och kommer till helt olika slutsatser! Anledningen till detta torde vara att resonemangen inte görs tillräckligt djupgående. Någon ordentlig analys av olika mekanismer görs helt enkelt inte. Gör man detta finner man att båda sidorna har både rätt och fel. Det finns både fördelar och risker med en vattenavvisande ytbehandling. Något generellt ställningstagande för eller emot går inte att göra. I vissa fall kan fördelarna överväga eventuella risker, medan det i andra fall kan vara tvärtom.

I detta avsnitt redovisas först olika principer för vattenavvisning. Därefter diskuteras fördelar och risker. Slutligen redovisas några allmänna synpunkter vid användandet av vattenavvisande ytbehandlingar.

Olika principer för vattenavvisning

Principerna för att förhindra vatteninträngning i en putsad fasad kan indelas i två huvudgrupper. Antingen förser man ytan med en beläggning som inte släpper igenom fukt i vattenfas eller impregnerar man porväggarna så att fasadens sugkraft försvinner. I praktiken förekommer även mellanformer mellan dessa ytterlighetsfall. Även med avseende på den vattenavvisande effekten förekommer olika nivåer så att mer eller mindre vatten tillåts tränga in i väggen.

En vattenavvisande ytbeläggning består i allmänhet av en tunnputs eller färg. Vid sammansättningen av sådana ytbeläggningar strävar man efter att fukt i vattenfas inte skall komma igenom medan däremot fukt i ångfas skall kunna gå igenom i största möjliga utsträckning. Olika i marknaden förekommande ytbeläggningar uppfyller dessa krav mer eller mindre. Någon helt fullkomlig produkt finns emellertid inte.

En vattenavvisande impregnering erhålles genom att porväggarna förses med ett tunt skikt (molekyltjocklek) av något ämne som "stöter bort" vattnet. Detta ämne är i allmänhet en silikonharts. I marknaden finns

en mängd olika produkter med helt olika egenskaper. Impregneringen kan göras olika djupgående i väggen. Som minimidjup anses 5 mm vara rimligt.

Den väsentliga skillnaden mellan impregnering och ytbeläggning är att impregneringen inte täpper till några porer, vilket däremot en ytbeläggning kan göra. En impregnering påverkar alltså inte fukttransporten i ångfas. Med en ytbeläggning sker däremot en viss reduktion av ångtransporten. En annan väsentlig skillnad är att impregneringen tränger in i materialet medan ytbeläggningen enbart finns på ytan.

Argument för och emot vattenavvisande ytbehandling

Att en torr vägg medför lägre energiförbrukning är odiskutabelt. Några generella siffervärden går dock inte att ange. En mängd olika faktorer har härvid stor betydelse. Som exempel kan nämnas väggkonstruktion, geografisk belägenhet och hur pass utsatt för slagregn byggnaden är. I Sandin (1980b) redovisas några teoretiska beräkningar av vissa extrema fall. För att få ett bättre bedömningsunderlag för vilka storleksordningar det kan vara fråga om i praktiken, pågår för närvarande direkta mätningar, vilka beräknas publiceras under 1983.

Långsammare nedbrytning är ett annat argument för att göra fasaden vattenavvisande. De flesta nedbrytningsmekanismer kräver tillgång till vatten och om man då lyckas utestänga vattnet från väggen elimineras dessa skademekanismer, t ex frost- och saltsprängning, urlakning och kemisk nedbrytning. En inte ovanlig uppfattning är å andra sidan att en vattenavvisande yta medför en accelererad nedbrytning. Som förklaring till detta anförs bl a att vatten och salter ansamlas bakom ytbehandlingen (ytbeläggningen eller impregneringen). Denna ansamling medför sedan frost- eller saltsprängning. De båda helt skilda uppfattningarna motiveras med teoretiska resomemang, med laboratorieresultat och med praktisk erfarenhet. Härvid har då lämpliga delar, som passar det egna syftet, valts ut. Ofta används enstaka misslyckanden som ett generellt argument mot vattenavvisande ytbehandlingar. I allmänhet har inte orsaken till misslyckandet analyserats. Hade detta gjorts kanske man funnit en naturlig förklaring, som inte primärt berodde på ytbehandlingen. Å andra sidan förekommer det att enkla laboratoriemätningar på enstaka provkroppar används som argument för en vattenavvisande behandling. Denna typ av

argumentering är helt förkastlig och leder ingenstans. För att en korrekt bedömning skall kunna göras måste både för- och nackdelar bedömas samtidigt. Det stora problemet härvid är att eventuella nackdelar eller risker är mycket svårt att värdera.

Vattenavvisningens inverkan på nedsmutsningen används som argument både för och emot en vattenavvisande ytbehandling. Även här har båda sidorna rätt, även om det förekommer en del direkt felaktiga eller ofullständiga argument. Som exempel kan nämnas påståendet att en vattenavvisande impregnering blir kladdig och därmed mer smutsattraherande. Detta var möjligen sant förr i tiden. Idag är dock preparaten mer utvecklade så att någon kladdig yta inte behöver befaras, även om det kan finnas undantag. Ett annat vanligt förekommande argument är att en vattenavvisande impregnering snabbt bryts ned (2-3 år) och att man därefter inte kan göra om behandlingen, eftersom den nya behandlingen då inte skulle kunna appliceras på den vattenavvisande ytan. Detta argument är i sig motstridande. Dessutom finns det preparat som enligt tyska erfarenheter fortfarande fungerar efter 15-20 år. Vidare finns det preparat som mycket väl kan appliceras på en vattenavvisande yta. Som argument mot en vattenavvisande impregnering förekommer det även att en del "skräckbilder" publiceras som visar en flammig fasad. Varför fasaden ser ut som den gör analyseras inte. Det konstateras enbart att den behandlats med något vattenavvisande preparat. Anledningen till flammigheten kan mycket väl vara bristfällig applicering eller att man använt ett mindervärdigt preparat i just det fallet. Att använda sådana bilder som generella argument mot vattenavvisande impregneringar är inte ärligt. Å andra sidan skall naturligtvis misslyckade behandlingar inte förtigas utan analyseras och om möjligt publiceras som exempel på vad som kan hända. Tyvärr har det visat sig svårt att få ta del av detaljer i samband med de misslyckade objekt som används som argument mot en vattenavvisande impregnering.

Även företrädare för vattenavvisande ytbehandlingar går till överdrifter i sin argumentering. Bara för att ytan är vattenavvisande behöver den inte se renare ut. I vissa fall kan motsatsen inträffa. Lokala rentvättningar (eller lokala smutsansamlingar, exempelvis under utstående fasadpartier) kan medföra att fasaden ger ett sämre intryck än om den vore jämnt nedsmutsad. Avgörande för hur likformigt nedsmutsningen sker är bland annat slagregnsbelastningen och fasadens vattenabsorberingsför-

måga. Är fasaden helt vattenavvisande bildas snabbt en vattenfilm på hela fasaden vilket medför en tvättning av hela ytan. (Den konstruktiva utformningen av fasaden kan dock medföra att vissa partier aldrig nås av något vatten, vilket då medför lokala smutsansamlingar.) Har å andra sidan fasaden stor vattenabsorberande förmåga bildas ingen vattenfilm vid liten slagregnsbelastning. Hela ytan kommer då att smutsas jämnt, vilket inte alltid upplevs som negativt. På en fasad med måttlig vattenabsorption som utsätts för måttliga slagregnsmängder är förutsättningarna för ojämn nedsmutsning störst. På vissa partier bildas en vattenfilm som lokalt tvättar rent. Andra partier får däremot ingen vattenfilm och tvättas därför inte rena. Bedömningen av hur en vattenavvisande ytbehandling påverkar nedsmutsningsbilden kan alltså inte göras generellt utan varje objekt måste studeras för sig.

Ett vanligt argument mot vattenavvisande fasadbehandlingar är att fasadens "andningsförmåga" reduceras till alltför låga värden. Härvid menas då främst att ytbehandlingen reducerar möjligheten för vattenånga att diffundera utåt. Att vissa ytbehandlingar reducerar ångtransporten är helt riktigt. Härmed är dock inte sagt att reduktionen är "farlig". I många fall är reduktionen helt obetydlig. Många gånger innebär en vattenavvisande ytbehandling en mindre reduktion än en traditionell tjockputs, vilken i allmänhet anses vara mycket diffusionsöppen. I fallet med en vattenavvisande impregnering är inverkan så liten att den knappt är mätbar. Dessa saker är dock lätta att mäta i laboratorium och borde inte ge upphov till några tvivelsmål. Väsentligare än att enbart diskutera "andningsförmåga" är att studera hela fasadens fuktbalans, vilket behandlas utförligt i Sandin (1980 b). Det i fasadsammanhang märkliga begreppet "andning" är en kvarleva från misstolkningar av tyska undersökningar i samband med koleraepidemier i mitten av 1800-talet. Innebörden av begreppet är diffus och begreppet bör inte användas i putssammanhang.

Sammanfattande synpunkter

Som framgått av det ovanstående råder delade meningar om en fasad skall göras vattenavvisande eller inte. I Tyskland är man väsentligt mer positiv till vattenavvisning än i Sverige. Som exempel på den stora skepsisen (eller osäkerheten) i Sverige kan nämnas att tegelindustrin inte lämnar någon som helst garanti för fasader som gjorts vattenavvisande. Som motiv för detta nämns dålig erfarenhet. Å andra sidan finns det lyckade objekt även i Sverige. Varför man lyckats ibland och miss-

lyckats ibland har sällan utretts. Några entydiga rekommendationer (som kan accepteras av alla parter) går i allmänhet inte att ge. Med utgångspunkt från dagens kunskaper ges nedan en del synpunkter som bör beaktas vid valet mellan olika ytbehandlingar. Det måste dock påpekas att det inte är fråga om några allmänt accepterade regler eller dylikt utan enbart författarens egen uppfattning.

En väl fungerande vattenavvisning på fasaden har stora fördelar. Främst kan nämnas mindre energiförluster genom väggen och långsammare nedbrytning av fasadmaterialet. Även vattengenomslag har i vissa fall eliminerats med vattenavvisande impregnering. För att nå ett gott resultat måste dock arbetet utföras med stor noggrannhet, samtidigt som förutsättningarna analyseras i detalj. En vattenavvisande impregnering förmår exempelvis inte att hindra vatteninträngning i stora sprickor. Som gränsvärde kan en sprickbredd på 0.2-0.3 mm vara rimligt. En förutsättning för ett gott resultat är även att impregneringen görs tillräckligt djupgående. 5 mm torde vara ett lämpligt riktvärde. Finns förutsättningar för att vatten kan tillföras bakifrån, t ex via markfukt eller läckage, bör någon vattenavvisande behandling inte utföras.

När det gäller mer eller mindre vittrade fasader, t ex en gammal kalkputs, saknas större erfarenheter av vattenavvisande impregneringar. Vattenavvisande ytbeläggningar i form av organiska tunnputser har däremot använts i samband med renoveringar av sådana fasader. Ibland har resultatet blivit bra, medan i andra fall följden blivit en relativt snabb skadeutveckling. Några kriterier för när en puts är så dålig att den inte kan behandlas med en organisk tunnputs eller färg finns inte. Tills vidare avrådes därför från att behandla "dåliga" kalkputser. Även i samband med användandet av organiska ytskikt på reveterade hus förekommer en del misslyckanden, även om kalkputsen från början verkade bra. Ett organiskt ytskikt direkt på tegel har också medfört problem i vissa fall. Finns det däremot en utstockning eller slamning mellan ytskikt och tegel är erfarenheten väsentligt bättre.

2.3.3 Nedbrytning på grund av luftföroreningar

Luftföroreningarnas inverkan på fasadmaterial har ökat mycket kraftigt de senaste decennierna. Med utgångspunkt från fotografier på en staty i Tyskland har i FIG 2.3:1 den synliga vittringen uppskattats som funktion av tiden. Som synes av figuren börjar vittringshastigheten att öka i samband med industrialiseringen på 1870-talet. Vittringen har därefter ständigt accelererat.

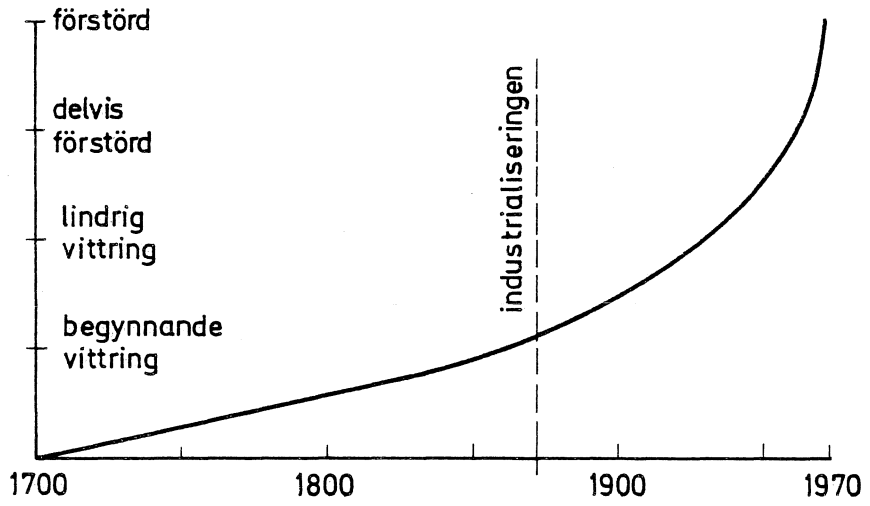


FIG 2.3:1 Grafisk beskrivning av nedbrytningens accelererade förlopp. (Winkler, 1973).

Problemet med luftföroreningarnas nedbrytande effekt är större i Central- och Sydeuropa än i Skandinavien. Det är också i dessa länder problemet fått mest uppmärksamhet, främst i samband med stenmonument och liknande. Ett antal metoder att eliminera eller minska luftföroreningarnas skadliga inverkan har utarbetats. Huruvida dessa metoder på lång sikt är effektiva kan inte besvaras ännu. Exponeringstiden efter behandlingen är ännu alltför kort.

De luftföroreningar som anses ge de största nedbrytningseffekterna är svaveldioxid (från fossila bränslen) och koldioxid (från industrier och bilavgaser). Klorider (från havsvatten och industrier) och kväveföroreningar (från industrier) är andra luftföroreningar som ibland diskuteras i samband med nedbrytning av fasader. Inverkan av dessa luftföroreningar torde dock vara av mindre betydelse.

Föroreningarnas nedbrytande effekt beror inte enbart på mängden föroreningar i luften. Andra faktorer som inverkar är luftens relativa fuktighet, andra luftföroreningar, regnförhållanden och byggnadens utformning. Vid regn kommer exempelvis luften att "tvättas", varvid föroreningarna löser sig i regnet, som således blir förorenat och kan angripa de byggnadsdelar som träffas av regnet. I andra fall kan hela byggnaden angripas av luftföroreningarna i gasform.

Någon detaljerad behandling av de olika föroreningarnas angrepp görs inte i denna skrift. Endast en mycket summarisk beskrivning ges som bakgrund till den fortsatta diskussionen om olika sätt att eliminera eller minska problemet. Liksom i fallet med vattenavvisande ytbehandlingar, finns det även här helt skilda uppfattningar.

Olika angreppsformer

Luftföroreningarnas angrepp är mycket komplicerat och delvis okänt. I huvudsak kan man skilja på två olika angrepp. Om luftföroreningarna upptas av regn kommer detta regn att bli surt och verka som en syra, vilken kan lösa vissa komponenter i väggmaterialet. I det andra fallet kan luftföroreningarna träffa väggen i gasform, varvid en kemisk reaktion sker, vilken helt enkelt omvandlar väggmaterialet till ett annat material.

Den komponent som främst angrips är karbonat (CO_3), vilken ingår i många stenarter och putser. Kalksten består exempelvis helt av karbonat medan sandsten kan bestå av småkorn, som sammankittats av karbonat. Bindemedlet i de flesta putser innehåller också karbonat. Om man antar att en viss mängd luftföroreningar "förbrukar" en viss mängd karbonat, kommer angreppshastigheten att bli olika beroende på mängden karbonat som finns tillgänglig. Om kalksten innehåller 100 % karbonat och sandstenen 10 %, så skulle sandstenen vittra 10 gånger snabbare. Så enkelt är det dock inte, även om det ligger något i tankegången. En mängd andra (delvis okända) faktorer gör förloppet mycket mer komplicerat.

Som exempel på hur samma luftförorening kan ge olika angreppsform diskuteras här svavelföroreningarnas inverkan på ett fasadparti, som dels är utsatt för regn och dels mer eller mindre skyddat från regn. Svavelföroreningarna, i form av svaveldioxid, oxideras av luftens syre till svaveltrioxid, som tillsammans med regn bildar svavelsyra. När detta regnvatten träffar ett material innehållande kalciumkarbonat (t ex kalksten eller kalkputs), upplöses detta under bildandet av

kalciumsulfat (gips). Vid kraftig regnbelastning kommer en vattenfilm att bildas. Detta vatten kan då tvätta bort den gips som bildats. Resultatet blir att bindemedlet helt enkelt försvinner, varvid ytan vittrar sakta men säkert.

På partier som inte utsätts för någon större slagregnsbelastning blir förhållandena helt annorlunda. Svaveltrioxiden eller svavelsyran som träffar väggen medför i princip samma reaktion, nämligen bildandet av gips. Eftersom väggen inte är utsatt för någon större slagregnsbelastning, kan dock inte den bildade gipsen tvättas bort utan stannar kvar i väggen. Den bildade gipsen får en väsentligt större volym än motsvarande mängd kalciumkarbonat. Detta medför dels en direkt sprängverkan och dels en förtätning av materialet. Porerna kommer helt enkelt att fyllas med gips. Detta blir särskilt accentuerat i ytan, beroende på att det vatten som stundtals träffar väggen tränger in och löser upp materialet, varefter det vid avdunstningen tar med sig gipsen fram till ytan. Resultatet av detta blir ett mycket hårt skal, under vilket materialet kan vara helt urlakat på bindemedel.

Förhållandena illustreras schematiskt i FIG 2.3:2. De partier som utsätts för mycket regn kommer att vara rena, eftersom ytan ständigt vittrar. Partier som inte utsätts för någon större regnmängd kommer däremot att se smutsigaut (sot och dylikt fastnar i gipsen), samtidigt som man förleds att tro att materialet är opåverkat. I verkligheten kan materialet vara starkt nedbrutet längre in i väggen.

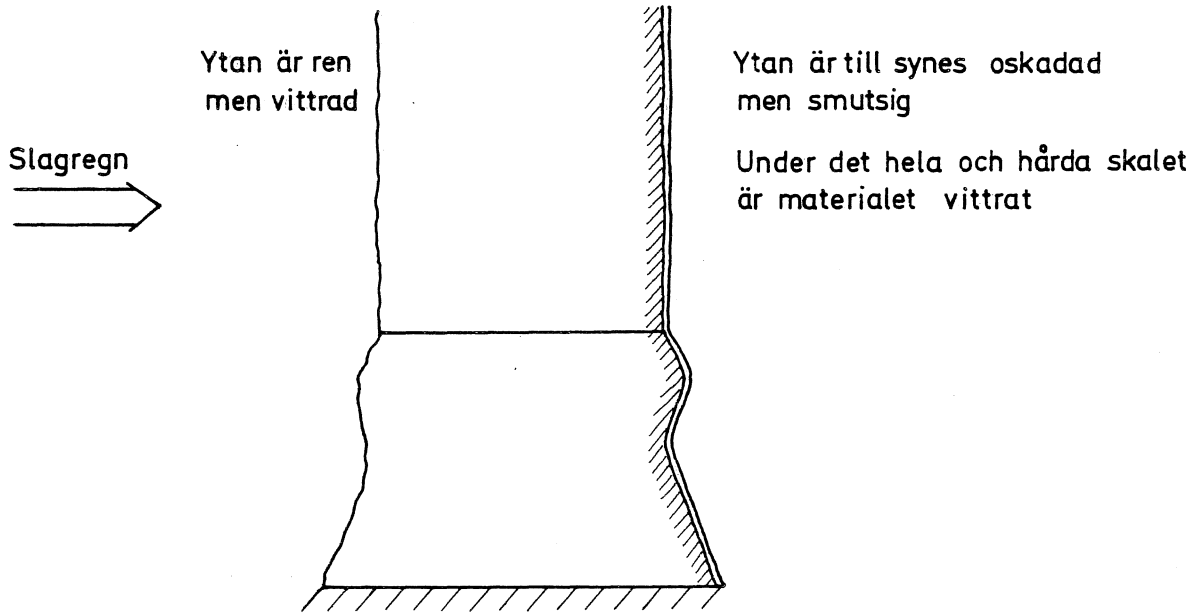


FIG 2.3:2 Angreppsformer på nederdelen av en pelare.

Ovanstående förhållande med en anrikning av reaktionsprodukter till ytan är tillämpbar även vid angrepp av andra luftföroreningar. Koldioxidhaltigt vatten kan till exempel lösa kalciumkarbonat och föra fram detta till ytan, där ånyo kalciumkarbonat bildas. I en kalkputs kan resultatet av detta bli en anrikning av bindemedlet till ytan och en samtidig urlakning längre in. Denna mekanism bidrar säkerligen till det ofta iakttagna förhållandet med ett hårt skikt ytterst och ett mycket löst bruk längre in.

När angreppen nått så långt in i väggen att armeringsjärn eller dylikt nås, kan skadeutvecklingen accelereras mycket snabbt, beroende på den koncentrerade volymökningen när järn rostar.

Olika principer vid val av puts och ytskikt

Som nämnts tidigare finns det helt motstridiga uppfattningar om hur man skall eliminera eller minska skadeverkningarna av luftföroreningarna. Detta gäller både förebyggande åtgärder och reparation av redan angripna material. I det följande diskuteras först förebyggande åtgärder. Underlaget förutsätts härvid vara intakt.

De två ytterligheterna med avseende på förebyggande åtgärder mot luftföroreningarnas angrepp på fasader innebär i det ena fallet att man skall använda ett ytskikt som inte angrips och i det andra fallet ett ytskikt som lätt angrips. Häremellan finns sedan ett antal mellanformer.

Den grundläggande tanken vid användandet av ett ytskikt som inte angrips är att utestänga de skadliga föroreningarna från väggmaterialet. Detta kan exempelvis uppnås genom användandet av ett helt "tätt" material. Fasadytskikt är emellertid inte helt täta, varför man får räkna med att en del föroreningar kommer in i väggen. Det "täta" ytskiktet kan sägas ha en dubbeleffekt, genom att det hindrar både gas och vätska att komma in.

Ett alternativ till det täta ytskiktet är att enbart göra fasaden vattenavvisande och tillåta att gaser kan passera ostört. Härigenom eliminerar man den skadliga inverkan av vattnet, men har fortfarande kvar angreppen i gasform. Dessa är dock väsentligt långsammare.

Kritikerna mot denna princip pekar bland annat på svårigheten att erhålla ett ytskikt som verkligen är helt vattenavvisande. Det vatten som eventuellt kommer in genom sprickor i ytskiktet uppges då kunna ge mycket allvarliga "frätskador".

Den andra ytterligheten, användandet av ett ytskikt som lätt angrips, motiveras med att angreppet sker jämnt över hela fasaden. Härvid "neutraliseras" föroreningarna i ytan, varför underlaget skyddas. När hela ytskiktet är "förbrukat" appliceras ett nytt. Det ytskikt som bäst uppfyller denna princip skall innehålla så mycket karbonat som möjligt. Som ett lämpligt material nämns kalkputs med ballast av kalksten. Kalkputsen kan i sin tur skyddas med kalkfärg.

Kritikerna mot denna metod anför främst allmänna svagheter hos kalkbruk samt det faktum att vissa fasader, som skall skyddas, inte är avsedda att ha någon puts.

När det gäller att åtgärda en redan angripen fasad är uppfattningarna likartade med de förebyggande åtgärderna. Den ena sidan vill eller törs inte vidta några åtgärder alls, utan anser det vara bättre att låta materialet vittra "naturligt". Den andra sidan vill förstärka det angripna materialet så att det återfår sin hållfasthet. Metoderna för denna förstärkning varierar mycket kraftigt. Gemensamt är dock att det är fråga om någon sorts impregnering, vilket innebär att man i princip tillför ett nytt bindemedel. Som impregneringsmedel används allt ifrån kalkvatten till härdplaster. En stor principiell skillnad mellan dessa ytterligheter är "fyllnadsgraden". Med en plast kan man göra en fullständig igenfyllning av alla porer, vilket medför en förtätning av materialet, samtidigt som plastens egenskaper får ett dominerande inflytande på materialets slutliga egenskaper. Med kalkvatten sker däremot endast en sammanfogning av kontaktpunkterna inne i materialet. Se FIG 2.3:3. Vid förstärkning av stenmaterial används ofta någon form av kiselförening som bindemedel, t ex kiselsyraester.

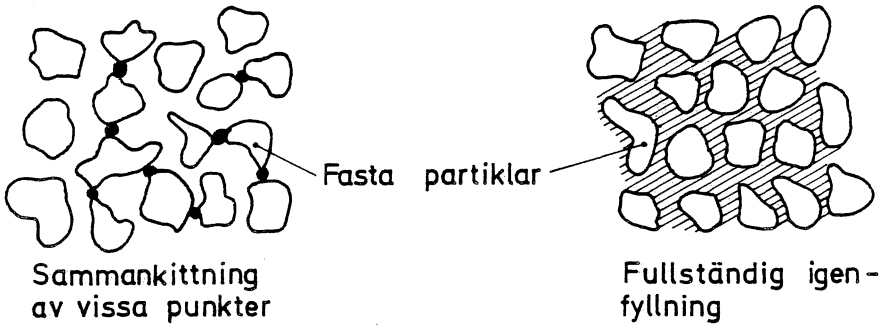


FIG 2.3:3 Olika principer vid förstärkning av ett vittrat material.

Sammanfattande synpunkter

En grundläggande fråga vid diskussioner i samband med ett redan angripet och försvagat material är om man överhuvudtaget skall vidta några åtgärder. Härvid måste man ha klart för sig att ingen förstärkningsmetod torde vara helt invändningsfri från alla synvinklar. Tekniska, kulturhistoriska och ekonomiska synpunkter måste studeras samtidigt. Är det fråga om en vittrande puts, kanske det inte är meningsfullt att vidta några förstärkningsåtgärder. Lösningen här kan vara att låta putsen vittra och sedan ersätta den med en ny, som är mindre vittringsbenägen. Är det däremot fråga om kulturhistoriskt oersättliga fasadutsmyckningar av kalksten måste kanske något göras. Görs ingenting fortsätter vittringen mycket snabbt. Det kan även vara mycket bråttom med åtgärderna. Detta kan gälla både förstärkning av materialet och förebyggande åtgärder mot framtida vittring. Vi kan i ett sådant fall inte fördröja ett beslut, genom att enbart peka på riskerna med de tänkbara åtgärderna. Vi måste även vara medvetna om faran med att inte göra någonting, nämligen en ofrånkomlig nedbrytning. Vi har helt enkelt inte tid med att vänta på en helt säker metod, utan vi är tvungna att utgå från de kunskaper vi har idag. Problemet kan alltså sägas vara att välja en metod som är så effektiv som möjligt, men som samtidigt har så små negativa effekter som möjligt.

Ett grundläggande krav vid förstärkning av vittrat material är att hela den vittrade zonen förstärks. Görs inte detta får man ett material med kraftigt varierande egenskaper, med åtföljande skaderisker. Om man till exempel gör en 3 mm djup impregnering (förstärkning) i ett material som är vittrat till 5 mm djup får man en svaghetszon på djupet 3-5 mm. Utanför och innanför denna zon kan då materialet vara hårt och relativt tätt. Risken för spjälkning i denna svaghetszon är mycket stor.

Beträffande valet av impregneringsmedel är uppfattningarna enligt tidigare avsnitt delade. Användandet av kalkvatten torde vara en av de minst riskfyllda metoderna, men samtidigt en av de minst effektiva. Impregnering med en härdplast ger utan tvekan en kraftig förstärkning, men är samtidigt riskfylld. Som exempel kan nämnas stora temperaturrörelser, med tiden ändrande egenskaper och en tilltäppning av porsystemet.

En strävan vid förstärkning av vittrade material bör vara att använda impregneringsmedel, som påminner om det material som skall förstärkas.

Med utgångspunkt från denna tanke började man tidigt att använda silikater (salter innehållande kisel och syre) som impregneringsmedel. Dessa hade dock nackdelen att de ofta gav saltutfällningar. Metoden med att använda kiselföreningar har dock vidareutvecklats och goda resultat har erhållits vid användandet av kiselsyraester som impregneringsmedel. Med dagens kunskaper torde denna metod vara en av de bättre.

Efter det att materialet förstärkts återstår frågan om man skall vidta några förebyggande åtgärder, för att förhindra eller minska den framtida vittringen. Väljer man i detta fall en vattenavvisande impregnering, måste denna göras mycket noggrant. En dålig vattenavvisande impregnering kan ge stora negativa effekter. En ordentlig impregnering kan å andra sidan minska nedbrytningshastigheten avsevärt.(Vattenavvisande impregneringar diskuteras ytterligare i avsnitt 2.3.2.) Ett alternativ är att kombinera förstärkningen och vattenavvisningen i samma arbetsmoment.

2.3.4 Provning och redovisning av materialegenskaper

Ofta höjs röster för att fabrikanter av puts- och ytskiktsmaterial skall redovisa ingående delmaterial samt den slutliga produktens egenskaper. Detta är naturligtvis önskvärt ur många synvinklar. Man måste dock i detta sammanhang ställa sig frågan: "Vad skall egenskapsredovisningen användas till?" Att redovisa en mängd egenskaper som man inte kan värdera eller är helt betydelselösa är meningslöst! Risken finns till och med att man "drunknar" i meningslösa siffror och glömmer väsentliga krav som man bör ställa på ett ytskikt. Genom att ett 10-tal provningsintyg från olika tester redovisas kan en lekman lätt få uppfattningen att ett visst ytskikt är mycket bra. Ytskiktets väsentligaste egenskap, förmågan att fungera i praktiken på just den aktuella fasaden, är däremot kanske mycket dålig!

Att välja ett ytskikt enbart med utgångspunkt från laboratorieprovningar är för närvarande inte möjligt. Laboratorieprovningar kan aldrig efterlikna praktiken fullständigt. Resultat från laboratorieprovningar tillsammans med praktisk erfarenhet kan vara ett gott underlag vid bedömningen av olika tänkbara fasadbehandlingar. Laboratorieresultaten måste dock granskas mycket kritiskt. Vidare får man inte fästa alltför stor vikt vid "bra" resultat. Större vikt bör läggas vid de "mindre gynnsamma" testresultaten. Det kan ju vara dessa som blir avgörande i praktiken. Ett problem i detta sammanhang är att det inte finns några anvisningar på vilka egenskaper som skall redovisas. Tillverkaren har full frihet att redovisa de egenskaper han vill. Detta kan leda till ytterligheten att enbart de goda egenskaperna redovisas, medan sämre egenskaper glöms bort. Ibland förekommer det även att vissa produkter marknadsförs med påståendet att produkten är testad och godkänd. Inget nämns dock om vad som testats och i vilket avseende den är godkänd. Ett typgodkännande med avseende på "brandskydd" torde i många tillämpningar vara av mindre betydelse! Förvirringen blir inte mindre av att eventuella provningar gjorts vid olika institut i olika länder.

Vilka egenskaper skall man då redovisa och vilka krav skall man ställa? Vilka egenskaper är mest väsentliga? Tyvärr kan inget entydligt svar ges på dessa frågor!

Provningsmetoder

Att fastställa en provningsmetod är inte svårt. Att utforma en relevant provningsmetod som ger användbara resultat är däremot ofta mycket svårt. De flesta provningsmetoder eller tolkningar av resultaten kan alltid på något sätt kritiseras. Därför är det alltid av största betydelse att man talar om syftet med provningsmetoden samt hur erhållna resultat skall tolkas. I vissa fall kan det även vara motiverat att tala om hur man inte får tolka resultaten!

De officiella svenska provningsmetoderna för ytskikt beskrivs i ER-nämndens Rapport nr 3:68. Provningarna avser vattengenomsläpplighet, ånggenomsläpplighet, vidhäftning, alkalihärdighet och töjbarhet. Det måste här påpekas att resultaten i vissa fall har tolkats fel och att en omarbetning av metoderna pågår.

Ungefär samma provningar redovisas i de franska normerna NF T 30-700- - T 30-706. Provningsmetoderna är delvis olika de svenska men syftet är detsamma. I Frankrike provar man dock även "åldrandet" genom en accelererad test.

I en DDR-standard (TGL 22862) beskrivs en helt annorlunda provningsmetod för ytskikt. Här är grundprincipen utomhusexponering och uppföljning av eventuella förändringar. I en annan DDR-standard (TGL 27327), gällande ytbehandling av gasbetong, ges mycket detaljerade anvisningar för laboratorieprovningar. I denna standard ställs även direkta krav, som skall uppfyllas.

Internationella provningsmetoder för bruk och putser har standardiserats av RILEM. Här beskrivs även metoder för provning av det färska bruket.

De nämnda officiella metoderna är bara ett axplock. Förutom de officiella metoderna finns det sedan ett antal metoder, som utvecklats vid olika företag och institutioner. Dessa metoder är ofta inte specialanpassade till putser från början. Genom modifieringar har de dock gjorts användbara i putssammanhang. Frostprovning är ett typexempel på detta. Praktiskt taget varje företag eller institution som sysslar med frostproblem har sin egen metod.

Gemensamt för all puts- och ytskiktsprovning är att fuktegenskaperna ägnas stort intresse. Vidare görs i allmänhet provningen på ett enda underlag. Samverkan mellan puts/ytskikt och underlag studeras knappast alls. Vad har man för glädje av att veta ytskiktets egenskaper

på gasbetong, om man skall använda det på en gammal kalkputs eller på tegel?

Problem vid bedömning av provningsresultat

Enligt tidigare avsnitt kan vi i många avseenden inte ställa några välunderbyggda siffermässiga krav på putser och ytskikt. Vi vet inte ens om en viss egenskap är viktig eller inte. Detta gör tolkningen av olika provningsresultat mycket besvärlig. Enligt författarens åsikt lägger man i allmänhet alltför stor vikt vid fuktegenskaperna hos själva ytskiktet. Andra egenskaper, såsom åldring och mekanisk samverkan med underlaget, beaktas alltför lite.

Det enda välunderbyggda siffermässiga krav man kan ställa på en puts gäller lufthalten i det färska bruket. En lufthalt på cirka 15 % ger en relativt god frostbeständighet. Detta är verifierat både genom laboratorieförsök och genom praktisk erfarenhet.

För en mängd egenskaper har vi inga välunderbyggda siffermässiga krav. Vi har däremot en kvalitativ uppfattning om önskvärda data.

Ånggenomsläppligheten bör vara hög. Vidhäftningen bör vara hög och alkalibeständigheten god. Töjningen bör i allmänhet vara stor. Uppträdande spänningar skall samtidigt vara små. Åldringens inverkan på egenskaperna skall vara liten.

För vissa egenskaper råder däremot olika uppfattningar beträffande önskvärda egenskaper. Vattengenomsläppligheten är ett typiskt exempel. Vissa hävdar att fördelarna med en stor vattengenomsläpplighet uppväger nackdelarna. Andra hävdar att fördelarna med en låg vattengenomsläpplighet uppväger eventuella risker.

Bristen på siffermässiga krav gör bedömningen av egenskaperna svår och kan i vissa fall leda till en "negativ" materialutveckling. Om man till exempel fäster alltför stor vikt vid fuktegenskaperna, och gör allt för att "förbättra" dessa, kan samtidigt andra (och kanske viktigare) egenskaper försämras.

En relevant bedömning av olika materialegenskaper försvåras också av att de i laboratoriet uppmätta egenskaperna kan avvika kraftigt från de i praktiken erhållna. Olika klimat och underlag kan medföra helt olika egenskaper. Genomförda pilotförsök har klart visat detta. Några systematiska undersökningar av denna inverkan finns dock inte.

Även åldringen torde ha en avgörande betydelse. Efter några år har kanske ett ytskikt fått helt andra egenskaper än det hade vid provningen.

När man skall välja ytskikt i en given situation skall rimligtvis även underlagets egenskaper bedömas. Ett visst ytskikt går kanske utmärkt att använda på ett visst underlag. På ett annat underlag kanske ytskiktet inte fungerar alls. Några vetenskapliga kriterier för att bedöma samverkan mellan underlag och ytskikt finns inte. Detta gäller även samverkan mellan en befintlig puts och lokala lagningar.

Vid renoveringar av gamla "värdefulla" kalkputser försöker man ofta använda ett kalkbruk, som är så likt det gamla som möjligt. Det vanligaste sättet för detta är en analys av det gamla brukets sammansättning, varefter man gör ett bruk med liknande sammansättning. Alternativt gör man en analys av porstrukturen, hållfastheten etc. Ett elementärt misstag i detta sammanhang är att man jämför ett bruk som är mycket gammalt med ett nytt bruk. Det gamla bruket hade från början kanske helt andra egenskaper. Luftföroreningar, urlakning, frostsprängning och olika ytbehandlingar kan helt ha förändrat bruket!

Med hänsyn till alla svårigheter och oklarheter vid bedömningen av putsers och ytskikts egenskaper måste mycket stor vikt läggas vid den praktiska erfarenheten, när man skall välja i en given situation. De i produktblad angivna egenskaperna skall granskas kritiskt. Vidare skall man inte fästa alltför stor vikt vid enstaka egenskaper. Att en egenskap verkar bra kan i allmänhet inte väga upp en dålig egenskap. Den svagaste länken är alltid avgörande!

3 ANALYS AV VISSA TEKNISKA FRÅGOR

3.1 Allmänt

En puts/ytskikt utsätts i praktiken för en mängd olika påkänningar, till exempel rörelser, salter och frost. För att putsen/ytskiktet skall fungera fullständigt får ingen av påkänningarna medföra någon skadlig effekt. Detta gäller hela kombinationen puts/ytskikt och underlag. Samverkan mellan de olika materialen är helt avgörande för funktionen i praktiken. Att en puts i sig är helt "frostbeständig" är ingen säkerhet för att kombinationen puts - underlag blir frostbeständig.

I detta avsnitt diskuteras de väsentligaste påfrestningarna och deras inverkan på fasadens funktion och risk för skador. Syftet med avsnittet är att sammanställa olika teorier, hypoteser och praktisk erfarenhet med avseende på olika praktiska påfrestningar. I vissa fall är behandlingen ganska utförlig, med angivande av materialdata etc. I andra fall är beskrivningen mer schematisk. Detta skall inte uppfattas som någon rangordning av problemens storlek. Det bör i stället uppfattas som ett uttryck för de kunskaper som finns (eller inte finns) inom respektive problemområde.

Ett problem som inte behandlas i någon större utsträckning är putsens/ytskiktets inverkan på fasadens fuktbalans. Problemet behandlas utförligt i Sandin (1980b).

De olika påfrestningarna och frågeställningarna diskuteras här var för sig. Vid en bedömning i praktiken måste alla problemområden studeras samtidigt. Härvid måste även den sammantagna effekten av flera påfrestningar bedömas. Det mest talande exemplet på detta kan vara kombinationen åldring - sprickbildning - frostangrepp. Ett nytt ytskikt kanske är sprickfritt och därmed kan hela kombinationen fungera. Under inverkan av åldring kan dock materialegenskaperna förändras så att sprickor uppstår. Härefter kan vatten tränga in och förorsaka frostskador.

Förutom att samverkan mellan olika faktorer måste studeras är det även väsentligt att göra en rimlig avvägning mellan vilka krav man skall ställa i olika avseenden. Risken finns alltid att man ställer för stora krav i ett visst avseende. Effekten av detta kan bli att andra elementära krav inte uppfylls.

3.2 Frostsprängning

3.2.1 Allmänt

I Norden torde frostangrepp vara en av de vanligaste skadeorsakerna i samband med fasader. Skadorna kan visa sig på olika sätt. Avflagnad färg, spjälkning av tegel eller puts och total sönderfrysning av vissa partier är några exempel. Skadorna är i huvudsak av estetisk natur men kan i vissa fall utvecklas så att risk finns för byggnadens bestånd.

Frostbeständighetsproblematiken har ägnats mycket stort intresse inom den byggnadstekniska forskningen. Otaliga rapporter och artiklar har publicerats, både inom Sverige och internationellt. Trots denna mycket omfattande forskning är problemet inte löst helt och hållet. För vissa material är kunskaperna relativt goda och stora framsteg har gjorts både med avseende på provningsmetoder och metoder att förbättra frostbeständigheten. I andra fall, främst i samband med materialkombinationer, är kunskaperna sämre. Om två material, som båda anses "frostbeständiga", kombineras kan man mycket väl få problem. Ett exempel på detta är tunnputs på tegel som visats sig ge skador även i sådana fall då både teglet och putsen normalt anses frostbeständigt.

Anledningen till att det fortfarande finns så många frågetecken inom frostbeständighetsproblematiken är att problemställningarna är mycket komplicerade. Avgörande för "frostbeständigheten" är materialegenskaper och miljöegenskaper. Bland materialegenskaperna kan nämnas elasticitetsmodul, draghållfasthet och poregenskaper. Som exempel på miljöegenskaper kan nämnas makro- och mikroklimat, byggnadsteknisk utformning och eventuell närvaro av salter.

När en frostskada inträffar är det ofta svårt att ange en enda orsak till det inträffade (bortsett från att självklart fuktinnehållet varit för högt). Samverkan mellan flera faktorer är troligen avgörande. Ett misstag i den byggnadstekniska utformningen eller ett mindre fel i materialtillverkningen behöver inte medföra frostskador. Inträffar misstagen samtidigt ökar däremot risken kraftigt. Frostskadorna behöver inte heller inträffa första eller andra vintern utan kan mycket väl dröja till dess klimatet är speciellt påfrestande. Vintern 1980-81 var exempelvis mycket besvärlig med hänsyn till frostpåkänningar. Vintern var inte speciellt kall men mycket fuktig och många nollpunktspassager. Enligt danska uppgifter var det den värsta vintern på 30 år. Att då enbart skylla frostskadorna på försämrade materialegenskaper är fel. Materialegenskaperna kan ha varit desamma i 30 år men eftersom fasaden inte utsatts för

den extrema påfrestningen förrän 1980-81 har inte heller skadorna uppstått tidigare.

Av ovanstående framgår att begreppet frostbeständighet inte kan betraktas enbart som en materialegenskap. Ett material kan mycket väl vara frostbeständigt i en viss miljö men inte i en annan. Begreppet frostbeständighet är alltså relativt. Något absolut siffervärde på ett materials frostbeständighet går inte att ange.

I materialbroschyrer anges stundtals att ett visst material är frostbeständigt (frostresistent, frosthärdigt, etc). Dessa påståenden baserar sig då på en viss provningsmetod eller praktisk erfarenhet. Ändrar man provningsmetod eller användningssätt av materialet, kanske det skulle klassificeras som icke frostbeständigt. För att laboratoriemässigt kunna testa frostbeständigheten har en mängd provningsmetoder utvecklats. Metoderna har mer eller mindre anpassats till olika material eller förväntade påkänningar. Det måste dock påpekas att resultaten enbart är användbara till relativa jämförelser. Ett material som skadas vid provningen kan mycket väl klara de påfrestningar det utsätts för i praktiken. Även det omvända kan naturligtvis vara fallet.

På senare tid har man försökt uttrycka frostbeständigheten i mer siffermässiga termer. Fagerlund (1972) definierar frostbeständigheten som skillnaden mellan den vattenmättnadsgrad då materialet fryser sönder (S_{KR}) och den vattenmättnadsgrad som uppnås i praktiken (S_{AKT}). Här särskiljes alltså materialegenskaperna och miljöegenskaperna. S_{KR} kan bestämmas relativt noga genom laboratorieprovningar. S_{AKT} kan inte mätas direkt i laboratorium utan får uppskattas med hänsyn tagen till hur materialet skall användas i praktiken. Härvid är enkla laboratorieförsök en god hjälp, även om dessa inte visar exakt hur S_{AKT} kommer att bli.

I samband med bedömningen av risken för frostsprängning måste stor vikt läggas vid den praktiska erfarenhet som finns. Att enbart förlita sig till resultat från olika laboratorieprovningar kan leda till stora misstag.

3.2.2 Frysmekanismer

För att teoretiskt kunna förklara olika fenomen har ett antal hypoteser lanserats beträffande själva frysmekanismen. Den äldsta förklaringen grundar sig på det faktum att när vatten övergår till is ökar volymen 9 %. Detta skulle alltså ge en direkt sprängverkan. I samband härmed kommer även ett hydrauliskt tryck att uppstå i materialet när det vatten

som inte frusit pressas undan. Detta tryck kan då i sin tur ge upphov till skador. Ju större avstånd vattnet måste pressas undan, desto större blir trycket och därmed skaderisken. Denna hypotes har med framgång utnyttjats för att göra betong mer frostbeständig. Principen härvid är att göra det avstånd som vattnet måste pressas undan så kort som möjligt, vilket uppnås genom luftinblandning. Denna luft skall då vara finfördelad i form av små luftblåsor. Med den hydrauliska tryckteorin förklaras även bortfrysning av tunna skikt i ytan. Skikttjockleken blir då beroende av hur långt vattnet kan pressas innan det hydrauliska trycket blir lika med materialets draghållfasthet. Avgörande för detta är bland annat materialets permeabilitet och draghållfasthet. För tegel har enstaka mätningar och teoretiska beräkningar givit en kritisk skikttjocklek på 6-7 mm. För gasbetong blev motsvarande tjocklek mindre än 0.5 mm (Fagerlund, 1973).

En annan frysteori utgår från "mikroskopisk tjälbildning" i materialets porer (Powers & Helmuth, 1953). Enligt denna teori bildas först is i de grova porerna. När sedan temperaturen sänks rubbas energijämvikten mellan is i de grova porerna och ännu ofruset vatten i de fina porerna. För att utjämna denna skillnad diffunderar vatten till iskropparna där det fryser. När vattnet lämnar de fina porerna sker en krympning där. Om porerna där isen finns inte är fulla sker ingen expansion i dessa porer och slutresultatet kan alltså totalt sett bli en krympning. Är däremot porerna med is fyllda uppstår här ett tryck mot porväggarna, vilket medför en svällning. Enligt denna teori kan frysskador uppstå även om den frysande vätskan inte expanderar vid frysningen.

En annan trolig frysmekanism är den vanliga makroskopiska tjälskjutningen, som är välkänd för vissa jordarter. Härvid bildas stora iskroppar inne i materialet. Nytt vatten sugs till dessa iskroppar som ständigt ökar sin volym och pressar isär materialet. För att denna mekanism skall kunna ske, måste det finnas tillgång till stora mängder ofruset vatten samtidigt som materialet har låg draghållfasthet och hög permeabilitet. Vidare måste isbildningsfronten ligga stilla, det vill säga temperaturen i princip stationär. Dessa förutsättningar kan mycket väl vara uppfyllda i ej härdad puts och i svaga kalkputser.

Eklind (1979) redovisar en annan intressant hypotes för tegel. Eftersom isens temperaturutvidgningskoefficient är 10 gånger större än teglets, kommer isen att krympa mer än teglet vid en temperatursänkning. Härvid uppstår ett mellanrum mellan is och porvägg. I detta utrymme kan ny is

bildas så att poren blir helt fylld igen. När sedan temperaturen stiger kommer isen att öka sin volym 9 gånger mer än poren med följd att en sprängverkan uppstår.

Fagerlund (1973) redovisar en hypotes för fallet med materialkombinationer. Enligt denna hypotes kan en frostskada ske i materialkombinationer även om fuktinnehållen i de enskilda materialen innan frysningen var så låga att någon risk för frostskador inte förelåg. Förklaringen till att kombinationen trots detta kan skadas är att vid frysningen kan vatten pressas från det ena materialet till det andra, vilket då medför en lokal förhöjning av fuktinnehållet.

Både praktisk erfarenhet och laboratorieförsök har visat att frostskadorna ökar om salt finns närvarande. Enligt vissa mätningar finns en pessimal salthalt (i porvattnet) på 3-5 viktprocent. Någon direkt förklaring till detta fenomen finns inte. En möjlig förklaring är att saltet bidrar till att höja vattenmättnadsgraden.

3.2.3 Provningsmetoder

Metoder för att bedöma ett materials frostbeständighet kan grunda sig på erfarenhet, direkta frystester eller indirekta mätningar. För väl beprövade material torde den praktiska erfarenheten vara den bästa bedömningsgrunden. För nya material och vid tillverkningskontroll måste dock även de andra metoderna användas.

De indirekta metoderna grundar sig på att göra mätningar av vissa materialegenskaper som påverkar frostbeständigheten. Ett vanligt sätt är att jämföra vattenupptagningen efter en viss tids vattenlagring med den totala öppna porvolymen, det så kallade S-värdet. Ett lågt S-värde skulle då innebära bättre frostbeständighet. En variant på denna metod är C/B-värdet, där vattenupptagningen vid vanlig vattenlagring jämförs med vattenupptagningen vid kokning.

Mätning av porstorleksfördelningen är en annan indirekt metod som ägnats stort intresse, främst i samband med tegel. I princip anses frostbeständigheten vara bättre ju större porerna är.

Hos färsk betong och färskt bruk används även lufthalten som ett mått på frostbeständigheten. Ju större lufthalt (i form av små luftblåsor), desto bättre frostbeständighet.

Vid de direkta frystesterna försöker man antingen efterlikna verkligheten mer eller mindre (flercykelfrysningar) eller bestämma vid vilket

fuktinnehåll materialet skadas av frostangrepp (kritisk vattenmättnadsgrad). Metoderna varierar både med avseende på frysmetodik och på sättet att indikera skadorna. Frysmetodiken varieras med hänsyn till förväntade påfrestningar i verkligheten. Bland variabler i frysmetodiken kan nämnas:

- olika fuktlagring före provning
- frysning i luft eller i vatten
- upptining i luft eller i vatten
- frys- och upptiningstider
- antal fryscykler
- fryshastighet
- lägsta frystemperatur
- med eller utan närvaro av salter

När det gäller att indikera skadorna kan man skilja på ytskador (avflagning) och inre skador. Ytskadorna indikeras oftast genom okulärbesiktning och mätning av viktförlusten. Ett sätt att kvantifiera materialets motståndsförmåga mot ytskador är att ange antalet fryscykler tills den synliga skadan nått en viss omfattning. Inre skador kan mätas direkt i form av hållfasthetsnedsättning. Dessa skador kan även registreras genom ultraljud- eller E-modulmätningar.

För tegel finns i Sverige en normerad provningsmetod, SIS 22 01 11. Enligt denna metod vattenlagras 10 tegelstenar i 3 dygn varefter de utsätts för cyklisk frysning i luft och upptining i vatten. Efter 25 cykler besiktigas stenarna med avseende på synliga skador. Metoden kan förefalla mycket hård, men den praktiska erfarenheten har visat att skador mycket väl kan förekomma i praktiken, även om teglet inte uppvisar några skador vid provningen. Om detta beror på ojämn kvalitet i teglet eller på att provningsmetoden är bristfällig är oklart. Troligen bidrar båda faktorerna. Man kan alltså inte generellt påstå att ett tegel är frostbeständigt bara för att det klarat provningen enligt SIS 22 01 11. Detta uttalas också klart i normen, vilken för övrigt använder beteckningen "frostresistent" om teglet klarar provningen.

För att bättre efterlikna verkligheten har Tegellaboratoriet utvecklat en egen metod (Eklind, 1979). Tegelstenarna vattenlagras först på samma sätt som enligt SIS 22 01 11. Härefter genomfryses provkropparna helt. I fortsättningen genomgår teglet sedan en partiell upptining i ytan under 3 minuter genom duschning med vatten följt av 30 minuters frysning. Detta

upprepas 250 gånger. Metoden uppges ge samma typ av skador som förekommer i praktiken (avflagning) samtidigt som reproducerbarheten är bättre än med metoden enligt SIS 22 01 11.

För ytbehandlat tegel eller helt murverk används liknande metoder som för enbart tegel. I Bengtsson (1963) redovisas laboratorieprovningar av ytbehandlade tegelstenar vid provning i princip enligt SIS 22 01 11. Uppkomna skador bestod både i avflagning av ytbehandlingen och spjälkning i teglet under ytbehandlingen. De obehandlade ytorna uppvisade inga skador. Som orsak till skadorna uppges främst för stort diffusionsmotstånd och för dålig vidhäftning. Några siffervärden anges inte.

En svaghet med provning av enstaka murstenar är att inverkan av fogarna inte beaktas. I Högberg & Hedelin (1964) redovisas en metod för provning av ytbehandlade murverk. Här utsätts provytor (1x1m) för kraftigt slagregn under 2 timmar följt av ensidig frysning under 22 timmar. Provningarna visade bl a att konventionell tjockputs och relativt tjocka slamningar inte uppvisade några skador efter 60 cykler. Tunna slamningar uppvisade däremot skador efter ett litet antal cykler. Med utgångspunkt från genomförda provningar och fältstudier anges följande krav för att ytbehandlat tegel skall vara någorlunda frostbeständigt:

- Teglet skall vara "frostbeständigt"
- Slamningen får ej vara för diffusionstät. Som riktvärde anges en minsta ånggenomsläpplighet $0.2 \cdot 10^{-3}$ m^2/s
- Vidhäftningen skall vara god, minst 0.5 - 1 N/mm^2
- Slamningen bör vara tänjbar
- Slamningen behöver ej vara vattenavvisande
- Tjockare slamning är bättre

En liknande metod beskrivs i Waldum (1975). Slutsatserna från försöken är likartade med de enligt Högberg & Hedelin (1964).

I Varnbo (1970) redovisas en omfattande undersökning av frostproblematiken i samband med puts på tegel. Här utsätts putsade tegelväggar för ensidig frysning och slagregn. Graden av påkänning har varierats kraftigt. Bland annat har ytfrysning (ytan fryses och hela väggen tinas upp mellan frysningarna) och bottenfrysning (ytan fryses och tinas mellan frysningarna, väggens mittparti är dock alltid fruset) studerats. Härvid konstaterades att bottenfrysning var ett alltför hårt prov.

Undersökningens slutsatser var att tegelkvaliteten har en avgörande be-

tydelse och att en ytbehandling på tegel medför en större risk för frostskador. Skillnaden mellan olika putstyper var obetydlig. En tjockputs anses dock vara säkrare.

Utnyttjandet av begreppet kritisk vattenmättnadsgrad i samband med frostbeständighetsproblematiken beskrivs utförligt i Fagerlund (1972). Här redovisas även provningsmetoder och en mängd resultat. Fagerlund hävdar att frostskador inte är något utmattningsfenomen. Han menar att anledningen till att skador ofta visar sig först efter många fryscykler är att vattenmättnadsgraden ökar efterhand. Med utgångspunkt från detta resonemang bestämmer han den vattenmättnadsgrad (S_{KR}) då skador uppstår vid en enda frysning samt den vattenmättnadsgrad (S_{AKT}) som kan förväntas i praktiken. Frostbeständigheten ges sedan som skillnaden mellan dessa enligt

$$F = S_{KR} - S_{AKT} \qquad (3.2.3:1)$$

Ett positivt värde på F innebär frostbeständighet.

S_{KR} bestäms genom att ett antal provkroppar fylls till olika vattenmättnadsgrad och fryses. Eventuella skador indikeras genom E-modulmätning före och efter frysning. S_{KR} definieras som den vattenmättnadsgrad då E-modulen uppvisar en kraftig minskning (knickpunkt) efter frysning enligt FIG 3.2:1.

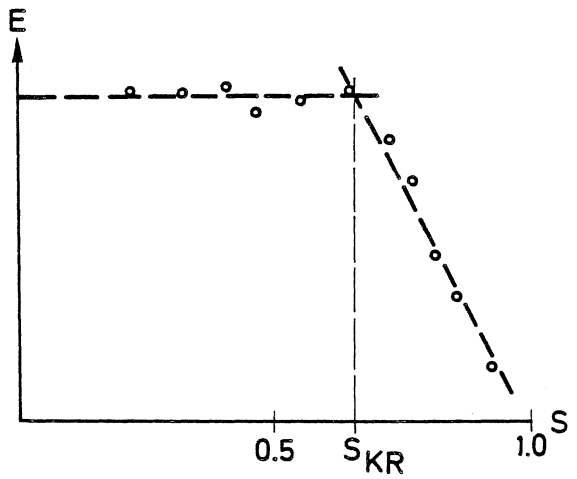


FIG 3.2:1 Princip för bestämning av S_{KR}.

Bestämmandet av S_{AKT} är väsentligt svårare. Olika miljöpåverkan medför olika värden. Som grundläggande krav anges att S_{KR} inte får överskridas vid kort tids kapillärsugning. Som exempel på erhållna siffror redo-

visas några resultat i TABELL 3.2:1. Angivna siffror är inte generella för materialtyperna ifråga utan gäller enbart för just det provade materialet. Ur tabellen kan man dra slutsatsen att det hårdbrända teglet, den ena gasbetongkvaliteten och KC-bruket har en betryggande frostbeständighet vid "normal" användning. De övriga materialen har en väsentligt sämre frostbeständighet.

TABELL 3.2:1 S_{KR} och S_{AKT} (vid kapillärsugning).

Material	densitet (kg/m^3)	S_{KR}	$S_{AKT}^{1\ dygn}$	$S_{AKT}^{10\ dygn}$
Lösbränt tegel	1 690	0.86	0.77	0.87
Hårdbränt tegel	1 860	0.78	0.55	0.65
1500-tals tegel	1 810	<0.60	≅0.85	0.93
Kalksandsten	1 840	0.80	0.80	0.85
Gasbetong	500	0.50	0.38	0.44
Gasbetong	520	0.40	0.45	0.53
KC-bruk 35/65/550	1 770	0.70	0.51	≅0.55

3.2.4 Sammanfattande diskussion

Frostbeständighetsproblematiken i samband med putsade eller ytbehandlade fasader är mycket komplicerad och några generella provningsmetoder, som ger helt tillförlitliga resultat, finns inte. Vid bedömningar av risk för framtida frostangrepp och vid skadeutredningar måste man till stor del förlita sig på den praktiska erfarenheten. Denna erfarenhet tillsammans med olika fryshypoteser och provningsmetoder kan ge ett hyfsat bedömningsunderlag.

I samband med putsade fasader måste man skilja på de enskilda materialens och kombinationens frostbeständighet. Om två material, som av erfarenhet anses frostbeständiga, kombineras kan denna kombination mycket väl få en dålig frostbeständighet.

För enskilda material redovisar Fagerlund (1972) ett stort antal tillåtna fukttillstånd för att något frostangrepp ej skall ske. Det måste dock påpekas att inhomogeniteter i materialen kan förändra dessa värden. I

tegel kan det mycket väl finnas inre lamelleringar, i vilka islinser kan utbildas och medföra sprängningar. Den praktiska erfarenheten tycks tyda på att många skador beror på detta. Islinsbildning har även iakttagits i gamla svaga kalkputser.

Den praktiska erfarenheten har även visat att frostangreppen förvärras vid närvaro av salter. I murverk som har uppstigande markfukt blir alltså risken för frostskador speciellt stor efter en ytbehandling, eftersom en sådan kan höja både fukt- och saltinnehållet.

Målning med organiska färger på tegel har erfarenhetsmässigt givit upphov till frostskador i relativt många fall där det teoretiskt sett borde fungera. Å andra sidan finns även exempel på ytbehandlade murverk som fungerar utmärkt i fall där de teoretiskt inte skulle fungera. En förklaring till frostskador i samband med ytbehandlade murverk är att ytbehandlingen inte gjorts heltäckande, vilket medfört lokalt höga fuktinnehåll vid sprickor eller andra defekter. En liten frostskada öppnar sedan större möjligheter för vattnet att tränga in, vilket sedan accelererar skadeutvecklingen. Erfarenheten är väsentligt bättre om det finns en slamning mellan tegel och färgskikt. En möjlig förklaring till detta är att slamningen fungerar både som "fuktutjämnare" vid regn och som "fuktmottagare" vid frysning. (Jämför det tidigare resonemanget om kritiskt och aktuellt fukttillstånd i gränsen mellan två material).

Med utgångspunkt från praktisk erfarenhet, hypoteser och olika laboratorieprovningar ges här några regler och riktlinjer med avseende på frostbeständighetsproblematiken:

- Putsa/ytbehandla ej fuktiga murverk på hösten/vintern.
- Putsen måste få tillfälle att härda innan den utsätts för frysning.
- Ett putsbruk av bruksklass C med 12-15% lufthalt i det färska bruket har i de flesta situationer en tillräcklig frostbeständighet. Vid kraftig frostpåkänning bör ett B-bruk användas.
- Dåliga betingelser under putsens härdning kan ge dålig frostbeständighet i framtiden. Snabb uttorkning eller alltför långsam bortsugning av det färska brukets överskottsvatten är några exempel.
- De flesta frostskador har ett samband med läckage eller dåliga avtäckningar. Även taksprångets storlek har stor betydelse.

- Murverk med uppstigande markfukt bör ej ytbehandlas.
- Målning direkt på tegel har visat sig vara vanskligt. En slamning mellan tegel och färg har visat sig fungera bättre. Ju tjockare slamning, desto säkrare resultat.
- Tegel som skall målas måste vara frostresistent enligt SIS 22 01 11.
- Tunna ytbehandlingar medför i allmänhet ingen förbättring av fasadens frostbeständighet. I vissa fall kan motsatsen inträffa.

3.3 Saltangrepp

3.3.1 Allmänt

Närvaro av salter i byggnadsmaterial kan medföra estetiska och tekniska olägenheter. Dessa salter kan ha helt olika ursprung. I vissa fall finns de från början i materialet. I andra fall tillförs de i efterhand, till exempel från marken genom uppstigande markfukt. Salterna kan även bildas i väggen genom olika kemiska reaktioner.

Det allvarligaste saltangreppet visar sig i form av en total nedbrytning av materialet. Den andra ytterligheten är att saltet inte medför några olägenheter alls. Mellan dessa ytterligheter finns hela skalan representerad, till exempel ytavflagning, ytvittring och utblomstringar på ytan.

Enbart närvaron av salt medför i allmänhet inga olägenheter. För att olägenheter skall uppstå måste även andra förutsättningar vara uppfyllda. Den väsentligaste faktorn härvid är att det även finns fukt närvarande. Olika fuktförhållanden och olika salttyper kan medföra helt skilda konsekvenser.

I det följande beskrivs olika salttyper och förutsättningar för att olägenheter skall uppstå. Även olika metoder att eliminera den skadliga inverkan av salter diskuteras.

Någon specialstudie av viss salttyp görs inte. På annat ställe i rapporten diskuteras specialfallet med den sura luftens omvandling av karbonat till sulfat (gipsbildning). Ett annat specialfall som inte behandlas är "kalkutfällning" på betong och putsytor. Denna mekanism har studerats grundligt av Samuelsson (1977). Specialfallet "saltutfällning på nyuppförda tegelmurverk" behandlas bland annat av Eklind (1978).

3.3.2 Vanliga salter

De vanligast förekommande salterna är sulfater, nitrater och klorider. Som exempel på positiva joner kan nämnas kalcium, natrium och magnesium. I gamla hus är den vanligaste källan för saltet uppstigande markfukt. Sulfater finns praktiskt taget i all markfukt och härstammar bland annat från luftens svaveldioxid. Nitrater i marken kan exempelvis komma från urin och gödning. Klorider finns alltid i havsvatten och är alltså aktuellt vid kusterna.

Andra saltkällor är uppstänkande havsvatten och aktiviteter i lokaler.

I gamla källare finns ofta rester av vanligt koksalt (klorid) från en tidigare lagring av saltade produkter.

Olika salter är olika farliga med hänsyn till risken för saltsprängning. Särskilt farliga torde sådana salter vara som kristalliserar med olika kristallvattenhalt alltefter luftens temperatur och fuktighet. Några vanliga salttyper redovisas i TABELL 3.3:1.

TABELL 3.3:1 Några vanliga salter.

Kemisk formel	Kemiskt namn	Benämning
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	Magnesiumsulfat	Bittersalt
$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	Kalciumsulfat	Gips
$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	Natriumsulfat	Glaubersalt
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	Magnesiumnitrat	
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	Kalciumnitrat	
$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	Kalciumklorid	Vägsalt
$NaCl$	Natriumklorid	Koksalt
$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	Natriumkarbonat	Soda
$CaCO_3$	Kalciumkarbonat	Kalksten

Även salternas förmåga att lösa sig i vatten samt den luftfuktighet som erhålles över en mättad saltlösning har stor betydelse för om salternas närvaro i väggen skall ge några problem. Om saltets karaktäristiska RF-värde är lägre än luftens relativa fuktighet, kan nämligen saltet absorbera vatten från luften, vilket i sin tur medför att det fuktmekaniska tillståndet i väggen ändras. Karaktäristiska RF-värden och maximal löslighet vid 20°C redovisas i TABELL 3.3:2 för några vanliga salter.

3.3.3 Fuktkällor och fukttransport

Fukten, som är nödvändig för att salter skall kunna transporteras och ge skadliga konsekvenser, kan ha olika ursprung. Markfukt, slagregn, luftfukt, byggfukt och läckage är de vanligaste källorna.

TABELL 3.3:2 Löslighet och karaktäristiskt RF-värde för några vanliga salter vid 20°C.

Salt	Löslighet 1) (g/l)	RF-värde 2) (%)
$Ca(NO_3)_2$	1 215	55
$Mg(NO_3)_2$	758	55
$CaCl_2$	745	33
NaCl	358	76
$MgSO_4$	355	90
Na_2CO_3	214	92
Na_2SO_4	193	93
$CaSO_4$	2.02	98
$CaCO_3$	0.013	--

1) Olika källor anger något varierande siffror. Värdena i tabellen avser vattenfritt salt.

2) Värdena är tagna från en artikel i Ecology, Vol. 41, No 1.

Med markfukt avses allt vatten som finns i marken. Väggens möjligheter att suga åt sig detta vatten beror på ingående material och konstruktiv utformning. Den höjd till vilken vattnet kan stiga kapillärt i väggen bestäms av uppsugningshastighet och uttorkningshastighet. Den senare påverkas i hög grad av bland annat väggens ytbehandling. En stighöjd upp till några meter kan vara aktuell i en putsad tegelvägg. Väggen kan vid uppstigande markfukt bli helt kapillärmättad.

Det slagregn som träffar en punkt på en fasad varierar inom vida gränser och påverkas bland annat av

- byggnadens geografiska läge
- omgivningens utseende
- fasadorientering
- fasadutformning
- läge på fasaden
- fasadens storlek

Väl skyddade fasadpartier kanske inte träffas av något slagregn medan utsatta partier på västkusten kan träffas av upp till 500 kg/m^2 under

ett år. Luftfukten tillförs väggen genom att porösa material alltid absorberar fukt och genom kondens. För olika material finns ett givet samband mellan absorberad fuktmängd och luftens relativa fuktighet. Denna mängd påverkas dock i mycket hög grad av väggens saltinnehåll. Ett exempel på detta redovisas i FIG 3.3:1.

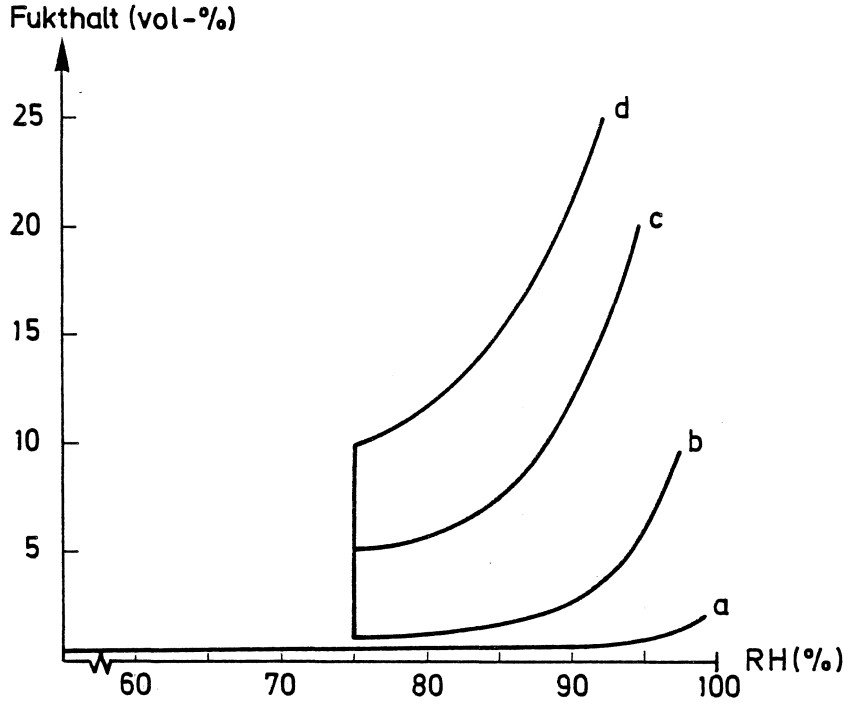


FIG 3.3:1 Jämviktsfuktinnehåll i tegel med olika saltinnehåll (NaCl). a = 0 kg/m^3 ; b = 4 kg/m^3 ; c = 20 kg/m^3 ; d = 40 kg/m^3. (Vos & Tammes, 1969).

Kondens kan ske antingen inne i väggen eller på ytan. Mängden kondensat påverkas bland annat av luftens temperatur och RF samt av väggens konstruktion.

Byggfukt tillförs väggen i samband med uppförandet, till exempel vid murning och putsning.

Fukttransport kan ske på två principiellt olika sätt, nämligen i vätskefas eller i ångfas. Vid fukttransport i vätskefas, i huvudsak genom kapillärsugning, finns alltid ett sammmanhängande vattensystem. Eventuella salter som finns upplösta i detta vatten följer då med vattnet. Vid fukttransport i ångfas förflyttar sig däremot vattenmolekyler

i porluften. Någon salttransport med dessa vattenmolekyler är inte möjlig.

Vid den renodlade absorbtionen ovan är det fråga om en ren ångtransport. I samband med de övriga fuktkällorna kan bägge fukttransportsätten vara aktuella.

Olika fuktkällor och fukttransport behandlas utförligt i Sandin (1980b).

3.3.4 Saltskademekanismer

Saltets verkningar i väggen är enligt föregående avsnitt i hög grad beroende av de fuktmekaniska förhållandena. Olika fukttillstånd medför helt olika konsekvenser. För att förklara olika skadetyper finns i litteraturen ett antal mekanismer beskrivna. Den enklaste innebär helt enkelt att saltet ackumuleras i en avdunstningszon och när porerna är fyllda kommer saltkristallerna vid sin fortsatta tillväxt att utöva ett tryck mot porväggarna.

Vid en mera vetenskaplig behandling av problemet tillgrips i allmänhet kristallisationstrycks- eller hydratationstrycksteorin. Enligt kristallisationstrycksteorin sker en volymökning när salt börjar kristallisera i en övermättad lösning. Denna volymökning ger i sin tur upphov till ett tryck på porväggarna. Förhållandet är helt identiskt med vattnets expansion vid frysning. De tryck som teoretiskt kan uppstå vid kristallisationen är mycket stora. I verkliga material blir trycken mindre eftersom saltlösningen kan pressas ut i porerna. Denna transport ger då upphov till ett tryck på samma sätt som enligt hydrauliska tryckteorin vid frostsprängning.

Hydratationstrycksteorin utgår från det faktum att volymen ändras när ett salt upptar eller avger kristallvatten. Denna volymändring ger i sin tur upphov till ett tryck på porväggarna. Förhållandena är mycket komplicerade och är starkt beroende av temperatur och fuktighet. För natriumsulfat uppges i litteraturen att om kristallisation sker i en natriumsulfatlösning och temperaturen är högre än 32.4^{o}C bildas Na_2SO_4 utan kristallvatten. Vid en lägre temperatur bildas $Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$. Om temperaturen hos det vattenfria saltet sänks och vatten tillförs kommer kristallvatten att tas upp, med åtföljande volymökning. Är allt tillgängligt utrymme då fullt av det vattenfria saltet kommer ett tryck att uppstå mot porväggarna. Den kraftiga sprängverkan hos Na_2SO_4 används ofta för att testa beständighet hos sten. Ett annat salt som uppges ha stor sprängverkan är $MgSO_4$.

En volymökning hos salter i ett material kan även ske genom kemiska reaktioner. Vid omvandling av kalciumkarbonat till gips ökar exempelvis volymen till det dubbla. Ännu större volymökning fås när magnesiumkarbonat övergår till bittersalt. Båda dessa reaktioner kan ske i kalksten under inverkan av luftens svaveldioxid.

Saltsprängningsskador torde även kunna ske genom att saltet och det omgivande materialet har olika fukt- och temperaturberoende rörelser.

Ovanstående behandling av olika skademekanismer är mycket summarisk och visar enbart principerna. Redovisning av siffermässiga storlekar på olika tryck och dylikt har medvetet utelämnats, eftersom de inte säger någonting om man inte samtidigt gör en djupgående behandling av hela problematiken. Detta görs bland annat av Winkler (1973).

Förutom den renodlade sprängverkan kan salt även medföra andra skador. Ett exempel på detta är när starkt hygroskopiska salter av någon anledning finns i väggen. Är luftens relativa fuktighet högre än saltets karaktäristiska RF-värde, absorberar saltet vatten från luften. De absorberade vattenmängderna kan bli så stora att en sammanhängande vätskefas bildas, vilket i sin tur medför att saltet och vätskan kan förflytta sig i väggen och ge fuktfläckar eller andra skador.

3.3.5 Provningsmetoder

I praktiken är saltsprängning ett mycket komplicerat förlopp där salttyp, fukttillstånd, temperatur och materialegenskaper har stor betydelse. Någon generell provningsmetod för att testa ett materials möjligheter att klara en viss påfrestning finns inte.

För stenmaterial utvecklades på 1800-talet en provningsmetod för att prova frostbeständigheten. Metoden används idag istället till att få en allmän uppfattning av stenmaterials beständighet, främst med avseende på saltsprängning. Metoden, som enbart är av jämförande karaktär, utnyttjar omvandlingen från Na_2SO_4 till $Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$ som nedbrytningsmekanism. Från början mättas torra prover med Na_2SO_4 -lösning varefter provet torkas i ugn vid 50 - 100°C. Proceduren upprepas och viktändringen bestäms som funktion av antal cykler. I början sker i allmänhet en viktökning, efterhand som porerna fylls med salt. När porerna är tillräckligt fulla börjar materialet att förstöras med åtföljande avflagning och viktminskning. Metoden och hur olika faktorer inverkar på provningsresultatet diskuteras i Price (1978).

Provningsmetoden ska inte uppfattas som en generell saltsprängningstest utan är i princip endast en test av materialets förmåga att motstå den provade saltsprängningsmekanismen, nämligen en plötslig omvandling från Na_2SO_4 till $Na_2SO_4 \cdot 10\ H_2O$. Andra salter och fukttillstånd kan ge helt andra resultat. Vidare kan även salter som inte tar upp något kristallvatten i praktiken ge skador.

3.3.6 Sammanfattande diskussion

Saltsprängningsmekanismerna och olika faktorer som inverkar är inte helt kända. Olika uppfattningar står delvis mot varandra. Det enda helt säkra är att det är ett komplicerat förlopp med många inverkande faktorer samt att risken för skador i huvudsak är koncentrerad till det ställe där en avdunstning förekommer. Sker avdunstningen från ytan sker saltutfällningen här, vilket i vissa fall medför en ytvittring. Ligger däremot avdunstningszonen inne i väggen, till exempel under en puts, kommer salthalten att öka här med åtföljande sprängningsrisk. I murverk kan förhållandena bli helt olika i mursten och fog, eftersom dessa har helt olika egenskaper. Även olika murstenar i samma vägg kan besitta helt olika egenskaper. I gamla tegelmurverk är det mycket vanligt att vissa stenar vittrar kraftigt, medan andra intilliggande stenar är helt oskadade. De stenar som vittrar kan exempelvis vara lösbrända, medan de oskadade är mer hårdbrända. Den lösbrända stenen är mer finporös än den hårdbrända, vilket medför att den lättare suger åt sig vatten med tillhörande salt. Salthalten blir alltså högre i den lösbrända stenen. Den lösbrända stenen har även sämre hållfasthet, vilket förvärrar situationen ytterligare.

Även om det finns många frågetecken i samband med saltvittring ges i det följande några synpunkter och riktlinjer för hur man kan stoppa eller åtminstone minska en fortsatt skadeutveckling för en saltskada. Åtgärderna kan indelas i 3 steg enligt följande:

1. Analys av fukt- och saltförhållandena.
2. Stäng om möjligt av fukt- och saltkällorna.
3. Om punkt 2 är omöjlig, eller om i väggen befintligt salt är skadligt, måste saltet avlägsnas eller passiveras.

Analysen av fukt- och saltförhållandena syftar till ett fastställande av varifrån fukt och salt kommer. Härvid måste man då beakta samverkan mellan fukt och salt. Fuktkvoten (eller något annat fukttillstånd), saltkoncentrationer och jämviktsfukthalter på olika djup och höjd i

väggen är nödvändiga att känna till för att kunna göra en lämplig diagnos. En kemisk analys av salterna är också värdefull. Att enbart grunda sin bedömning på fuktkvoter är förrädiskt. Dels varierar fuktkvoten ofta mycket kraftigt inom ett visst material, beroende på varierande materialegenskaper. Dessutom kan saltinnehållet påverka fuktkvoten i mycket hög grad. I ett material utan salt kanske en viss relativ fuktighet ger fuktkvoten 0.5%. I samma material med ett visst salt kanske motsvarande siffra blir 5%. Som exempel på vilka misstag som kan begås genom att enbart studera fuktkvoten kan vi studera FIG 3.3:2. Med utgångspunkt från enbart fuktkvotsfördelningen blir slutsatsen att fukt tillförs från ytan. Genom att även studera jämviktskvoterna ser man emellertid att detta inte är självklart. Fuktkvoterna inne i väggen ligger nämligen över jämviktsfuktkvoterna. Anledningen till att ytan har ett högre fuktinnehåll är helt enkelt att salthalten är högre här.

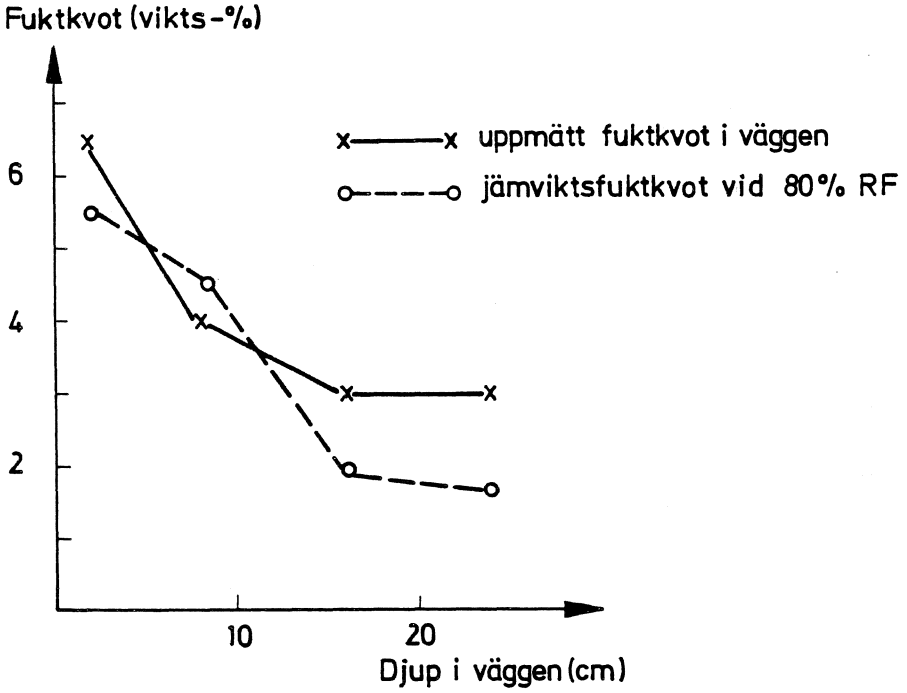


FIG 3.3:2 Exempel på fuktförhållanden i tegelvägg med visst saltinnehåll.

När man skaffat sig en uppfattning om varifrån fukt och salt kommer, blir nästa steg att stänga av fortsatt tillförsel. Det låter enkelt men kan många gånger vara besvärligt och dyrbart. Ibland är det också praktiskt omöjligt. I många fall med saltskador kommer salt och vatten

från uppstigande markfukt. I sådana fall skall alltså markfukten elimineras. Åtgärder för detta är bland annat dränering och något kapillärbrytande skikt i väggen. Det senare kan göras genom uppsågande av slitsar i vilka något kapillärbrytande material placeras. Ett annat alternativ är injicering av kemiska preparat, som gör ett snitt av väggen vattenavvisande.

Om man inte lyckas med att avstänga salttillförseln, eller om det i väggen befintliga saltet är skadligt, måste andra åtgärder vidtas. Om salttillförseln fortsätter måste dessa åtgärder eventuellt upprepas med vissa tidsmellanrum. Exempel på sådana åtgärder är avlägsnande av saltet, passivering av saltet eller styrning av saltsprängningsmekanismen.

Borttagande av saltet, avsaltning, kan göras på i huvudsak två sätt, nämligen genom utbyte av salthaltigt material eller genom någon form av extraktion med vatten. I de fall saltet i huvudsak finns i en puts kan det första alternativet vara tänkbart.

När däremot saltet är lokaliserat till djupare belägna delar av väggen, eller om väggmaterialet av andra skäl inte får utbytas, måste avsaltningen göras genom extraktion. Härvid finns i huvudsak två olika mekanismer som kan utnyttjas. Om väggytan utsätts för rinnande vatten kommer till en början hela väggen att vattenmättas. Fortsätter vattenbegjutningen ytterligare, kommer saltet från väggen att diffundera ut i det rena vattnet. När vattenbegjutningen upphör börjar den andra mekanismen verka. Det vatten som finns i väggen har då en viss salthalt och när vattnet avdunstar från ytan, utkristalliserar saltet där och kan borstas bort. Sker uttorkningen alltför snabbt kan salterna fällas ut inne i väggen med åtföljande sprängningsrisk. För att eliminera denna risk kan ytan täckas med något material, som kan absorbera saltet utan att skada väggen. Exempel på sådana material är pappersmassa och lermaterialet Attapulgit. Bowley (1975) redovisar ett praktiskt försök att avsalta en vägg genom extraktion.

Passivering av väggens saltinnehåll innebär att ett med hänsyn till saltsprängning farligt salt omvandlas till ett ofarligt salt. Principen för detta är att tillföra ett kemiskt preparat som reagerar med aktuellt salt. Metoden är dock inte helt riskfri, eftersom nya salter tillförs väggen. Förutom risken för överdosering finns även risken för skadliga biprodukter. Om man exempelvis vill oskadliggöra det kraftigt sprängande och lättlösliga natriumsulfatet, kan detta mycket väl göras genom tillsats av bariumklorid, varvid ett svårlösligt bariumsulfat bildas. Så

långt är allting väl, men samtidigt bildas även det lättlösliga koksaltet, som istället kan förorsaka saltvittring. Exemplet illustrerar vilka svårigheter som finns vid en kemisk passivering. Problemet försvåras ytterligare av att det ofta finns flera olika salter närvarande samtidigt. Vissa salter är överhuvudtaget inte möjligt att passivera.

Ett annat sätt att påverka saltsprängningen, utan att stänga av fukt- och salttillförseln, är att styra fukt- och saltförhållandena i riskzonen. Vill man till exempel undvika synliga saltutfällningar och ytvittring, kan man förflytta avdunsningsszonen inåt i väggen. Detta kan göras genom att göra det yttersta skalet vattenavvisande. Alternativt kan man göra ytan helt tät så att ingen avdunstning förekommer. Dessa metoder medför dock en stor risk för att skadorna på längre sikt blir allvarligare. En avdunstningszon inne i väggen medför ju att påfrestningarna här blir stora. Har väggmaterialet hög hållfasthet kan metoderna lyckas. Ofta är emellertid hållfastheten dålig.

Har väggmaterialet, av kulturhistoriska eller andra skäl, stort värde och till varje pris måste bibehållas, kan man tillgripa en så kallad "offerputs". Detta innebär att en relativt svag puts appliceras på ytan. Sammansättning och tjocklek väljs så att avdunstningszonen hamnar i putsskiktet. Resultatet blir att putsen skadas istället för underlaget. Teoretiskt verkar detta enkelt, men i praktiken kan det vara svårt att genomföra. Metoden används dock som en nödlösning.

3.4 Vidhäftning

3.4.1 Allmänt

En av de viktigaste egenskaperna i samband med puts är vidhäftningen mellan puts och underlag, det vill säga putsens förmåga att sitta kvar på väggen.

Vidhäftningsmekanismen och olika faktorer som påverkar vidhäftningen har sysselsatt många forskare under lång tid. Resultaten som redovisas i olika rapporter är i huvudsak samstämmiga, även om det i vissa fall anges helt motsatta slutsatser. Weigler (1965) och Högberg (1967) är två exempel på rapporter från mycket omfattande laboratorieundersökningar. I dessa rapporter redovisas vidhäftningshållfastheter för en mängd olika kombinationer av puts-underlag. Vidare ges här rekommendationer för hur man skall få så stor vidhäftning som möjligt. Följs dessa råd så är risken för vidhäftningsbrott i praktiken minimal.

Frågan om hur stor vidhäftningen måste vara för att putsen inte skall lossna i praktiken är svår att besvara. För att kunna bära sin egenvikt krävs ingen större vidhäftning. Yttre påfrestningar, till exempel fukt- och temperaturrörelser, krympning vid hårdnandet, rörelser i stommen och frostpåkänning, medför dock stora spänningar i vidhäftningszonen. En enkel tumregel är att vidhäftningen bör vara lika stark som putsens draghållfasthet. Mot detta kan invändas att om putsens hållfasthet och vidhäftningshållfastheten är större än underlagets hållfasthet, kommer ett eventuellt brott att ske i underlaget, vilket är allvarligare än om enbart putsen lossnar. Med hänsyn härtill kan man då formulera kravet så att vidhäftningshållfastheten skall vara lika med putsens hållfasthet men något mindre än underlagets hållfasthet.

Några generella siffermässiga krav på erforderlig vidhäftning finns inte. I HusAMA 72 uttrycks vidhäftningskravet verbalt med "Puts skall häfta vid underlag och mellan olika påslag". I ER-översikten för puts anges att en högre vidhäftningshållfasthet än 0.2 MPa är utan praktisk betydelse. När det gäller målning på underlag med hög hållfasthet förekommer ibland högre krav. 0.8 MPa har nämnts som ett lägsta värde vid målning på betong.

3.4.2 Påfrestningar på vidhäftningszonen

Vidhäftningszonen utsätts för ett flertal olika påkänningar. Omedelbart vid putspåslaget uppträder en spänning på grund av putsens egen-

vikt. När putsen (eller ytskiktet) börjar torka och hårdna tillkommer krympspänningar. Senare tillkommer spänningar på grund av fukt- och temperaturrörelser, vindkrafter, rörelser i underlaget samt inverkan av frost- och saltangrepp. Även rent kemiska reaktioner kan ge påkänningar.

Krympning samt fukt- och temperaturrörelser i puts/ytskikt eller i underlaget ger skjuv-, tryck- och dragspänningar i vidhäftningszonen. En teoretisk beräkning, med antagande att materialen är linjärelastiska, visar att uppträdande spänningar blir mycket stora vid kanterna. Lokalt blir spänningarna ofta väsentligt större än materialens brotthållfasthet. Den praktiska erfarenheten visar dock att vidhäftningsbrott är ovanliga. Beräkningsmetoden är alltså inte användbar för kvantitativa beräkningar av verkliga spänningar. Problemställningen kan troligen angripas med brottmekaniska beräkningsmodeller. Även om enkla linjärelastiska beräkningar inte är användbara för kvantitativa beräkningar, ger de en god uppfattning om rådande spänningsfördelning i vidhäftningszonen. I FIG 3.4:1 visas den principiella spänningsfördelningen när en puts krymper och underlaget är orörligt. Som framgår av figuren är spänningarna störst vid putskanterna.

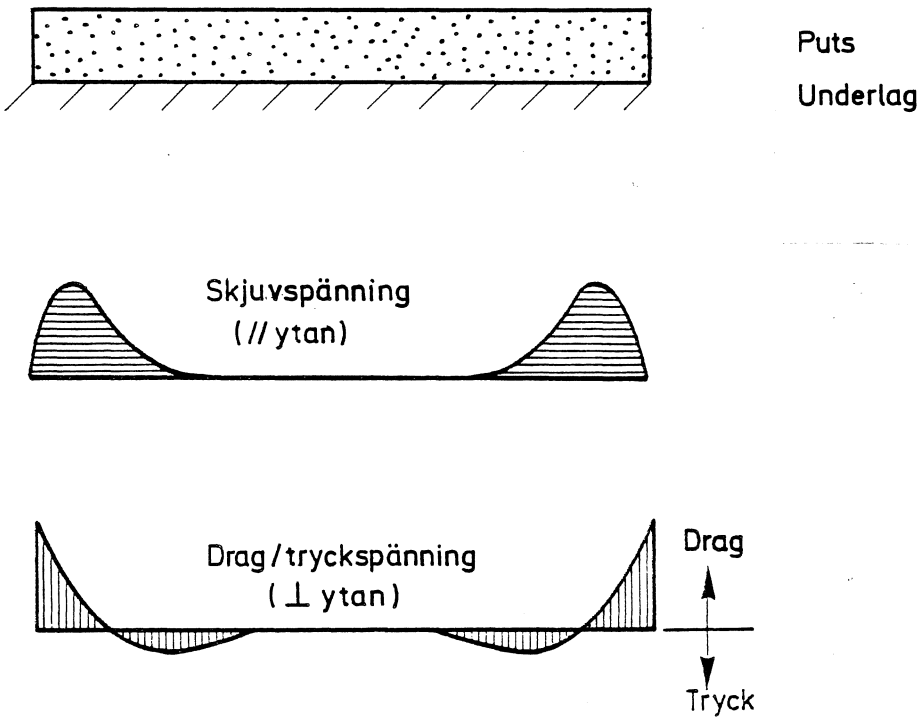


FIG 3.4:1 Principiell spänningsfördelning i vidhäftningszonen när en puts krymper och underlaget är fast.

En ökande elasticitets- och skjuvmodul medför ökande spänningar. En större putstjocklek ger samma resultat. De stora spänningarna vid kanterna medför att eventuella vidhäftningsbrott utvecklas härifrån. Finns det en spricka i putsen kan vidhäftningsbrottet utgå från denna.

En detaljerad analys av vidhäftningspåkänningar blir komplicerad och måste göras med datorberäkningar. Bristen på relevanta materialdata gör för närvarande en sådan analys omöjlig. Problemet diskuteras ytterligare i avsnitt 3.5 i samband med rörelser och risk för sprickbildning.

Vindkrafter ger tryck- och dragspänningar i vidhäftningszonen. Dessa spänningar är små och kan i normalfallet försummas. Dragspänningar på grund av vinden kan dock medverka till att en redan lossnad puts ramlar ner.

Frost- och saltangrepp kan medföra stora påkänningar i vidhäftningszonen. Båda angreppen medför någon form av expansion i "porvattnet". Om putsen och underlaget då har olika porstruktur, uppstår en plötslig förändring av möjligheten för porvattnet att expandera, vilket leder till en ökad påkänning i vidhäftningszonen. Förhållandena förvärras ytterligare av att själva vidhäftningszonen kanske har poregenskaper som helt avviker från poregenskaperna hos puts och underlag. Problemet med frost- och saltangrepp behandlas i avsnitt 3.2 och 3.3.

Kemiska reaktioner kan helt och hållet förstöra vidhäftningen. Detta är främst aktuellt i samband med organiska ytskikt på alkaliska underlag. Förtvålning av ytskiktet (eller primningen) är ett exempel. Även andra reaktioner är tänkbara, till exempel att ett nytt ytskikt "löser upp" det underliggande.

3.4.3 Faktorer som påverkar vidhäftningen

Den totala vidhäftningshållfastheten byggs upp genom olika mekanismer. Vanligen räknar man med en mekanisk, en fysikalisk och en kemisk del. Hur stort bidrag de olika delarna har var för sig är okänt. Med mekanisk vidhäftning avses den hållfasthet som uppnås genom att putsen/ytskiktet tränger in i underlagets ojämnheter och stora porer. Putsen/ytskiktet får helt enkelt "rötter" in i underlaget. Med fysikalisk vidhäftning avses de attraktionskrafter som uppstår när två

partiklar kommer tillräckligt nära varandra. Den kemiska delen av vidhäftningen utvecklas efterhand som putsen reagerar med underlaget. Mekanismen är i princip densamma som när bruk hårdnar.

Samtliga mekanismer ovan förutsätter att putsen eller ytskiktet har en perfekt kontakt med underlaget. Detta innebär i sin tur att förutsättningarna för en god vidhäftning grundläggs vid appliceringen. Får man inte en god kontakt vid appliceringen, finns inga större förutsättningar för att vidhäftningen skall bli god. Har man däremot en god kontakt från början, kommer vidhäftningen att öka med tiden på grund av den kemiska vidhäftningsdelen. Ett grundläggande problem är sålunda hur man skall få en god kontakt mellan puts och underlag. I detta sammanhang används även begreppet "vätning", dvs putsens/ytskiktets förmåga att väta underlaget. Underlagets förmåga att suga åt sig vatten och bindemedelsblandningen från putsen/ytskiktet är härvid av avgörande betydelse. Detta påverkas i sin tur, förutom av underlagets sugförmåga, av brukets sammansättning. Några andra faktorer som påverkar vidhäftningen är underlagets skrovlighet och renhet samt härdningsbetingelserna.

Betydelsen av att putsen väter underlaget ordentligt, och vilka faktorer som påverkar detta, framgår tydligt i Högberg (1967). Denna undersökning studerar detaljerat förhållandena i samband med cement- och kalkcementbruk, men resultaten bör vara direkt överförbara på andra bindemedel. Är underlaget kraftigt sugande, till exempel torr gasbetong, är det svårt att få en fullständig vätning av underlaget med vissa bruk. Avgörande för händelseförloppet är bindemedelspastans "konsistens", inte brukets konsistens. En lättflytande bindemedelspasta medför god vidhäftning. Vid samma konsistens hos bruket har ett magert bruk en mer lättflytande bindemedelsvällning, vilket alltså medför en bättre vidhäftning till starkt sugande underlag. Hos ett fett bruk är däremot vatten-bindemedelsblandningen mer trögflytande, varför någon omedelbar vätning inte sker av underlaget. När putsen appliceras börjar omedelbart vatten att sugas från putsen, varvid putsen styvnar och i sig själv förhindrar att något skikt med bindemedelspasta utbildas mot underlaget.

Att ett fett bruk har en mer trögflytande bindemedelspasta än ett magert bruk beror på att detta bruk har ett mindre förhållande mellan vatten och bindemedel, vid en viss given konsistens hos bruket. Det totala vatteninnehållet i bruket är dock ungefär detsamma.

Mot icke sugande underlag blir däremot vidhäftningen god för både

feta och magra bruk. Siffermässigt erhåller man högre värden för feta bruk, eftersom dessa bruk i sig själva är starkare (lägre vattenhalt i förhållande till bindemedelshalten). Även mot helt släta och icke sugande underlag kan en god vidhäftning erhållas, främst med feta bruk.

Högbergs undersökningar visar entydigt att underlagets sugförmåga samt brukets förmåga att avge vatten-bindemedelsblandningen till underlaget är helt avgörande för vidhäftningen. En kraftig sugning hos underlaget är alltid riskabel för putsens vidhäftning. Detta kan man lätt motverka genom en förvattning innan putsningen. Vid kraftigt sugande underlag duger dock inte en lätt duschning, utan en verklig vattning behövs! Görs detta erhålles en mycket god vidhäftning med alla vanliga putsbruk. Om man däremot inte förvattnar ordentligt, måste man använda bruk med mycket vatten i förhållande till bindemedelsmängden. Detta innebär att man antingen måste välja ett magert bruk med "normalkonsistens" eller ett lättflytande bruk.

I TABELL 3.4:1 redovisas några siffervärden på vidhäftningen i olika fall enligt Högberg (1967).

TABELL 3.4:1 Vidhäftningshållfasthet för olika bruk vid olika sugning hos underlaget.

Bruk	Vidhäftning vid 28 dygn (MPa)	
	Kraftigt sugande underlag	Dåligt sugande underlag (Betong)
C 100/300	0	1.5
C 100/600	1.0	1.4
KC 35/65/400	0	1.2
KC 35/65/800	0.6	1.0
KC 50/50/475	0.1	-
KC 50/50/925	0.4	-
K 100/600	0.1	0.1
K 100/1200	0.2	0.1

I TABELL 3.4:1 har av pedagogiska skäl värdena för feta och magra bruk förskjutits i sidled. Som synes är tendensen helt entydig! Som nämnts ovan kan sugningen hos ett kraftigt sugande underlag minskas genom en ordentlig förvattning. Vid en traditionell 3-skiktsputs medför grundningsskiktet att sugningen dämpas för själva utstockningen. För att grundningsskiktet, som är ett fett bruk, skall få god vidhäftning måste detta ha en mycket lättflytande konsistens (välling). Ett alternativt sätt att minska underlagets sugning kan vara en "utspädd" sili-

konimpregnering. Av arbetstekniska skäl bör denna impregnering inte bli "alltför effektiv". Dagens autoklaverade lättbetong tillverkas med vattenavvisande tillsatser som ger en "lagom" sugning.

Tillsatsmedel till bruket kan påverka vidhäftningen i hög grad. Luftporbildare används i de flesta bruk för att förbättra frostbeständighet och arbetbarhet. Dessa luftporbildare medför dock en försämrad vidhäftning. Anledningen till detta är enligt Högberg att en ansamling av luftporer sker i vidhäftningszonen och att luftporinblandningen medför en mindre vattenhalt i bruket.

Vidhäftningen i samband med starkt sugande underlag kan å andra sidan förbättras genom tillsats av andra konsistenspåverkande tillsatser, till exempel cellulosaderivat.

Underlagets skrovlighet har enbart betydelse under den första tiden efter appliceringen, innan den kemiska vidhäftningen utvecklats. På lång sikt kan man få bra vidhäftning även mot helt släta ytor, till exempel glas. På en helt slät och icke sugande yta är det däremot svårt att rent praktiskt applicera en tjockputs. En grundning kan då bli nödvändig av arbetstekniska skäl.

Underlagets renhet har självfallet en stor betydelse. Fett och sot på ytan försämrar vätningen kraftigt. En mindre mängd lösa partiklar kan dock tillåtas. Den applicerade putsen/ytskiktet kan absorbera dessa partiklar. När mängden lösa partiklar blir för stor är detta inte möjligt. En ordentlig rengöring av underlaget är sålunda en absolut förutsättning för en god vidhäftning.

Härdningsbetingelserna efter appliceringen påverkar vidhäftningsutvecklingen på samma sätt som hållfasthetsutvecklingen i själva bruket/ytskiktet. Detta innebär till exempel att en snabb uttorkning av en KC-puts ger en sämre vidhäftning. Detta beror dels på att de kemiska reaktionerna inte sker ordentligt och dels på att krympsprickor kan uppstå i vidhäftningszonen. För ett kalkbruk måste karbonatiseringen ha nått in till vidhäftningszonen, innan man kan räkna med någon större vidhäftning, vilket kan ta lång tid.

Ett universalbruk, vilket skall passa både sugande och icke sugande underlag, kan enligt Högberg väljas på följande sätt:

- minst 50 vikts-% cement i bindemedlet
- minst 25 vikts-% kalk i bindemedlet
- volymförhållandet bindemedel:ballast skall vara 1:5-1:6
- ingen luftporinblanding
- så mycket vatten som möjligt med hänsyn till arbetstekniken

3.4.4 Provningsmetoder

Den grundläggande förutsättningen, putsens förmåga att väta underlaget, för en god vidhäftning kan lätt kontrolleras i samband med putsningsarbetet. Härvid fästes en gasväv på underlaget, som sedan putsas över. Efter någon minut dras putsen bort och kontaktytan studeras. För att det skall finnas förutsättningar för en bra vidhäftning skall underlaget vara helt täckt av bruksrester/bindemedelspasta.

Den slutliga vidhäftningen på en arbetsplats kan kontrolleras genom enkla dragprov enligt FIG 3.4:2. Härvid limmas en dragplatta mot putsen/ytskiktet varefter putsen sågas upp runt plattan. Med en lämplig draganordning mäts sedan erforderlig kraft för att dra loss plattan. Motsvarande spänning beräknas och jämförs med putsens/underlagets draghållfasthet. Det är inte alltid nödvändigt att mäta kraften utan man kan ofta nöja sig med att konstatera var brottet sker. Sker brottet i putsen eller i underlaget är vidhäftningen tillräcklig.

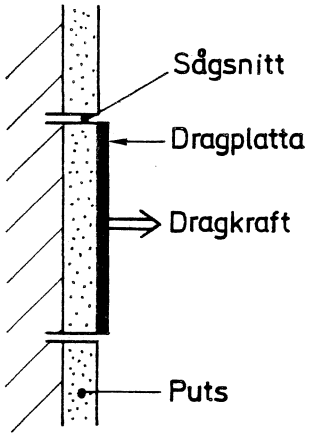


FIG 3.4:2 Vidhäftningsprov med dragkraft.

För laboratoriemätningar finns det ytterligare metoder. Den vanligaste är mätning av skjuvhållfastheten. Två sådana metoder beskrivs i RILEM tentative recommendations (1980).

I samband med organiska tunnputser och färger finns även möjlighet att göra ett "fläkprov". Detta prov innebär i princip att man drar bort ytskiktet enligt FIG 3.4:3. För att detta skall vara möjligt måste ytskiktet förstärkas med någon typ av väv.

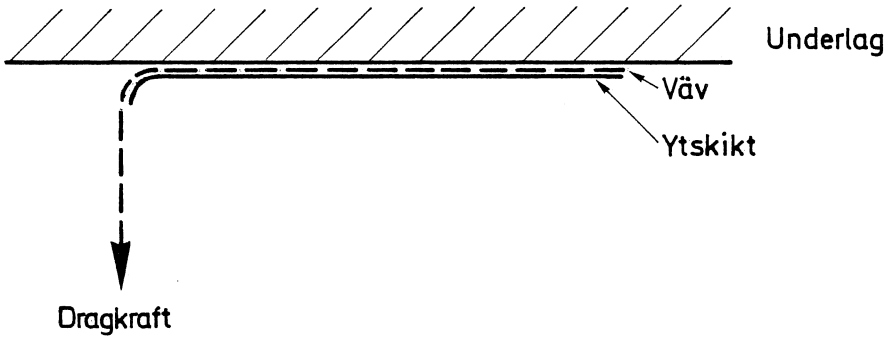


FIG 3.4:3 Fläkprov.

Alla hållfasthetsprovningar bör utföras både i vått och torrt tillstånd samt vid organiska material även under inverkan av alkaliskt vatten.

Ett utmärkt komplement till hållfasthetsprovningarna är mikroskopstudier av vidhäftningszonen. Bindemedelsanrikning eller luftblåsor i vidhäftningszonen är härvid lätt att upptäcka.

3.4.5 Sammanfattande diskussion

En god vidhäftning är en grundförutsättning för att putsen eller ytskiktet skall fungera tillfredsställande. Dålig vidhäftning i samband med tjockputs medför bompartier, som efterhand kan utvecklas till putsnedfall. Vid organiska ytbehandlingar kan följden av en dålig vidhäftning bli blåsbildning, som efterhand utvecklas till avflagning. Blåsbildning i organiska ytskikt anses ofta bero på ett högt "ångtryck inifrån". Denna förklaring är dock mycket tveksam. De ångtryck som kan uppstå är nämligen mycket små. En mer sannolik förklaring är fukt- och temperaturrörelser hos ytskiktet i kombination med dålig eller obefintlig vidhäftning. När blåsan väl har bildats kan vatten, is och salt utvidga den ytterligare så att den slutligen brister.

Reglerna för att få god vidhäftning är enkla och entydiga, varför några problem med vidhäftningsbrott egentligen inte skulle behöva förekomma. Det grundläggande kravet är att underlaget är rent och att putsen/ytskiktet väter underlaget ordentligt, vilket är lätt att kontrollera på arbetsplatsen. Vid starkt sugande underlag kan det vara svårt att uppnå fullständig vätning. Detta kan då åtgärdas på två sätt. Antingen minska underlagets sugning eller användandet av ett bruk, som har en lättflytande bindemedelsvälling. I den putstradition som finns

idag använder man en kombination av dessa metoder. Först en lätt förvattning och sedan grundning med ett lättflytande grundningsbruk. Vid påslaget av utstockningen reducerar sedan grundningsskiktet underlagets sugning i appliceringsögonblicket. Att grundningsbruket i sig skulle medföra en bättre vidhäftning är tveksamt. Tillräcklig vidhäftning till starkt sugande underlag kan mycket väl erhållas utan grundningsbruket. En förutsättning härför är då att man dämpar sugningen på något annat sätt (ordentlig förvattning) eller använder ett lämpligt bruk. Ur praktisk synvinkel är användandet av ett grundningsbruk välmotiverad,eftersom man ser var man grundat. En förvattning är svårare att kontrollera. Grundningen har även fördelen att utjämna sugningen när underlaget består av olika material. (Den sugning som diskuteras här är den omedelbara sugningen vid puts-/ytskiktsappliceringen.)

Någon inträngning av bindemedel i underlaget är inte nödvändig för en god vidhäftning. Det enda fall där man måste ha en inträngning i underlaget är när man skall förstärka detta. De flesta bindemedel består dock av så pass stora partiklar att någon inträngning inte kan ske. Att späda ut ett sådant bindemedel för att få bättre inträngning är helt verkningslöst. Det enda som tränger in i underlaget är utspädningsvätskan. Skall man få någon inträngning av bindemedel, måste storleken på bindemedelspartiklarna eller molekylerna vara mindre än de håligheter som skall fyllas. Dessutom måste bindemedlet vara relativt lättflytande och bevara denna egenskap en viss tid. Ett lättflytande bindemedel som lätt avger sitt vatten/lösningsmedel blir nämligen snabbt trögflytande, med följd att ingen inträngning kan ske.

3.5 Rörelser - sprickbildning

3.5.1 Allmänt

Sprickbildning beror självfallet på någon form av rörelse och att denna rörelse blivit större än vad materialet kan tåla. Behandlingen av sprickbildningsrisken kan således uppdelas i två delar, nämligen rörelsens storlek och materialets förmåga att deformeras utan att spricka. Genom att påverka dessa två faktorer kan man i viss mån förhindra eller styra sprickbildningen. En exakt kvantitativ beräkning av spänningstillstånd och risk för sprickbildning är för närvarande inte möjlig. Genom förenklade beräkningar och uppskattningar kan man dock göra kvalitativa uttalanden om lämpliga åtgärder för att minska risken för sprickor.

De sprickor som ibland uppstår i fasader kan ha ett mycket varierande utseende, både i fasadens plan och i djupled. Ett visst sprickutseende indikerar i allmänhet en viss orsak till den rörelse som förorsakat sprickan. Man talar härvid om regelbundna - oregelbundna sprickor, rörliga - orörliga sprickor, gamla - nya sprickor, allvarliga - ofarliga sprickor, ytsprickor - genomgående sprickor, många - enstaka sprickor, etc. De praktiska orsakerna samt reparationsåtgärder i samband med dessa olika sprickor diskuteras utförligt i Saretok (1976).

I de följande avsnitten behandlas rörelser och sprickbildning från en mer teoretisk synvinkel. Några exakta teoretiska beräkningar redovisas inte. Den fortsatta behandlingen inskränker sig till vissa grundläggande teoretiska resonemang och principiella samband.

De sprickor som diskuteras kan i huvudsak indelas i putssprickor och underlagssprickor. Putssprickor innebär att putsen spricker utan att det finns någon spricka i underlaget. Den andra typen innebär att det vid putsappliceringen finns en spricka i underlaget, vilken sedan kan gå igenom putsen. Även fallet då en spricka uppstår i underlaget efter det att putsen applicerats tillhör detta typfall. Sprickbredden är då från början lika med noll. Denna indelning innebär att om man applicerar ett nytt ytskikt på en gammal puts med putssprickor, så övergår dessa putssprickor till underlagssprickor. Den gamla putsen blir ju i detta fall underlag till det nya ytskiktet.

3.5.2 Påkänningar i putsen/ytskiktet

En ofta diskuterad rörelsetyp i putsskiktet är krympningen i samband med att putsen/ytskiktet hårdnar. Andra rörelsetyper är temperatur- och fuktrörelser när temperaturen respektive fukttillståndet ändras. Åldring av organiska ytskikt kan även ge upphov till rörelser av samma typ som krympningen.

Förutom ovanstående påfrestningar, som beror på rörelser i själva putsen/ytskiktet, kan putsen/ytskiktet utsättas för påfrestningar som beror på rörelser i underlaget.

Putsens/ytskiktets krympning under hårdnandet har varit föremål för ett flertal undersökningar. I Saretok (1957) sammanställs en del undersökningar för olika putser. Här redovisas även sifferuppgifter på krympningen samt åtgärder för att minimera krympningen.

Krympningen i en puts beror främst på att en del av blandningsvattnet försvinner från putsen. Så länge putsen inte har hårdnat medför denna vattenavgång enbart en volymminskning. Sker uttorkningen snabbt kan en sprickbildning uppstå i själva putsen. När putsen hårdnat så att putsen inte längre kan deformeras fritt uppstår spänningar i stället. Avgörande för detta är putsens fasthållning till underlaget. En helt fri putskaka kan ju röra sig fritt och några spänningar uppstår således inte. I verkligheten får man dock krympspänningar även i detta fall, eftersom putsen torkar ojämnt. Ytan är torrare än delar längre in, vilket medför att någon fri krympning inte kan ske i ytan. Detta innebär bland annat att ju tjockare putsen är, desto ojämnare blir krympningen.

Eftersom krympningen beror på en uttorkning, kommer klimatet att ha stor betydelse för krympningen. Hög temperatur, låg luftfuktighet, solstrålning och hög vindhastighet är några faktorer som påskyndar krympningen.

Putsbrukets sammansättning har mycket stor betydelse för krymp-

ningen. All krympning sker i bindemedelsblandningen, medan ballasten (om den är av sten eller dylikt) försöker förhindra krympningen. En liten mängd av bindemedel och vatten skulle alltså vara gynnsamt ur krympningssynpunkt. En hög vattenhalt är å andra sidan inte ogynnsam om vattnet hinner försvinna innan putsen börjar hårdna. Härvid har underlaget stor betydelse genom sin förmåga att suga bort överskottsvatten.

En god kornstorleksfördelning hos ballasten är gynnsamt ur krympningssynpunkt. En alltför finkorning ballast kräver en högre vattenhalt och därmed följer en större krympning.

Krympningen i sig är mindre intressant. Väsentligare är uppträdande spänningar och eventuella sprickor. Att enbart göra sina bedömningar med utgångspunkt från en i laboratorium uppmätt krympning är inte riktigt. Sådana mätningar görs nämligen på provkroppar som kan röra sig helt fritt. I FIG 3.5:1 redovisas sådana resultat för några olika putsbruk. Enligt denna figur är

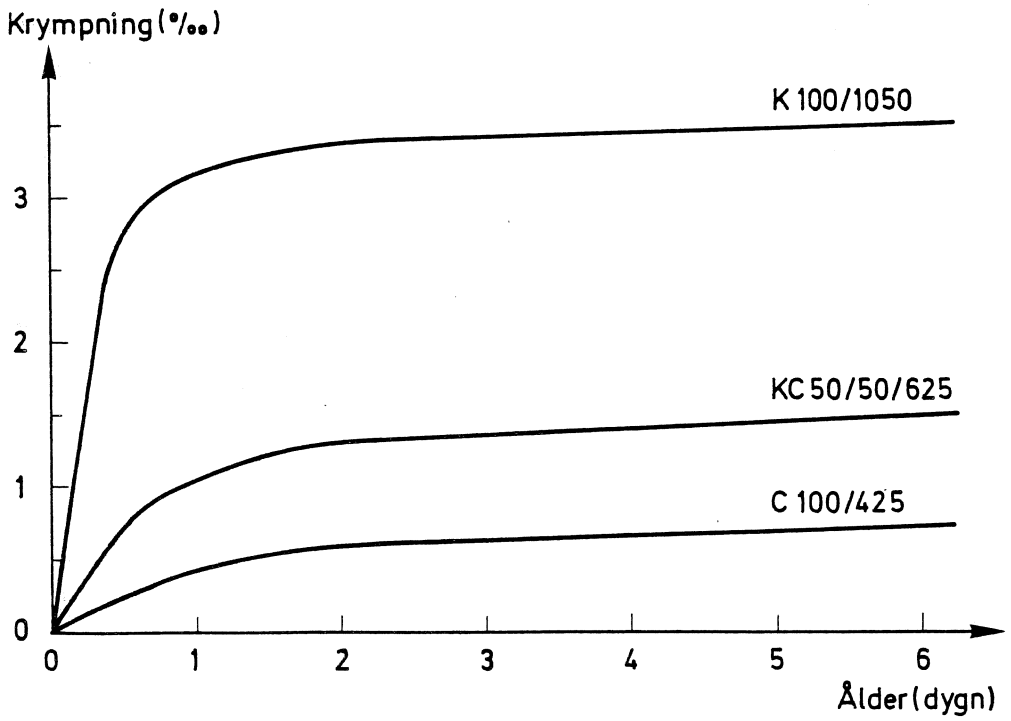


FIG 3.5:1 Fri krympning hos olika bruk.

krympningen störst i kalkbruk. Härigenom kan man lätt frestas att tro att risken för skadliga följdverkningar av krympningen är störst i kalkbruk samt att denna risk är speciellt stor under första dygnet. Så är dock inte fallet. När rörelsen förhindras, till exempel av underlaget, uppstår spänningar i putsen och i underlaget. Överstiger dessa spänningar brotthållfastheten uppstår en spricka eller dylikt. Den spänning som uppstår när en puts är förhindrad från att krympa fritt,beror inte enbart på den fria krympningens storlek enligt FIG 3.5:1. En mängd andra, delvis svårkvantifierbara, faktorer har en avgörande betydelse.

Putsens förmåga att deformeras plastiskt, E-modul, brotthållfasthet och brottöjning är de väsentligaste materialegenskaperna. Stor förmåga att deformeras plastiskt, liten E-modul, hög brotthållfasthet och stor brotttöjning är gynnsamt. En bättre bedömningsgrund i samband med krympning hos putser är den spänning som uppstår när en puts är förhindrad från att krympa. Sådana kurvor kan uppvisa ett helt annat mönster än kurvor visande den fria krympningen, både med avseende på tidsförlopp och rangordning mellan olika putser. De största spänningsökningarna kan mycket väl inträffa när krympningen enlig FIG 3.5:1 nästan avstannat, d.v.s. efter 2 dygn.

Även om man har tillgång till uppgifter på uppträdande spänningar när en puts krymper vid en laboratorieprovning går dessa siffror inte att översätta till praktiken. Klimatet har nämligen en mycket stor betydelse för vad som händer i praktiken.

Med utgångspunkt från kunskapen om hur olika faktorer påverkar krympningsförloppet kan man dock minimera den skadliga inverkan av krympningen så långt som möjligt. Härvid är det då inte bara fråga om att välja ett lämpligt bruk utan även att lämpliga åtgärder vidtas på arbetsplatsen.

Principerna för krympning är desamma även i andra ytskiktsmaterial, till exempel organiska tunnputser.

Temperaturrörelser beror självklart på varierande temperatur. En ökande temperatur medför en volymökning och om denna volymökning hindras uppstår i stället spänningar.

I ett material, som är oförhindrat att röra sig, ges den temperaturberoende rörelsen av

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta\Theta \qquad (3.5.2:1)$$

där	ΔL	= längdändring	m
	α	= längdutvidgningskoefficient	$1/^{o}C$
	L	= ursprunglig längd	m
	$\Delta\Theta$	= temperaturändring	^{o}C

Förhindras denna rörelse helt uppstår i stället en spänning som ges av

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta\Theta \qquad (3.5.2:2)$$

där	σ	= spänning	N/m^2
	E	= elasticitetsmodul	N/m^2

Enligt ekvation (3.5.2:2) blir spänningen oberoende av längden. En konstruktion som är 1 cm lång får alltså samma påkänning som en 10 m lång konstruktion! Risken för att synliga sprickor skall uppstå är dock beroende av längden. Påpekas bör även att vid långsamma deformationer sker en krypning, som medför att de verkliga spänningarna blir mindre.

I en putsad fasad blir förhållandena relativt komplicerade, beroende på att både temperaturen och längdutvidgningskoefficienten varierar med avståndet från ytan. Detta kan ge tryck- och dragspänningar både parallellt med och vinkelrätt mot väggens plan samt skjuvspänningar.

Längdutvidgningskoefficienterna för olika material är entydiga materialdata och redovisas i 3.5.6.

Temperaturen i väggen uppvisar både en dygns- och årstidsvariation. Temperaturen på väggens insida följer inomhustemperaturen med en viss förskjutning mot utomhustemperaturen. Utsidans årstidsvariation (dygnsmedelvärden) följer i stort sett utomhusluftens årstidsvariation. Absolutbeloppet är dock några grader högre beroende på solinstrålning. Temperaturen inne i väggen varierar mellan dessa temperaturer. Det exakta utseendet på temperaturprofilen beror i huvudsak på i väggen ingående materials värmeledningsförmåga.

Temperaturens dygnsvariation på väggens utsida kan vara mycket stor och ge upphov till mycket kraftigare temperaturgradienter än årsvariationen. Den faktor som härvid har störst betydelse är sol-

strålningen. Mörka ytor absorberar solstrålning bättre än ljusa, vilket medför större temperaturvariationer i väggar med mörka färger. I FIG 3.5:2 visas resultaten från mätningar en junidag av yttemperaturen på identiska västväggar (putsade) med olika färg.

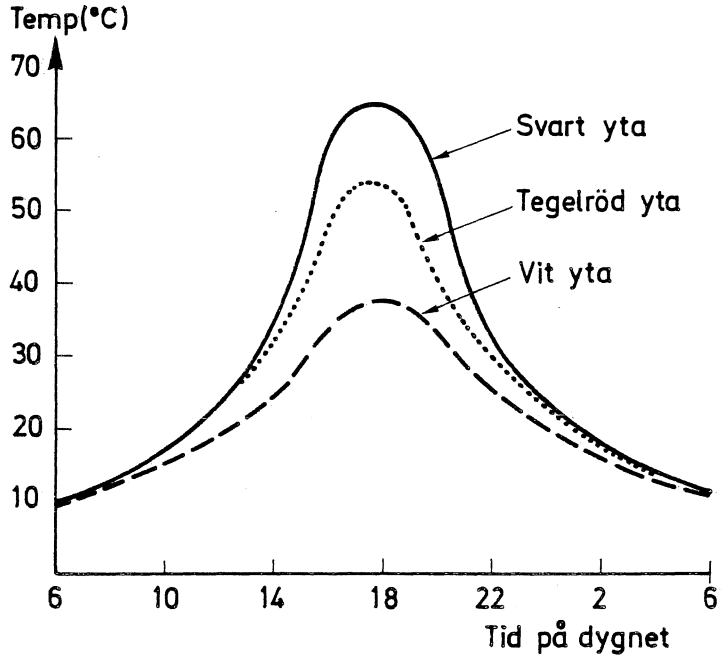


FIG 3.5:2 Yttemperaturens dygnsvariation en solig junidag. (Künzel, 1965).

Väggens konstruktion och ytans skrovlighet är av underordnad betydelse i sammanhanget.

Temperaturgradientens storlek beror däremot i hög grad på väggens konstruktion. Själva putsen har i allmänhet en stor värmeledningsförmåga och får härigenom en liten temperaturgradient. Vid mätningar utförda av Künzel erhölls maximalt en temperaturskillnad på 3°C i en 20 mm tjock puts. I extrema fall kan denna gradient naturligtvis bli större. Temperaturprofilen i själva väggmaterialet varierar kraftigt beroende på väggmaterialet. I FIG 3.5:3 visas några olika principiella fall. Angivna siffror är inga riktvärden utan är enbart att betrakta som principiella exempel.

Temperaturen i putsen respektive underlaget är alltid fasförskjutna. Så länge putsen håller på att uppvärmas är alltid temperaturen

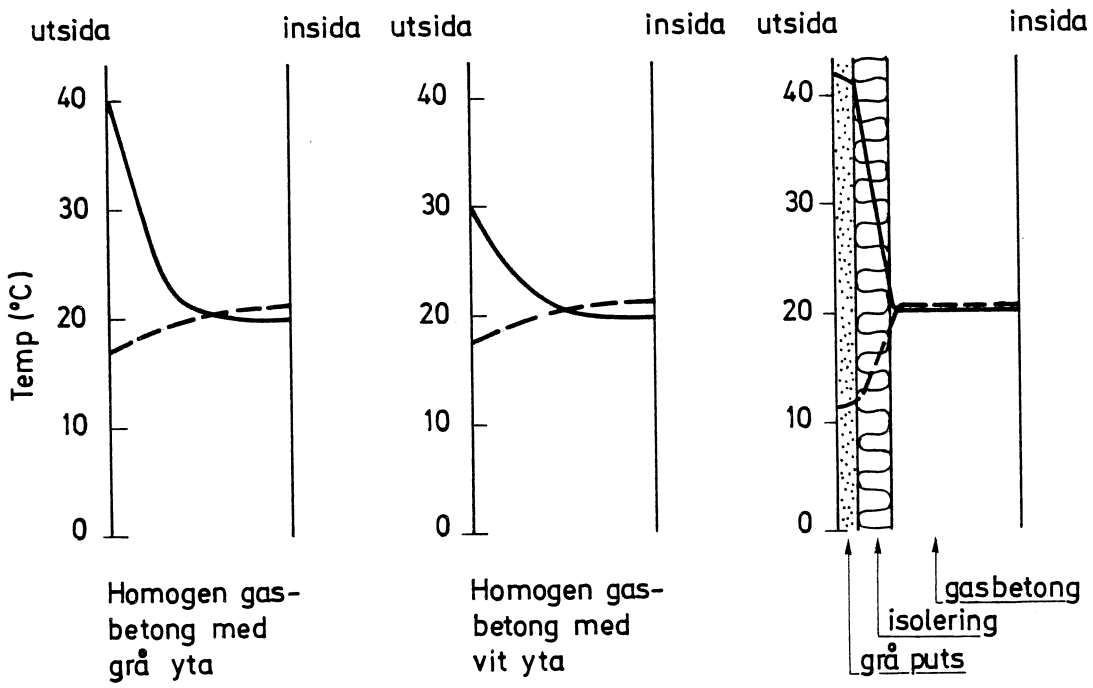


FIG 3.5:3 Temperaturprofilen i olika väggtyper under soliga dagar.
——— på eftermiddag, ------- på morgonen.

högre i putsen. Under avsvalningsfasen kan däremot temperaturen bli högre i underlaget.

Eftersom putsen och underlaget är fast förbundna med varandra måste de i gränsskiktet röra sig lika mycket. Om de inte vore fast förbundna skulle de olika materialen (vid en jämn temperatur i respektive material) röra sig olika mycket (dels beroende på olika temperatur och dels beroende på olika längdutvidgningskoefficient). Putsens rörelse hindras alltså av underlaget och vice versa. En följd av detta blir att det uppstår inre spänningar.

I FIG 3.5:4 redovisas ett exempel på detta. Den relativa längdändringen hos putsen (verklig och beräknad med antagande om helt fri puts) har här ritats som funktion av temperaturändringen under ett dygn. Den temperatur som använts är putsens medeltemperatur.

"Temperaturnollpunkten" är dygnets lägsta temperatur. Den streckade kurvan motsvarar längdändringen vid helt fri rörelse och den heldragna kurvan är den uppmätta längdändringen. Pilarna anger hur den relativa längdändringen varierar, med start vid den lägsta temperaturen. Som framgår av figuren avviker den verkliga rörelsen

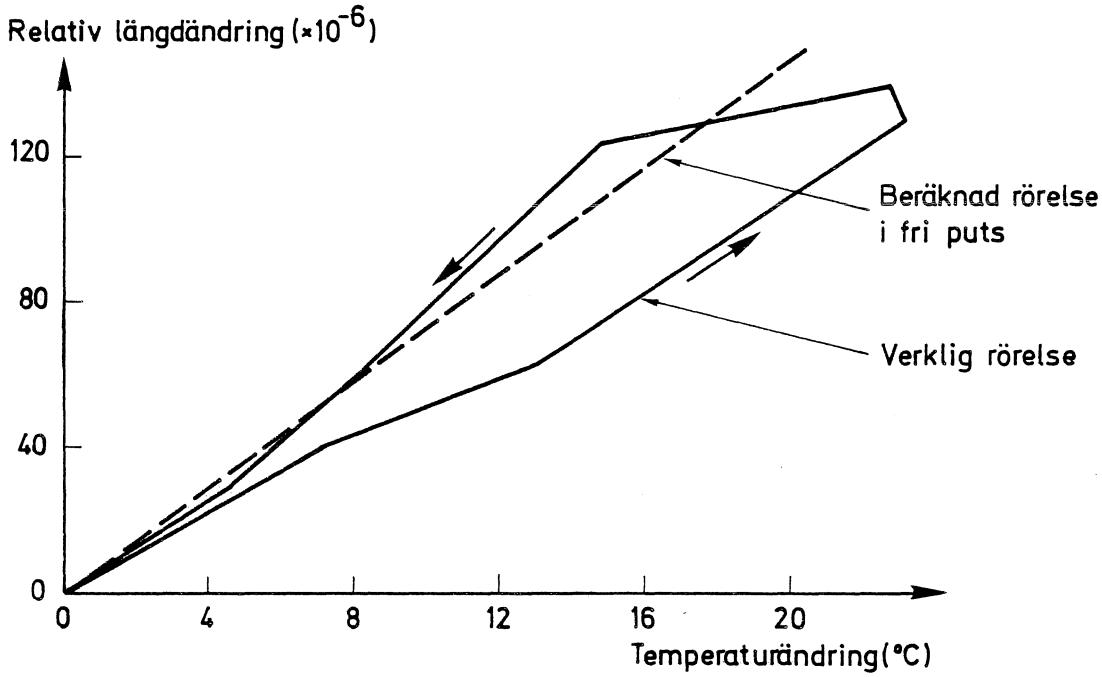


FIG 3.5:4 Relativ längdändring som funktion av temperaturändringen hos en KC-puts på ett tegelmurverk. (Künzel, 1965).

från den beräknade fria rörelsen. Under uppvärmningsperioden (ökande temperaturändring) är den verkliga längdändringen mindre än den beräknade fria rörelsen. Under avsvalningsperioden gäller motsatsen. Detta förhållande medför att tryckspänningar uppstår under uppvärmningsperioden och dragspänningar under avsvalningsperioden.

Fuktberoende rörelser har sitt ursprung i ett varierande fuktinnehåll. Ett ökande fuktinnehåll medför en svällning av materialet. Sambandet mellan rörelsen och fuktinnehållet varierar kraftigt för olika material. Vissa material (till exempel trä) har i stort sett ett rätlinjigt samband (inom ett visst intervall) mellan svällning och fuktkvot. För andra material sker rörelsen mer språngvis vid ett visst fukttillstånd. Även rörelsens storlek varierar kraftigt. Trä har en mycket stor maximal rörelse (tangentiellt med fibrerna), upp till 10 - 15 %. Tegel har däremot mycket små rörelser, maximalt cirka 0.02 %. (Se vidare avsnitt 3.5.6).

En varierande fukthalt i ett material eller en kombination av material med olika fuktberoende rörelser medför att rörelsen på något

sätt förhindras, på samma sätt som vid temperaturrörelser. Följden av detta blir då inre spänningar.

3.5.3 Generell teoretisk diskussion

Om ett material med längden L, som är helt fritt upplagt enligt FIG 3.5:5a, utsätts för en påverkan (till exempel ökande temperatur eller fukthalt), som medför en längdökning med ΔL kommer den nya längden att bli $L + \Delta L$ enligt FIG 3.5:5b.

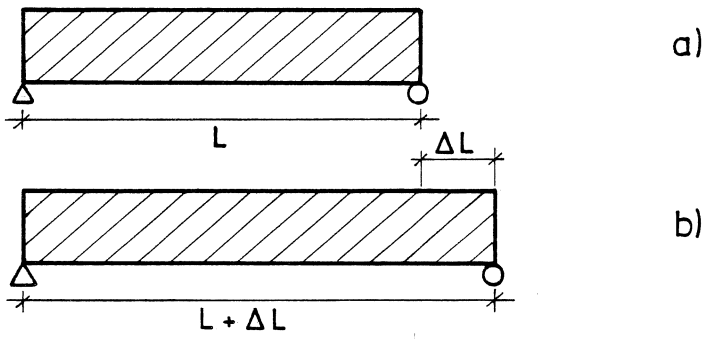


FIG 3.5:5 Längdändring vid fri rörelse.

Om rörelsen däremot är förhindrad enligt FIG 3.5:6a uppstår i stället inre spänningar i materialet. Spänningen kan lätt beräknas genom att man först låter materialet längdändras ΔL enligt FIG 3.5:6b och därefter beräknar den spänning, σ, som måste appliceras för att trycka samman materialet sträckan ΔL enligt FIG 3.5:6c.

Spänningen som uppstår ges av

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \frac{\Delta L}{L} \qquad (3.5.3:1)$$

där	σ = spänning	N/m^2
	E = elasticitetsmodul	N/m^2
	ε = relativ töjning	-
	ΔL= längdändring	m
	L = ursprunglig längd	m

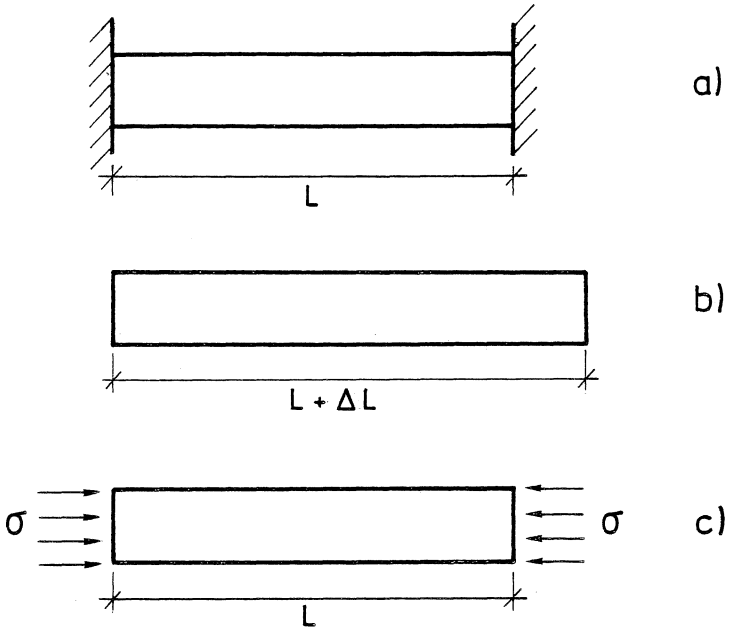


FIG 3.5:6 Beräkning av spänningar vid helt förhindrad rörelse.

Förhållandena är identiska när materialet i stället vill krympa. Den enda skillnaden är att det i stället för en tryckspänning uppstår en dragspänning. Om den beräknade spänningen överstiger brottspänningen, uppstår teoretiskt sett brott. Verkligheten kan dock vara något gynnsammare, beroende på plastisk deformation och krypning.

Förhållandena vid materialkombinationer, av material med olika rörelser, blir helt annorlunda. Antag att kombinationen enligt FIG 3.5:7a utsätts för en yttre påverkan, som om materialen vore fria från varandra skulle medföra rörelserna ΔL_1 och ΔL_2 enligt FIG 3.5:7b. Enligt förutsättningen skall materialen vara förbundna med varandra. Detta innebär att undersidan på det översta materialet måste förkortas och/eller att översidan på det undre materialet måste förlängas. Detta innebär i sin tur att hela kombinationen måste bli böjd enligt FIG 3.5:7c.

Ett exempel på ovanstående är en bimetallskena, som bland annat används till att mäta temperaturer. Ungefär samma förhållanden uppstår i ett enskilt material som utsätts för en ensidig påverkan, till exempel en träskiva som uppfuktas på ena sidan.

Vid sammanfogningen av skikten enligt FIG 3.5:7b till kombinationen

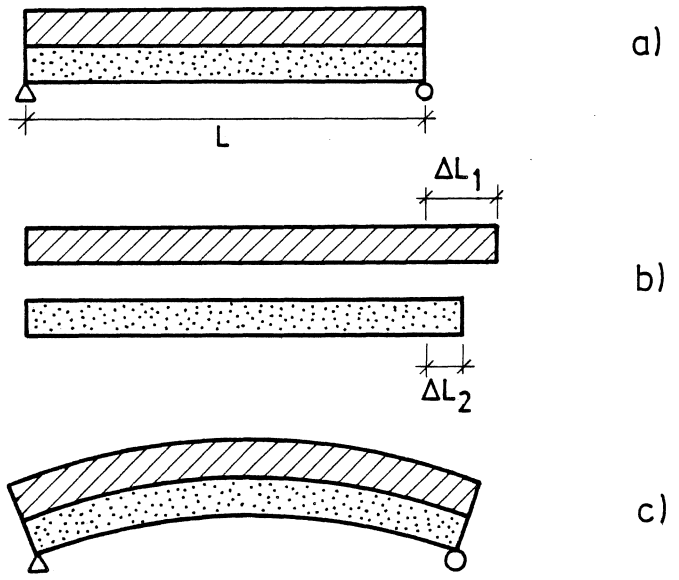


FIG 3.5:7 Deformation av materialkombination.

enligt FIG 3.5:7c måste skjuvspänningar (τ) införas i kontaktytan. Dessa spänningar kommer i huvudsak att verka i en zon närmast kanterna. Precis i kanten är dock skjuvspänningen lika med noll enligt FIG 3.5:8a. För att jämvikt skall råda måste det även finnas tryck- eller dragspänningar i x-riktningen. Vid kanterna blir även dessa spänningar lika med noll. Dessa spänningar varierar i y-led (vid mittsnittet) enligt FIG 3.5:8b och i x-led (vid överytan av det undre materialet) enligt FIG 3.5:8c. Momentjämvikt kräver vidare att det finns spänningar i y-riktningen (i vidhäftningszonen) enligt FIG 3.5:8d.

Redovisade spänningsfördelningar är enbart principiella. En "exakt" beräkning med elasticitetsteori kräver datorberäkningar med finit elementmetod. Sådana beräkningar kan mycket väl visa att en kombination, som man vet fungerar i praktiken, inte fungerar teoretiskt, beroende på lokala spänningskoncentrationer. En elasticitetsteoretisk beräkning är alltså inte direkt användbar för dimensionering. Metoden är dock användbar för att studera hur olika faktorer inverkar (till exempel skiktens tjocklek och E-modul) samt till att finna en konstruktions svaga punkter. Genom olika "logiska" resonemang kan den elasticitetsteoretiska beräkningen anpassas verkligheten.

Exemplet i FIG 3.5:7-8 är ett mycket enkelt typfall, som trots detta

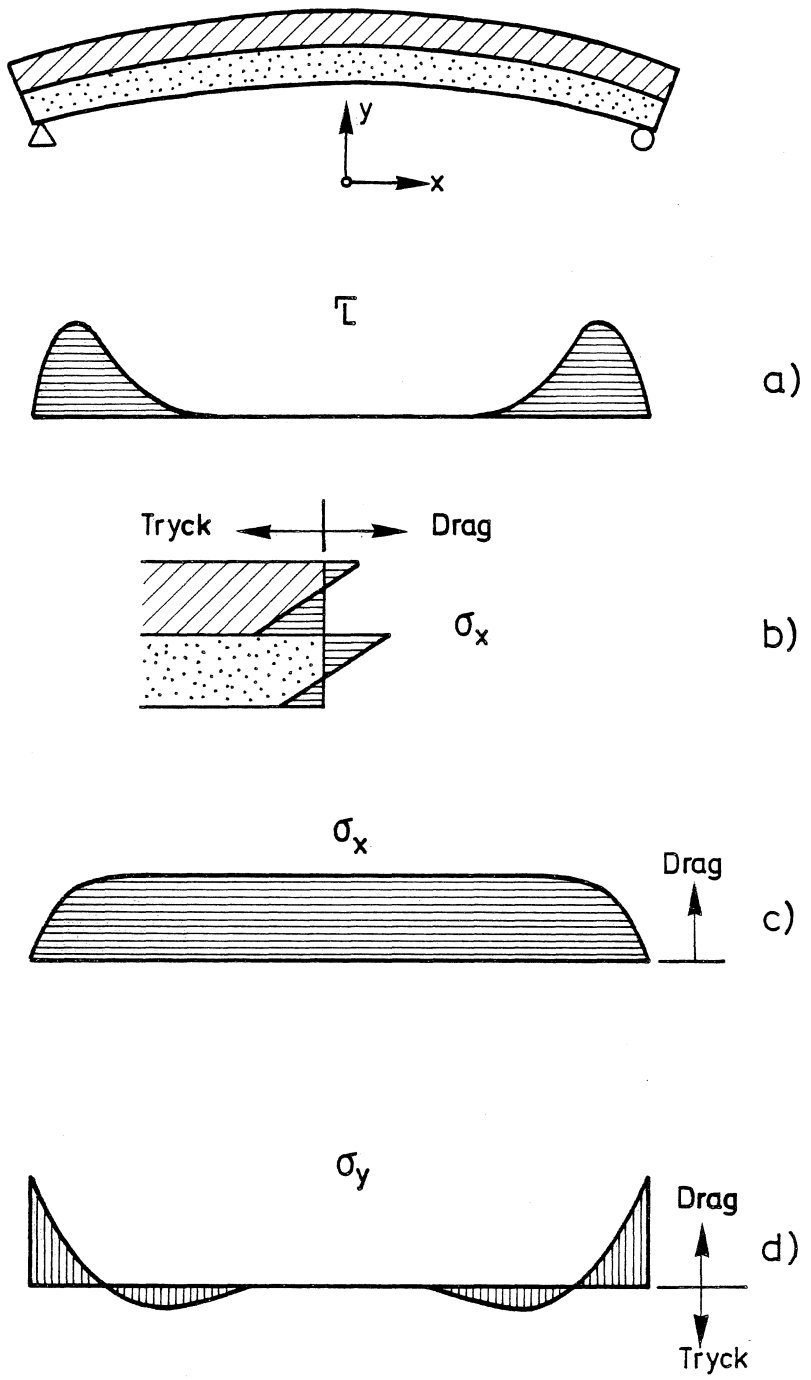


FIG 3.5:8 Spänningar i materialkombination.

ger ett komplicerat spänningsutseende. Förhållandena kan sedan göras mer komplicerade med olika former av fasthållning, ojämn volymförändring inom de olika materialskikten etc. Specialfallet med puts och ytskikt diskuteras ytterligare i nästa avsnitt.

En mer exakt beräkning av rådande spänningar bör vara möjlig med

hjälp av brottmekaniska beräkningsmodeller. Vid sådana beräkningar kan aldrig en spänning bli högre än brottspänningen. När den verkliga spänningen når brottspänningen, uppstår i stället en spricka, som i viss mån förmår att överföra spänningar. Metoden beskrivs utförligt i Hillerborg (1977). I putssammanhang är det ännu inte möjligt att utföra några beräkningar, eftersom materialdata saknas.

3.5.4 Spänningar i puts/ytskikt och underlag

Med utgångspunkt från de principiella sambanden i föregående avsnitt kan vissa kvalitativa bedömningar göras för specialfallet puts/ytskikt på ett visst underlag. De spänningar som härvid är aktuella är skjuvspänningar mellan puts/ytskikt och underlag samt tryck/dragspänningar, både vinkelrätt mot och parallellt med fasadytan, i puts/ytskikt och underlag. Olika kombinationer och olika yttre faktorer medför helt olika spänningsbild. I vissa fall kan dragspänningarna parallellt med fasadytan bli så stora i ett ytskikt att en spricka uppstår. I andra fall kan skjuvspänningarna bli så stora att dessa blir avgörande för en viss skadeutveckling. Ytterligheterna i dessa sammanhang är en "svag" puts på ett "starkt" underlag respektive en "stark" puts på ett "svagt" underlag. I putssammmanhang kompliceras förhållandena i mycket hög grad genom att man ofta har flera olika skikt. Även ojämnheter i ytan och felställen har mycket stor betydelse. Den följande behandlingen av problemställningen inskränker sig till en exemplifiering av olika spänningar som kan uppstå, samt angivande av några faktorer som har betydelse. Grova schematiseringar görs och angivna figurer och dylikt är starkt förenklade. De olika exempel som diskuteras framgår av FIG 3.5:9. I alla exemplen förutsätts att putsen/ytskiktet och underlaget av någon anledning vill ändra sin längd olika mycket. Dragspänningar anges positiva.

Exempel 1: Felfri puts mitt på fasaden

Enligt avsnitt 3.5.3 uppstår här enbart tryck- eller dragspänningar parallellt med fasadytan. När putsen vill krympa mer än underlaget uppstår dragspänningar i putsen och tryckspänningar i underlagets yttre delar enligt FIG 3.5:10.

Vill i stället putsen svälla mer än underlaget, får spänningarna motsatt tecken. Dragspänningar parallellt med fasadytan kan alltså upp-

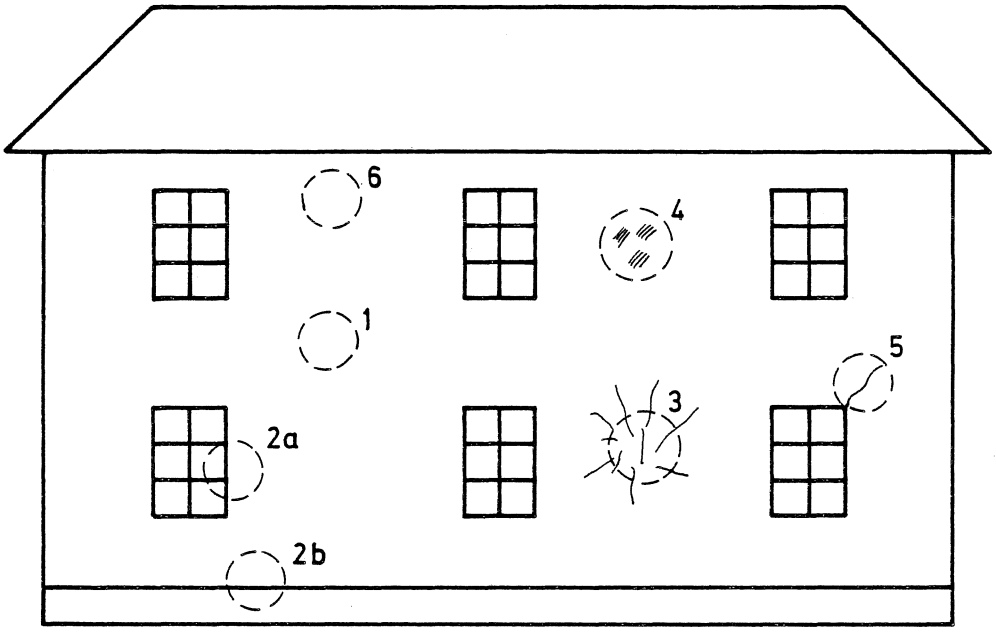


FIG 3.5:9 I texten diskuterade exempel.

1. Felfri puts mitt på fasaden
2. Felfria putskanter
3. Putssprickor mitt på fasaden
4. Tjockleksvariation hos putsen
5. Spricka i underlaget
6. Bompartier

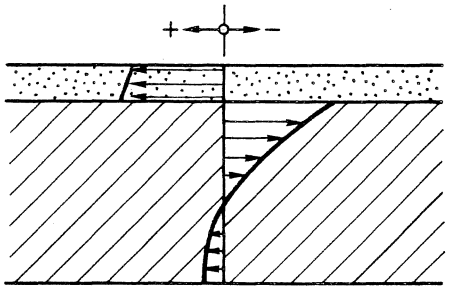


FIG 3.5:10 Spänningsbild vid felfri puts mitt på fasaden då putsen krymper.

stå både i puts och underlag. Överstiger dessa spänningar draghållfastheten kan en spricka bildas. Krympnings- och krackelerings-sprickor i puts kan bero på detta. När en spricka väl har uppstått i putsen blir spänningen i putsens plan noll vid sprickan. Samtidigt uppstår dock andra spänningar enligt exempel 3.

I en puts eller ett ytskikt med stor plasticitet uppstår inga sprickor. I stället sker det en plastisk deformation utan att spänningen ökar.

Exempel 2a: Felfri putskant vid kant i underlaget

Vid kanten finns det enbart skjuvspänningar mellan puts och underlag och drag- eller tryckspänningar vinkelrätt mot fasadytans plan. När man avlägsnar sig från kanten övergår dessa spänningar i drag- eller tryckspänningar parallellt med fasadytan. I FIG 3.5:11 redovisas spänningsbilden i putsen då denna krymper.

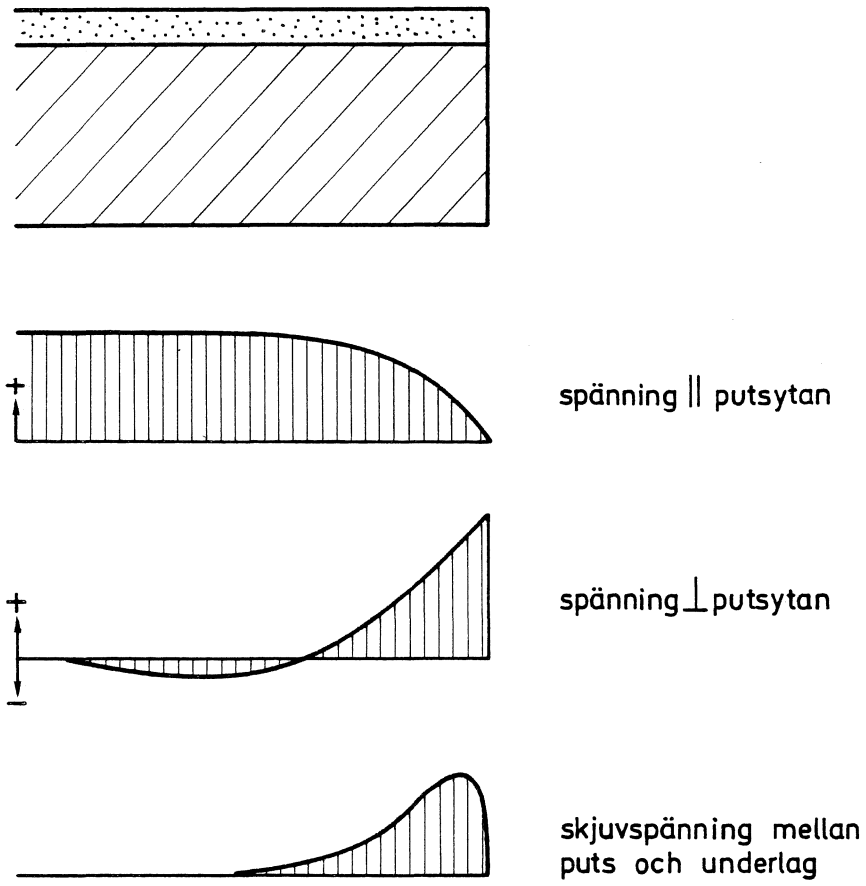


FIG 3.5:11 Putsens spänningsbild vid putskant då putsen krymper.

Motsvarande spänningar uppstår naturligtvis i underlaget. FIG 3.5:11 visar att risken för sprickbildning är liten vid en putskant, eftersom det inte finns några större spänningar här. Risken för spjälkning mellan puts och underlag är dock stor. Samtidigt verkar här en spänning som vill skjuvna bort putsen och en spänning som vill "lyfta" putskanten. Är vidhäftningen dålig finns uppenbara risker! Spjälkningen behöver nödvändigtvis inte ske i vidhäftningszonen. Har underlaget en väsentligt mindre draghållfasthet än putsen eller än vidhäftningshållfastheten, kan brottet mycket väl uppstå i underlaget. Spjälkning i gasbetong med cementputs och i gammal kalkputs med en kraftig organisk tunnputs kan vara praktiska exempel på detta.

Exempel 2b: Felfri putskant mitt på ett underlag

Detta fall är snarlikt det föregående. Spänningsbilden blir dock mer komplicerad i underlaget samtidigt som spänningarna blir större, eftersom den del av underlaget som inte är putsad "håller emot". Då putsen krymper uppstår i putsen liknande spänningar som i FIG 3.5:11. Siffermässigt blir de dock större. I underlaget upppstår spänningar även utanför den putsade delen. Om putsen krymper finns det i fallet enligt FIG 3.5:11 inga dragspänningar parallellt med fasadytan vid kanten. Vid en putskant uppstår det dock stora dragspänningar enligt FIG 3.5:12.

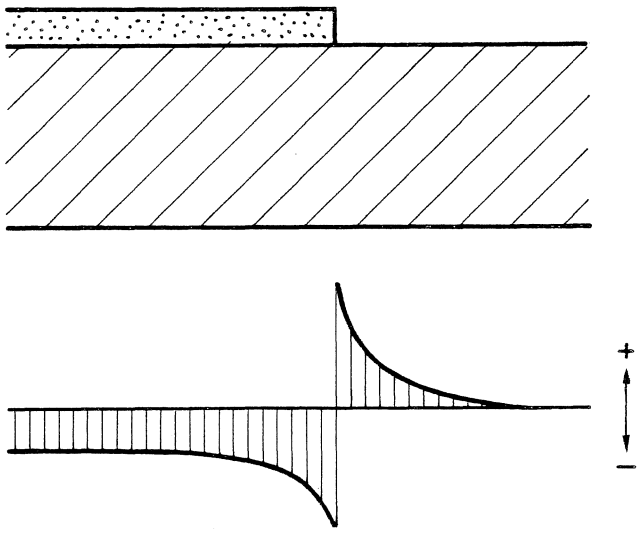


FIG 3.5:12 Spänningar i underlaget (// ytan) vid putskant mitt på underlaget då putsen krymper.

En konsekvens av dessa dragspänningar blir att, förutom skaderiskerna enligt exempel 2a, det även finns risk för sprickbildning i underlaget vid putskanten.

Exempel 3: Spricka i putsen

Detta fall är en vidareutveckling av exempel 2, med en ytterligare komplicering av spänningsbilden, vilket resulterar i väsentligt större spänningar. I exempel 2a fanns ingenting som "höll tillbaka" underlagskanten när putsen krympte. I exempel 2b fanns underlaget utanför putsen som delvis "höll emot". Vid en spricka är motståndet fullständigt eftersom sprickan blir en symmetrilinje. All kraftöverföring över sprickan måste ske via skjuvspänningar i vidhäftningszonen och dragspänningar parallellt med ytan i underlaget intill sprickan. På ett visst avstånd från sprickan finns det enbart tryckspänningar i underlagets överkant. Dessa spänningar illustreras i FIG 3.5:13.

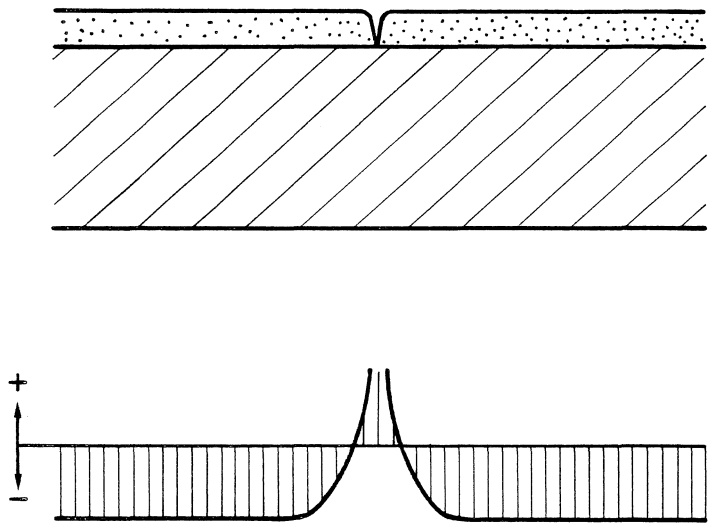


FIG 3.5:13 Spänningar i underlaget (// ytan) vid putsspricka då putsen krymper.

Beräkningsmässigt blir spänningen i underlaget oändligt stor vid sprickan. En linjärelastisk beräkning ger alltså som resultat att underlaget skulle spricka! Av praktisk erfarenhet vet vi att detta sällan är fallet. "Plastisk" deformation är orsaken till att en spricka inte alltid uppstår. Ett material förmår överföra krafter

även efter det att den formella draghållfastheten uppnåtts. Vid sådana analyser måste man dock övergå från en linjärelastisk beräkningsmodell till ett brottmekaniskt betraktelsesätt.

I denna rapport är det tillräckligt att konstatera att spänningarna intill en puts- eller ytskiktsspricka kan bli mycket stora. Kraven på hållfasthet hos underlaget och god vidhäftning är alltså höga. Ett inte ovanligt exempel på skador som kan förklaras med ovanstående är "upprullning" av sprickkanten hos organiska ytskikt som har dålig vidhäftning. Ett annat exempel kan vara spjälkning i en dålig kalkputs, som försetts med ett kraftigt ytskikt.

Exempel 4a: Lokal ojämnhet i puts med god vidhäftning

Vid lokala tjockleksvariationer i putsen uppstår spänningskoncentrationer. Det geometriska utseendet på tjockleksvariationen blir helt avgörande för spänningsbilden. En lokal förtunning av putsen kan ha utseendet enligt FIG 3.5:14. Om utsträckningen i längdled (a) och

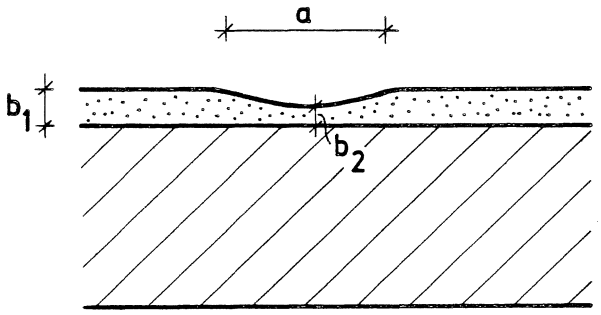


FIG 3.5:14 Lokal tjockleksminskning i puts med god vidhäftning.

tjockleken vid förtunningen (b_2) går mot noll blir fallet identiskt med en spricka i putsen (exempel 3). Vid stor utsträckning i längdled och tjockleken ungefär noll närmar sig förhållandena i stället felfri kant mitt på ett underlag (exempel 2b). De verkliga spänningarna kommer alltså att ligga mellan dessa två fall.

Är det i stället fråga om en lokal förtjockning uppstår motsvarande spänningskoncentrationer runt förtjockningen.

De lokala tjockleksvariationerna kan bero på ojämnt underlag (ej fyllda fogar, utstående brukstungor etc) eller på slarvigt appli-

cerad puts. Ett annat exempel är en tunnputs med grov ballast, där tjockleksvariationerna av naturliga skäl blir stora. Motsvarande inträffar då man applicerar en tunnputs på en spritputs. Topparna på spritputsen får ett tunt ytskikt medan dalarna får ett tjockt skikt.

Exempel 4b: Lokal ojämnhet i puts utan vidhäftning

Om vidhäftningen i anslutning till en ojämnhet är dålig eller obefintlig kan det uppstå stora spänningar i putsen/ytskiktet. Som ett exempel studeras fallet med en tunnputs på ett ojämnt underlag, till exempel på en spritputs enligt FIG 3.5:15.

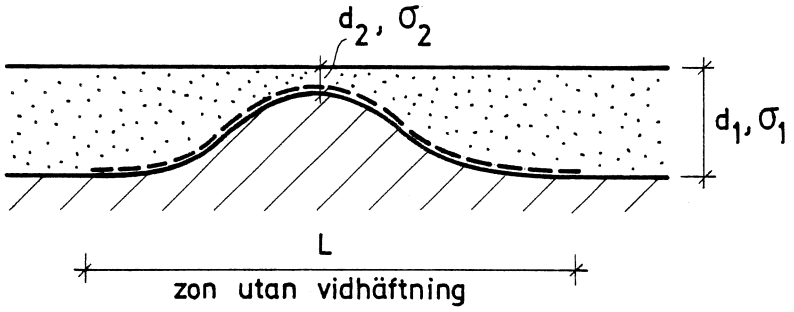


FIG 3.5:15 Lokal ojämnhet i puts med dålig vidhäftning.

När tunnputsen krymper blir spänningen i putsen beroende av förhållandet mellan tjocklekarna inom zonen utan vidhäftning. Spänningen i den tunnaste delen ges av

$$\sigma_2 = \frac{d_1}{d_2} \cdot \sigma_1 \qquad (3.5.4:1)$$

Ekvationen visar att mycket stora spänningar (i extremfallet oändligt stora) kan uppstå vid en lokal förtunning. Detta innebär att elastiska och spröda material lätt spricker. I plastiska material uppstår däremot en plastisk deformation, vilket avlastar hela putsen. Vid en låg plasticitetsgräns kommer större delen av putsens deformation att koncentreras till det tunnaste partiet. En stor utsträckning på zonen med dålig vidhäftning kan då medföra en mycket stor plasticering. När putsen sedan sväller igen kan det bildas en "bula" över det tunna partiet, eftersom putsen här är permanent förlängd.

Den plastiska deformationen medför även att putsskiktet här blir

ännu tunnare än det var tidigare. Efter ett antal deformationscykler kan tjockleken gå mot noll, vilket innebär att även ett plastiskt material kan spricka.

Exempel 5: Oskadad puts över spricka i underlaget

Om det finns en spricka i underlaget medan däremot putsen är oskadad, uppstår det inga spänningskoncentrationer när putsen krymper eller sväller. Om däremot underlaget krymper, uppstår det stora dragspänningar i putsen över sprickan. På ett visst avstånd från sprickan är däremot putsen utsatt för tryckspännningar. Övergången från drag- till tryckspänningar sker via skjuvspänningar i vidhäftningszonen. Spänningsbilden illustreras i FIG 3.5:16.

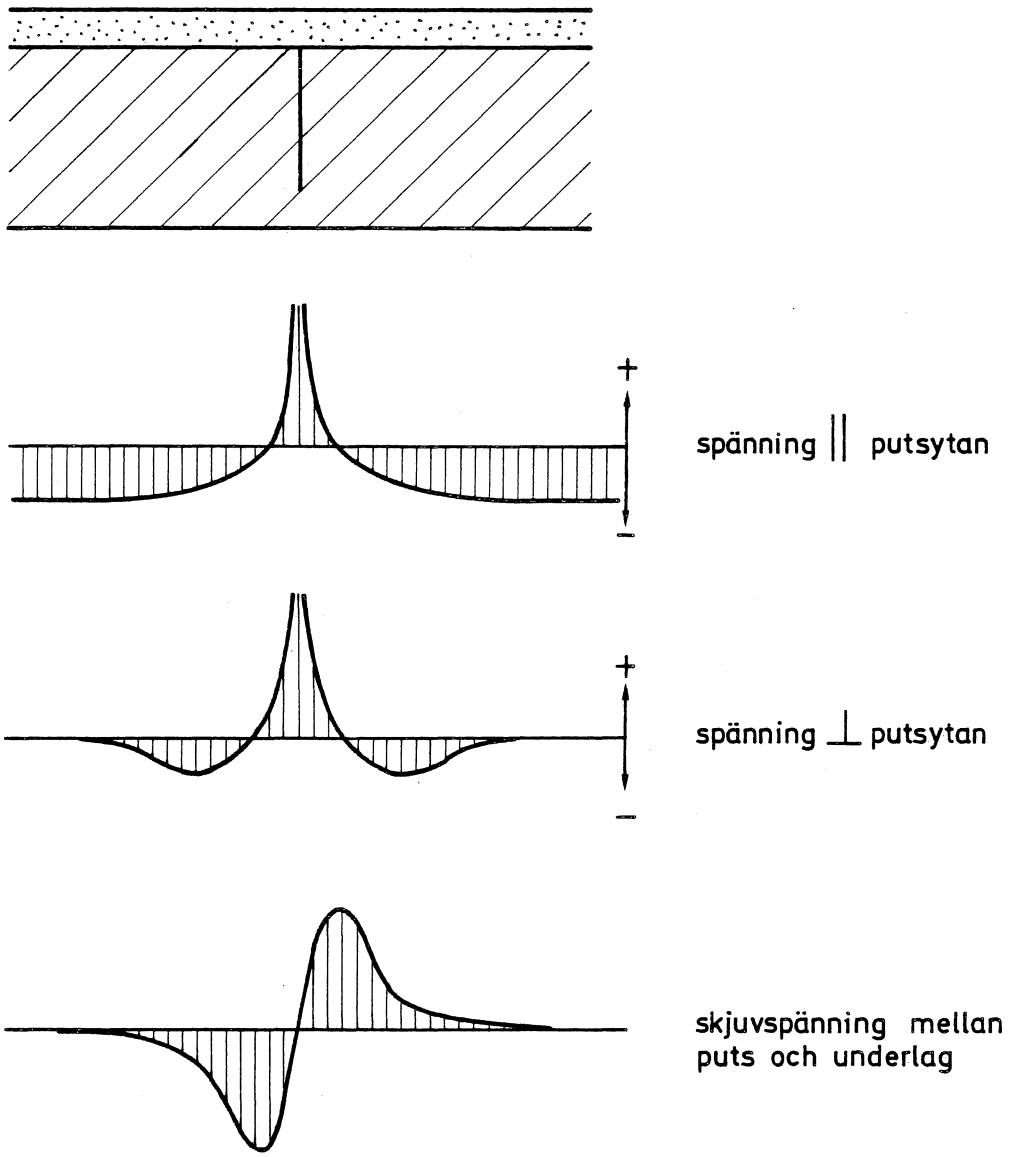


FIG 3.5:16 Spänningar i putsen vid spricka i underlaget då underlaget krymper.

Exempel 6: Oskadad puts med lokalt bomparti

Är både putsen och underlaget oskadat uppstår inga spänningskoncentrationer . (Vid stort förhållande mellan bompartiets utsträckning och putsens tjocklek finns dock risk för att putsen "knäcks"). Finns det sprickor i underlaget uppstår däremot spänningskoncentrationer i kanten av bompartiet, vilket kan medföra en successiv utökning av bompartiet.

Praktik - teori

Av de redovisade exemplen framgår att lokala spänningskoncentrationer uppstår vid diskontinuiteter i puts eller underlag, till exempel felställen och kanter. Här kan alltså både puts, underlag och vidhäftningszon utsättas för stora påfrestningar. När en skada inträffat kan det vara svårt att entydigt peka på en enda orsak. Samverkan mellan flera olika faktorer kan medföra en skada, som inte är möjlig under inverkan av varje faktor för sig. Som exempel kan nämnas ytbehandling av en kalkad fasad, som är dåligt rengjord. Finns inga diskontinuiteter eller dylikt kan detta mycket väl fungera. I praktiken finns det dock ojämnheter, både i ytskiktet och i underlaget, och blir dessa tillräckligt stora, kan en skada utvecklas enligt exempel 4b. Kalkskiktet medför här en dålig (eller ingen) vidhäftning mellan ytskikt och underlag. Enbart ojämnheten i putsen eller underlaget behöver däremot inte medföra någon skada.

Många skador i samband med organiska ytskikt på mineraliska underlag förklaras ofta med att ytskiktet varit för tätt, med åtföljande risk för vattenansamling och frostsprängning. Enbart denna förklaring är dock inte tillräcklig för att förklara flertalet av förekommande skador. Ett tätt ytskikt kan ju inte släppa in något vatten, varför risken för frostskador i praktiken inte skulle finnas. En mer sannolik förklaring till många skador är att ytskiktet först spricker vid någon svag punkt, till exempel under inverkan av stora dragspänningar i ytskiktets plan. Härefter sker en spjälkning (i underlaget eller i vidhäftningszonen) under inverkan av skjuvspänningen och dragspänningen vinkelrätt mot ytskiktets plan. Detta medför att sprickkanterna viker upp sig alltmer. Denna skadeutveckling påskyndas sedan i hög grad av inträngande vatten, som ger både frostsprängning och andra nedbrytningseffekter. För att eliminera

denna typ av skada gäller det alltså att undvika sprickbildning i ytskiktet. Ytskiktets "täthet" har inte med detta att göra. Ytskiktets fuktegenskaper kan däremot ha betydelse för skadans fortsatta utveckling. Den överdrivna betoningen av att ett ytskikt inte får vara tätt, har till och med medfört att sprickor och andra felställen ibland ansetts som gynnsamma! Detta är dock helt felaktigt. I verkligheten är de i stället orsaken till många skador!

Som nämnts tidigare är det svårt att numeriskt ange de spänningar som uppstår i praktiken. En orsak till detta är plastiska deformationer i putsen. Utan dessa deformationer skulle de flesta putser ha omfattande skador! Som ett exempel diskuteras här förloppet när en puts krymper, från det att den appliceras och framåt i tiden. I praktiken tillkommer sedan ytterligare spänningar (till exempel beroende på temperatur- och fuktrörelser), som skall adderas till krympspänningarna.

Omedelbart efter appliceringen börjar en puts torka och härda. I samband härmed sker i allmänhet en krympning. Så länge putsen är plastisk uppstår inga (eller endast obetydliga) dragspänningar i putsen. Vid en viss tidpunkt, tiden t_1 i FIG 3.5:17, har putsen hårdnat så att dragspänningar uppstår vid den fortsatta krympningen. Om övergången från det ena tillståndet till det andra skedde momentant, skulle spänningen i putsen öka proportionellt mot krympningen enligt kurva a. I verkligheten sker övergången successivt, vilket innebär att spänningskurvan inte stiger så brant i början, kurva b. Efterhand som deformationen ökar inträder även en relaxation i putsen, vilket sänker spänningen ytterligare enligt kurva c. Den tid under vilken en puts krymper varierar mycket kraftigt. Hos en oorganisk puts kan krympningen vara avslutad efter någon vecka medan hos ett organiskt ytskikt krympningen kan fortsätta i åtskilliga år. Denna senare krympning beror på en fortgående förvandling av de ingående molekylkedjorna och betraktas normalt som "åldring".

Enligt FIG 3.5:17 kan det finnas en tidpunkt (t_2) då krympspänningen är maximal. En överlagring av andra spänningar vid just denna tidpunkt kan då medföra en sprickbildning. Vid andra tidpunkter, både före och efter denna tid, medför däremot samma spänningstillskott ingen sprickbildning.

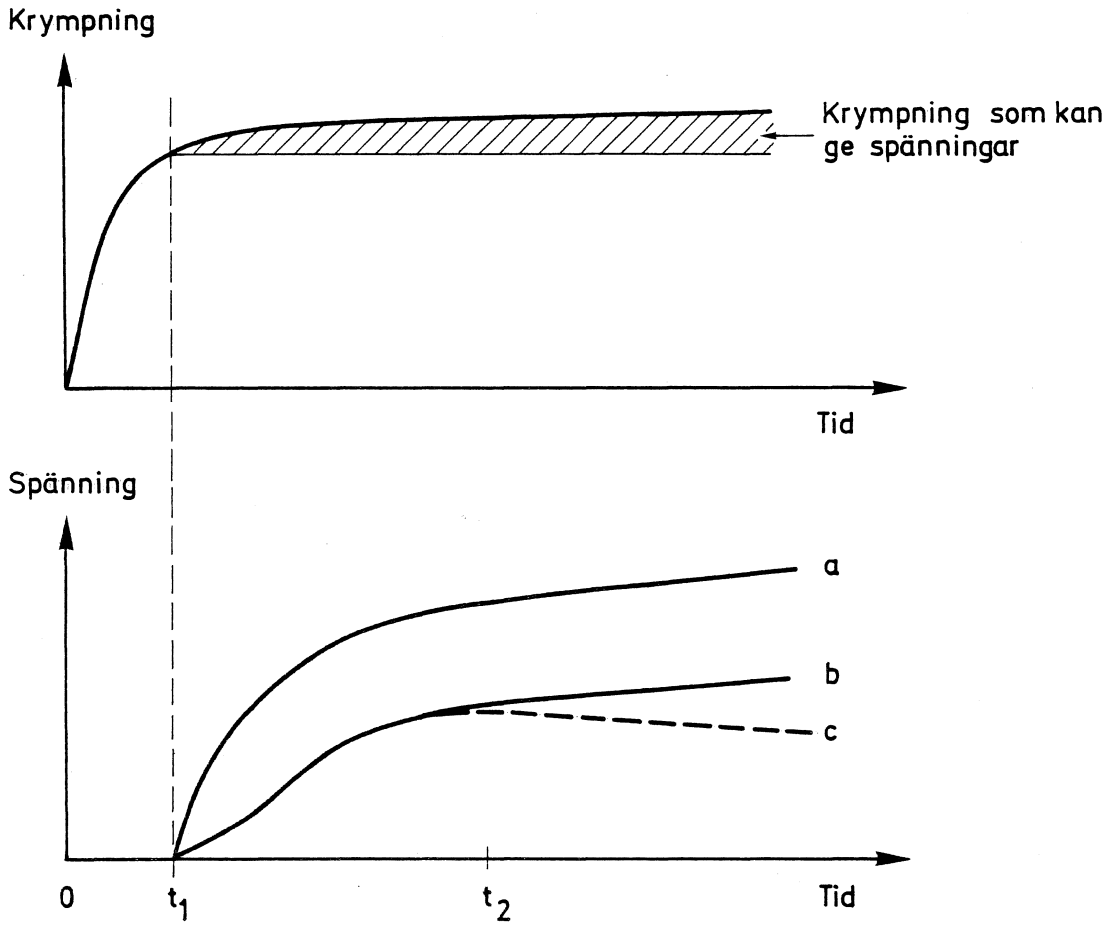


FIG 3.5:17 Krympning och spänning som funktion av tiden hos en puts.

3.5.5 Sprickö verbryggande förmåga hos ytskikt

Flertalet fasader är mer eller mindre spruckna i ytan. Sprickorna kan vara av helt olika typer ; till exempel ytliga krackelerings-sprickor, djupare krympsprickor, fogsprickor och sättsprickor. En intressant fråga i detta sammanhang är om sprickorna kan överbryggas med någon form av ytskikt. Uppfattningarna härom är varierande. Saretok (1976) är mycket tveksam till tanken att ett ytskikt på ett varaktigt sätt kan överbrygga en spricka. I Tyskland är man däremot inte främmande för tanken. Enligt flera källor tillämpar man med framgång principen att med organiska ytskikt överbrygga vissa sprickor. I det följande diskuteras några olika faktorer som har betydelse i sammanhanget.

En grundläggande princip i samband med sprickö̈verbryggande ytskikt är att ytskiktet skall överbrygga sprickan, men ej förhindra sprickans rörelse. Ytskiktet skall alltså arbeta med sprickan och inte mot sprickan! På frågan vilka egenskaper ytskiktet skall ha, är "stor brottöjning" ett näraliggande svar. Mot detta invändes ibland att töjningen över en spricka blir oändligt stor (från noll till en viss sprickbredd), varför inget ytskikt kan klara detta. Inget av dessa påståenden återger verkligheten på ett korrekt sätt. Förhållandena är betydligt mer komplicerade.

När en spricka i underlaget ökar sin bredd deformeras ytskiktet enligt FIG 3.5:18.

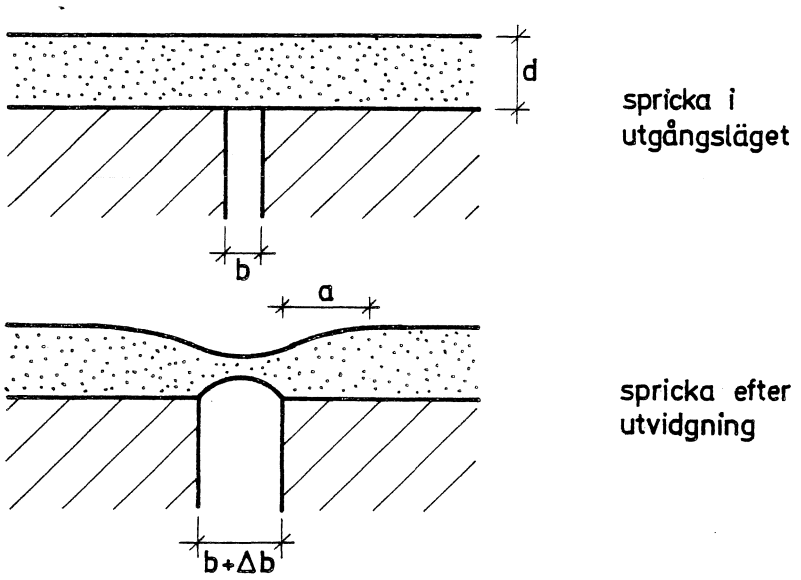


FIG 3.5:18 Ytskiktets deformation vid ökning av bredden hos en spricka i underlaget.

Villkoret att ytskiktets volym måste vara densamma före och efter deformationen medför att ytskiktet förtunnas över sprickan. Ytskiktets deformation är dock inte helt koncentrerad till just sprickan, utan deformationen sprider sig en viss sträcka (a) utanför sprickkanten. Ju större detta spridningsområde blir, desto gynnsammare blir deformations- och spänningsbilden i ytskiktet. Den maximala deformationen i sprickan är alltså, förutom av ytskiktets brottöjning, även beroende av spridningsområdet. Dessa egenskaper är i sin tur beroende av bland annat ytskiktets tjocklek. En större tjocklek ger ett större spridningsområde.

Vid redovisningar av ett materials spännings-deformationsegenskaper används ofta ett diagram enligt FIG 3.5:19.

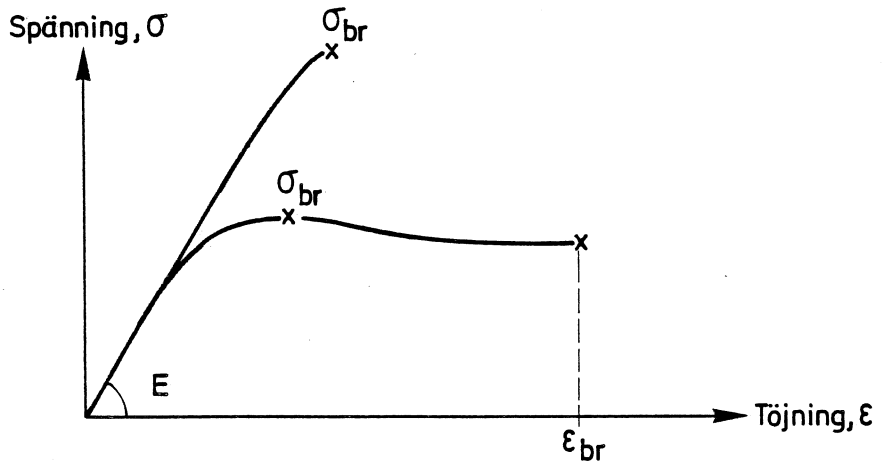


FIG 3.5:19 Spänning - töjningskurva.

Elasticitetsmodulen definieras som lutningen på den raka delen av kurvan och så länge man befinner sig på denna del (det elastiska området) sker ingen bestående deformation efter en på- och avlastning. Vissa material är mer eller mindre elastiska ända till brott (den övre kurvan). Hos andra material kan töjningen, när man passerat en viss gräns, öka markant utan att spänningen ökar. Denna deformation kallas plastisk eller viskös deformation och återgår inte vid en avlastning. Även tiden har en stor betydelse för spännings - deformationskurvan. Utsätts ett material för en konstant deformation kan spänningen minska på grund av en viskös deformation (relaxation). På motsvarande sätt kan deformationen öka under inverkan av en konstant spänning (krypning).

En grundläggande förutsättning för ett sprickköverbryggande ytskikt är att det kan deformeras relativt mycket utan att spricka. Detta krav kan endast uppfyllas av organiska ytskikt. (Jämför dock avsnitt 3.5.6). Deformationen kan enligt FIG 3.5:19 ske på två principiellt olika sätt, nämligen elastiskt eller plastiskt/visköst. Om deformationen sker elastiskt finns ingen återstående deformation, efter det att sprickan återgått till sitt ursprungliga läge. I ett plastiskt/visköst ytskikt sker däremot en flytning så att ytskiktet får en större (bestående) längd när sprickan vidgar sig. När sprickan åter sluter sig är ytskiktet "för stort", vilken medför att ytskiktet på något sätt måste "böja sig" över sprickan. Efter ett upprepat antal töjningar kan någon form av utmattningsbrott ske.

Med hänsyn till ovanstående torde det idealiska vara att ytskiktet deformeras elastiskt. Har man väl kommit in i det plastiska/viskösa området får man räkna med en fortgående förändring av deformationsbilden över sprickan, vilket efterhand kan leda till att sprickan kan "slå igenom". Att teoretiskt förutsäga någon tid eller antal deformationscykler till detta är omöjligt. I vissa fall (vid olämpligt val av ytskikt) kan en spricka uppstå mycket snabbt, inom ett år. I andra fall uppstår inga sprickor. En faktor som har mycket stor betydelse i detta sammanhang är ytskiktets åldring samt att dess egenskaper varierar kraftigt med bland annat temperatur och fuktighet. Detta påpekande gäller även vid elastiska deformationer.

Organiska ytskikt har ofta en spännings - töjningskurva enligt den undre kurvan i FIG 3.5:19 med både ett elastiskt och ett plastiskt/visköst område. Även i det område som här definieras som elastiskt förekommer det dock flytfenomen av mindre omfattning. Ett bättre uttryck vore "i huvudsak elastiskt".

Det elastiska området hos organiska ytskikt har ofta en begränsad utsträckning, även om det är stort i jämförelse med oorganiska ytskikt. Risken är alltså stor att man kommer in i det plastiska området över sprickan. Förhållandena kan förbättras avsevärt genom att ytskiktet armeras, till exempel med fibrer eller väv. Tanken med armeringen är inte att förstärka ytskiktet utan i stället att förlänga det område kring sprickan, som bidrar till sprickö verbryggningen (sträckan a i FIG 3.5:18). Genom att armeringen har en större elasticitetsmodul än själva ytskiktet, hindras detta att deformeras så mycket över själva sprickan. Armeringen fördelar helt enkelt deformationen på ett större område.

Enbart elastisk eller plastisk/viskös deformation i hela ytskiktet hör till ytterligheterna. I praktiken kan det mycket väl vara fråga om bägge typerna. I den del av ytskiktet som ligger närmast underlaget kan deformationen bli så stor att den i huvudsak blir plastisk/viskös, medan deformationen vid ytan blir väsentligt mindre och i huvudsak elastisk.

Med hänsyn till de mycket komplicerade förhållandena vid en spricka är det omöjligt att teoretiskt ange hur ett sprickö verbryggande skikt ska dimensioneras. Laboratorieprovningar (på åldrade prover) och

praktiska erfarenheter är den bästa bedömningsgrunden. Några generella principer kan dock fastslås:

- Ytskiktet bör deformeras elastiskt
- En armering förbättrar förhållandena
- En ökad skikttjocklek är gynnsam
- Som säkerhetsmarginal bör det finnas en plastisk deformationsmöjlighet
- Brottöjningen skall vara stor
- Liten relaxation

Med hänsyn till sambandet mellan ursprunglig sprickbredd (b), sprickrörelse (Δb) och ytskiktets tjocklek (d) kan några ytterlighetsfall urskiljas. Om $\Delta b \cong 0$ och $d \cong b$ (vilket kan vara fallet vid fina, ytliga krackeleringssprickor i en puts som målas) så blir töjningen över sprickan liten. Det finns alltså goda möjligheter för ett någorlunda elastiskt ytskikt att klara detta fall, även vid små skikttjocklekar. En förutsättning är dock att ytskiktet är elastiskt även vid låga temperaturer och efter åldring.

Om $\Delta b \cong b$ och $d \cong b$ så blir töjningen så stor att man måste räkna med plastiska/viskösa deformationer i hela ytskiktet. Efter en vidgning-sammandragning finns alltså risk för att ytskiktet "böjer" sig över sprickan. Om $\Delta b \cong b$ och $d > b + \Delta b$ så ökar förutsättningarna för en i huvudsak elastisk deformation (åtminstone i ytskiktets ovansida).

Om $\Delta b > b$ och $d \cong b$ finns inga möjligheter att varaktigt överbrygga sprickan om man inte använder armerade ytskikt.

Om ytskiktet appliceras när sprickan är utvidgad är risken för att sprickan "slår igenom" ytskiktet liten. I stället ökar risken för att ytskiktet bildar ett veck över sprickan när rörelsen återgår.

Ett alternativ vid sprickköverbryggning är att applicera flera skikt med delvis olika egenskaper. Man kan till exempel först applicera ett plastiskt material som "fördelar" deformationen på en större sträcka. På detta skikt kan man sedan applicera ett elastiskt material, som delvis förhindrar att ytskiktet välver sig över sprickan.

En helt annan metod att överbrygga en spricka är att undvika att putsen får någon vidhäftning närmast sprickan. Töjningen kan härigenom fördelas på en större sträcka.

3.5.6 Väsentliga materialdata

Alla spänningar som uppträder i en putsad fasad har enligt tidigare avsnitt sin orsak i någon form av deformation. För att kunna bedöma olika kombinationer är det alltså nödvändigt att känna till deformationens storlek, sambandet mellan deformation och spänning samt tillåten deformation/spänning.

För de flesta material är aktuella egenskaper i hög grad beroende av en mängd yttre faktorer. Rådande fukt- och temperaturtillstånd, härdningstid och eventuell nedbrytning är några exempel. För putser och ytskikt har även underlagets egenskaper och putsens/ytskiktets tjocklek stor betydelse. Vissa materialegenskaper påverkas även i hög grad av deformationshastigheten.

När man studerar uppgifter beträffande materialegenskaper hos olika material måste stor vikt läggas vid provningsmetoden. En direkt jämförelse av materialdata från olika provningar är ofta vansklig. Små skillnader i provningsförfarandet kan ge mycket stora skillnader i erhållna värden. I vissa fall är det möjligt att ge relativt entydiga generella siffror, medan i andra fall det är helt omöjligt.

I det följande redovisas storleksordningar på intressanta materialdata samt hur olika faktorer kan inverka. I praktiken har åldring och nedbrytning en avgörande betydelse för materialdata, främst för organiska material. Detta diskuteras ytterligare i avsnitt 3.6.

Irreversibel krympning

Med irreversibel krympning avses den permanenta krympning som sker när ett material härdar eller åldras. Vid bedömningen av olika materialkombinationer är det den krympning som sker efter det att materialen kombinerats som är intressant. Detta medför att det i putssammmanhang främst är putsens/ytskiktets krympning som har betydelse. I samband med underlag som innehåller "färska" material, till exempel betong och bruk, får naturligtvis även underlagets krympning betydelse.

I litteraturen redovisade uppgifter på den fria krympningen för bruk varierar kraftigt, främst beroende på varierande brukssammansättning och lagringsförhållanden. I Saretok (1957) sammanställs ett antal olika uppgifter.

I TABELL 3.5:1 illustreras hur den fria krympningen hos ett "standardbruk" påverkas av förhållandet mellan kalk och cement.

TABELL 3.5:1 Bindemedelssammansättningens inverkan på den fria krympningen efter 8 dygn. Klimatet vid härdningen är okänt.

Brukstyp	Krympning (%)
K 100	0.35
KC 50/50	0.15
C 100	0.08

Siffervärdena får inte uppfattas som generella för respektive bruk. De illustrerar enbart förhållandet mellan olika bindemedel. Enligt andra litteraturuppgifter har en fri krympning på 0.6% uppmätts hos ett kalkbruk efter endast 36 timmar!

Förhållandet mellan mängden bindemedel och ballast har stor betydelse. Feta bruk krymper mer än magra bruk. Blandningsförhållandet 1:6 - 1:8 (viktsdelar)anses ofta vara ett lämpligt val för att få ett bra bruk med minimal krympning.

Som nämnts tidigare är den fria krympningen mindre intressant än den spänning som uppstår då krympningen förhindras. Sådana provningar saknas dock nästan helt.

Även hos organiska ytskikt sker en krympning i samband med hårdnandet. Här har även åldringen en stor betydelse. I litteraturen redovisas enbart exempel på resultat. Några generella riktlinjer är omöjliga att uppge.

Fuktrörelser

Med fuktrörelser avses den reversibla svällning/krympning som sker vid uppfuktning/uttorkning. Rörelsen är i allmänhet inte linjärt beroende av fukttillståndet. Vissa material sväller/krymper i huvudsak vid låga fukttillstånd, medan andra gör det vid höga fukttillstånd. Som exempel på detta visas i FIG 3.5:20 längdändringen hos ett färgskikt (PVAC/Acrylat) vid lagring i olika RF.

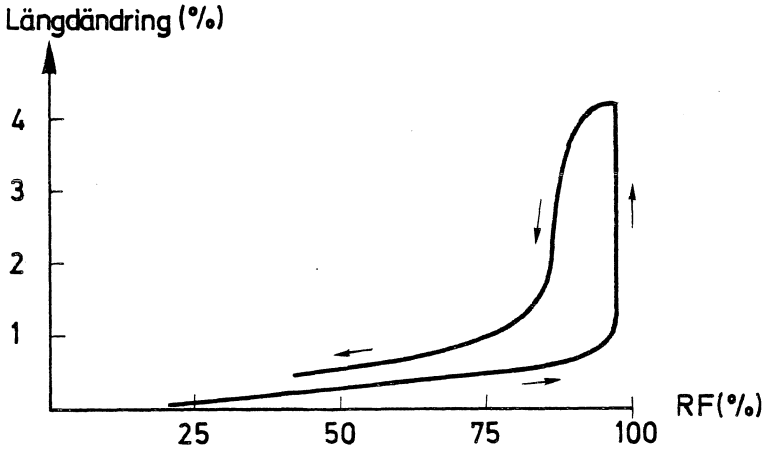


FIG 3.5:20 Längdändring som funktion av RF hos färgfilm. (Künzel, 1972 a).

I TABELL 3.5:2 redovisas fuktsvällningen från 20 % RF till 98 % RF för några organiska ytskikt. Även här finns anledning att tro att svällningen i huvudsak sker i intervallet 80 - 100 % RF.

TABELL 3.5:2 Fuktsvällning mellan 20 och 98 % RF hos några organiska ytskikt. (Künzel, 1972 a).

Bindemedel	Skikttjocklek (mm)	Svällning (%)
Polyvinylacetat	≅ 0.2	> 6
Polyvinylpropionat	0.3 - 1.0	≅ 0.5
Akrylat	0.7 - 1.0	1 - 4

Ytskiktets sammansättning har självfallet en avgörande betydelse för svällningens storlek. Generellt kan man dock påstå att organiska ytskikt har relativt stora fuktrörelser.

I TABELL 3.5:3 redovisas krympningens storlek vid uttorkning för ett antal i putssammanhang intressanta material. Uppgifterna är hämtade från olika källor, varför provningsbetingelserna varierat. Siffrorna kan dock tjäna som riktvärden och som synes så har oorganiska material relativt små fuktrörelser.

TABELL 3.5:3 Krympning vid uttorkning hos olika material.

Material	Krympning (%)	Kommentar
Trä, i fiberriktning	0.1 - 0.35	Från rått till helt torrt
Trä, tangentiellt	4.0 - 14.0	Från rått till helt torrt
Betong	0.02 - 0.06	Från vattenmättnad till 50 % RF
Lättbetong	0.02 - 0.06	Från vattenmättnad till 43 % RF
Tegel	0.0005 - 0.02	Från vattenmättn. till rumsluft
Natursten	0.002 - 0.04	"Från blött till torrt"
Putsbruk	0.02 - 0.08	"Från blött till torrt"
Tegelmurverk	0.005 - 0.02	"Från blött till torrt"
Lättklinkermurverk	0.04 - 0.05	Från vattenmättat till 50 % RF

Temperaturrörelser

De temperaturberoende rörelserna för olika material beskrivs i allmänhet med längdutvidgningskoefficienten, α. Denna varierar något med temperaturen, vilket dock oftast försummas. I TABELL 3.5:4 anges riktvärden för några material vid "normala" temperaturer.

TABELL 3.5:4 Längdutvidgningskoefficient för några olika material.

Material	α ($\cdot 10^{-6}/^{0}C$)
Furu, i fiberriktning	5
Furu, vinkelrätt fiberriktning	34
Betong	8 - 14
Lättbetong	7 - 8
Tegel	4 - 6
Natursten	1 - 16
Aluminium	23 - 24
Stål	11 - 12
K-puts	7 - 9
KC-puts	8 - 14
C-puts	14 - 18
Plast	20 - 300
Tegelmurverk (exempel)	7
Kalksandstensmurverk (exempel)	10

För organiska ytskikt varierar α mycket kraftigt med varierande bindemedelstyp och bindemedelsmängd. I TABELL 3.5:5 ges några exempel för några ytskikt. (Samman ytskikt som i TABELL 3.5:2).

TABELL 3.5:5 Längdutvidgningskoefficient för några organiska ytskikt. (Künzel, 1972 a).

Bindemedel	α ($\cdot 10^{-6}/^{0}C$)
Polyvinylacetat	250 - 320
Polyvinylpropionat	25 - 100
Akrylat	15 - 150

Samband mellan spänning och deformation

Det exakta sambandet mellan spänning och deformation ges av en arbetskurva enligt FIG 3.5:19. I denna kurva kan man avläsa ett antal materialegenskaper, som approximativt beskriver förhållandet mellan spänning och deformation. I allmänhet nöjer man sig med att ange elasticitetsmodulen (E), brottspänningen (σ_{br}) och brotttöjningen (ε_{br}). Den plastiska/viskösa deformationen kan sedan beräknas som skillnaden mellan brottöjningen och den elastiska töjningen vid brottspänningen. Utöver dessa egenskaper anges ibland även skjuvmodulen (G). Denna kan beräknas genom

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \qquad (3.5.6:1)$$

där ν = tvärkontraktionstalet (ofta $\cong$ 0.3)

I TABELL 3.5:6 redovisas E, σ_{br} och ε_{br} för ett antal olika material. Uppgifterna är hämtade från olika källor, vilket medför olika provningsbetingelser etc. Varierande härdning och sammansättning medför även att mycket stor spridning förekommer, långt utanför i tabellen angivna värden. Vissa av värdena är sålunda enbart exempel på erhållna resultat.

För att exemplifiera hur olika faktorer kan påverka materialegenskaperna, redovisas i det följande resultatet från några olika provningar i samband med putser och ytskikt.

TABELL 3.5:6 Hållfasthets- och deformationsegenskaper hos några vanliga material.

Material	E (GPa)	σ_{br}^{tryck} (MPa)	ε_{br}^{tryck} (%)	σ_{br}^{drag} (MPa)	ε_{br}^{drag} (%)
Trä, i fiber-riktning	10-13	30-60	5-10	80-150	2-3
Betong	20-35	10-70	0.2-0.5	2-5	0.01-0.02
Lättbetong	1-3	1-7	0.2-0.5	0.2-1	-
Tegel	1-30	10-80	-	1-10	-
KC-puts	5-20	2-20	0.2-0.4	-	0.02-0.04
C-puts	20-30	20-25	0.2-0.4	-	0.02-0.04
K-puts	3-4	1-15	0.2-0.4	-	0.02-0.04
Plast	0.001-25	-	-	5-100	1-500

I FIG 3.5:21-22 redovisas hur förhållandet mellan kalk och cement i ett bruk påverkar hållfastheten enligt olika källor. Olika härdnings-

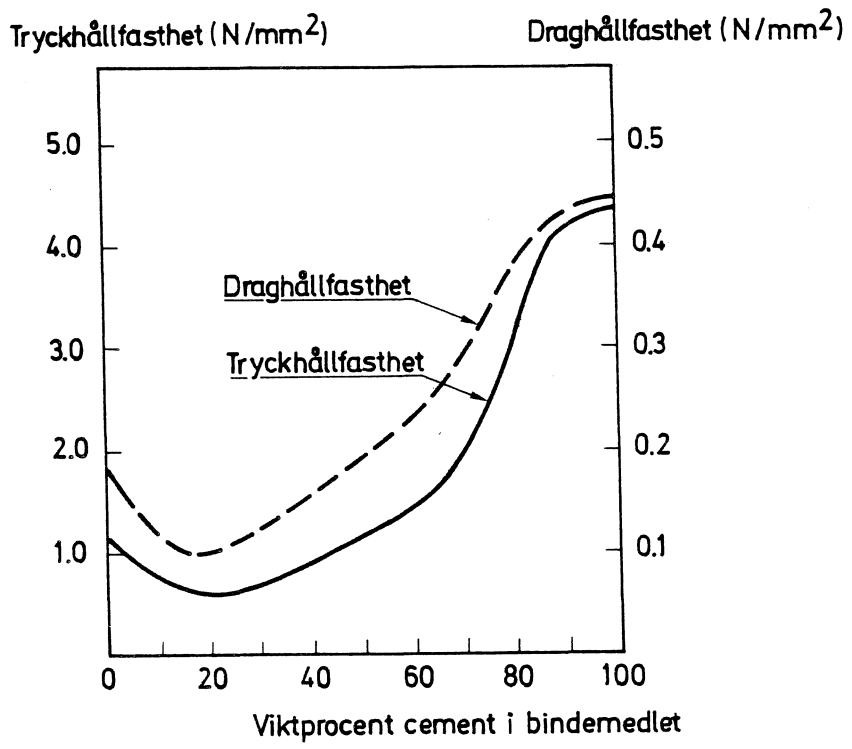


FIG 3.5:21 Exempel på cementhaltens betydelse för hållfastheten efter 2 månaders lagring i 40 % RF och 17°C.

betingelser och provningstid är några exempel på förklaring till skillnaden mellan resultaten. I båda exemplen är volymförhållandet mellan bindemedel och ballast 1:4.

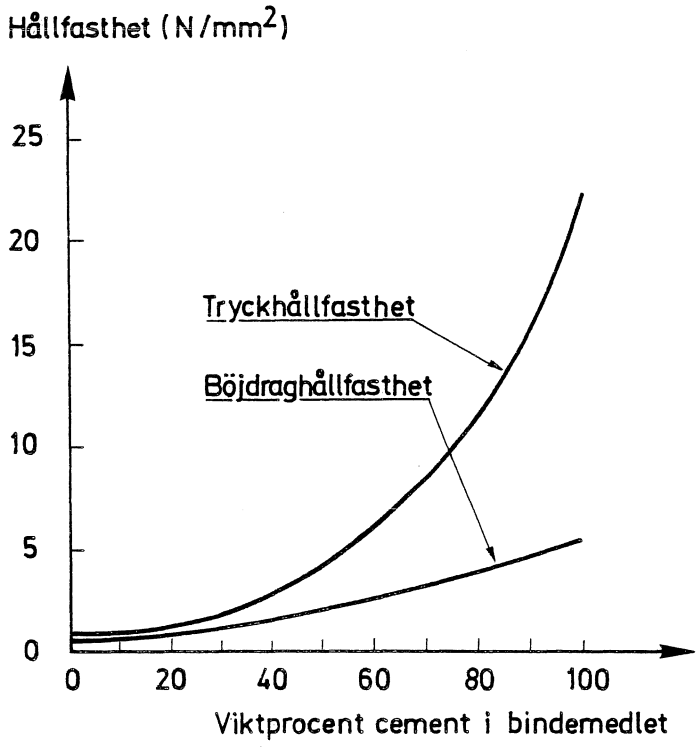


FIG 3.5:22 Exempel på cementhaltens betydelse för hållfastheten efter 3 månaders lagring i 70 % RF.

I TABELL 3.5:7 redovisas lagringsbetingelsernas inverkan på hållfastheten hos kalkbruk som varit exponerad för hög koldioxidhalt.

TABELL 3.5:7 Lagringsbetingelsernas inverkan på hållfastheten hos kalkbruk. (Alberti, 1950).

Relativ luftfuktighet (%)	σ_{br}^{tryck} (MPa) efter tiden 1 dygn	6 dygn	14 dygn	21 dygn
100	0	0	0	0
75-90	2.3	5.6	5.9	5.9
65-75	2.1	8.5	13.3	13.4
30-45	1.6	1.7	1.8	1.7

I FIG 3.5:23 illustreras hur förhållandet mellan kalk och sand inverkar på hållfastheten vid snabbt genomkarbonatiserade provkroppar.

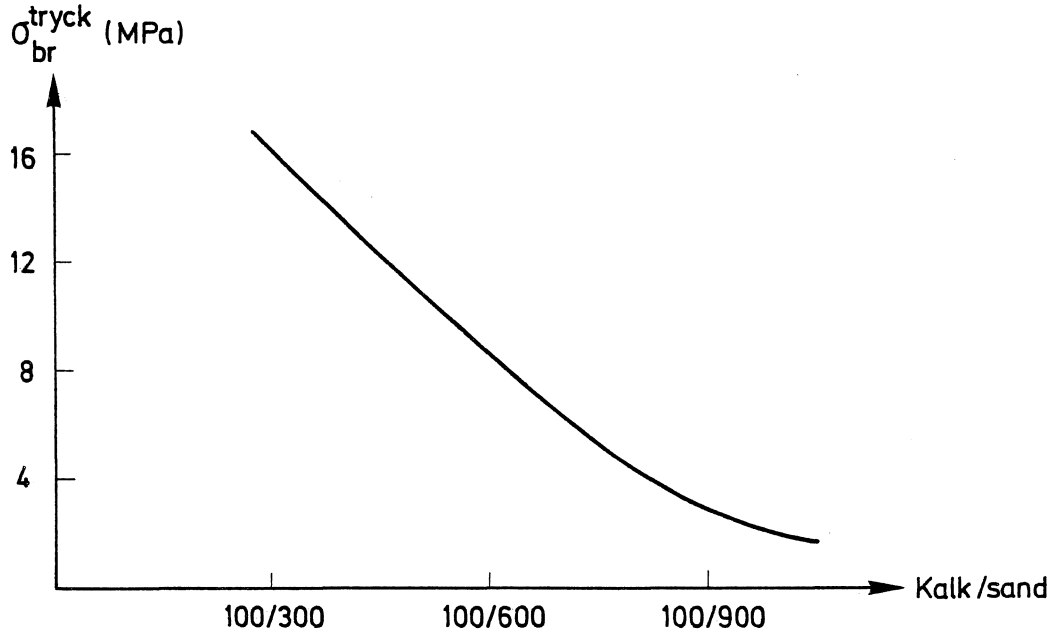


FIG 3.5:23 Tryckhållfasthetens beroende av förhållandet mellan kalk och sand. (Dieckmann, 1937).

De redovisade exemplen på egenskapernas beroende av olika faktorer, illustrerar tydligt svårigheten att definiera putsens mekaniska egenskaper. Utöver redovisade faktorer finns en mängd andra faktorer, som har en avgörande betydelse. Tillsatsmedel och olika gradering hos ballasten är två exempel. En annan faktor är brukets vattenhalt vid hårdnandet. Ett underlag som kan suga bort överskottsvattnet innan bruket har hårdnat, medför att putsen får helt andra egenskaper än om bruket hårdnat med allt vatten kvar i bruket.

För organiska ytskikt är inverkan av olika faktorer i vissa fall ännu större än för oorganiska putser. Vid organiska ytskikt har även betingelserna vid själva provningen (temperatur, luftfuktighet, deformationshastighet, skikttjocklek etc) en avgörande betydelse. En högre temperatur och luftfuktighet medför i allmänhet en mindre E-modul och en ökande andel plastisk/viskös deformation. I FIG 3.5:24 redovisas sambandet mellan kraft och deformation vid en på- och avlastning vid olika temperatur och fuktighet för en viss sort akrylatfilm med tjockleken 0.2 mm och bredden 10 mm. Tendensen tor-

de vara likartad för andra organiska ytskikt. Vid flera upprepade på- och avlastningar kan den plastiska/viskösa deformationen delvis ackumuleras.

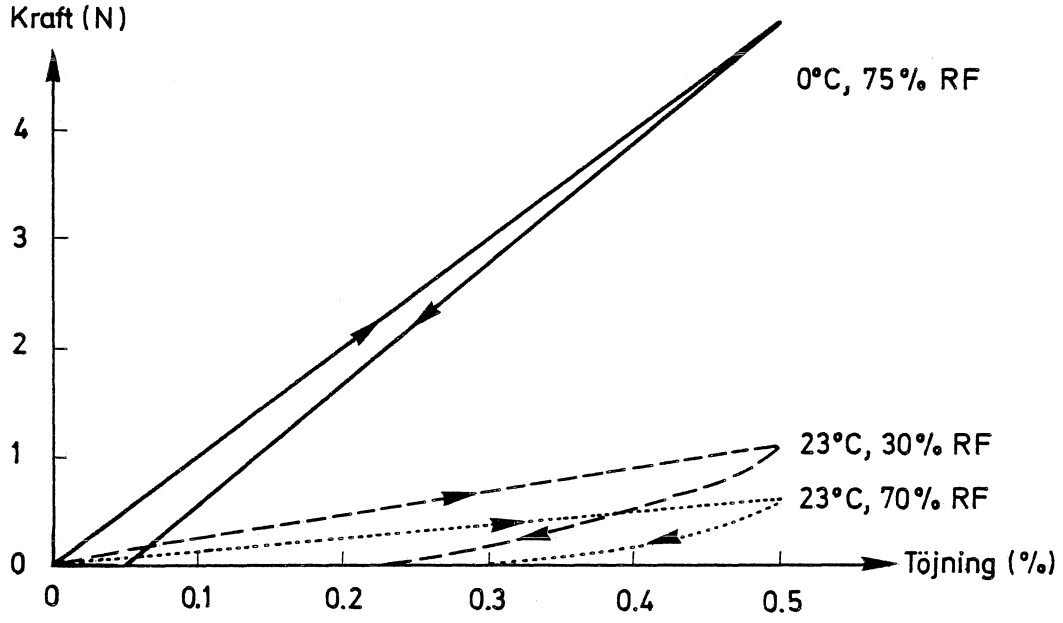


FIG 3.5:24 Exempel på samband mellan kraft och deformation för ett organiskt ytskikt vid olika temperatur och fuktighet. (Künzel, 1972 a).

Ur FIG 3.5:24 kan en E-modul beräknas. En sådan E-modul är dock endast användbar för just den provade ytskiktsfilmen. En jämförelse mellan olika material är vansklig på grund av att filmtjockleken har en stor betydelse. I FIG 3.5:25 illustreras hur filmtjockleken påverkar E-modulen för ett visst ytskikt.

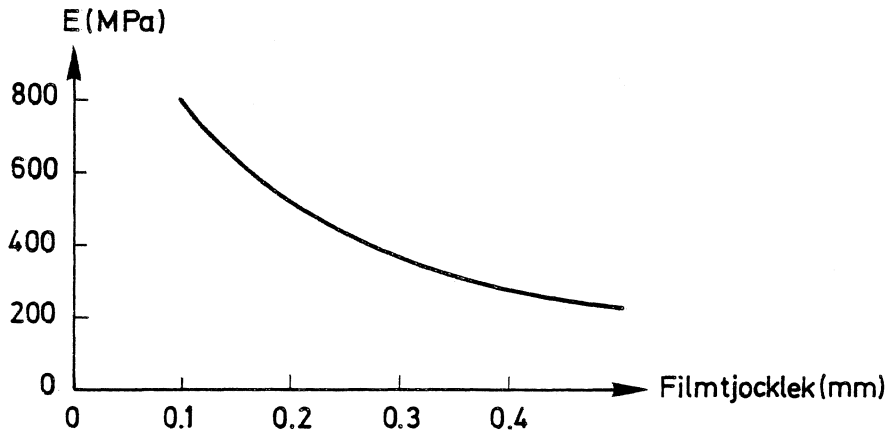


FIG 3.5:25 Filmtjocklekens inverkan på E-modulen. (Künzel, 1972 a).

I TABELL 3.5:8 redovisas några andra exempel på inverkan av temperatur och fuktighet.

TABELL 3.5:8 Exempel på temperatur- och fukttillståndets betydelse för hållfasthetsegenskaperna hos organiska ytskikt. (Zorll, 1973).

	E-modul (MPa)				Brottöjning (%)			
Fukttillstånd	torrt		blött		torrt		blött	
Temperatur (°C)	25	5	25	5	25	5	25	5
Polyakrylat	24	37	0.6	1.2	17	18	100	61
Copolymer akrylat	87	330	3.0	85	13	9.5	380	23
Polyvinylacetat	34	180	0.5	10	20	10	180	80
Vinylacetat-copolymer	26	340	2.6	11	16	4.5	31	43

Förutom att provningsbetingelserna har stor betydelse, inverkar naturligtvis ytskiktets sammansättning i mycket hög grad. I FIG 3.5:26-27 illustreras hur förhållandet mellan olika bindemedelskomponenter och pigmentvolymkoncentrationen (PVK) inverkar.

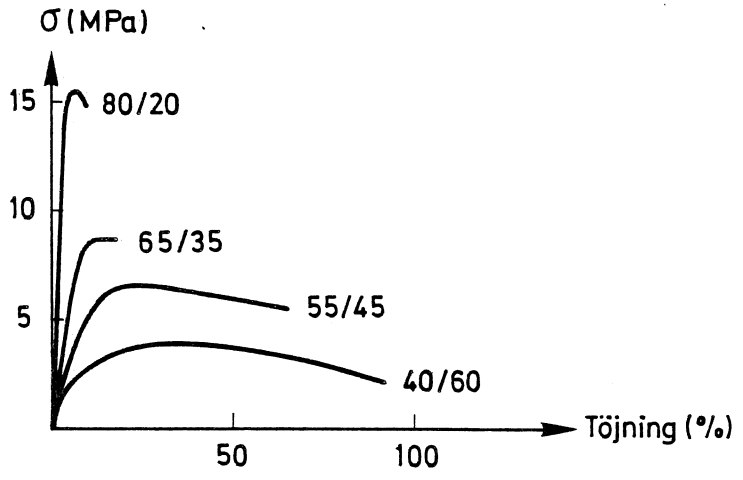


FIG 3.5:26 Exempel på samband mellan spänning och töjning vid olika förhållande mellan ingående bindemedelskomponenter i ett organiskt ytskikt.

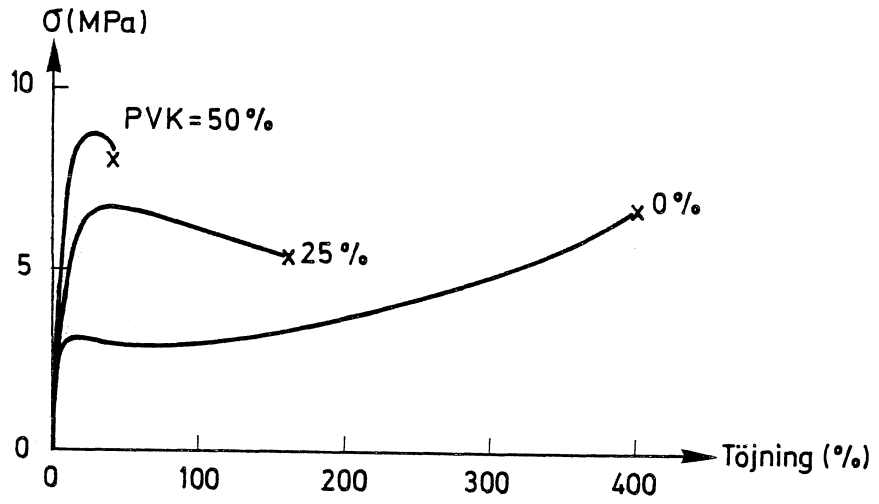


FIG 3.5:27 Exempel på samband mellan spänning och töjning vid olika PVK hos ett organiskt ytskikt.

Enligt tidigare påpekande har åldringen mycket stor betydelse för egenskaperna hos organiska ytskikt. I FIG 3.5:28 redovisas ett exempel på detta för en alkydfärg, som utsatts för normalt utomhusklimat.

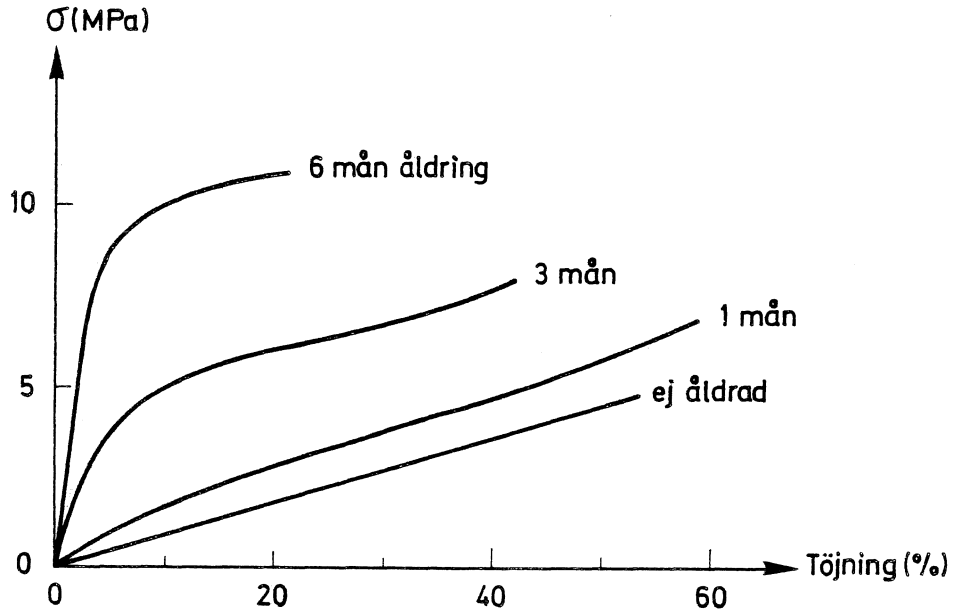


FIG 3.5:28 Exempel på åldringens inverkan på sambandet mellan spänning och töjning hos en alkydfärg.

De redovisade exemplen på hur egenskaperna hos organiska ytskikt varierar med olika faktorer, visar tydligt att det är omöjligt att ange några generella data för olika typer av ytskikt. Varje ytskikt måste betraktas som unikt. Mycket små variationer hos ytskikt, med samma principiella uppbyggnad, kan ha en avgörande betydelse för egenskaperna. Detta gäller för övrigt inte enbart de mekaniska egenskaperna utan även alla andra egenskaper. För att få en någorlunda uppfattning måste alltså varje fabrikat (och varianter av detta) provas för sig. Provningen måste även göras vid ett antal olika betingelser.

Brottmekaniska egenskaper

Som påpekats tidigare torde ett brottmekaniskt betraktelsesätt vara användbart vid bedömning av risk för sprickbildning och utveckling av bomytor. Detta betraktelsesätt är relativt nytt och materialdata saknas praktiskt taget helt för i putssammanhang intressanta material. Principen för bestämning av materialdata beskrivs bland annat i Hillerborg (1977), Gustafsson (1977) och Petersson (1981).

Spricköverbryggande förmåga

Den spricköverbryggande förmågan är, förutom av generella materialdata, i mycket hög grad beroende av putsens/ytskiktets uppbyggnad. Att ge några generella data i detta avseende är omöjligt. Olika spricköverbryggande system måste helt enkelt testas var för sig. Testresultaten är vidare inte generellt användbara utan bör enbart ligga till grund för jämförelser mellan olika system. Vid provningen är det av största betydelse att provkropparna utsätts för någon form av åldring och att provningen görs vid olika temperaturer och fukttillstånd.

I ER-nämndens Rapport nr 3:68 beskrivs en mycket enkel metod, som dock tyvärr inte speglar verkligheten. Härvid böjer man ytskiktet runt ett dorn med varierande diameter. Ju mindre diameter ytskiktet klarar utan att spricka, desto större förmåga att överbrygga en spricka anses det ha. Verkligheten ser dock helt annorlunda ut. Som exempel kan nämnas att provningsmetoden sannolikt visar att ett tunnare skikt klarar sig bäst. I verkligheten är det tvärtom.

Provningen bör utformas på ett sätt som mer efterliknar verkligheten, till exempel genom att applicera ytskiktet över en befintlig spricka och studera hur mycket sprickan kan vidgas innan ytskiktet spricker. Den ursprungliga bredden på sprickan bör väljas med hänsyn till ytskiktets användningsområde. En sprickbredd 0.1 - - 1 mm torde vara rimligt. Provningen bör göras efter åldring av ytskiktet samt vid olika temperaturer och fuktighet. Vidare bör även långsamma och cykliska rörelser studeras. Gör man endast en provning av maximal sprickrörelse på ett nyapplicerat ytskikt kan man få ett resultat som visar att sprickan kan öppna sig till en bredd som är 10 - 20 gånger den ursprungliga bredden. Verkligheten torde dock inte vara så gynnsam!

Som exempel redovisas i TABELL 3.5:9 maximal sprickrörelse vid provning av åldrad respektive icke åldrad organisk tunnputs. Den ursprungliga sprickbredden var "minsta möjliga", vilket åstadkoms genom att två lättbetongbitar pressades ihop. Provningen var starkt förenklad och siffrorna är inte på något sätt generellt användbara.

TABELL 3.5:9 Maximal sprickröelse (mm) för några c:a 1 mm tjocka organiska ytskikt.

	Ej åldrad	Åldrad
Akryltunnputs	≅ 0.05	0
Akryltunnputs armerad med glasfiberväv	≅ 0.4	≅ 0.2
Alkydtunnputs	≅ 0.03	0
Alkydtunnputs armerad med glasfiberväv	≅ 0.2	≅ 0.2

3.5.7 Sammanfattande diskussion

Av den tidigare behandligen av rörelser och sprickbildning framgår att problemet är mycket komplicerat, och att det till stor del saknas kunskaper för att kunna göra en riktig dimensionering. Som exempel på detta kan nämnas att både praktiskt förekommande

sprickrörelser och olika ytskikts förmåga att överbrygga en viss sprickrörelse är okända. Denna brist på dimensioneringsmetoder innebär att man i praktiken måste grunda sina bedömningar på praktisk erfarenhet och hypoteser. Detta medför i sin tur att olika skolor kan bildas. Ett exempel på detta är valet mellan kalk- och kalkcementbruk vid reparationer. Vissa hävdar att man alltid bör reparera en kalkputs med kalkbruk, medan andra hävdar att man bör använda ett "svagt" kalkcementbruk. I verkligheten torde det vara helt ointressant om man använder en kalkputs eller en kalkcementputs. Det intressanta torde vara putsens egenskaper!

Ett annat exempel på olika skolor finns i samband med applicering av ytskikt på underlag som har små sprickor. I Sverige dominerar uppfattningen att ett ytskikt inte kan överbrygga en spricka. I Tyskland har man däremot en annan uppfattning. Att sprickö verbryggning till stor del anses fungera i Tyskland kan bero på att man här ofta gör sprickorna vattenavvisande innan ytskiktet appliceras. Detta innebär att om ytskiktet trots allt spricker över sprickan så blir konsekvenserna inte allvarliga.

De bristfälliga kunskaperna medför också att man lätt kan göra vissa felbedömningar, som kan bli ödesdigra. I samband med skador på organiska ytskikt anges nästan alltid fukten som skadeorsak. Ett exempel på detta är när ytskiktet till en början uppvisar ca 1 dm^2 stora bubblor, som efterhand ökar i storlek och slutligen spricker. En annan förklaring (och enligt författarens uppfattning mer sannolik) till dessa skador är att ytskiktets rörelser medför spänningar, som överstiger de tillåtna spänningarna. När ytskiktet väl lossnat kan det deformeras fritt och genom plastisk/viskös deformation kan "bubblorna" bli permanenta. Härefter kan vatten tränga in och förvärra skadorna. Rörelser i ytskiktet kan vara den primära skadeorsaken och fukten den sekundära orsaken. Problemen hade kanske aldrig uppstått om vidhäftningen varit god från början. I stället för ett alltför tätt ytskikt kan orsaken alltså ha varit dålig rengöring innan ytskiktet applicerades.

Även om de vetenskapliga kunskaperna inte är tillfredsställande, skulle många av dagens skador i samband med renoveringar av gamla fasader kunna undvikas om en grundläggande princip följdes. Denna princip är självklar och kan formuleras:

"Den svagaste länken blir avgörande för ytbehandlingens kvalitet"
Avvikelser från denna princip är mycket vanliga. De vanligaste exemplen är applicerandet av ett nytt ytskikt på gamla kalkskikt eller på gammal vittrad kalkputs. Den svagaste zonen (kalkskiktet respektive den vittrade putsen) blir helt avgörande för hur fasadbehandlingen kommer att fungera. När det gäller målning med organiska ytskikt på gamla kalkskikt är det helt och hållet fråga om slarv eller nonchalans. När det gäller den vittrade putsen är det däremot en bedömningsfråga. Några exakta regler för när man kan applicera ett visst ytskikt på en viss puts finns inte. Felbedömningar kan alltså lätt göras.

3.6 Åldring - nedbrytning

3.6.1 Allmänt

Alla byggnadsmaterial utsätts i sin användning för olika former av nedbrytande krafter. Nedbrytningsprocesserna kan vara långsamma eller snabba, beroende på materialens art och struktur samt den miljö de exponeras i. Begreppet "beständighet" används ofta för ett materials förmåga att motstå nedbrytningsprocesserna. För att begreppet skall vara meningsfyllt bör det även anges mot vilket angrepp materialet är "beständigt".

I fasadsammanhang är även begreppet "åldring" vanligt förekommande. Med detta begrepp avses en långsamt fortskridande förändring av fasaden. Härvid avses inte någon speciell nedbrytningsprocess och åldringen behöver inte heller vara negativ. Många gånger anses en åldrad fasad vara vacker.

Nedbrytningen av ett material anses däremot alltid vara negativ. Denna nedbrytning kan mycket väl bero på en "naturlig åldring", men kan också bero på ett plötsligt angrepp, till exempel en frostskada.

Vid angivandet av ett materials "livslängd" avses vanligen den tid materialet kan anses kunna fylla sin funktion (estetiskt och/eller tekniskt) under inverkan av i aktuell miljö förväntad nedbrytning. Härvid förutsätts då att materialet endast utsätts för en "naturlig åldring". Den verkliga livslängden kan bli väsentligt mindre, beroende på direkta "skador", som inte beaktades från början. Dessa skador kan dock indirekt bero på den "naturliga åldringen". Begreppen "åldring", "nedbrytning" och "skada" är alltså starkt förknippade med varandra, även om det finns klara skillnader.

Olika materialgrupper är olika kraftigt utsatta för åldring under inverkan av normalt utomhusklimat. I putssammanhang finns det en väsentlig skillnad mellan organiska och oorganiska material. De organiska materialen är i allmänhet utsatta för en kraftigare åldring.

I det följande ges en mycket översiktlig beskrivning av olika faktorer som påverkar åldring och nedbrytning. Vidare redovisas vissa exempel på hur olika materialegenskaper kan förändras.

3.6.2 Inverkande faktorer och mekanismer

Den del av solstrålningen som ligger inom det ultravioletta området, <u>UV-strålning</u>, har stor förmåga att påverka organiska material. I

polymera material, till exempel ett ytskikt, sker härvid en förändring av den inre strukturen. Resultatet av detta blir att materialet blir sprödare.

Luftens syre och ozon medför en oxidation av många material. Även här är organiska ytskikt speciellt känsliga. Vid samtidig inverkan av ozon och dragspänningar kan vissa molekylkedjor brytas i materialet, vilket kan leda till sprickbildning.

En hög temperatur påskyndar alla kemiska reaktioner och kan alltså vara negativ ur åldringssynpunkt. En gammal tumregel säger att reaktionshastigheten fördubblas när temperaturen ökar 10°C. En alltför låg temperatur kan å andra sidan också vara skadlig. Frostangrepp kan till exempel påverka materialegenskaperna negativt, även om några synliga skador inte syns. Osynliga frostangrepp kan alltså påskynda andra nedbrytningsmekanismer. Låga temperaturer medför också att material blir hårda och spröda. Många temperaturväxlingar, till exempel på en solbelyst sydfasad, kan ge en snabb åldring på grund av utmattningsfenomen. Härvid torde temperaturändringshastigheten ha en stor betydelse.

Fukt påverkar nedbrytningen på flera olika sätt. Frostsprängning är ett välbekant fenomen. Fukten medför även en svällning, vilket bland annat innebär att angreppsytan hos organiska material blir större och alltså att förutsättningarna för andra nedbrytningsmekanismer ökar. En ren hydrolys är ett exempel på kemiskt angrepp av rent vatten. Urlakning är ett annat i fasadsammanhang ofta diskuterat fenomen. Under härdningen av ett kalkbruk är koldioxid en grundförutsättning. På lång sikt kan däremot koldioxid vara skadligt! Koldioxidhaltigt vatten kan nämligen medföra att bindemedlet urlakas.

Fukten har även stor betydelse som transportmedium för till exempel salter och är en grundförutsättning för mikroorganismer.

Luftföroreningar och salter kan ge en mycket snabb nedbrytning av vissa material. Se avsnitt 2.3.3 och 3.3.

Alkalier, d.v.s. ett högt pH-värde, kan vara både positivt och negativt för nedbrytningen. Korrosion på stål, till exempel armeringsnät, förhindras vid ett högt pH-värde. Här är det alltså önskvärt att bibehålla putsens höga pH-värde. I samband med målning med vissa organiska färger kan däremot ett högt pH-värde vara mycket skadligt. Det höga pH-värdet kan medföra att det uppstår kemiska reaktioner, som helt omvandlar materialet (förtvålning). Olje- och alkydbaserade produkter är särskilt känsliga i detta avseende. Problemet kan elimineras genom att låta putsen karbonatisera innan den ytbehandlas.

Mikroorganismer kan "äta upp" vissa beståndsdelar i en del material. Samtidigt kan dessa mikroorganismer absorbera fuktighet från luften och alltså medföra att materialet hålls fuktigt.

Eroderande partiklar, till exempel regn och sand, som under inverkan av vinden träffar en fasad medför en viss bortnötning av ytan. I vissa fall anses detta vara positivt, eftersom då fasaden kan hålla sig ren. I reklambroschyrer nämns ibland uttrycket "självtvättande" färg. Erosionen sker dock ofta ganska ojämnt, varför fasaden lätt blir flammig.

3.6.3 Ändring av materialegenskaper

Åldringens inverkan på de mekaniska egenskaperna behandlades delvis i avsnitt 3.5.6. I FIG 3.5:28 visades hur åldringen påverkade arbetskurvan hos en alkydfärg. "Försprödningen" är mycket tydlig och gäller för flertalet organiska ytskikt. Försprödningen innebär att "töjbarheten" minskar samtidigt som brottspänningen ökar. I FIG 3.6:1 visas ett annat typexempel på hur de mekaniska egenskaperna förändrades vid utomhusexponering.

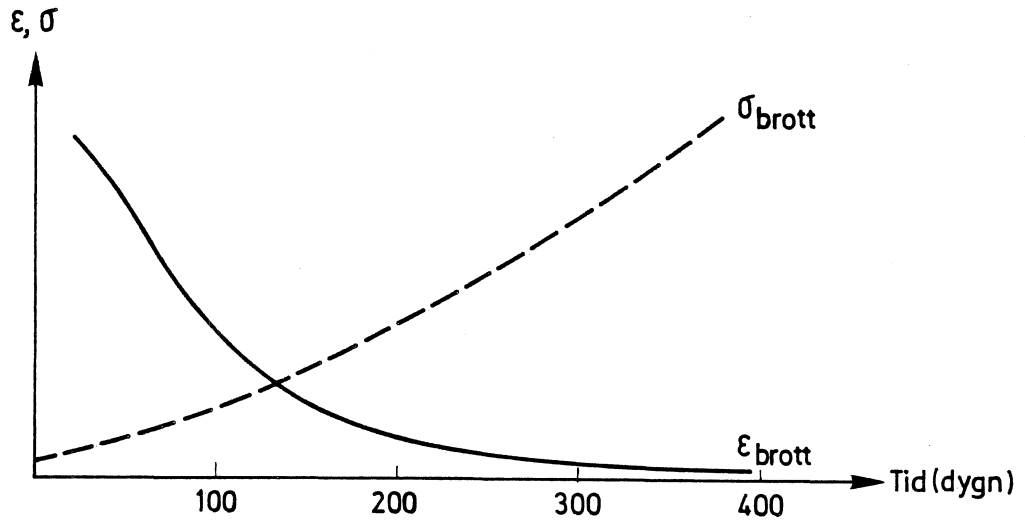


FIG 3.6:1 Principiell förändring av töjning (ε) och brotthållfasthet (σ) vid åldring.

Några generella kurvor enligt FIG 3.6:1 går inte att ange för olika ytskikt. Varje ytskikt är unikt och måste provas var för sig!

Enligt avsnitt 3.5.6 är de mekaniska egenskaperna hos organiska ytskikt beroende av temperaturen. Vid en viss temperatur, glastempera-

turen, förändras plötsligt hållfasthets- och töjningsegenskaperna. Över denna temperatur har ytskiktet en hög elasticitet/viskositet. Under denna temperatur blir däremot ytskiktet sprött (hög E-modul). Ett organiskt ytskikt skall helst ha en så pass låg glastemperatur att normala utetemperaturer ligger över denna temperatur. Detta är också i allmänhet fallet med relativt färska ytskikt. Under inverkan av åldringen kan dock glastemperturen förskjutas så att normala utetemperaturer hamnar under glastemperaturen.

För oorganiska material är inverkan av normal åldring mindre. I speciella fall, till exempel vid frost- och saltangrepp, kan dock en mycket dramatisk förändring ske av materialegenskaperna.

Även fuktegenskaperna kan ändras mycket kraftigt vid åldring. I TABELL 3.6:1 visas ett exempel på vattenabsorptionen i en putsad fasad med olika väderstreck och ålder. Västfasaden har varit exponerad för regn medan östfasaden varit regnskyddad.

TABELL 3.6:1 Relativ vattenabsorption vid olika åldringsbetingelser hos KC-puts.

Vattenabsorption	östfasad	västfasad
efter 1 månad	4.3	2.7
12 månader	2.9	1.5

Som framgår av tabellen minskar vattenupptagningen med ökande ålder. Vidare har västfasaden en mindre absorption. Denna fasad har också haft ett gynnsammare härdningsklimat, tack vare att den fuktats upp ibland.

Den ändrade vattenabsorptionen beror på att porsystemet förändras under härdningen (åldringen). I aktuellt fall minskade vattenupptagningen. Den kan lika gärna öka. I TABELL 3.6:2 visas några exempel på förändringen av ånggenomsläpplighet och vattenupptagning efter utomhusexponering under 16 månader på norr- och västfasad. (Künzel, 1972 b).

TABELL 3.6:2 Förändring av ånggenomsläpplighet och vattengenomsläpplighet vid åldring. (Utgångsvärde för varje ytskikt innan exponeringen = 1).

Ytskikt	ånggenomsläpplighet		vattengenomsläpplighet	
	norr	väst	norr	väst
Polyvinylacetat I	1.37	1.37	0.11	0.15
Polyvinylacetat II	1.61	1.33	0.90	1.48
Polyvinylacetat III	1.10	1.55	0.89	3.26
Akrylat I	1.37	1.24	5.33	16.45
Akrylat II	0.74	0.87	0.76	0.85
Akrylat III	1.07	1.18	0.43	0.36

Tabellen visar att ändringen av ånggenomsläppligheten är relativt måttlig. Vattengenomsläppligheten ändras däremot mycket kraftigt. En del ytskikt får en ökande vattenupptagning efter åldring, medan andra får en minskande vattenupptagning. Några generella förutsägelser går inte att göra. Alla ytskikt måste provas separat!

Även vattenavvisande impregneringar kan brytas ned snabbt. I TABELL 3.6:3 visas några exempel på hur lagring i kalkvatten kan förändra vattenupptagningen.

TABELL 3.6:3 Förändring av "vattenpenetration" hos vattenavvisande impregneringar vid lagring i kalkvatten under 8 dygn. (Relativa siffror).

Impregneringsmedel	Vattenpenetration	
	före	efter
Obehandlat	13.4	13.1
Silikonharts I	0.0	2.7
Silikonharts II	0.0	0.0
Metylmetakrylatlösning	0.0	0.0

I en annan tysk undersökning (Brasholz, 1982) provades ett antal silikonimpregneringar genom naturlig exponering under 2½ år. Samtliga impregneringar hade efter denna tid försämrats.

Åldringen medför i vissa fall kraftiga utseendeförändringar. Från början blanka färger blir i vissa fall matta. Även kulörförändringar kan förekomma. Vid kraftig nedbrytning av ytan kan det även inträffa en "kritning", d.v.s. ytan eroderar. Detta utnyttjas ibland medvetet för att hålla fasaden ren. När en sådan fasad träffas av slagregn och om det härvid bildas en vattenfilm, kommer den kritade ytan att tvättas bort. Eventuella smutspartiklar följer då med. En förutsättning för detta är att det verkligen bildas en vattenfilm på hela fasaden. På kraftigt sugande underlag finns risken att en vattenfilm endast bildas på vissa speciellt utsatta partier. Resultatet av detta blir en ojämn rentvättning. Även på en icke sugande fasad kan rentvättningen bli ojämn, beroende på att vissa fasadpartier skyddas från regn.

Provningar av olika ytskikts åldringsegenskaper är mycket besvärlig. Det mest relevanta är självfallet att exponera ytskikten i den miljö de skall vara på fasaden. Metoden har nackdelen att det tar lång tid innan man får resultatet. För dåliga ytskikt kan man dock få snabba resultat. För att få snabbare resultat gör man i laboratorium accelererade provningar. Antingen provar man olika nedbrytningsmekanismer för sig (till exempel UV-strålning eller fukt- och värmeväxlingar) eller samtidigt. Genom att jämföra laboratorieprovningar med naturlig exponering försöker man sedan uppskatta livslängden. Att göra detta med någon större noggrannhet är dock helt omöjligt.

Som ett mått på åldringen kan man, förutom synliga skador eller dylikt, mäta vissa egenskaper. Som exempel på sådana egenskaper kan nämnas förändringen av

- Brottöjning
- Brotthållfasthet
- Plasticitetsgräns
- Glastemperatur
- Ånggenomsläpplighet
- Vattengenomsläpplighet
- Jämviktsfuktkurvor
- Vikt
- Porositet
- Glans

Det måste dock betonas att den bästa bedömningsgrunden för olika ytskikts åldring är den praktiska erfarenheten. Laboratorieprovningar kan endast bli ett komplement, men har naturligtvis ett stort berättigande vid materialutveckling.

3.7 Diverse utseendefel

Förutom de tidigare behandlade problemområdena, som kan förorsaka allvarliga tekniska skador i putsen, finns det ett antal mer eller mindre vanliga fel, som i huvudsak medför estetiska brister. För fastighetsägaren är dessa naturligtvis mycket allvarliga och kan mycket väl motivera en ombehandling av fasaden. Ofta finns orsaken till dessa utseendefel i arbetsutförandet. Problemen visar sig ibland omedelbart efter ytskiktsappliceringen och ibland flera år efteråt.

I detta avsnitt beskrivs de vanligaste utseendefelen. Många av orsakerna till problemen är elementära och kan lätt elimineras. Vissa av problemen är dock mer svårlösta. Ett visst utseendefel kan ha olika orsaker och det kan ibland vara svårt att i ett aktuellt fall utpeka en enda orsak. Att förebygga ett visst utseendefel kräver alltså att man samtidigt beaktar ett flertal olika faktorer. I anslutning till genomgången av de olika utseendefelen diskuteras även tänkbara orsaker till problemen samt åtgärder för att eliminera eller reducera problemen. Vid ett studium av dessa orsaker samt förebyggande åtgärder finner man ibland att dessa är motsägande. Ett och samma problem kan till exempel bero på antingen för stor eller för liten sugning i underlaget. Man kan alltså tvingas till en svårbedömbar balansgång mellan olika tänkbara åtgärder.

Det vanligaste utseendefelet är att ytan ser flammig ut. Orsakerna till detta kan vara många. Ojämn sugning i underlaget kan medföra att ytskiktet får varierande egenskaper och därmed olika utseende. Ibland syns detta direkt men i andra fall märks detta först efter några år. Appliceras ytskiktet i flera omgångar, reduceras inverkan av underlagets ojämna sugning. Alternativt kan man i samband med organiska ytskikt göra en speciell förbehandling, till exempel en hydrofobering. En förvattning kan för stunden ge en jämn sugning. På lång sikt kvarstår dock den ojämna sugningen, vilket kan medföra att flammigheten framträder senare. Ojämn struktur i underlaget kan också medföra att fasaden upplevs som flammig. Ju tjockare ytbehandlingen är desto mindre märks detta. Lagningar i en gammal putsfasad är typexempel på ovanstående. Här kan både ojämn sugning och avvikande struktur i ytan samverka.

Varierande skikttjocklek kan för vissa ytskikt medföra flammighet.

Ett exempel på detta är så kallade "blankfläckar". Dessa uppstår då vätskan i ytskiktet inte sugs bort tillräckligt snabbt. Den direkta orsaken till detta kan vara att ytskiktet lokalt blivit för tjockt. Blir ytskiktet å andra sidan för tunt kanske det inte hinner "flyta ut" på fasaden, vilket också medför flammighet.

Varierande sammansättning hos bruket eller ytskiktet kan självklart medföra ojämn färg. Även klimatet under och efter arbetet har stor betydelse. Om samma ytskikt appliceras under skilda klimatbetingelser, till exempel en solig respektive en regnig dag, kan utseendet bli helt olika. För att reducera inverkan av varierande klimat och materialsammansättning bör arbetet planeras så att stora sammanhängande partier utföres med samma materialleverans under samma dag. Partier som behandlas vid olika tillfällen bör vara "naturligt" avgränsade. Görs inte detta riskerar man flammighet i gränsen mellan de två behandlingarna. Ett inte ovanligt exempel på detta är synliga bomlagsskarvar.

Varierande bearbetning av putsytan kan vara upphov till både ojämn sugning och ojämn struktur. Om man till exempel först applicerar putsen på en stor yta och därefter börjar bearbeta den så finns risk för detta. När man börjar bearbetningen kanske putsen har för mycket vatten kvar och när man kommer till slutet har kanske putsen hårdnat.

Saltutfällningar kan ge en flammig yta på de flesta ytskikt. Förutom att salter från murverket kan transporteras genom ytskiktet så kan även vissa beståndsdelar från själva ytskiktet lösas upp och tränga fram till ytan. Kalkutfällning på en nyapplicerad kalkcementfärg är ett exempel på detta. Mekanismen härvid är att färgens kalciumhydroxidmättade vatten avdunstar långsamt från ytan och lämnar kvar kalciumhydroxiden. Denna kalciumhydroxid omvandlas sedan till kalciumkarbonat, som är svår att avlägsna. Problemet är mest markant på mörka färger eftersom utfällningen är vit. Utfällningen syns ofta en kort tid (någon vecka) efter målningen och förekommer praktiskt taget endast vid målning sent på hösten. Ett fuktigt murverk, låg utetemperatur och hög fuktighet ökar risken för kalkutfällningar. Vid målning på en torr puts och vid goda uttorknings- och karbonatiseringsförhållanden är risken för kalkutfällningar minimal.

Kemiska reaktioner och nedbrytning av icke beständiga färgpigment är några andra orsaker till ojämn färg. Dessa reaktioner kan även medföra att kulören helt enkelt ändras på hela fasaden. Angreppen kan

också vara koncentrerade till vissa partier, till exempel vid lokalt hög vattenbelastning.

Ojämn nedsmutsning anses ibland vara ett utseendefel som beror på putsen. Begreppet ojämn nedsmutsning är mindre bra. I allmänhet är det nämligen fråga om ojämn rentvättning. Putsens inverkan på smutsbilden beror främst på själva putsmaterialet, ytans struktur, kulören samt porositeten. I starkt förorenad miljö (stadskärnor) fungerar släta putser bäst. En grov ytstruktur medför i allmänhet en "snabbare nedsmutsning". Porositeten och sugförmågan hos ytskiktet har en mycket stor betydelse. En icke sugande yta tvättas vid varje slagregn. En olämplig utformning av fasaden kan dock medföra att vissa partier inte träffas av något vatten. En fasad som å andra sidan absorberar allt vatten kommer aldrig att bli tvättad vid regn. De flesta i praktiken förekommande putser och ytskikt har sugegenskaper mellan dessa ytterligheter. Några siffermässiga kvantifieringar med avseende på nedsmutsning/rentvättning av olika ytskikt går inte att göra. Den för närvarande bästa bedömningsgrunden är den praktiska erfarenheten från aktuell plats. Dessa erfarenheter varierar kraftigt mellan olika orter och i vissa fall även inom en viss ort. En byggnad i ett grönområde har ju en helt annan smutsbelastning än en byggnad intill en genomfartsled. Även regnbelastningen kan vara helt olika.

Förutom att porositeten påverkar rentvättningen kan den även direkt påverka själva nedsmutsningen. En varierande porstruktur medför nämligen att även fukttillståndet kommer att variera över fasaden. Vissa partier torkar snabbare än andra, samtidigt som jämviktsfuktinnehållet kan variera. Detta medför i sin tur att väggen kan attrahera smutspartiklarna olika mycket. Ett exempel på detta är när putsen över fogar respektive murblock blir olika kraftigt nedsmutsad. Varierande värmeisoleringsförmåga hos murblock och fog kan också vara en förklaring till "rutmönstret". Olika temperatur medför nämligen olika attraktionskraft på smutspartiklarna. Denna mekanism gäller inte enbart fogar i ett murverk utan är tänkbar för alla köldbryggor och dylikt. Den varierande sugförmågan kan delvis elimineras genom någon form av grundning. Inverkan av köldbryggor är däremot ofrånkomlig.

LITTERATUR

Alberti, K, 1950, Beitrag zur Erforschung der Erhärtung von Weisskalkmörtel. Zement - Kalk - Gips nr 3-1950.

Ashton, H E, 1979, Flexibility and its retention in clear coatings exposed to weathering. Journal of Coatings Technology. Vol. 51, No. 653, 1979.

Bagda, E & Rusan, H, 1981, Rissüberbrückende Beschichtungen. Bautenschutz - Bausanierung, nr 4-81.

Baumüller, J & Hoffmann, U, 1982, Ergebnisse langjähriger Schwefeldioxid-Messungen in Stuttgart. Bauphysik nr 1-2/1982.

Bengtsson, H, 1963, Puts på hålmur. (Svenska Riksbyggen.) Meddelande 4/63. Stockholm.

Bergqvist, L, 1971, Temperatur och rörelse i skalmurar. Tegel 4-1971.

Bing, K, 1947, Udblomstring paa murvaerk. (Chalmers Tekniska Högskola.) Handling nr 58, Göteborg.

Blakey, F A & Lewis, R K, 1958, Effect of cyclic Wetting and Drying of restrained Mortar Specimens. (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization.) Report C2. 4-1. Melbourne.

Blank, R, 1981, Bruk och samverkan mellan murbruk och mursten. (4. Nordiska murverksymposiet, VTT.) Espoo.

Bowley, M J, 1975, Desalination of stone: a case study. (Buildings Research Establishment.) CP 46/75. Watford.

Brasholz, A, 1981, Beschichtungs- und Anstrichschäden bei Alt- und Neubauten. (Bauverlag GmbH.) Wiesbaden - Berlin.

Brasholz, A, 1982, Halten silikonimprägnierungen was sie versprechen? Die Mappe 4/82.

Brasholz, A, 1982, Silikonimprägnierungen was sie versprechen? Die Mappe 4/82.

Carlsson, O, 1954, Porstorlek och frostbeständighet hos tegelmaterial. (Chalmers Tekniska Högskola.) Handling 148. Göteborg.

Dahl, G, 1978, Fasadputsers mekaniska egenskaper. (3. Nordiska murverkssymposiet) Mur-sentret. Oslo.

Dahl, G, 1981, Ny putsteknik. (4. Nordiska murverkssymposiet, VTT.) Espoo.

Davison, J I, 1982, Effect of air content on durability of cement-lime mortars. Durability of Buiding Materials, 1 (1982).

Dieckmann, W, 1937, Über die Erhärtung der Baukalke. Dissertation. Braunschweig.

Dührkop, H, Saretok, V, Sneck, T & Svendsen, S D, 1966, Bruk - murning - putsning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

Eklind, Å, 1973, Hur skyddad blir en silikonbehandlad fasad? Sten nr 4-1973.

Eklind, Å, 1978, Saltutslag på nyuppförda tegelmurverk. (Statens råd för byggnadsforskning.) R23:1978. Stockholm.

Eklind, Å, 1979, Sönderfrysning av tegel - en afvikande syn på ämnet. Lerindustrien 4-79.

ER-nämnden, 1968, Provningsmetoder för ytskiktsmaterial för putsat och oputsat murverk, likvärdiga underlag samt betong. Rapport nr 3:68. Stockholm.

Fagerlund, G, 1972, Kritiska vattenmättnadsgrader i samband med frysning av porösa och spröda material. (Institutionen för byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola.) Rapport 34. Lund.

Fagerlund, G, 1973, Significance of critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle materials. (Institutionen för byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola.) Rapport 40. Lund.

Gauri, K, 1978, The Preservation of Stone. Scientific American, Vol. 238 No. 6, June 1978.

Gjelsvik, T, 1975, Uteklimaets innflytelse på fasadematerialer og konstruksjoner. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Särtryck 234. Oslo.

Granholm, H, 1956, Puts och lättbetong. (Chalmers Tekniska Högskola.) Handling nr 177. Göteborg.

Grunau, E B, 1965, Vergleichende Untersuchung von Imprägniermitteln für Fassaden. Das Baugewerbe, nr 18-1965.

Gustavsson, PJ, 1977, Brottmekaniska studier; lättbetong och fiberarmerad betong. (Avdelningen för byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund.) Rapport TVBM-5001. Lund.

Heiman, JL, 1981, The Treatment of salt-contaminated Masonry with a sacrificial Render. (Experimental Building Station, Department of Housing and Construction.) Technical Record 471. Chatswood.

Henkel, 1965, Grundsätzliche Fragen der Putzforschung. Berichte aus der Bauforschung. Heft 42. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Henkel, 1965, Die Prüfmethoden von Putzen und Putzmörteln. Berichte aus der Bauforschung. Heft 42. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Hillerborg, A, 1977, Materialbrott. (Avdelningen för byggnadsmateriallära, Tekniska Högskolan i Lund.) Rapport TVBM-3004. Lund.

Hindersson, G, 1958, Kalk- och kalkcementbruk. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Rapport 46. Stockholm.

Holmström, I, 1975, Erfarenheter av putsrenoveringar. Väg- och vattenbyggaren 3-1975. Stockholm.

Holmström, I, 1977, Snygga upp fasaden - men vilken sorts färg? Aktuellt måleri, 5-1977.

Holmström, I & Kvist, B, 1979, Bättre fasadrengöring. (Statens råd för byggnadsforskning.) Informationsblad B3:1979. Stockholm.

Hanold, R, 1979, Reinigung, Schutz and Konservierung von Aussenfassaden. (Bauverlag GmbH.) Wiesbaden - Berlin.

HusAMA 72, 1972. (Byggandets Samordning.) Stockholm.

Högberg, E, 1956, Mikroskopisk undersökning av puts och murbruk. (Puts- och Murbrukslaboratoriet.) Malmö.

Högberg, E, 1958a, Cementhaltens betydelse i puts- och murbruk. (Puts- och Murbrukslaboratoriet.) Malmö.

Högberg, E, 1958b, Luftporbildande medel i bruk. (Puts- och Murbrukslaboratoriet.) Malmö.

Högberg, E, 1961, Tunnputsundersökningar. (Puts- och Murbrukslaboratoriet.) Malmö.

Högberg, E, 1967, Mortar bond. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 40/67. Stockholm.

Högberg, E & Hedelin, J, 1964, Slammade tegelfasader. (Puts- och Murbrukslaboratoriet.) Malmö.

Jonasson, J-E, 1977, Datorprogram för icke-linjära beräkningar i betong med hänsyn till svinn, krympning och temperatur. (Cement- och betonginstitutet.) CBI-forskning 7:77. Stockholm.

Kalkfärg på fasad, 1979. (Statens råd för byggnadsforskning.) Informationsblad B4:1979. Stockholm.

Kiessl, K & Gertis, K, 1982, Wärmeeigenspannungen in zweischaligem Mauerwerk mit Schalenfuge auf Grund instationärer Temperatureinwirkung. Bauphysik 3/82.

Klopfer, H, 1976, Anstrickschäden. (Bauverlag GmbH.) Wiesbaden - Berlin.

Klopfer, H, 1980, Bauphysikalische Aspekte der Betonsanierung. Bautenschutz-Bausanierung, nr 4-80.

Kollmann, H, 1981, Untersuchungen über die Funktionsweise von Sanierputzen. Bautenschutz - Bausanierung, nr 2-81.

Kollmann, H & Strübel, G, 1979, Untersuchungen über Ausblühungs- und Treiberscheinungen durch Sulfate. Betonwerk + Fertigteil-Technik, Heft 10/1979.

Kroone, B, 1966, Einfluss von wiederhaltem Durchfeuchten und Trocknen auf die Carbonatisierung und Schwindung von Zementmörteln. Zement - Kalk - Gips nr 1/1966.

Künzel, H, 1965, Die thermische Beanspruchung von Aussenputzen. Berichte aus der Bauforschung. Heft 42. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Künzel, H, 1970, Häftfestigkeit von Kunstharzbeschichtungen auf Gasbeton. Betonstein-Zeitung, Heft 2/1970.

Künzel, H, 1972a, Feuchtigkeitstechnische Eigenschaften und Formänderungen von Kunstharzbeschichtungen an Aussenwändern. Berichte aus der Bauforschung. Heft 79. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Künzel, H, 1972b, Einfluss des Putzgrundes und der Herstellungsbedingungen auf die Saugfähigkeit von Aussenputzen. Berichte aus der Bauforschung. Heft 79. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Künzel, H, 1973, Aussenbeschichtungen aus Kunstharzdispersionen. Defazet, nr 4, 1973.

Künzel, H & Gertis, K, 1969, Thermische Verformung von Aussenwänden. Betonstein-Zeitung Nr 9/1969.

Kölzer, W, 1974, Fasadrengöring och konservering. (Förlags AB I.C.C.) Handen.

Lantz, H, 1967, Hur undvika sprickbildning i ytterväggar av lättbetong? Byggnadsindustrin 14.67. Stockholm.

Lindberg, B, 1971, Betongmålning - karakterisering av betongs och lättbetongs ytskikt. (Nordiska Institutet för Färgforskning.) T12-71 M. Köpenhamn.

Lindberg, B, 1973, Betongmålning - Fuktens betydelse för egenskaperna hos målad betong och lättbetong. (Nordiska Institutet för Färgforskning.) T4-73. Köpenhamn.

Lindberg, B, 1975, Theories - laboratory investigations - practical performance. J. Oil Col. Chem. Assoc. 1975-58.

Lindberg, B, 1978, Målning av mineraliska underlag. (Nordiska Institutet för Färgforskning.) T10-78 M. Köpenhamn.

Malmqvist, S, 1974, Fasadytskikt. (Svenska Riksbyggen - BPA.) Meddelande nr 3/74. Stockholm.

Nycander, S, 1941, Provputsningar i samband med Södersjukhusets uppförande och de resultat, som därvid erhållits i samarbete med Cementföreningen och några av de större murbruksfabrikerna i Stockholm. Teknisk Tidskrift, 22 nov 1941.

Nycander, S, 1952, Hur skall putsnings- och murningstekniken kunna förbättras? Byggmästaren B5, 1952.

Nylund, P-O, 1975, Temperaturrörelser hos fasadskivor. (Statens råd för byggnadsforskning.) R60:1975. Stockholm.

Oakley, E & Marron, J J, 1974, Accelerated testing of durable coatings. J. Oil Col. Chem. Assoc. nr 57, 1974.

Panek, J & Vary, K, 1977, Einfluss von Volumenveränderungen auf den Spannungszustand von Leichtbeton-Bauteilen. Betonwerk + Fertigteil-Technik. Heft 2/1977.

Petersson, P-E, 1981, Crack growth and development of fracture zones in plain concrete and similar materials. (Division of Building Materials, Lund Institute of Technology.) Report TVBM-1006. Lund.

Powers, T C & Helmuth, R A, 1953, Theory of Volume changes in Hardened Portland-Cement-Paste during Freezing. (High Res Board.) Proc V32.

Price, C A, 1975, The decay and preservation of natural building stone. (Building Research Establishment.) Current Paper 89/75. Watford.

Price, C A, 1978, The use of the sodium sulphate crystallisation test for determining the weathering resistance of untreated stone. (International symposium, Deterioration and protection of stone monuments.) Paris.

Rilem Tentative Recommendation, 1980, 13-MR Committee on mortars and renderings. Matériaux et Constructions. Vol. 13 No. 73.

Rising damp in walls: diagnosis and treatment, 1981. (Building Research Establishment.) Digest 245. Watford.

Ritchie, T, 1966, Effect of Restraint on the Shrinkage of Masonry Mortars. Materials Research & Standards, jan 1966.

Roth, M, 1979, Anstriche und Imprägnierungen, Bautenschutz - Bausaniering, nr 3-79.

Samuelsson, P, 1977, Kalkutfällningar på betongytor. (Statens råd för byggnadsforskning.) T4:1977. Stockholm.

Sandell, B & Saretok, V, 1982, Sprutad stålfiberarmerad puts. (Statens råd för byggnadsforskning.) R1:1982. Stockholm.

Sandin, K, 1980a, Traditionell tjockputs säker men forskning behövs. Byggindustrin 37.80. Stockholm.

Sandin, K, 1980b, Putsens inverkan på fasadens fuktbalans. (Avdelningen för Byggnadsmateriallära, Lunds Tekniska Högskola.) Huvudrapport TVBM-1004, Delrapport I-VIII TVBM-1005. Lund.

Sandin, K, 1983, Putsade fasader. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm.

Saretok, V, 1957, Puts och putsning. (Statens nämnd för byggnadsforskning.) Handling nr 29. Stockholm.

Saretok, V, 1975, Behandla inte dålig puts - reparera! Byggnadsindustrin, 8-1975.

Saretok, V, 1976, Underhåll och reparation av putsade och oputsade murverksfasader. (Statens råd för byggnadsforskning.) R1976:14. Stockholm.

Saretok, V, 1982, Ytskikt på betongytor, murytor och liknande. (Svensk Byggtjänst.) Rapport 9. Stockholm.

Sleater, G A, 1973, A review of natural stone preservation. (National Bureau of Standards.) NBSIR 74-444. Washington D.C.

Strömberg, A, 1964, Vittringsskador på byggnadsmaterial. Byggmästaren, 4-1964.

Suenson, E, Mursalte. (Publiceringsuppgifter saknas.)

Svendsen, S D, 1954, Puss i norsk klima. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Anvisning nr 3. Oslo.

Svendsen, S D, 1961, Skader på puss. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Särtryck nr 57. Oslo.

Svendsen, S D, 1966, Bomskader ved puss. (Norges Byggforskningsinstitutt.) Särtryck 136. Oslo.

Toracca, G, 1981, Porous Building Materials. (ICCROM.) Rom.

Varnbo, B, 1970, Puts på tegel. (Svenska Riksbyggen.) Handling 17. Stockholm.

Vos, B H & Tammes, E, 1969, Moisture and Heat Transfer in Porous Materials. (Institute TNO for Building Materials and Building Structures.) Report BI-69-96. Delft.

Waldum, A, 1975, Frostprøvning av overflatebehandlet murverk. Murmestern, 12-1975.

Waterproffing materials for masonry, 1975. (National Bureau of Standards.) COM-75-11400. Washington D.C.

Weber, H, 1980, Fassadenschutz. (Expert-Verlag.) Grafenau.

Weber, H, 1981, Natursteinkonservierung - Das Kieselsäureesterverfahren. Bautenschutz - Bausanierung, nr 2-81.

Weigler, H, 1965, Putzhaftung. Berichte aus der Bauforschung. Heft 43. (Wilhelm Ernst & Sohn.) Berlin.

Whiteley, P, 1973, Masonry coatings and other polymer-based building materials. Polymers, Paint and Colour Journal, Oct 10, 1973.

Wieden, P, 1970, Probleme der Mauerversalzung - Ursache und Möglichkeiten der Beseitigung. Die Bautechnik 1/1970.

Winkler, E M, 1973, Stone - properties, durability in man's environment. (Springer-Verlag.) Wien - New York.

Zorll, U, 1973, Charakterisierung von Bautenschutz-Beschichtungen durch ihre technologischen und physikalischen Eigenschaften und deren Änderung. Defazet, Nr 4-1973.

Zorll, U, 1974, Probleme und Messung der Haftung. Tonindustrie-Zeitung 93 (1974), Nr 1.

Zorll, U, 1975 Mechanismus und Prüfung der Haftung von Beschichtungen. Tonindustrie-Zeitung, 99 (1975), Nr 8.