

SBI-publ.

# Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner



SBI-ANVISNING 104 STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1976



# Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

00697P  
STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

224  
19. FEB. 1981



SBI-ANVISNING 104 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1976

Denne SBI-anvisning er resultatet af et samarbejde mellem Korrosionscentralen og Statens Byggeforskningsinstitut. Manuskriptet er udarbejdet af akademiingeniør Merete Pagh, civilingeniør Jørgen Møller, afdelingsingeniør Erik Nielsen og civilingeniør Finn Yding – alle medarbejdere ved Korrosionscentralen. Den redaktionelle bearbejdning er foretaget af SBI. Sammen med SBI-anvisning 95: *Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets VVS-installationer* skulle der hermed foreligge en let forståelig beskrivelse af boligbyggeriets væsentligste korrosionsproblemer og en praktisk anvendelig vejledning i, hvordan korrosion undgås.

ISBN 87-563-0222-3. I kommission hos Teknisk Forlag.  
 Oplag: 4.000. Tryk: Dyva Bogtryk, København.  
 Statens Byggeforskningsinstitut:  
 Postboks 119, 2970 Hørsholm. Telefon 02-86 55 33.  
 Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:  
*SBI-anvisning 104: Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets konstruktioner. 1976.*

## Indhold

<b>Korrosionsprocesser</b> .....	side 7
<b>Korrosionsformer</b> .....	10
Fladetæring, 10	
Grubetæring/pitting, 10	
Tildækningskorrosion og spaltekorrosion, 10	
Galvanisk korrosion, 10	
Selektiv korrosion, 11	
Spændingskorrosion, 11	
Korrosionsudmattelse, 11	
Interkrystallinsk korrosion, 11	
<b>Korrosionsmiljøer</b> .....	12
Udendørsatmosfære, 12	
Tør indendørsatmosfære, 13	
Våd indendørsatmosfære, 13	
Byggematerialers lokalmiljø, 14	
<b>Stål, ulegeret og lavtlegeret</b> .....	15
<b>Støbejern</b> .....	17
<b>Stål, rustfrit</b> .....	18
<b>Aluminium og -legeringer</b> .....	21
<b>Kobber og -legeringer</b> .....	26
<b>Metalliske overfladebelægninger</b> .....	29
Forzinkning, 29	
Cadmiering, 33	
Forchromning, 33	
<b>Galvanisk korrosion</b> .....	34
<b>Metaller i kontakt med beton</b> .....	39
Stål i kontakt med beton, 39	
Regler ved indstøbning af stål i beton, 40	
Lavtlegeret stål og støbejern, 42	
Varmforzinket stål, 42	
Rustfrit stål, kobber og kobberlegeringer, 42	
Aluminium, 42	
<b>Metaller i kontakt med træ</b> .....	44
Korrosionsrisiko i imprægneret træ, 44	
Søm, skruer og bolte i træ, 45	
Korrosionsrisiko i brandimprægneret i træ, 48	
Metaller, som ligger an mod træ, 49	

<b>Behandling af overflader</b> . . . . .	side 50
Maling, 50	
Rensning, 51	
Salte og fedt, 51	
Rust og glødeskal, 52	
Slibning, 52	
Rensning af varmforzinkning, 52	
Maling på stål, 53	
Maling på zink, 54	
Svejsesamlinger i forzinkede stålkonstruktioner, 55	
Tætliggende konstruktionsdele, 56	
Tilsyn og kontrol, 57	
<b>Fundamenter</b> . . . . .	59
Armeringsjern, 59	
Rør, 59	
Fundamentdele af stål, 60	
<b>Stålkonstruktioner</b> . . . . .	61
Varmforzinkning, 61	
Sprøjteforzinkning, 61	
Sprøjtealuminisering, 61	
Maling, 62	
Varmforzinkning plus maling, 62	
Sprøjteforzinkning og sprøjtealuminisering, 62	
Specifikation og kontrol, 62	
Konstruktionsmæssige forhold, 62	
Lukkede hulrum, 64	
<b>Facader</b> . . . . .	65
Armeret beton, 65	
Murværk, 65	
Bindere og beslag, 65	
Facadebeklædning af korrosionstræge stål, 66	
Facadebeklædning af aluminium, 68	
<b>Metaltage</b> . . . . .	70
Kobbertage, 70	
Aluminiumtage, 70	
Tage af rustfrit stål, 71	
Tage af zink og forzinket plade, 71	
Inddækninger, 72	
Tagrender, 72	
<b>Stålskorstene</b> . . . . .	74
Røggaskorrosion i skorstenskerne, 74	
Materialer til skorstene, 75	
Skorstenstoppe, 78	
Stigetrin og sikkerhedsudstyr, 78	

## Korrosionsprocesser

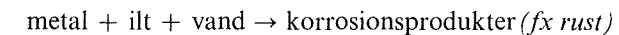
En naturlig proces

Vore brugsmetaller findes i naturen næsten udelukkende som malme og kan kun udvindes heraf ved et betydeligt energiforbrug. Ved korrosion vender metallerne tilbage til den mindre energirige malmform, og dét at et metal korroderer er derfor faktisk lige så naturligt som at vand løber nedad.

Oxidation

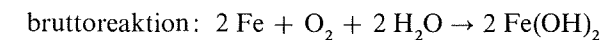
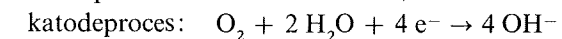
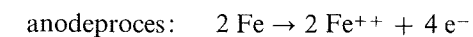
I byggeriet vil korrosion næsten altid være ensbetydende med oxidation, dvs en reaktion mellem metallet og luftens ilt (undtagelser er syre- og basekorrosion, forårsaget af fx svovlsyre fra olieforbrænding eller calciumhydroxid fra cement). For »iltkorrosionen« er det helt afgørende at den kun kan forløbe hvis der er vand til stede, og korrosionsprocessen kan rent skematisk skrives således:

Vand



To processer

I virkeligheden sker korrosion ved to delprocesser, nemlig en metalopløsning på ét areal (anoden) og et iltforbrug på et andet areal (katoden). Når fx jern ruster, kan delprocesserne skrives som vist, idet Fe = jern, O<sub>2</sub> = ilt, e<sup>-</sup> = elektron, H<sub>2</sub>O = vand:



Anode- og katodearealer

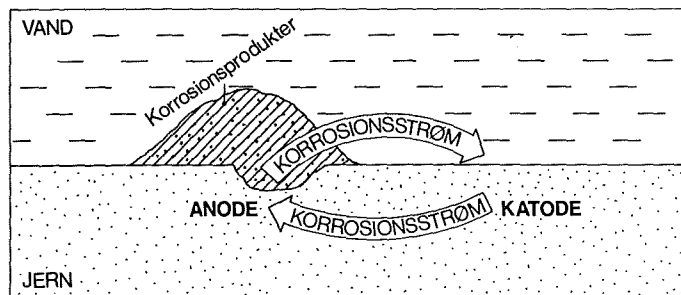
altså det samme som den ovenfor anførte ligning udtrykker.

Opdelingen i anode- og katodearealer kan skyldes små variationer i metallets sammensætning, struktur og overfladetilstand, eller i påvirkningen fra omgivelserne.

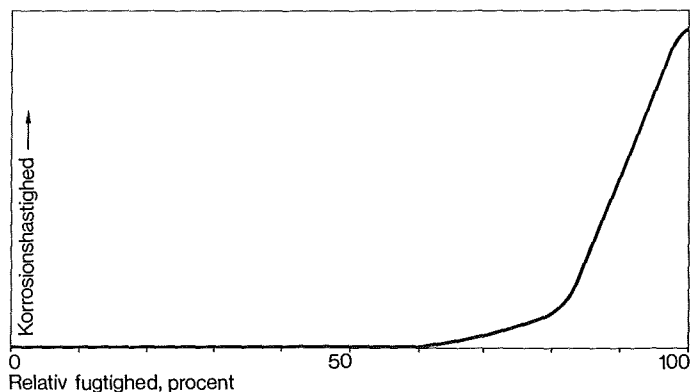
Anode- og katodereaktionen foregår på adskilte, men nærliggende arealer af metaloverfladen, som vist på figur 1. En jævnt fordelt korrosion opstår ved at anode- og katodearealer stadig skifter plads, som det fx er tilfældet for jern, kobber og zink i atmosfæren; på aluminium er anode- og katodearealer derimod stabile, og man får angreb i form af grubetæringer.

Som det vil forstås indebærer korrosionsprocesserne, at der i metallet til stadighed transporteres elektroner fra anode til katode, og korrosionsprocessen ledsages derfor af et lille elektrisk kredsløb (figur 1, 16 og 26).

I atmosfæren kan der kun kondensere vand på metaloverflader, hvis den relative fugtighed (RF) er over ca 60 pct, og korrosionen tager først fart ved fugtigheder over 80 pct.



Figur 1. Næsten al korrosion i byggeriet skyldes iltning, og den kan kun komme i gang, når der er vand (fugtighed) til stede. Det der sker er, at metallet på ét sted (ved »anodearealet«) opløses, mens der et andet sted (ved »katodearealet«) er tale om et iltforbrug. De to processer resulterer i korrosionsstrømme og korrosionsprodukter, fx rust.



Figur 2. Jo højere den relative fugtighed er, desto hurtigere forløber korrosionen. Den viste kurve gælder for stål, men for de fleste andre metaller i byggeriet gælder næsten identiske kurver. Dette betyder, at korrosion først indtræder, når den relative fugtighed overstiger de 60 pct. Rigtig gang i korrosionen kommer der først ved relative fugtigheder over 80 pct.

Fugtighed ved metaloverfladen

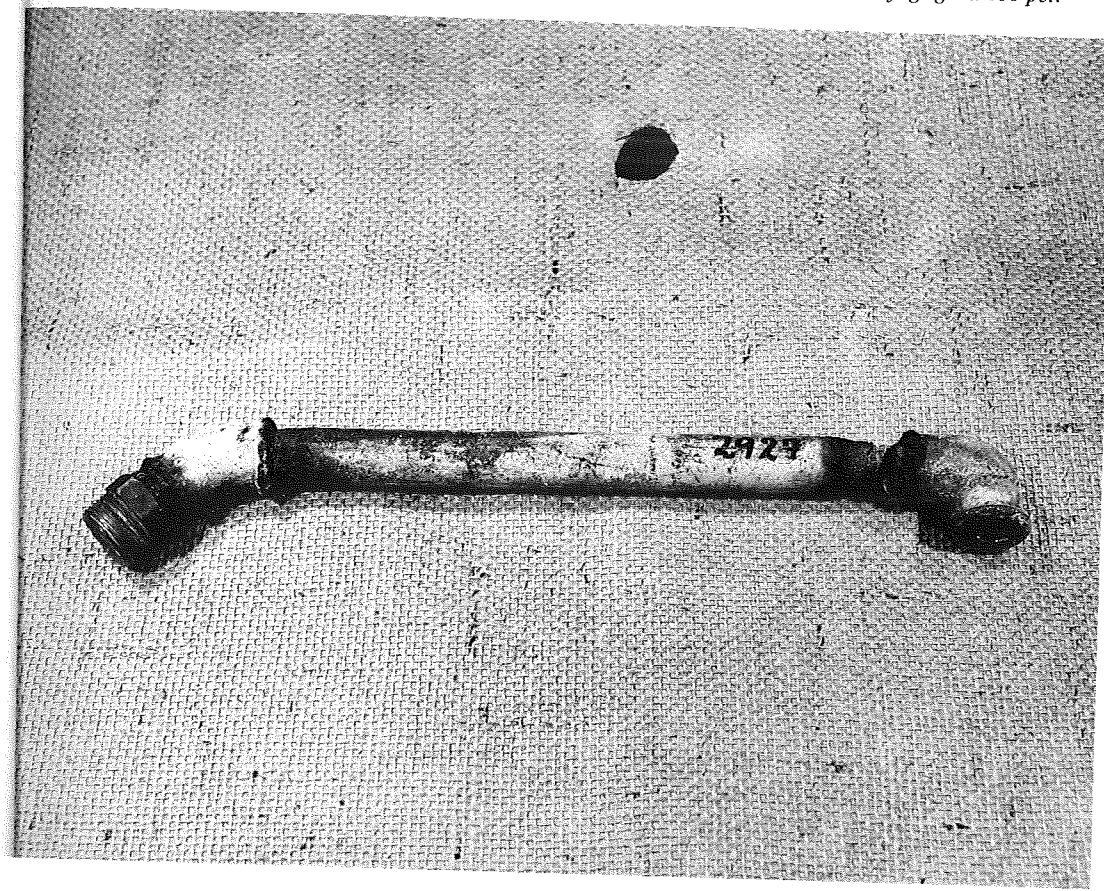
Vand og fugt

Dette illustreres af figur 2. Hvis en metaloverflade er forurenet med vandsugende salte bliver den kritiske luftfugtighed lavere, så meget mere som sådanne salte ofte også på anden måde er korrosionsfremmende. Erfaringsmæssigt vil det dog i byggeriet næsten altid være korrekt at anse 60 pct for den laveste relative fugtighed, hvorved korrosion kan ske.

Det må fremhæves, at der er tale om den relative fugtighed ved metaloverfladen, og at denne ved fx kuldebroer kan afvige stærkt fra rumfugtigheden. Eksempelvis vil den relative fugtighed ved en 10 °C varm metaloverflade i et rum med relativ fugtighed 50 pct og temperatur 20 °C være omkring 95 pct.

I vand og i våde byggematerialer vil der selvsagt være bedre mulighed for korrosion end i atmosfæren, og her kan anode- og katodearealer godt ligge langt fra hinanden.

Figur 3. Koldtandsrør fra et varmt, fugtigt lokale. Røret er på 4 år gennemtæret udefra. Ved røroverfladen var den relative fugtighed 100 pct.



# Korrosionsformer

I det følgende beskrives nogle korrosionsformer og der anføres eksempler på deres forekomster i byggeriet.

## Fladetæring

Jævn  
overfladekorrosion

Metallet korroderer jævnt (eller næsten jævnt) over hele overfladen. Eksempler er zink og kobber i atmosfæren. Anløbning og patinering er fladetæring, hvor angrebet ikke påvirker konstruktionsdelenes styrke.

## Grubetæring/pitting

Pletvis hurtig  
korrosion

Størstedelen af overfladen korroderer langsomt eller slet ikke, mens enkelte arealer tæres hurtigt. Kendes fra fx aluminium i atmosfæren og varmforzinkede rør der fører hårdt brugsvand.

## Tildækningskorrosion og spaltekorrosion

Fare ved tildækning  
plus vand

er grubetæring forårsaget af tildækning. Det gælder helt generelt, at et tildækket område på en metaloverflade er særlig udsat for korrosionsangreb, når der er vand til stede. Årsagen er dannelse af et såkaldt iltkoncentrationselement. Under tildækningen bliver vandets iltindhold lavere end udenfor, og dette forårsager en spændingsforskel, der driver en korrosionsstrøm som tidligere vist på figur 1.

## Galvanisk korrosion

To metaller i  
elektrolyt

kan opstå, når to metaller af forskellig ædelhed er i elektrisk kontakt med hinanden under tilstedeværelse af en elektrolyt; det mindst ædle korroderer, og det mest ædle beskyttes herved mod korrosion. Man siger, at det ædleste af metallerne er katodisk beskyttet. Det uædle metals korrosionshastighed forøges, jo større forholdet mellem det ædle og det uædle metals arealer er. Galvanisk korrosion kan forløbe hurtigt i vand og i våde byggematerialer, men i atmosfæren er galvanisk korrosion kun sjældent et problem. Se herom side 34.

Delvis korrosion

## Selektiv korrosion

I visse legeringer kan den ene legeringsbestanddel korrodere bort, mens det øvrige metal ikke angribes. Genstanden beholder ofte sin ydre form, men mister styrken. Eksempler: Afzinkning af messing, grafitering af støbejern.

Mekaniske  
spændinger

## Spændingskorrosion

yttrer sig ved revnedannelse og sker kun, når metallet er udsat for ydre eller indre mekaniske spændinger. Den bortkorroderede metalmenge er yderst ringe, men revnedannelsen kan forløbe hurtigt. Spændingskorrosion sker kun i særlige legeringer i bestemte omgivelser, se fx under rustfrit stål, side 20 og messing, side 26.

Revnedannelse

## Korrosionsudmattelse

er en revnedannelse, der opstår som følge af udmattelses- og korrosionspåvirkning. Brud af denne art kan også opstå uden medvirken af korrosion, og man taler da om rent udmattelsesbrud eller træthedsbrud.

Angreb langs  
korngrænser

## Interkrystallinsk korrosion

Korrosionen forløber langs legeringens korngrænser, men angriber næsten ikke de enkelte korn. Kendes fra visse legeringer, fx kobberholdig aluminium, men er ikke videre aktuel i byggeriet.

# Korrosionsmiljøer

Atmosfærekontakt

Metal som indgår i boligbyggeriets konstruktioner kan være i kontakt med atmosfære, byggematerialer eller et andet metal. Vand skal ikke omtales her, idet VVS-installationernes korrosionsproblemer er behandlet i SBI-anvisning 95. Om røggas, se kapitlet om stålskorstene side 74.

SBI-anvisning 95

Der kan skelnes mellem udendørs- og indendørsatmosfære, og sidstnævnte kan være tør eller fugtig.

Atmosfæretyper

## Udendørsatmosfære

er her i Danmark karakteriseret ved en ret høj fugtighed, i gennemsnit 72-80 pct RF om sommeren og 85-92 pct RF om vinteren. Disse tal er nogenlunde ens for hele landet. Derimod er der en del variationer i luftens indhold af korrosionsfremmende stoffer, hvor svovldioxid (SO<sub>2</sub>) fra forbrænding og natriumchlorid fra havluft er de afgørende faktorer.

I omtalen af metallerne vil der blive skelnet mellem *by- og industriatmosfære* (svovldioxidforurennet), *marin atmosfære* (chloridholdig) og *landatmosfære* (næsten forureningsfri). Forekomsten af disse atmosfæretyper er omtrent som beskrevet i det følgende.

*By- og industriatmosfære.* I og ved alle større byer, indtil ca 10 km fra byens ydergrænse. Desuden lokalt ved større virksomheder.

*Marin atmosfære.* Umiddelbart ved kyster, især vestvendte, og her kun 3-4 km ind i landet. Ved østvendte kyster er luftens chloridindhold næppe mærkbart mere end 1 km ind i landet, og vil næsten altid være af ringe betydning i forhold til svovldioxidforureningen.

*Landatmosfære.* Resten.

Metallernes korrosionsforhold i disse udendørsatmosfæretyper er velkendte, og omtalen af de enkelte metaller vil først og fremmest omhandle korrosion netop i udendørsatmosfære. Generelt set er by- og industriatmosfæren den mest korrosive type, men umiddelbart ved kyst kan chloridforureningen være den dominerende faktor, og er der ligefrem saltsprøjt kan der forekomme meget høje korrosionshastigheder.

By- og industriatmosfære mest korrosiv

Ingen korrosion

## Tør indendørsatmosfære

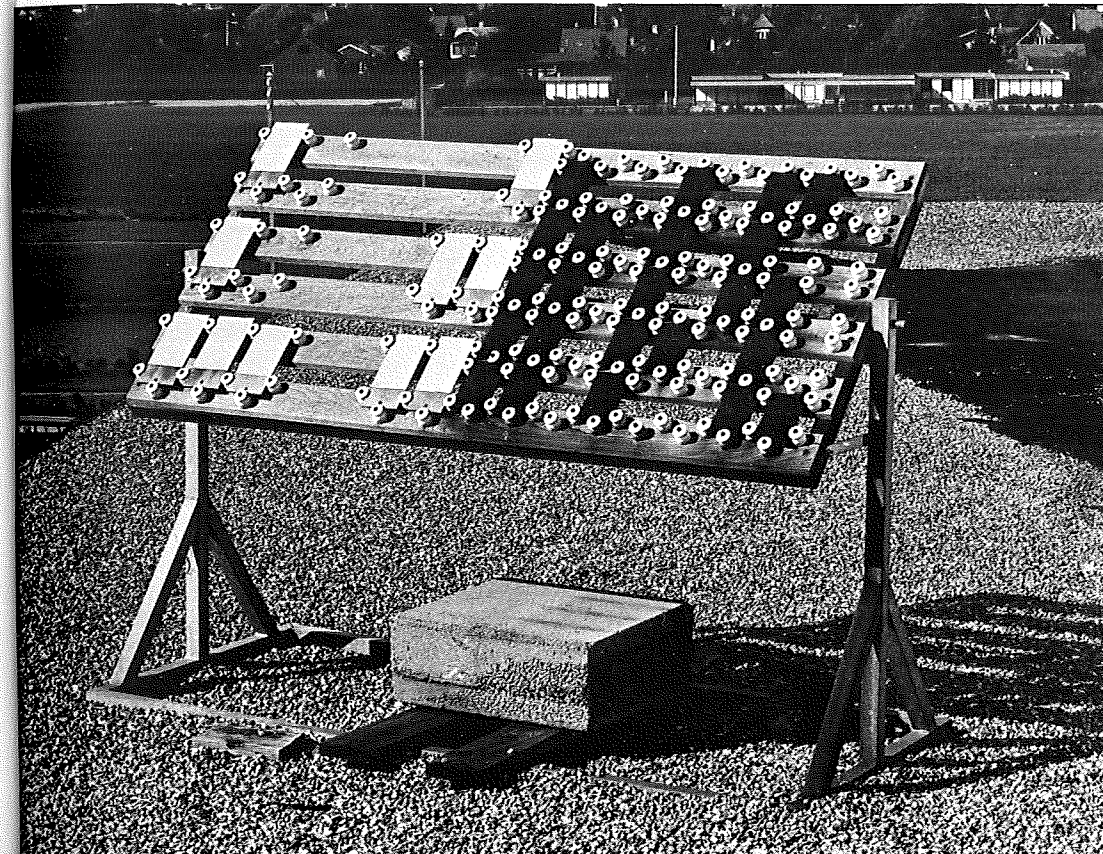
I denne atmosfæretype sker der ingen korrosion, og forchromning, maling og andre overfladebehandlinger foretages kun af æstetiske hensyn. Grænsen mellem »tør« og »fugtig« kan med rimelighed sættes ved ca 70 pct relativ fugtighed, se figur 2.

Undertiden korrosionsfare

## Våd indendørsatmosfære

kan forekomme i baderum etc samt i dårligt ventilerede hulrum, fx i etageadskillelser og sandwichkonstruktioner. Om klimaet i sådanne hulrum i bygninger ved man desværre alt for lidt; det normale er nok at klimaet i disse hulrum ikke er videre korrosivt, men der er set eksempler på at den relative fugtighed kan være 100 pct, hvorved hulrumatmosfæren bliver mere aggresiv end udendørsatmosfæren. For hulrum i

Figur 4. De fleste oplysninger om korrosionshastigheder stammer fra forsøgsopstillinger som vist på fotografiet.



## Forholdsregler

bygningskonstruktioner bør man derfor sikre sig *enten* at den relative fugtighed intet steds er for høj (NB: kuldebroer!) *eller* at de anvendte metaller (og andre bygningsmaterialer) tåler kondensvand.

### Byggematerialers lokalmiljø

#### Beton

I *beton* er korrosionsforholdene veldefinerede, og disse er omtalt på side 39.

#### Træ

For *træ* er det lidt vanskeligere at give præcise oplysninger på grund af varierende fugtindhold, imprægnering mv.

Metaller i kontakt med træ er beskrevet på side 44.

#### Murværk

I *fugtigt murværk* vil stål ofte korrodere med hastigheder på 0,04-0,05 mm/år. Stålbjælker i murværk skal derfor ifølge DS 414 korrosionsbeskyttes, se herom side 65.

#### Tørre materialer

Om *andre byggematerialer* kan det helt generelt siges, at de normalt anvendes i tør tilstand og under tørre forhold, og derfor ikke bevirker korrosion.

#### Våde materialer

I våde byggematerialer kan der derimod ske korrosion, fx vil stålrør i vådt sand eller våd mineraluld korrodere. Dette skyldes ikke aggressivitet hos byggematerialet, men er blot en følge af vandets tilstedeværelse.

Der synes ikke at være grund til at fremhæve nogen af de gængse byggematerialer udover beton og træ som mere eller mindre korrosionsfremmende end andre, da ingen af dem er specielt vandsugende eller indeholder særlige, aggressive stoffer. Det skal dog nævnes at polyester (og flere malings typer) under hærkning afgiver myresyre, som i lukkede fugtige rum kan forvolde betydelige skader på alle metaller. Der er fx set angreb på armatur i oplagrede badekabiner af polyester. Normalt vil man dog have god ventilation under arbejde med polyester, og i så fald vil syredampene ikke kunne gøre skade.

#### Polyester

#### Metal/metal

*Kontakt mellem forskellige metaller* er omtalt side 37 i afsnittet om galvanisk korrosion.

## Stål, ulegeret og lavtlegeret

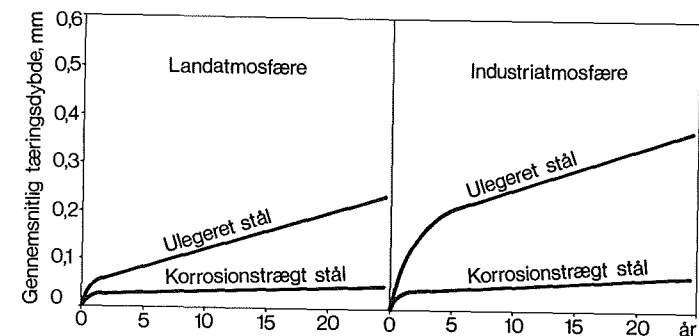
### Svovldioxid

Almindeligt ulegeret stål vil altid ruste i atmosfæren medmindre den relative fugtighed er under 60 pct. Svovldioxid, der især forekommer i by- og industriatmosfære, er den væsentligste korrosionsfremmende faktor, eksempelvis er 0,1-0,2 ppm SO<sub>2</sub> normalt i bymæssige omgivelser, medens 1 ppm SO<sub>2</sub> regnes for en meget stærk forurening; ppm står for »parts per million«, altså milliontedele, her regnet efter rumfang; 1 ppm svovldioxid svarer til ca 3 mg pr m<sup>3</sup> luft. Men selv på steder, hvor svovldioxid ikke forekommer, anvender man sjældent ulegeret stål uden en eller anden form for korrosionsbeskyttelse.

### Korrosionshastighed

Korrosion sker med nogenlunde lige stor hastighed på hele den eksponerede overflade. Figur 5 illustrerer hvorledes korrosionshastigheden er størst i de første år, og derefter falder til en nogenlunde konstant værdi. Angivelser i litteraturen af ståls korrosionshastighed beror ofte på ret kortvarige forsøg og kan derfor være misvisende i relation til længere tids eksponering; fx er korrosionshastigheden på den viste kurve for ulegeret stål i industriatmosfære omkring 60 µm/år regnet over de 3 første år, men kun 16-17 µm/år regnet over 20 år.

### Forsøg/virkelighed



Figur 5. Korrosionshastigheden er størst i de første år. Derefter nærmer den sig næsten konstant værdi (de retliniede dele af de viste kurver). Kurverne gælder for ulegeret og korrosionstrægt (lavt legeret) stål i land- og industriatmosfære.



Marin atmosfære

I marin atmosfære fås korrosionshastigheder omtrent som i industriatmosfære, dog oftest lidt lavere fordi chloridtilførslen er beskeden. Hvis der forekommer direkte saltsprøjt eller på anden måde høj chloridtilførsel, vil korrosionshastigheden derimod være højere end i selv svært forurenede industriatmosfærer.

Saltvand

Kobber etc

Små mængder af kobber og visse andre legeringsstoffer har vist sig at forøge korrosionsbestandigheden betydeligt, såvel i landatmosfære som i moderat industriatmosfære.

Korrosionstræge stål

Visse legerede stål betegnes korrosionstræge stål (fx Cor-Ten og CCP stål) og har i mange år været benyttet til bl.a. stålpladeskorstene og centralvarmekedler; bestandigheden over for røggasser har dog været noget overvurderet. I de senere år er korrosionstræge stål også blevet benyttet som facadebeklædninger etc, ikke mindst på grund af den dekorative virkning, idet de i atmosfæren opnår en rødbrun ensartet overflade.

Facader

Beskyttende rustlag

De forbedrede korrosionsegenskaber beror på, at der dannes et fasthæftende, sulfatholdigt rustlag der forsinket en videregående korrosion ganske betydeligt, se figur 5.

Det tætte rustlag dannes kun hvor svovldioxid er den dominerende forurening, og de korrosionstræge stål har følgelig ikke en tilfredsstillende bestandighed i marin atmosfære, omend deres levetid er lidt længere end ulegeret ståls levetid i tilsvarende atmosfære.

Spalter og lignende

Ved konstruktioner, hvor der anvendes korrosionstræge stål, må man undgå spalter og lignende, da korrosionshastigheden her vil være den samme som for ulegeret stål. Ligeledes må man ved konstruktioner, hvor der kan forekomme vandansamlinger, foretage en passende dræning.

Regnvand

Når regnvand har været i kontakt med ulegeret eller lavtlegeret stål vil det kunne afsætte rust på underliggende konstruktioner. Ved anvendelse af korrosionstræge stål må man derfor altid sørge for passende afløb for regnvand.

## Støbejern

Jævn korrosion

I alle atmosfæretyper korroderer støbejern med omtrent samme hastighed som ulegeret stål. Der er imidlertid den forskel, at grafitindholdet i støbejernet forårsager en fuldstændig jævn korrosion, og at grafit plus korrosionsprodukter udgør et sort, delvis beskyttende lag, der får overfladen til at se ud som om den var næsten intakt. Til mange ting kan støbejern derfor anvendes uden korrosionsbeskyttelse, figur 6.

Kobber

Ved tillegering af 1 pct kobber fås en nedsættelse af korrosionshastigheden i by- og industriatmosfære til omkring det halve, og samme effekt kan opnås ved anvendelse af støbejern hvor grafitten i jernet findes som kugler i stedet for som flager (SG-jern). I andre atmosfæretyper er korrosionshastighederne for disse forskellige typer støbejern derimod omtrent ens.

Kuglegrafit

*Figur 6. Til mange ting kan støbejern anvendes uden korrosionsbeskyttelse, selv om det korroderer lige så hurtigt som stål.*



# Stål, rustfrit

Høj bestandighed

Rustfrit stål er betegnelsen for en hel gruppe legeringer, der har en særlig god korrosionsbestandighed i såvel landatmosfære som i by- og industriatmosfære.

Oversigt

Tabel 1 er en oversigt over de almindeligst anvendte typer rustfrit stål. I byggeriet er næsten alt rustfrit stål af kvalitet svarende til AISI 304 eller AISI 316, som ofte omtales som hhv »18/8« og »syrefast, rustfrit stål«. Begge typer har austenitisk struktur og er derfor umagnetiske, i modsætning til de øvrige i tabellen nævnte strukturer.

18/8  
Syrefast, rustfrit stål

Tabel 1. Struktur, bestanddele og betegnelser iflg udenlandske standarder for nogle rustfri ståltyper.

Type	Struktur	Bestanddele pct				AISI	BS970EN	DIN	SIS 14-		
		C	Cr	Ni	Mo i øvrigt						
Chromstål	Martensitisk	0,10	13	-	-	410	56A	10Cr13	2302		
		0,13	13	-	-	420	56C	20Cr13	2303		
		0,10	13	-	1,0	-	-	15CrMo13	-		
	Ferritisk	0,08	13	-	-	0,2 Al	405	(56A)	7CrAl 13	(2301)	
		0,12	17	-	-	-	430	60	8Cr17	2320	
		0,20	25	-	-	-	446	-	G70Cr29	2322	
		max	0,03	18	-	-	-	-	-	-	
		0,03									Ti 0,6 N max 0,03
		max	0,03	18	-	2	-	-	-	-	-
		0,03									
Chromnikkelstål	Austenitisk	0,06	18	9	-	-	304	58E	5CrNi18 9	2333	
		0,03	18	9	-	-	304L	-	2CrNi18 9	2352	
		0,08	18	9	-	Ti = 5 × C	321	58C	10CrNiTi 189	2337	
		0,08	18	11	2,5	-	316	58J	5CrNiMo1812	2343	
		0,03	18	11	2,5	-	316L	-	2CrNiMo1812	2353	
		0,08	19	14	3,5	-	317	-	2CrNiMo1816	-	
		0,25	25	20	-	1,2 Si	310	-	G40CrNiSi2520	2361	
		0,20	25	5	1,5	-	329	-	8CrNiMo275	2324	
		Austenitisk-ferritisk									

Passivering

Den gode bestandighed beror på evnen til at passivere, dvs til at danne en tynd beskyttende oxidhinde, når stålet befinder sig i oxiderende omgivelser. Omvendt vil oxidhinden ikke dannes under reducerende forhold og stålet vil følgelig få en ringere korrosionsbestandighed.

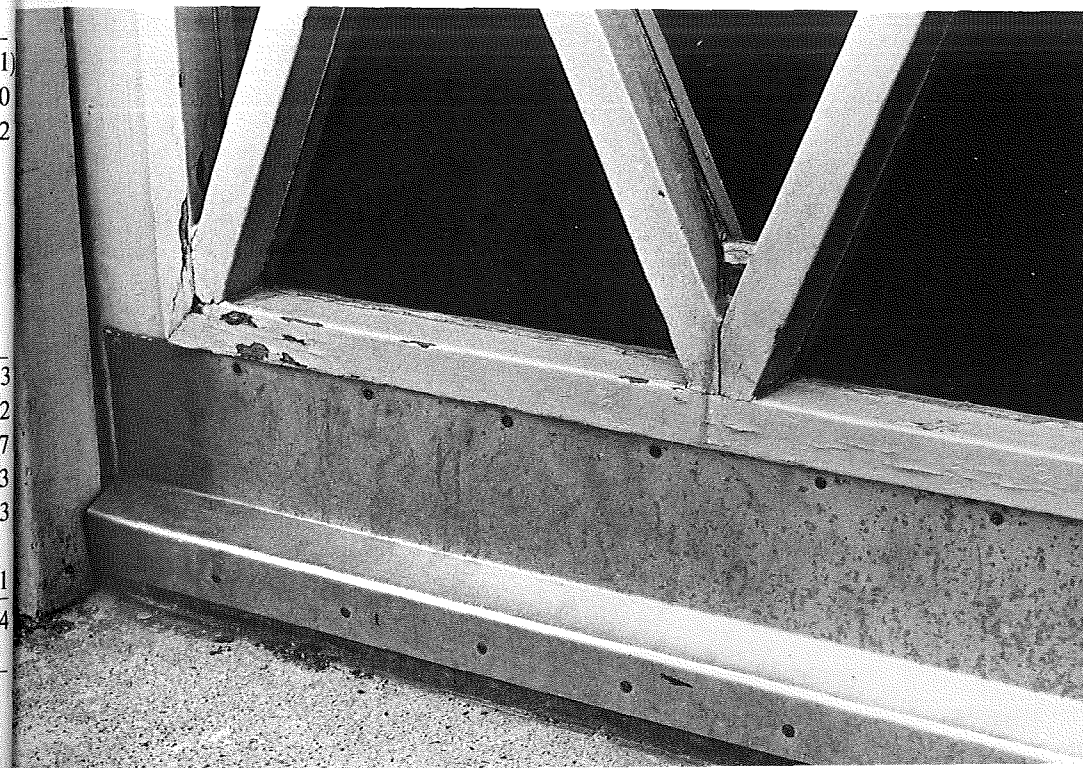
Marin atmosfære

Chlorider nedbryder passivhinden, og i marine omgivelser får man derfor nedsat korrosionsbestandighed. I udpræget marine atmosfærer er rustfrit stål derfor mindre egnet, omend der – på frit eksponerede flader – kun kan blive tale om overfladiske rustdannelser, som udelukkende er et æstetisk anliggende. Rustfrit stål med molybdæn (fx AISI 316) er mere bestandigt mod chlorider og bør derfor foretrækkes i marin atmosfære.

Vand og snavs

I konstruktioner af rustfrit stål skal man ubetinget undgå dannelse af steder hvor der kan samle sig vand og snavs, fx

Figur 7. Den passivhinde, som rustfrit stål danner på overfladen, kan fx i marine atmosfærer godt nedbrydes, men der er da kun tale om angreb af overfladisk art – et spørgsmål om æstetik.



## Spændingskorrosion

spalter og arealer uden afløb for regnvandet. Sådanne steder kan ilttilførslen blive for ringe til opretholdelse af stålets passivitet, og der kan så på kort tid opstå dybe grubetæring.

Austenitiske rustfrie stål kan ved temperaturer over 60° spændingskorrodere, når stålet er udsat for høje chlorid-koncentrationer og samtidig er påvirket af trækspændinger. Denne korrosionsform kan undgås, hvis stålet enten er fri for trækspændinger eller bliver katodisk beskyttet, og det er i øvrigt kun aktuelt i forbindelse med vandinstallationer.

## Poleret overflade

Den maximale holdbarhed af rustfrit stål opnås, når overfladen er poleret. Små jernpartikler i overfladen, fx hidrørende fra stålborstning, kan give anledning til rustpletter, men man har konstateret at der i atmosfæren ikke sker angreb på selve det rustfri stål under sådanne rustpletter. Under vand kan jernafsmitning derimod føre til hurtig lokal tæring.

# Aluminium og -legeringer

## God bestandighed

Aluminium og dets legeringer – med undtagelse af de kobberholdige – er meget bestandige i atmosfæren, og da de tillige har en lav vægtfylde, er de velegnede konstruktionsmaterialer i byggeriet.

## Fugtig indendørs atmosfære

Korrosionsegenskaberne er ligeledes gode i fugtig indendørsatmosfære, og dannelse af kondens på en aluminiumoverflade er ud fra et korrosionsmæssigt synspunkt ufarligt.

## Styrke

Ulegeret aluminium har dog begrænsede anvendelsesmuligheder på grund af ret ringe styrkeegenskaber, men ved passende legeringer kan styrken øges, og dette har resulteret i at der i dag findes et utal af aluminiumlegeringer med forskellige brugsegenskaber. Når man derfor i daglig tale benytter ordet

Tabel 2. Bestanddele og betegnelser iflg forslag til Dansk Standard og iflg udenlandske standarder gældende for nogle aluminiumlegeringer.

DS	Bestanddele, pct						Andre standarder*					Bemærkninger
	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	I øvrigt	USA Ny	USA Gammel	England BS	Tyskland 1725	Sverige SIS 14-	
<i>Valselegeringer</i>												
DS 3012												
1050	-	-	-	-	-	99,5 Al	EC	IS el EC	IB	Al 99,5	4007/8	
1200	-	-	-	-	-	99,0 Al	1100	2 S	IC	Al 99	4010	
2011	-	6	-	-	-	0,4 Bi, 0,5 Pb	2024	24 S	-	-	4334	»Duralumin«
3003	-	-	1,2	-	-	-	3003	3 S	N 3	AlMn	4054	
-	5,0	-	-	-	-	0,20 Ti	4043	43 S	-	-	4224	Til Grinatalfarve
5083	-	-	0,7	4	-	0,2 Cr	5154	A 54 S	(N 5)	(AlMg 5)	4146	
-	0,6	0,25	-	1,0	-	0,25 Cr	6061	61 S	-	-	4104	Mg og Si i molært forhold
(6351)	1,3	0,90	0,90	1,1	-	-	6066	66 S	-	-	-	
-	-	-	-	-	1,0	-	7072	72 S	-	-	-	Til Alclad
7005	-	-	0,4	1	5	-	7075	75 S	-	-	4440	
<i>Støbelegeringer</i>												
DS 3002												
4162	-	-	-	5	-	-	AA (514)	ASTM (G 4 A)	-	G-AlMg 5	(4130/	
4163	1	-	-	5	-	-	(B 514)	(GS 42 A)	-	G-AlMg 5 Si	4163	
4260	12	Max 0,6	-	-	-	-	413	S 12 B	LM 20	G-AlSi 12 (Cu)	4260	
4261	12	Max 0,2	-	-	-	-	A 413	S 12 A	LM 6	G-AlSi 12	4261	
4438	-	0,4	-	0,7	5,5	0,4 Cr, 0,2 Ti	(A 712)	ZG 61 B	-	-	4438	40 E (selv-hærdende)

\* Man kan kun regne med, at legeringerne stort set svarer til hinanden, idet normerne ikke er enslydende.

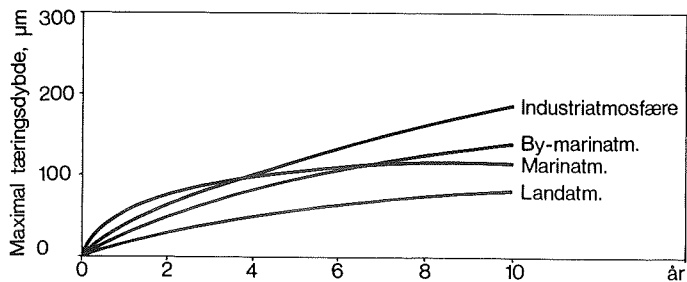
Renhed

aluminium er det oftest underforstået, at der er tale om aluminium tilsat ét eller flere legeringselementer.

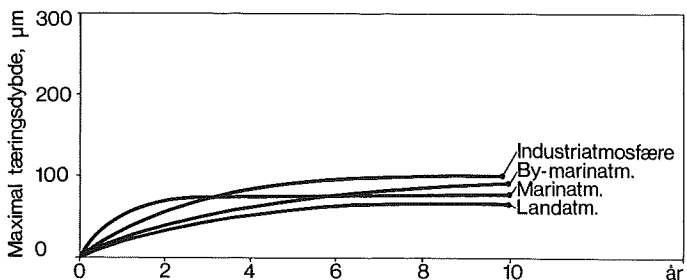
Legeringsbestanddelene påvirker i nogen grad korrosionsforholdene, og normalt kan man gå ud fra, at jo renere aluminiumet er jo større er korrosionsbestandigheden. I atmosfæren vil det dog være sådan, at aluminiumlegeringerne – med undtagelse af de kobberholdige – har nogenlunde de samme korrosionsegenskaber som rent aluminium.

Oxidlag

De gode korrosionsegenskaber skyldes dannelsen af et tyndt oxidlag, hvis lagtykkelse er af størrelsesordenen 0,01 µm. Dette oxidlag er tæt og giver derved god beskyttelse mod korrosion. Figur 8 viser korrosionshastigheden af ren aluminium i forskellige atmosfæretyper. En almindelig anvendt legering indeholdende 1,2 pct mangan har i industriatmosfære lidt bedre korrosionsegenskaber end ren aluminium, se figur 9.



Figur 8. Aluminiums gode korrosionsegenskaber skyldes dannelsen af en passivhinde. Rent aluminium angribes i forskellige atmosfæretyper som vist på figuren. Korrosionshastigheden er angivet som maximal tæringsdybde, idet aluminium korroderer ved jævnt fordelte grube-tæringer.



Figur 9. Hvis aluminium legeres med 1,2 pct mangan fås i industriatmosfære lidt bedre korrosionsegenskaber end for rent aluminium (sammenlign med figur 8).

Nedbrydning af oxidlaget

Nogle stoffer – især chlorider – er dog i stand til at nedbryde oxidlaget, og som det fremgår af figur 8 forøges korrosionshastigheden i marine omgivelser. I forurenede by- og industriatmosfære er svovldioxid (SO<sub>2</sub>), samt sod og snavs årsag til, at ubeskyttet aluminium korroderer og efterhånden bliver ru med et gråt, mat udseende. SO<sub>2</sub> i sig selv er imidlertid ikke videre aggressivt over for aluminium.

Anodisering

Korrosionsegenskaberne kan forbedres ved en anodisering, hvor man kunstigt skaber et oxidlag, der er mange gange tykkere og mere holdbart end det naturlige oxidlag. Det er derfor også langt mere bestandigt over for mekaniske påvirkninger end det naturlige oxidlag. Når anodiseringen er udført, kan emnerne ikke tildannes, uden at anodiseringslaget beskadiges. Anodisering er en elektrokemisk proces, der overvejende udføres med jævnstrøm. Aluminiummetnet sættes ind som anode i en elektrolyt, hvis hovedbestanddel ofte er fortyndet svovlsyre. Efter anodiseringen foretages en poretætning (sealing), som har til formål at lukke det store antal fine porer, der findes i oxidlaget efter anodiseringen.

Sealing

Oxidlagtykkelse

Korrosionsbestandigheden er afhængig af oxidlagtykkelsen, og for at lette valget af oxidtykkelse til givne formål har EWAA (European Wrought Aluminium Association) opstillet de i tabel 3 viste kvalitetsklasser.

Kemisk indfarvning

Til indfarvning af oxidlaget findes forskellige metoder. Ved kemisk indfarvning benytter man sig af, at oxidlaget inden

Tabel 3. European Wrought Aluminium Association (EWAA) anbefaler de i tabellen anførte minimumstykkelser for anodiseringslaget på aluminium.

Min tykkelse af oxidlaget, µm	Anvendelsesområde
25	Industri- og kystatmosfære.
20	Moderat industri- og byatmosfære.
15	Landlig atmosfære eller moderat byatmosfære langt fra kyst.
10	Indendørs eller landatmosfære i tørt klima.
5	Kun indendørs, især til dekorative formål.

Organiske farver	<p>poretætningen er porøst og sugende og velegnet til indfarvning med såvel organiske som uorganiske farvestoffer.</p> <p>Med organiske farvestoffer kan man opnå praktisk talt enhver farve. Normalt er det dog kun sorte, brune og gyldne farver, der er i besiddelse af tilstrækkelig lysægted til at kunne bruges udendørs, og kun et enkelt fabrikat har pt et større udvalg i lysægte farver.</p>
Uorganiske farver	<p>De uorganiske farvestoffer har gode egenskaber mht lys- og vejrbestandighed, men udvalget er begrænset til guld-, sølv og bronzenuancer.</p>
Elektrolytisk indfarvning	<p>Ved en elektrolytisk indfarvning (dybdeindfarvning) opstår farven ved at der aflejres metalsalte i oxidlaget, idet metalsaltene sammensætning og behandlingsbetingelserne afgør de forskellige farver. Man opnår herved en indfarvning, der udmærker sig ved god lysægted.</p>
Integralfarve-anodisering	<p>Integralfarveanodiseringen benytter sig hverken af farvedannende metalsalte eller farvepigmenter. Farven opstår som led i selve anodiseringsprocessen ved en reaktion mellem legeringsbestanddele og specielle elektrolytter i anodiseringsbadet. Farveudvalget spænder fra sølv-, guld- og bronzenuancer til brunt og sort. Ved denne metode får man opbygget et oxidlag, der er hårdere og mere modstandsdygtigt over for mekaniske påvirkninger end de konventionelle farveanodiseringer.</p>
Alkali	<p>Både anodiseret og ubehandlet aluminium angribes af alkali, og specielt på byggepladser må man sørge for, at aluminium beskyttes mod bygningsmaterialer som kalk og cement. Dette kan fx gøres ved at benytte afrikelige klæbefolier (såkaldte stripcoatings).</p>
Færdigmaledede produkter	<p>Som alternativ til de anodiserede produkter er der i de senere år fremkommet en del færdigmaledede produkter, ofte omtalt som ovnlakeret aluminium. Fordelene ved disse er det store udvalg i farver samt mulighed for at tildanne emnerne efter overfladebehandlingen. I lighed med anodisering er der tale om industrialiserede processer. Ved optimale produktionsvilkår og et efter forholdene passende malingsystem og en passende lagtykkelse kan der opnås en overfladebehandling af høj kvalitet og god bestandighed. Produktet anvendes ofte til fx facadebeklædning og tagbeklædning. Nogle almindeligt anvendte malingsstyper er omtalt side 69.</p>
Kobber/aluminium	<p>Risikoen for galvanisk korrosion på aluminium i kontakt med andre metaller er behandlet side 34. Her skal blot frem-</p>

hæves den specielle risiko, som kobber udviser over for aluminium. Når kobber opløses i små mængder, fx af regnvand, og skyller ind over en aluminiumsoverflade, er der risiko for alvorlige grubetæringer. En prima anodisering hindrer angrebet, men i praksis må man regne med at der altid forekommer beskadigelser af anodiseringslaget (samlinger etc) hvorfor aluminium aldrig bør udsættes for kobberholdigt vand.

#### Rengøring

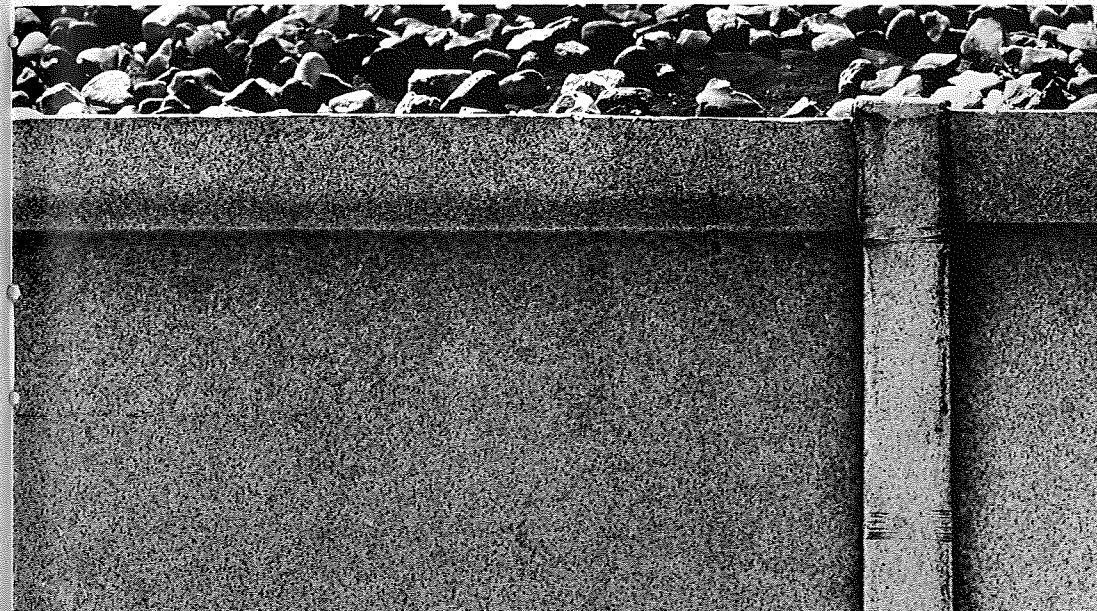
Hvor rengøring er påkrævet bør man sikre sig, at det eventuelt anvendte rengøringsmiddel ikke er aggressivt over for aluminium. Endvidere bør man sikre sig, at anodiserede overflader ikke udsættes for rengøringsmidler indeholdende slibemidler, der kan beskadige anodiseringslaget. I *A-teknologi 2*, udgivet i 1970 af Aluminiumbranchens Oplysningsråd (nu Aluminiumrådet), er rengøring af aluminium i byggeriet behandlet mere detaljeret.

#### Duralumin

Kobberholdige aluminiumlegeringer (»Duralumin«) har høj styrke, men ringe korrosionsegenskaber, og ofte beklædes de derfor med et tyndt lag rent eller lavt legeret aluminium (»Alclad«). Belægningen er uædel i forhold til grundmaterialet og kan derfor beskytte dette på samme måde som zink beskytter stål (se side 29).

#### Alclad

*Figur 10. Således kan en aluminiumtaginddækning se ud efter 8 år i industriatmosfære.*

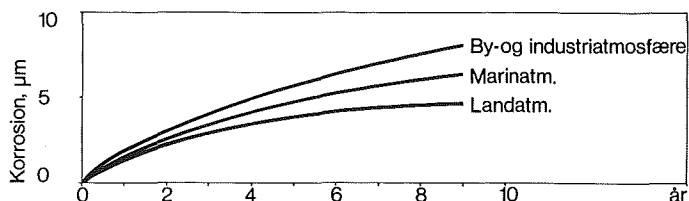


# Kobber og -legeringer

Kobber korroderer i alle atmosfæretyper jævnt og så langsomt, at materialetabet kun undtagelsesvis er et problem. Figur 11 viser korrosionshastigheder for kobber i udendørs atmosfære. Det ses at korrosionshastigheden aftager med tiden, hvilket skyldes at korrosionsprodukterne (ir) yder en vis beskyttelse. Irlaget dannes hurtigst i by- og industriatmosfære, hvor det overvejende består af basiske kobbersulfater, samt i marin atmosfære, hvor basiske chlorider er hovedbestanddelen. Således kan irlaget have nået den ønskede grønne farve på 6-10 år i disse atmosfæretyper, hvor der i landatmosfære godt kan gå 30-40 år.

I fugtig indendørsatmosfære kan man regne med korrosionshastigheder som i by- og industriatmosfære.

Kobberlegeringernes (messing, rødgods, bronze osv, se tabel 4, side 28) korrosionshastigheder afviger kun lidt fra kobbers, dvs der er tale om materialetab, som normalt er uden betydning. Selv messing, der fx i saltvand er betydelig mindre bestandigt end kobber, korroderer i byatmosfære kun ca halvanden gang så hurtigt som kobber, og i land- og havatmosfære endda lidt langsommere. Derimod skal det fremhæves at messing let revner ved spændingskorrosion dersom det udsættes for ammoniakdampe, og under uheldige omstændigheder kan denne revnedannelse ske i løbet af få timer. Spændingskorrosion forudsætter tilstedeværelsen af mekaniske spændinger,



Figur 11. Korrosionshastigheden for kobber aftager med tiden, idet det dannede ir yder en vis beskyttelse. Den grønne farve dannes på 6-10 år i by-, industri- og marin-atmosfære, mens det tager 30-40 år ude på landet.

Grubetæring

Aluminium

dvs spændingsfriglødede og ubelastede messingdele revner ikke selv om de udsættes for ammoniakdampe. Ved høje spændinger skal der kun ganske ringe mængder ammoniak til for at fremkalde spændingskorrosion, og messing bør derfor ikke anvendes til fx bolte i udendørs eller fugtig indendørsatmosfære, eller til skruer der fastholder facadeplader.

Hvis der i en bygningskonstruktion forekommer vandfyldte lommer kan der i disse opstå grubetæring med lokale korrosionshastigheder af en helt anden størrelsesorden end de her nævnte. Dette kendes fx fra kobbertage, hvor der på steder uden afløb kan ske gennemtæring af en 1 mm plade på en halv snes år.

Som allerede nævnt opløser regnvand tilstrækkeligt kobber til at dette kan skade aluminium, og man bør derfor ikke fx bruge kobbertag på en bygning med aluminiumvinduer – eller facadeplader.

Figur 12. Messing bør ikke anvendes til skruer og bolte i udendørs eller fugtig indendørsatmosfære, fx ikke til skruer, som fastholder facadeplader. Fotografiet viser brudfladen i en messingbøjle til fastspænding af tagplader; den er revnet på grund af spændingskorrosion.



Irlag

Legeringer

Spændingskorrosion

Tabel 4. Bestanddele og betegnelser for nogle støbe- og valselegeringer af kobber.

Støbelegeringer

Gruppe	DS 3001	Bestanddele, pct						Andre standarder	
		Cu	Zn	Pb	Sn	I øvrigt	Svensk, SIS	Tysk, DIN	
Messing	5144	65	33	2	-	-	5144	Ms 65 A	
Rødgods	5204	85	5	5	5	-	5204	Rg 5	
	5212	83	5	5	5	2 Ni	-		
	5426	83	4	6	7	-		Rg 7	
Tinbrønze	5443	90	-	-	10	-	5443	SnBz 10	
	5458	88	2	-	10	-	5458	Rg 10	
Blybrønze	5640	80	-	10	10	-	5640	SnPbBz 10	
Aluminiumbrønze	5716	80	-	-	-	9 Al, 5 Fe	-	NiAlBzF 60	
						1 Mn, 5 Ni			

Valselegeringer

Gruppe	DS 3003	Bestanddele, pct						Andre standarder	
		Cu	Zn	Al	Ni	As	I øvrigt	Svensk, SIS 14-	Tysk, DIN
Kobber	5015	99,9	-	-	-	-	0,03 P	5015	SF-Cu
Messing	5168	59	39	-	-	2	-	5168	CuZn39Pb2
	5150	63	37	-	-	-	-	5150	CuZn 37
	5122	70	30	-	-	-	-	5122	CuZn 30
	-	71	28	-	-	0,04	1,1 Sn	5220	CuZn 28 Sn
Aluminiummessing	5217	77	21	2	-	0,04	-	5217	CuZn20Al
Kobbernikkel	5667	88	-	-	10	-	1,3 Fe, 0,7 Mn	5667	CuNi 10Fe
	5682	67	-	-	31	-	0,7 Fe 1,0 Mn	5682	CuNi 30 Fe

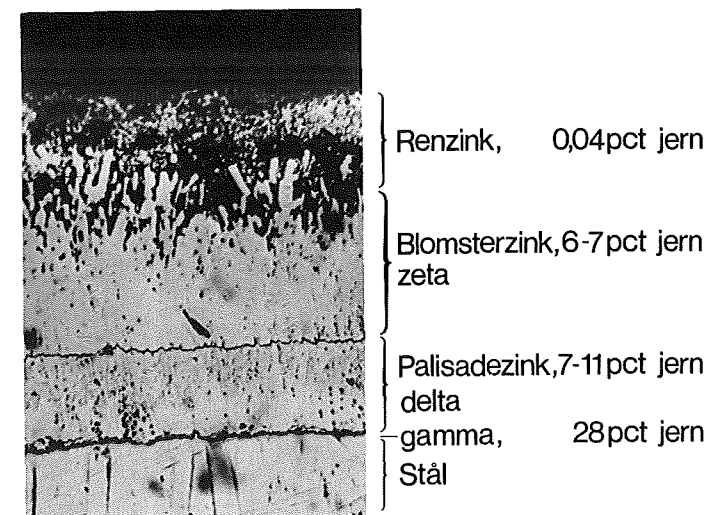
## Metalliske overfladebelægninger

### Forzinkning

På dele af jern eller stål kan der påføres et zinklag, der beskytter stålet dels på grund af zinks lave korrosionshastighed, dels på grund af at zink er uædelt i forhold til grundmetallet og derfor kan virke katodisk beskyttende (se herom side 38) på dette, hvor det er blottet ved porer eller ved mindre beskadigelser.

Zinklaget kan påføres ved dypning (varmforzinkning), sprøjtning og ved elektrolyse. Korrosionsegenskaberne er de samme – uanset påføringsmetoden – og kun lagtykkelsen er af betydning, idet man kan regne med, at zinkbelægningens levetid omtrent er proportional med dens lagtykkelse. Ved varmforzinkning af sværere emner fås en lagtykkelse på

Dypning  
Sprøjtning  
Elektrolyse



Figur 13. Ved varmforzinkning er der normalt tale om en lagvis opbygning af forskellige jernzinklegeringer. På figuren er der udfor de fotografisk forstørrede lag angivet lagenes indhold af jern. Den samlede tykkelse af varmforzinkningen er 0.1 mm. Fotografiet viser forholdene ved såkaldt »uberoliget« stål, dvs stål hvor der ved fremstillingen ikke er tilsat silicium. På »beroliget« stål, dvs siliciumholdigt stål, fås normalt intet renzinklag.

100-200  $\mu\text{m}$  afhængig af neddykningstiden og stålqualiteten, mens man på emner med ringe godstykkelse får tyndere lag, fx ofte 20-30  $\mu\text{m}$  på 1 mm plade. Lagtykkelsen ved en elektroforzinkning er ofte kun 3-6  $\mu\text{m}$ , men fås dog op til 40  $\mu\text{m}$ .

Dansk Standard

Dansk Standard, DS 2022 og DS 2023 angiver kravene til henholdsvis en varmforzinket og en elforzinket overflade.

Lagdeling

På figur 13 er vist den normale opbygning af en varmforzinket belægning, der består af forskellige jernzinklegeringer og yderst af ren zink.

Beroliget stål

På såkaldt siliciumberoliget stål mangler det yderste zinklag ofte, hvilket medfører en hurtigere rustfarvning. Endvidere kan belægninger af denne art være skrøbelige og kan som regel ikke opfylde standardens krav om vedhæftning.

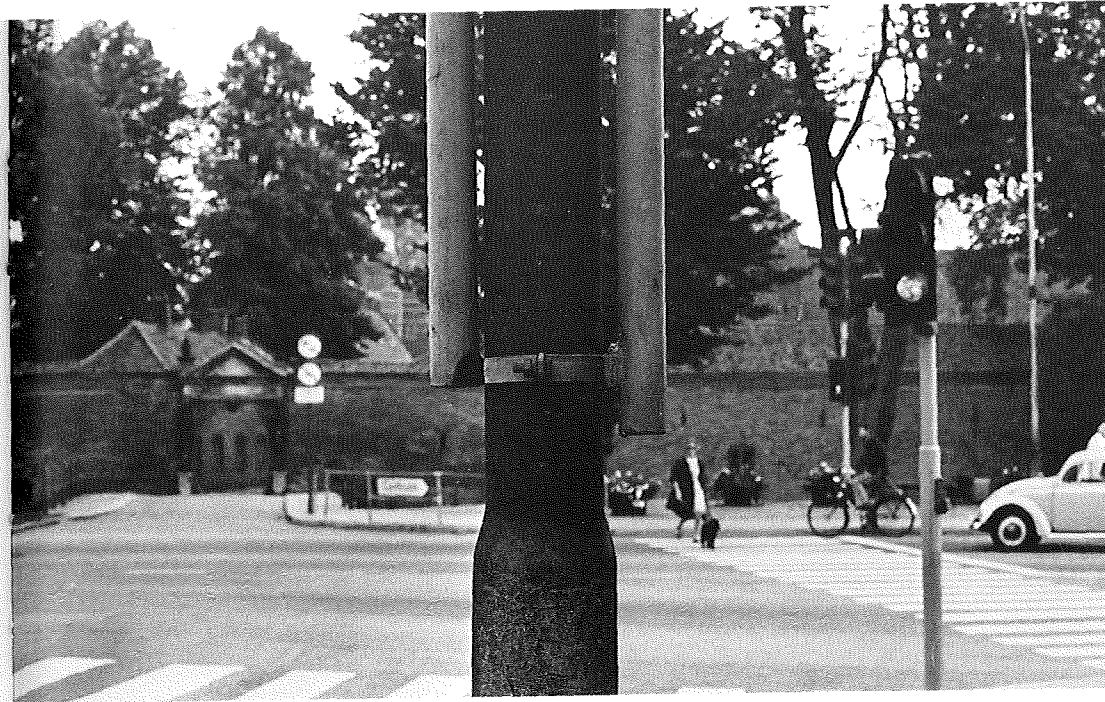
Korrosionshastighed

I atmosfæren korroderer zink jævnt over hele overfladen, og jernet begynder først at ruste når zinken er borttæret. I by- og industriatmosfære forurenet med  $\text{SO}_2$  forøges korrosionshastigheden af zink. Ligeledes er marin atmosfære med indhold af chlorider aggressiv over for zink. Tabel 5 illustrerer disse forhold, idet værdierne kun må betragtes som retningsgivende.

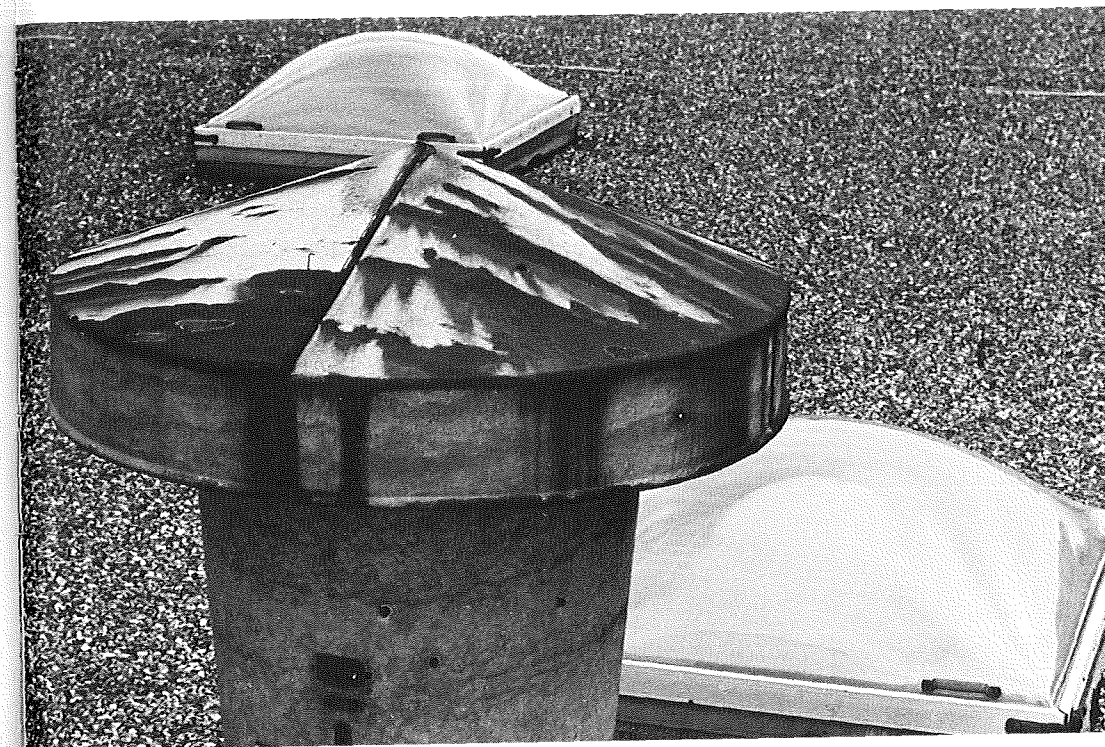
Tabel 5. Retningsgivende værdier for zinks korrosionshastigheder.

Miljø	Korrosionshastighed $\mu\text{m}$ pr år
<b>Industriatmosfære</b>	
Meget kraftigt forurenet . . . . .	15-50
<b>Byatmosfære</b>	
Storbyer . . . . .	3-6
Mindre byer . . . . .	1-3
<b>Landatmosfære</b>	
Tempereret klima . . . . .	1-3
Tropisk fugtigt klima . . . . .	0,1-4
Polar- og ørkenklima . . . . .	0,1-1
<b>Marin atmosfære*</b>	
Kystområdet, Europa . . . . .	1-3
Vestkysten, Danmark . . . . .	3-5
Indendørsatmosfære . . . . .	0-0,6

\* Ved direkte saltsprøjt fås langt højere korrosionshastigheder.



Figur 14. På de to fotografier ses ialt tre stadier i en varmforzinknings liv. På lysmasten (øverste foto) er korrosionen nået godt ned i jernzinklegeringerne, mens der på de senere påspændte stativer endnu er renzink. På udluftningshætten (nederste foto) er zinken stedvis opbrugt og der opstår almindelig rust.





Chromatering  
(gulpassivering)

For at forøge korrosionsbestandigheden af en forzinket overflade kan man foretage en chromatering (gulpassivering). Chromateringen – der er omtalt i DS 2023 pkt 4 – har ofte en levetid på 1-2 år, og er derfor især af værdi på tynde zinkbelægninger, dvs elforzinkning.

Indstøbte dele

Til alle indstøbte varmforzinkede detaljer anbefales en chromatering for at beskytte den varmforzinkede overflade og forhindre, at zinken reagerer med cementen. Dette medfører nemlig en dårlig vedhæftning mellem metal og cement, idet der under brintudvikling dannes porer og korrosionsprodukter af zinkater (skumdannelse). Specielt i damphærdede betonelementer kan en varmforzinket overflade reagere på denne måde, hvis den ikke er chromatpassiveret.

Chromat i cement

Som alternativ kan tilsættes chromat til cementen i en koncentration på 50-100 mg pr kg cement. Dette passiverer den varmforzinkede overflade.

*Figur 15. En zinkbelægnings levetid er omtrent proportional med dens lagtykkelse. Begge bolte på fotografiet var elforzinkede, men der var forskel på lagtykkelsen.*



Marin atmosfære

### Cadmiering

Elektrolytisk udfældede belægninger af cadmium har tidligere været anvendt en del, men ses nu kun sjældent. Cadmiums korrosionsegenskaber ligner i høj grad zinks, men cadmium er mere følsomt over for svovldioxid. Det er en ret udbredt opfattelse at cadmium er bedre end zink i marin atmosfære, men flere undersøgelser går imod dette, og da cadmium desuden er betydeligt dyrere end zink og endvidere er giftigt, er det svært at se berettigelsen for cadmiering som korrosionsbeskyttelse.

Nikkellag

### Forchromning

En forchromning er sædvanligvis kun et tyndt lag chrom (0,25-0,5  $\mu\text{m}$ ) ovenpå et nikkellag af en betydelig tykkelse. Gøres chromlaget tykkere er det sprødt og tilbøjeligt til at revne.

Poretæthed

I modsætning til en forzinkning er en forchromning ædel i forhold til jern og stål. Dette bevirker, at der i porer og lignende kan starte en galvanisk korrosion af stålet med en deraf følgende afskalning af forchromningen. Det er derfor meget vigtigt, at forchromningen er poretæt, hvilket med rimelig sikkerhed kan opnås ved en lagtykkelse af nikkellaget på minimum 30  $\mu\text{m}$ .

Messing  
Rødgods

Når messing og rødgods (fx badeværelsearmatur) forchromes, er det ofte af dekorative hensyn. Imidlertid er der her ikke stor potentialforskel mellem grundmetal og forchromning, og porer i chromlaget er derfor ikke helt så kritisk for holdbarheden.

Kvalitet nødvendig

En god forchromning har meget lang levetid, da chrom og nikkel næsten ikke angribes i atmosfæren, men en dårlig forchromning er næsten værre end ingenting. Som et kuriosum kan nævnes at uforchromet nikkel ved meget høje koncentrationer af svovldioxid angribes hurtigt, fx har man i prøvekamre med svovldioxid målt ensartede korrosionshastigheder for jern og nikkel.

# Galvanisk korrosion

Betingelser

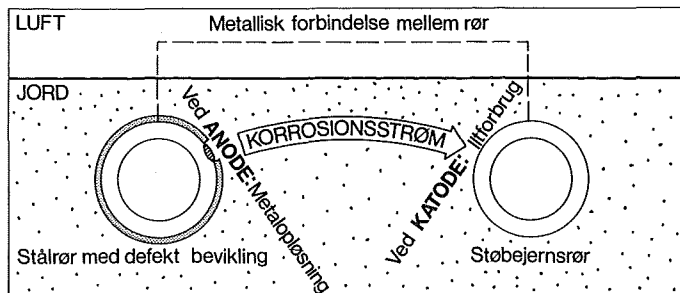
Når to metaller af forskellig ædelhed er i kontakt med hinanden under tilstedeværelse af vand (eller en anden elektrolyt), er der mulighed for øget korrosion af det mindst ædle metal; dette kaldes som tidligere nævnt galvanisk korrosion.

Proces

Figur 16 viser hvorledes galvanisk korrosion kan forløbe mellem beviklet stål og støbejern i fugtig jord. Beviklingen, der kan bestå af fx fedtbind plus PVC-tape, har til formål at beskytte stålrøret mod korrosion. Potentialforskellen mellem de to metaller holder det skitserede korrosionsstrømkredsløb i gang, og hvor strømmen går fra metal til jord, dvs på stålrøret, sker der en metalopløsning, mens der ved overgang af strøm fra jord til metal sker iltforbrug, og på dette areal er korrosion udelukket. Man siger at det ædleste metal er katodisk beskyttet.

Forudsætninger

Det ses at såvel metallisk kontakt som kontakt med en sammenhængende elektrolyt er nødvendige forudsætninger for galvanisk korrosion.



Figur 16. Et eksempel på galvanisk korrosion. De to rør er i indbyrdes forbindelse – både gennem en metallisk kontakt og gennem kontakten med jordfugten, der her virker som elektrolyt. Stålrøret tæres, mens støbejernsrøret (katodisk) beskyttet.

Figur 17. Stålblade fra skorsten, svejset med en elektrode af rustfrit stål. Svovlsyrekorrosionen er værst lige ved svejse sømmen på grund af den galvaniske effekt. ▶

## Spændingsrække

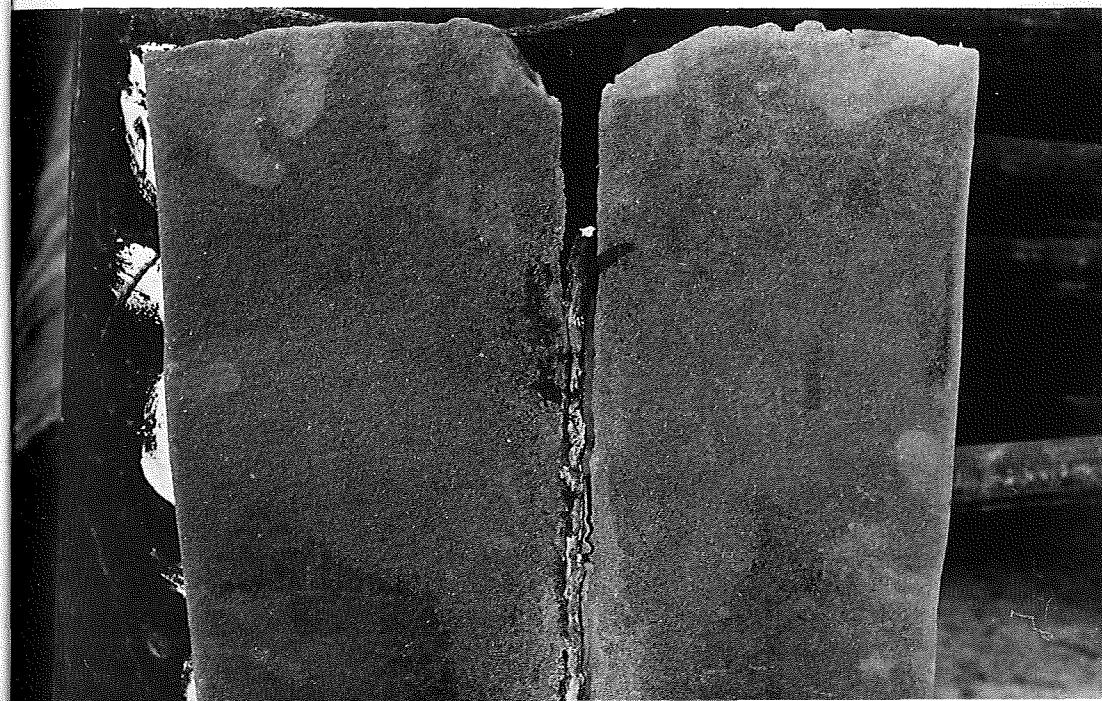
Man ser ofte metallerne opstillet i den såkaldte spændingsrække med angivelse af normalpotentialer. Disse potentialer er målt mellem metallet, neddyppet i en veldefineret opløsning af et af metallens salte, og en standardelektrode. Selve potentialværdierne er derfor af begrænset værdi mht byggeriets forhold. Man kan derimod have nytte af at kende metallernes indbyrdes potentialforhold, der for de almindeligste metaller i atmosfære og vand er som angivet i det følgende.

Uædle	Zink Aluminium og -legeringer Stål
Ædle	Støbejern, grafiteret i overfladen Kobber og -legeringer Rustfrit stål

De indbyrdes spændingsforskelle afhænger af omgivelserne, men er sjældent over 1 volt. Mellem kobber og stål i jord kan potentialforskellen være 0,3 volt.

Spændingsrækkens anvendelse

Spændingsrækken siger noget om metallernes tilbøjelighed til at korrodere og om mulighederne for galvanisk korrosion



mellem forskellige metaller. Groft taget kan man sige, at tilbøjeligheden til korrosion er størst i den »uædle« ende af rækken, og at et mere ædelt metal kan bevirke korrosion af et mindre ædelt. Men lige så uundværlig spændingsrækken er, lige så misvisende resultater kan det give at bruge den ukritisk. Fx korroderer aluminium som bekendt ikke hurtigere end stål – tilbøjelighed til korrosion og korrosions-hastighed følges ikke altid ad. Og man får ikke galvanisk korrosion ved at fastgøre aluminiumplader med skruer af rustfrit stål.

Graden af galvanisk korrosion er stærkt afhængig af forholdet mellem de implicerede metalarealer. I figur 16 er et mindre uædelt areal i kontakt med et langt større areal af mere ædelt metal, og den galvaniske korrosion kan her blive voldsom. Derfor er det oftest uklogt at søge at hindre galvanisk korrosion ved at male eller bevikle det uædle metal, idet det

*Figur 18. Den såkaldte spændingsrække (se den indrammede opstilling, side 35), kan ikke bruges ukritisk. I atmosfæren får man fx ikke galvanisk korrosion mellem rustfrit stål og zink, selv om disse metaller er placeret i hver sin ende af spændingsrækken.*

Maling og bevikling

Galvanisk korrosion  
i atmosfæren

Samlinger

Rustfrit stål

Metalkombinationer  
som må undgås

Metal/metalbelægning

er svært helt at undgå defekter i en sådan belægning. Paradoksalt nok kunne man med fordel have bevirket støbejernsrøret i figur 16, fordi man herved ville opnå en drastisk ændring af arealforholdet.

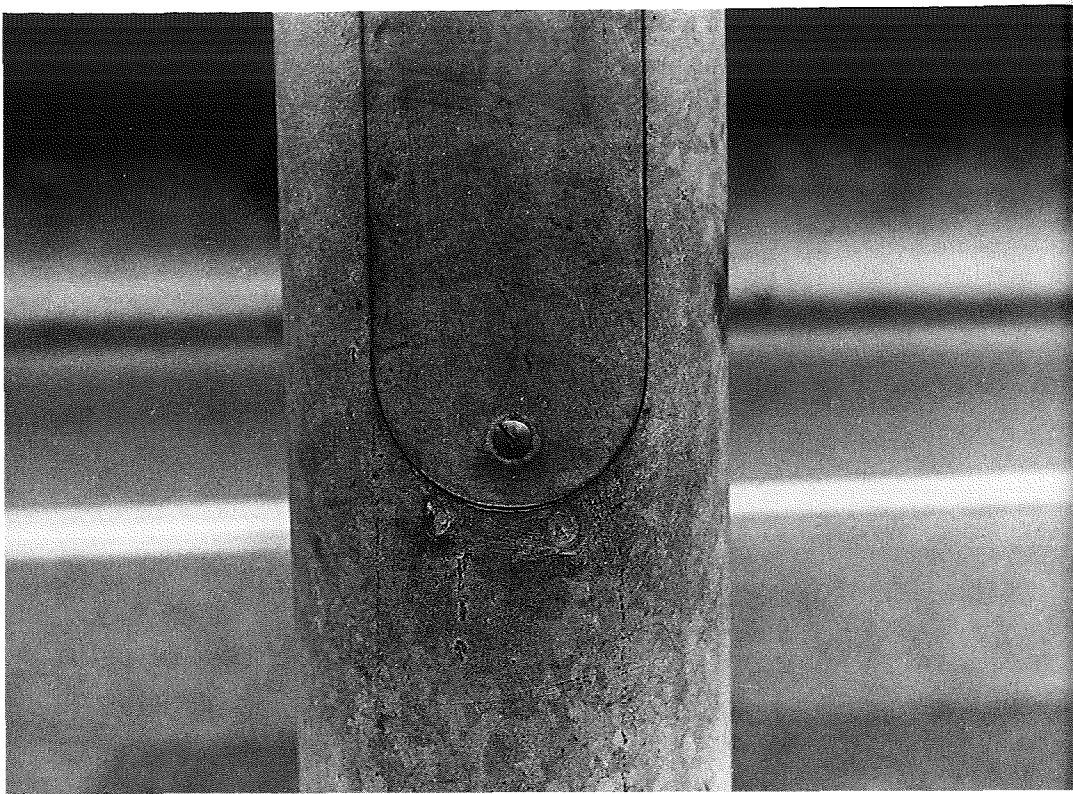
Under atmosfæriske forhold må man forestille sig at korrosionsstrømmen skal forløbe i en ganske tynd hinde af vand med ringe saltindhold og dermed ringe ledningsevne, og det er klart at et sådant kredsløb kun kan blive af ganske ringe udstrækning, ligesom det medfører at arealforholdet i reglen er 1:1. I atmosfæren ses galvaniske effekter derfor kun indtil 2-3 mm fra kontaktstedet mellem de to metaller, og ofte udbliver en forventet galvanisk effekt helt. Således opstår der langtfra altid korrosion ved kontakt mellem kobber og aluminium i atmosfæren (derimod kan kobberholdigt vand angribe aluminium, se herom side 24).

Galvanisk korrosion er derfor kun undtagelsesvis et problem i byggeriet. Dog bør man ved samlinger (søm, skruer, bolte, nitter, svejsning) tage hensyn til muligheden for galvanisk korrosion, fordi en ret beskeden korrosion af eller omkring samlingen kan forårsage en stærk svækkelse af hele konstruktionen. Tabel 6 viser eksempler på brugbare kombinationer af materialer til konstruktion og samlingsdele, idet der også er taget hensyn til at en samling ikke bør foretages med et materiale, der i sig selv er væsentligt mindre korrosionsbestandigt end selve konstruktionsmaterialet.

Det ses at rustfrit stål i vid udstrækning kan kombineres med andre metaller, hvilket skyldes at rustfrit stål trods sin ædelhed er en dårlig katode.

I fugtig atmosfære er de metalkombinationer, der ubetinget bør undgås, kobber/aluminium, kobber/zink, bly/aluminium og bly/zink. I jord og fugtige byggematerialer må man derimod sige, at næsten hvilken som helst metalkombination under de rette forhold kan give galvanisk korrosion, og man skal her huske at armeringsjern og andet jern i beton placerer sig i spændingsrækken som et ædelt metal på linie med kobber.

I afsnittene om forzinkning og forchromning er omtalt galvanisk korrosion mellem metal og metallisk belægning, og som det fremgår er det netop en fordel ved forzinkning at zinklaget er uædelt i forhold til jern. Ved porer og småhuller i zinklaget sker der galvanisk korrosion af zinken, mens jernet herved beskyttes. For forchromning er forholdet omvendt. Den effekt at det mest ædle metal under galvanisk korrosion er beskyt-



tet mod korrosion, udnyttes ved såkaldt katodisk beskyttelse: Fra en dertil installeret anode sendes en strøm, enten ved hjælp af naturlige potentialforskelle eller ved hjælp af en påtrykt spænding, ind til de metaloverflader der skal beskyttes. Katodisk beskyttelse anvendes en del i vandsystemer og i jord, men kun undtagelsesvis i byggeriet i øvrigt, og da kun i jord eller fugtige byggematerialer. Et eksempel er skitseret på side 60. I øvrigt henvises til *Regler for etablering og drift af anlæg til katodisk beskyttelse* (1971) og *Lærebog i katodisk beskyttelse* (1975), begge udsendt af Udvalget vedrørende katodisk beskyttelse.

Tabel 6. Brugbare kombinationer af materialer til konstruktioner og samlingsdele. Ved svejsning bør tilsatsmaterialet være som konstruktionsmaterialet eller lidt ædlere.

Konstruktionsmateriale	Bolte, søm, skruer, nitter
Stål, ulegeret og lavtlegeret Støbejern	Stål, ulegeret og lavtlegeret Varmforzinket stål Rustfrit stål
Varmforzinket stål	Varmforzinket stål Rustfrit stål
Rustfrit stål	Rustfrit stål Kobberlegeringer
Kobber- og kobberlegeringer	Kobber og kobberlegeringer Rustfrit stål
Aluminium og aluminiumlegeringer	Aluminium og aluminiumlegeringer Rustfrit stål
Zink	Varmforzinket stål Rustfrit stål
Bly	Rustfrit stål Kobber og kobberlegeringer

## Metaller i kontakt med beton

Alkalitet  
Fugtighed

To forhold adskiller beton fra de fleste andre byggematerialer. Beton er stærkt alkalisk, dvs at det har høj pH-værdi, og beton er våd under og et stykke efter udstøbningen.

I forening giver disse to omstændigheder mulighed for specielle korrosionsfænomener. Metallerne reagerer vidt forskelligt over for den høje pH-værdi, men har naturligvis det tilfælles, at angreb kun kan ske så længe betonen er fugtig.

### Stål i kontakt med beton

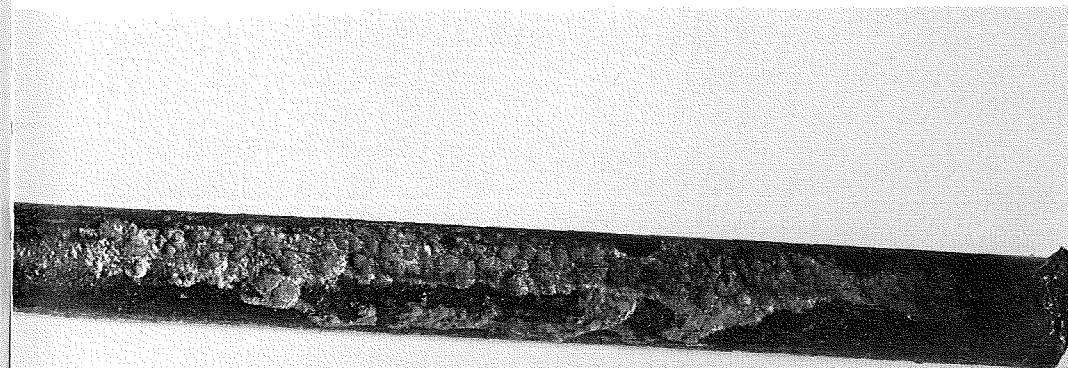
Passivering

Stål vil i kontakt med beton passivere, dvs at det vil opføre sig som et ædelt metal og ikke korrodere; men hvis der er arealer hvor passiveringen ikke er opnået, kan der ske meget hurtig galvanisk korrosion af disse arealer, dog stadig kun så længe betonen er fugtig. Passiveringen skyldes betonens høje pH-værdi, og fuldstændig passivering opnås derfor kun hvis betonen har et vist cementindhold, mindst 350 kg/m<sup>3</sup>.

Skader

Ufuldstændig omstøbning eller anvendelse af beton med for ringe cementindhold kan føre til skader i form af afsprængning af dæklaget (rust fylder betydeligt mere end det jern hvoraf det er dannet), svækkelse af armering eller gennemtæring af rør.

Figur 19. Dette gulvarmerør korroderede hurtigt på grund af ufuldstændig omstøbning i beton. Hvis korrosion af stål i beton skal undgås må en række regler være overholdt, se teksten.



### Regler ved indstøbning af stål i beton

Hvis man vil være sikker på at undgå korrosion, skal efterfølgende regler overholdes ved indstøbning af stål i beton.

- Cementindhold
- Konsistens  
Stenstørrelse
- Blandingsforhold  
Tilsætninger
- Chlorider  
DS 411
- Opklodsning
- Omstøbning
- Vibrering  
Svumning
- Dæklag  
DS 411
1. Betonen bør have et cementindhold på mindst 350 kg/m<sup>3</sup>, hvilket svarer omtrent til blandingsforhold 1:2:3 efter rumfang. Den bør proportioneres til stiv, plastisk konsistens og med en maksimum stenstørrelse, der ikke overstiger 15-20 mm eller halvdelen af den mindste afstand fra ståloverfladen til støbeskel eller betonoverflade. Hvis der benyttes cementmørtel bør blandingsforholdet være 1:3 efter rumfang. Luftindblandingsstoffer og plastificeringsstoffer vil rigtigt benyttet give en bedre omstøbning, idet vandbehovet formindskes, ligesom betonens separationstendenser formindskes.  
Betonen bør ikke tilsættes chlorider, da disse virker nedbrydende på stålets passivitet. Dog kan mindre mængder tolereres. DS 411 (2. udgave, 1973) siger herom: »Beton må ikke indeholde urenheder, som kan skade denne eller armeringen. Det totale indhold af opløselige chlorider, beregnet som vandfri calciumchlorid, må ikke overstige 0,5 pct, 1,5 pct og 2,5 pct af cementvægten i henholdsvis spændbeton, slapt armeret beton og uarmeret beton. Bestemmelsen skal udføres iht DS 423.14.«  
Det skal bemærkes at de tilsvarende værdier i Tyskland er 0,3 pct for spændbeton og 0,6 pct for slapt armeret beton.
  2. Eventuel opklodsning bør ske med afstandsklodser af cementmørtel, eternit, stål eller massiv plast. Træ, mursten og andre porøse materialer må ikke komme i berøring med ståloverfladen.
  3. Stålet skal være fuldstændig omsluttet af beton. Udstøbningen bør foregå ved vibrering, men hvis man alligevel ikke er sikker på at undgå stenreder eller andre støbefejl kan stålet forinden svummes (hvilket altså ikke overflødiggør vibreringen).
  4. Der skal være et tilstrækkeligt dæklag over stålet. For armeringsjern giver DS 411 retningslinjer for dæklagets tykkelse, og disse retningslinjer kan anvendes generelt for indstøbt stål. Disse krav til dæklaget skyldes bl.a. at beton i

atmosfæren reagerer med luftens kuldioxid og derved mister sin alkalitet; et godt dæklag og en god, tæt beton sikrer, at stålet er effektivt passiveret i lang tid.

### Udtørring

5. Betonen bør udtørres så hurtigt som hensynet til udhærdningen tillader, da eventuelle fejl som nævnt kun kan føre til korrosion så længe betonen er fugtig. Der kan eventuelt benyttes curing compound (membranhærdningsmiddel) eller varme til at fremme hærdningen.

6. Hvor stål går fra betonen ud i fugtige omgivelser, fx jord, bør der foretages en bevikling som vist på figur 26, side 59. Ved overgang beton/atmosfære er der en kritisk zone ved og indtil et par cm under betonoverfladen, og her er varmforzinkning

Figur 20. Her er der sket afsprængning af betonen i altanforkanten, fordi dæklaget ikke har været tykt nok.



den bedst egnede korrosionsbeskyttelse. Desuden må der ikke være mulighed for vandansamling ved overgangsstedet stål/beton.

#### **Lavtlegeret stål og støbejern**

forholder sig over for beton på samme måde som stål.

#### **Varmforzinket stål**

bør indstøbes efter samme retningslinjer som ubeskyttet stål, men da varmforsinket stål ikke passiverer ved kontakt med beton er risikoen for lokal korrosion på grund af indstøbning-fejl mindre. Der er dog set eksempler på gennemtæring af varmforsinkede rør, som i lang tid har ligget ufuldstændigt omstøbt i konstant våd beton, og forzinkningen giver derfor ikke fuldstændig garanti mod angreb. En anden ting er at zinken angribes ganske let af den helt friske beton, og da der herved udvikles lidt brint på metaloverfladen bliver vedhæftningen mellem metal og beton ikke god. Hvis man vil varmforsinke armeringsjern må man derfor hindre denne brintudvikling, hvilket gøres ved at chromatpassivere (gulpassivere) efter forzinkningen. Desuden kan beton indeholde eller tilsættes lidt chromat (50-100 mg pr kg cement), hvilket også hindrer brintudvikling. Varmforzinkning af armeringsjern kan anbefales hvor forholdene er særlig uheldige, fx på belastede betondæk, hvor belastningen kan forårsage revnedannelser i betonen, og hvor der om vinteren bruges tøsalt.

#### **Rustfrit stål, kobber og kobberlegeringer** angribes ikke af beton.

#### **Aluminium**

er kun holdbart i neutrale omgivelser, og frisk beton vil derfor angribe aluminium, også selv om det er anodiseret. Hvis man støber beton mod aluminium vil der således ske en overfladisk ætsning, men der vil ikke blive tale om angreb af nogen praktisk betydning. Man udstøber derfor ofte beton mod aluminium, eller indstøber aluminiumdele direkte, men det er også almindeligt at beskytte aluminiumet ved stryging med asfalt, maling, udlægning af plastfolie eller lignende. Hvor der er speciel mulighed for at kontaktstedet beton/aluminium er vådt en stor del af tiden, bør en sådan beskyttelse altid udføres.

#### **Specielle tilfælde**

#### **Vand fra friskstøbt beton**

Der har været set enkelte tilfælde, hvor indstøbt aluminium er korroderet kraftigt og har forårsaget afsprængning af betonen. Det synes givet at dette fænomen forudsætter både metallisk kontakt til betonarmeringen og tilsætning af chlorider til betonen, men i øvrigt vides ikke meget om problemet.

Mens selve kontakten med beton således ikke er videre farlig, er det meget vigtigt at vand fra friskstøbt beton ikke kommer i berøring med aluminium. Der er set en del eksempler på at nedrivende vand fra frisk beton har beskadiget vinduesrammer og andre facadedele af aluminium, og det hjælper ikke at aluminiumet er anodiseret. Denne form for angreb er dog også altid så overfladisk at det kun er et æstetisk anliggende.

Ingen passivering

Zinken angribes

Chromatpassivering

Armeringsjern

Overfladeangreb

Beskyttelse

# Metaller i kontakt med træ

Korrosionsrisiko

Træ er et hygroskopisk materiale, der altid indeholder vand i større eller mindre mængde, hvilket er årsag til, at metaller i kontakt med træ er udsat for korrosion.

Frit og bundet vand

I nyfældet træ forekommer vand som frit vand og som bundet vand. Når træet tørrer, afgiver det først det frie vand, og når dette er fordampet, afgives det bundne vand. Træets indhold af bundet vand afhænger af den omgivende lufts temperatur og relative fugtighed og betegnes følgelig træets ligevægtsfugtighed. I tabel 7 er angivet nogle gennemsnitsværdier, der kan anvendes for alle almindelige træarter. Først over en luftfugtighed på 60-70 pct vil der forekomme afvigelser afhængig af træarten. Under 15 pct træfugtighed vil metallerne praktisk taget ikke korrodere.

Ligevægtsfugtighed

## Korrosionsrisiko i imprægneret træ

Træ kan behandles med imprægneringsmidler, der beskytter mod biologisk nedbrydning. Imprægneringsmidlerne kan inddeles i efterfølgende 3 grupper.

1. *Oliebaserede imprægneringsmidler.* Sammenlignet med uimprægneret træ sænkes korrosionshastigheden 20-25 pct for de almindeligt anvendte metaller.

*Tabel 7. Sammenhængen mellem luftens relative fugtighed og ligevægtsfugtigheden i træ ved 15 °C. De anførte værdier er gennemsnitstal og kan anvendes for alle almindelige træarter. Først over 60-70 pct relativ luftfugtighed vil der indtræde afvigelser træarterne imellem.*

Luftens relative fugtighed, pct	Træets ligevægtsfugtighed, pct
90	23
85	20,5
80	18
75	16
70	14,5
65	13

2. *Saltbaserede imprægneringsmidler, som ikke giver vandopløselige salte i veddet efter indføringen.* Disse øger korrosionshastigheden noget sammenlignet med korrosionshastigheden i uimprægneret træ.

3. *Saltbaserede imprægneringsmidler, som efter indføringen giver vandopløselige salte i veddet.* Disse kan virke ret aggressive over for de fleste metaller og kan accelerere korrosionen væsentligt.

Oversigt

I tabel 8 er givet en oversigt over de almindeligt anvendte imprægneringsmidler. Tabellen giver oplysning om risikoen for korrosion, når metallet er i kontakt med imprægneret træ i fugtig udendørsatmosfære.

Lokalisering

## Søm, skruer og bolte i træ

Korrosion af søm, skruer og bolte kan naturligt opdeles i den korrosion, der sker inde i træet og den korrosion, der sker uden for træet, altså korrosion af søm-, skrue- og bolte-hoveder.

Uden for træet

Sidstnævnte korrosion har sjældent betydning for fastgørelsesmidlets holdbarhed, men kan ud fra et æstetisk synspunkt være et stort problem.

Inde i træet

Korrosionen inde i træet opstår som følge af, at iltindholdet ændrer sig ind gennem træet. Nærmest overfladen, hvor iltindholdet er højst, dannes et katodeareal. Længere inde i træet dannes anodearealet, og her foregår korrosionen, se figur 21.

Materialer

Til søm, skruer og bolte i trækonstruktioner anvendes i byggeriet ulegeret stål, varmforsinket stål, rustfrit stål, aluminium, kobber, messing og forniklet messing. Disse materials korrosionsforhold er omtalt i det følgende.

## Ulegeret stål

Fastgørelsesmidler af ubehandlet stål i uimprægneret træ må anses for at have ca den samme levetid som træet. I imprægneret træ, der har en levetid på ca 5 gange uimprægneret træs levetid, må man vælge et mere korrosionsbestandigt materiale.

Levetid som  
uimprægneret træ

## Forzinket stål

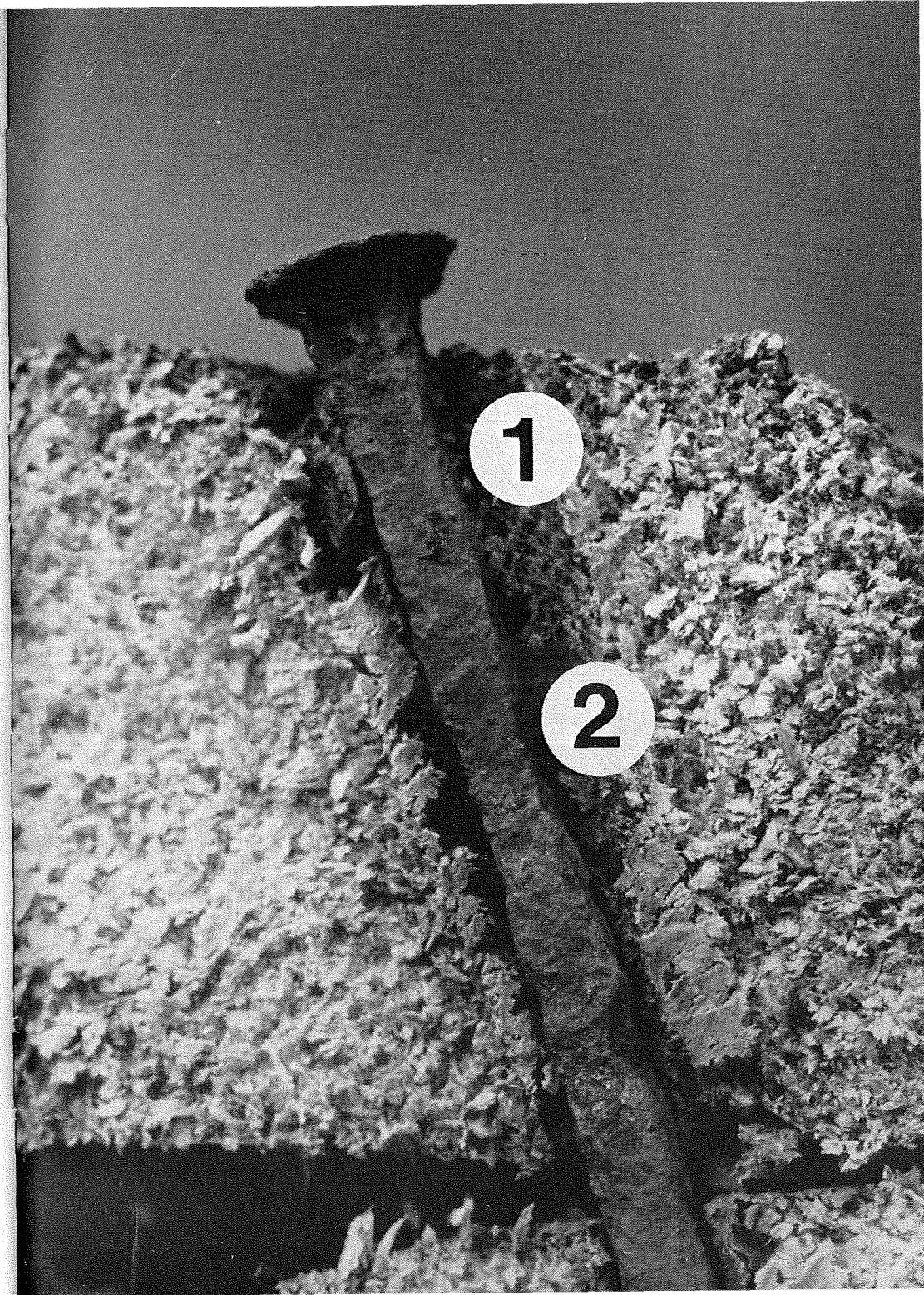
Forzinket (galvaniseret) stål har, som tidligere beskrevet side 29, en levetid, der er proportional med zinklagets tykkelse.

Zinklaget afgørende

I imprægneret træ er det derfor vigtigt at vælge en forzinkning med en tilstrækkelig lagtykkelse, dvs at varmforzinkning må foretrækkes.

Tabel 8. Oversigt over almindeligt anvendte træimprægneringsmidler og deres aggressivitet over for forskellige metaller.

	Fabrikat eller produkt navn	Uopløselige salte i veddet efter imprægnering	Vandopl. salte i veddet efter imprægnering	Aggressivitet
Produkter, der benyttes i dansk produktion	Boliden K 33	Basisk kobberarsenat, kromarsenat og kromoxid		Ubetydelig risiko for alm og forzinket stål
	Tanalith C	Kromater og arsenater	Natrium- eller kaliumsulfat	Vis risiko for alm og forzinket stål samt aluminium
	Stenkulstjæreolie		Ingen	Ingen
	Basilith CFK		Fluorider	Korrosionsrisiko for alle metaller
	Vacuumimprægneringsmidler		Ingen	Ingen
Produkter, der benyttes i udenlandsk produktion	KP-Cuprinol		Ingen	Ubetydelig risiko for alm og forzinket stål
	BP Hylosan		Ingen	Ingen
	Celcure A	Kromater og arsenater	Natrium- eller kaliumsulfat	Vis risiko for alm og forzinket stål samt aluminium
	Wolmanit UA		Fluorider	Korrosionsrisiko for alle metaller
	Wolmanit CB	Kromater og sulfater kobbersulfat	Natrium- eller kaliumsulfat	Korrosionsrisiko for alm og forzinket stål samt aluminium



Figur 21. På modstående side ses et søm af ulegeret stål i træ. Nærmest overfladen (ved 1) er iltindholdet højere end længere inde i træet. Derfor vil der danne sig et katodeareal ved 1 og et anodeareal ved 2. Som det ses sker korrosionen ved 2. Illustration fra det svenske Korrosionsinstituts bulletin nr. 68: Korrosion på spik och skruv i imprægnerat trä. 1972. T. Wallin. ▶



Normalt ingen problemer	<i>Rustfrit stål</i> Rustfrit stål giver normalt ingen korrosionsproblemer i forbindelse med trækonstruktioner uanset om træet er imprægneret eller uimprægneret. Hvis der er chloridholdigt vand til stede, er der risiko for spaltekorrosion, se side 10.
Grubetæring	<i>Aluminium</i> Aluminium og aluminiumlegeringer har tendens til at grubetære (se side 10) i såvel uimprægneret som i imprægneret træ. For fastgørelsesmidler i træ, der permanent er vådt, er korrosionsrisikoen betydelig.
God bestandighed	<i>Kobber og bronze</i> Søm, skruer og bolte af kobber og bronze har en god korrosionsbestandighed i imprægneret og uimprægneret træ.
Spændingskorrosion	<i>Messing</i> Messing kan under særlige omstændigheder spændingskorrodere se side 26. Især ammoniak og ammoniakforbindelser kan fremkalde spændingskorrosion. Høje spændinger opstår, fx når skruehovedet er skruet hårdt op mod et materiale, der har stor overfladehårdhed. I praksis betyder det, at messingskruer ikke bør anvendes til at fæstne metalplader (stål, kobber, bronze og messing) til trækonstruktioner. Dette gælder specielt når omgivelserne er fugtige.
Afzinkning	Nogle messinglegeringer kan afzinke, og denne korrosionsform kan optræde på søm, skruer og bolte i imprægneret og uimprægneret træ, specielt i fugtigt miljø. Derfor er messing også ofte uegnet til at fæstne træ til træ.
God bestandighed	<i>Forniklet messing</i> Forniklet messing har en god bestandighed i såvel imprægneret som i uimprægneret træ og er derfor velegnet til at fæstne træ til træ. Med hensyn til risikoen for spændingskorrosion gælder det samme som før beskrevet for messing.
Celcure F	<b>Korrosionsrisiko i brandimprægneret træ</b> Udover den ovenfor omtalte behandling til beskyttelse mod biologisk nedbrydning kan træ behandles med brandhæmmende midler. Celcure F er et eksempel på et sådant imprægneringsmiddel som beskytter træmaterialet mod termisk nedbrydning ved brand.

Aggressivitet	Det er karakteristisk for disse imprægneringsmidler, at de er ret aggressive over for de fleste metaller, specielt når omgivelserne er fugtige. Kobber udviser dog en god bestandighed i kontakt med Celcure F; dette fremgår bl.a. af en undersøgelse udført af E. Ormstadt for Norsk Treteknisk Institut: <i>Korrosjon på Metaller i kontakt med trykimprægneret trævirke</i> , 1973.
Ubeskyttet stål	<b>Metaller, som ligger an mod træ</b> Her tænkes på tag- og facadeplader og lignende konstruktionsdele, som er fastgjort til trækonstruktioner, og det har vist sig at korrosionsrisikoen ved denne form for kontakt normalt er ganske ringe. Dog bør ubeskyttet stål ikke ligge an mod træ medmindre der er tale om tørre indendørsforhold. De øvrige metaller kan med en i praksis ubetydelig korrosionsrisiko anvendes i forbindelse med både uimprægneret og imprægneret træ uanset imprægneringsmidlet – dog vil der være en vis risiko ved anvendelse af imprægneringsmidler indeholdende fluorider.
Fluorider	

# Behandling af overflader

Æstetik  
Beskyttelse

Korrosionsklasser

Stål

## Maling

Maling af metalliske konstruktionsmaterialer tjener to formål, dels et æstetisk, dels det mere praktiske at beskytte mod korrosion.

I forbindelse med det efterfølgende vil det være nyttigt at indordne de tidligere (side 12) omtalte korrosionsmiljøer i 5 klasser, se tabel 9.

Ståldele, som udsættes for korrosivt miljø (klasse 2, 3 eller 4), bør korrosionsbeskyttes og korrosionsbeskyttelsen vedligeholdes således, at skader, som kan påvirke bæreevne, brugstid og funktionsdygtighed, ikke opstår. I klasse 0 og 1 foretages overfladebehandling kun af æstetiske hensyn.

Tabel 9. Opdeling af det omgivende miljø i fem korrosionsklasser. Disse klasser er også anvendt i tabel 10. Dansk Standard 412.

Korrosions-klasse	Miljøets aggressivitet	Miljøeksempler
0	Ingen	Indendørs i tørre lokaler (relativ fugtighed < 60 pct)
1	Ubetydelig	Indendørs i uopvarmede, velventilerede rum
2	Middel	Indendørs ved skiftende fugtpåvirkning. Landatmosfære langt fra industri og tæt bebyggelse.
3	Stor	Tæt bebyggelse. Industriområder. Over vand og ved kysten.
4	Meget stor	Konstant fugtigt miljø. Ved kemiske fabrikker. I vand og jord.

Korrosionsbeskyttelsen afpasses efter korrosionsklassen, ønsket levetid, inspektionsintervaller, muligheden for vedligeholdelse og efter de forhold, hvorunder første korrosionsbeskyttelse udføres rent praktisk.

Om maling på stål, se side 53. Om maling på zink, se side 54.

Ren overflade

## Rensning

Grundlaget for enhver malingsbehandling er en overflade fri for vandopløselige salte og fedtede belægninger. Derudover er det oftest ønskeligt, at også faste partikler fjernes; for jerns vedkommende rust og glødeskal. Da det i overvejende grad er jern og stål der males, vil det i det følgende være forhold i forbindelse hermed, der omtales, medmindre andet er nævnt.

Terpentin  
plus detergent

## Salte og fedt

De opløselige forureninger kan ofte fjernes i én operation. Konstruktionsmaterialet pensles eller oversprøjtes med en blanding af mineralsk terpentin og en egnet detergent (emul-

Figur 22. Selv tykke malingslag afsprænges, hvis der ikke er foretaget en grundig afrensning forud for malearbejdet.



geringsmiddel), hvorefter blandingen efter 10-20 minutters virketid spules af med rigeligt ferskvand.

Alternativt kan olie og fedtede belægninger fjernes ved aftørring med rene, terpentinvædede klude, og de vandopløselige salte derefter fjernes ved vandspuling. Ved sandblæsning til metallisk renhed med kvartssand fjernes vandopløselige salte næsten fuldstændigt og lette fedtforureninger i meget vid omfang.

I industriel praksis anvendes også andre rensningsmetoder. Fedt- og oliefilm fjernes oftest i hel- eller halvautomatiske anlæg med chlorerede kulbrinter, fx »tri«. Vandige, alkaliske bade anvendes ved samtidig fjernelse af fedt og olie og vandopløselige salte.

### Rust og glødeskal

Rust og glødeskal bør generelt fjernes fuldstændigt. Dette kan principielt gøres på flere måder, men praksis viser at rensning ved sandblæsning tit er den teknisk bedste og mest økonomiske løsning. Sandblæsning til rensningsgraderne 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> eller 3 efter DS 2019 er de oftest anvendte. Den nødvendige rensningsgrad vil være afhængig af den efterfølgende behandling. På steder og tidspunkter, hvor sandblæsning er umulig, må andre rensningsmetoder tages i anvendelse. Her skal nævnes bankning, skrabning med specialskrabere, stålborstning og eventuelt slibning. Uanset valget af maling, skal metallet være så rent som muligt. Håndrensemethode karakteriseres i DS 2019 som »stålborstning«, og bedste rensning betegnes St. 3.

### Slibning

På konstruktionsdele bør større ujævnheder og skarpe kanter fjernes. Skarpe kanter bør afrundes til  $r \geq 1$  mm. Svejesømme med uregelmæssig overflade og fastsmeltede svejseperler slibes bort. Indvalsninger i stålet, som viser sig ved sandblæsning, bortslibes ligeledes.

### Rensning af varmforzinkning

Varmforzinkede overflader renses normalt kun for fedt og vandopløselige salte efter samme procedure som stål. På ældre emner kan der sidde et porøst og tungtopløseligt lag af korrosionsprodukter, som bør fjernes i et vist omfang. Hertil bør anvendes stive ikkemetalliske børster, idet et ganske tyndt lag korrosionsprodukter er en udmærket hæftgrund for maling.

Aftørring  
Spuling

Sandblæsning

Andre metoder

Sandblæsning

Andre metoder

Hvidrust

Princip

Eksempler

Forzinkede emner, der af den ene eller den anden grund har fået hvidskjoldede belægninger (»hvidrust«) må enten specialrenses kemisk eller eksponeres frit i atmosfæren indtil belægningerne er omdannet til sunde, tungtopløselige salte.

### Maling på stål

Et malingssystem skal beskytte underlaget mod korrosion, dvs mod samtidig indvirkning af vand og ilt. Ved hjælp af dækmalingen opnås en barriere som hindrer eller forsinker diffusionen af disse stoffer, og ved hjælp af grundmaling med aktivt rusthindrende pigmenter imødegås virkningen af de små mængder, der alligevel når frem til jernoverfladen.

I tabel 10 og 11 er angivet nogle eksempler på overfladebehandlinger svarende til korrosionsklasserne. Der skal gøres opmærksom på, at eksemplerne er tilfældigt udvalgt, og at der ikke er forsøgt nogen relativ kvalitetsvurdering inden for klasserne. Der er kun lagt vægt på, at grundmalingerne, der er aktivt korrosionsbeskyttende, svarer til rensningsgraden på ståloverfladen, og at grund- og dækmaling passer sammen.

Tabel 10. Eksempler på beskyttelsessystemer. Malingerne A-I fremgår af tabel 11. Dansk Standard 412.

Korrosions- klasse	Rensningsgrad efter DS 2019	Grundmaling		Dækmaling		Total lagtykkelse µm
		Type	Tykkelse µm	Type	Tykkelse µm	
0	–	–	–	–	–	–
1	St 2	A	40	E	40	80
	Sa 2	B	40	E	40	80
2	St 2	A	40	E	80	120
	Sa 2	B	40	E	80	120
3	Sa 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	B	60-80	E	80-100	160
	Sa 2 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	C, D	40	F, G, H	100	140
Varmforzinkning (100 µm)						
4	Sa 3	C, D	40	F, G, H	160	200
	Sa 3	C, D	40	I	260	300
	Sa 3			I	400	400

Tabel 11. Oversigt over malingstyper nævnt i tabel 10. Dansk Standard 412.

Anvendelse	Betegnelse anvendt i tabel 10	Malingstype
Grundmaling	A	Blymønje-maling, oliebasis
	B	Blymønje-maling, alkydbasis
	C	Zinkstøv-maling, tokomponent epoxybasis
	D	Zinkethylsilikat-maling
Dækmaling	E	Alkydemaille
	F*	Vinyl-maling eller klorkautsjuk-maling
	G	2-komponent expoyemaille
	H	Isocyanatemaille (2-k polyurethanemaille)
	I**	2-komponent epoxykultjære-maling

\*) Vinyl-malinger og klorkautsjuk-malinger lader sig let vedligeholdelsesmale med samme produkt.

\*\*\*) Anvendes fortrinsvis i fugtige, skyggede omgivelser.

### Maling på zink

Klasse 1 og 2

I miljøer svarende til korrosionsklasse 1 og 2 giver varmforzinkning meget lang tids korrosionsbeskyttelse, og yderligere beskyttelse med maling kommer sjældent på tale.

Klasse 3 og 4

Ved korrosionsklasse 3 og 4 kan zink korrodere med betydelig hastighed. Rustforekomster på 10 år gamle konstruktioner er ikke ualmindelige. Maling af både nye og gamle konstruktioner kan derfor være relevante. Kombination af zink og maling synes tilmed at byde på en beskyttelsestid, som ligger et godt stykke udover, hvad man kan opnå med zink og maling hver for sig.

Friske og gamle overflader skal ikke behandles på samme måde. De fleste malinger hæfter dårligt til en frisk zinkoverflade, som derfor behandles med specielle bejdsere eller affedtes og males med forstærket wash primer. Oven på forstærket wash primer kan anvendes samme malingssystemer som på stål.

Wash primer

Wash primere bør ikke anvendes på »vejrede« zinkoverflader. Disse affedtes og børstes fri for hvide og grå zinkforbindelser – dog uden at overfladen børstes blank – hvorefter de males med grund- og dækmaling. Ofte anbefales vinyl-, klorkautsjuk- eller epoxymalinger til disse overflader. Grundmalingerne indeholder ofte calciumplumbat eller zinktetroxychromat som korrosionsbeskyttende pigment. Malingstykkelser svarende til korrosionsklasse 3 er ønskelige.

Vejrede overflader



Figur 23. Eksempel på afskalning af maling på varmforzinket stål. De fleste malinger hæfter dårligt på en frisk zinkoverflade. Derfor må disse have en særlig behandling inden malingen påføres.

### Svejsesamlinger i forzinkede stålkonstruktioner

Efter sammensvejsning af varmforzinkede ståldele resterer en korrosionshindrende behandling af svejsesømmene og deres omgivelser. Behandlingen baseres naturligt på zinkholdige produkter, og følgende kan komme på tale.

1. Zinkethylsilikatmaling.
2. Zinkstøv-maling, tokomponent epoxybasis.
3. Zinkstøv-maling, fordampningsstørrende énkomponent.
4. Zinksprøjtning (lysbue-, autogen-).

Metallisk renhed

Alle fire behandlingstyper kræver rensning til metallisk renhed. 1. og 4. kræver sandblæsning til ikke for lille ruhedsgrad, medens 2. og 3. kan påføres på slebet bund. Der påføres i alle tilfælde 80-100 µm.

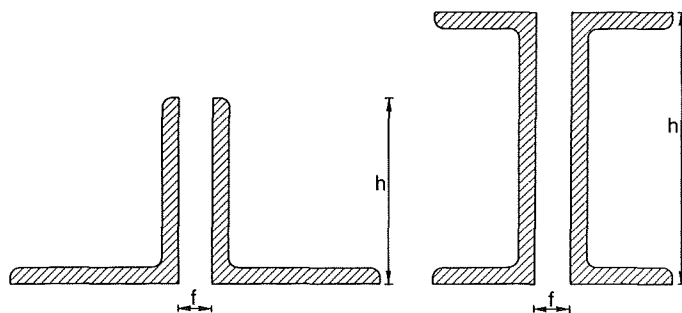
1. og 4. kan påregnes at holde i en betydelig årrække, måske lige så længe som varmforzinkningen, medens 2. og 3. med fordel overmales med en grå dækmaling med bindemiddel af forligelig type.

### Tætliggende konstruktionsdele

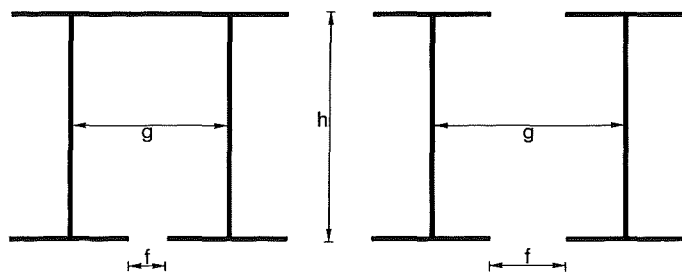
For at en nødvendig korrosionsbeskyttelse kan påføres og vedligeholdes, bør man følge nedenstående regler, som angives i den svenske Stålbygnadsnorm, 1970.

En smal spalte mellem konstruktionsdele skal undgås. Se figur 24 og teksten derunder.

For andre tætliggende konstruktionsdele som vist i figur 25 gælder de i figurteksten og i tabel 12 nævnte målregler.



Figur 24. I en stang med sammensat tværsnit skal spalten mellem konstruktionsdelene udfyldes, når afstanden  $f$  er 15 mm og derunder, eller når højden  $h$  er 6  $f$  eller derover. Når  $h$  er 400 mm og derover gælder tabel 12.



Figur 25. For konstruktioner som skitseret i figuren og hvor højden  $h$  er 400 mm og derover skal målene  $f$  og  $g$  mindst holde de i tabel 12 angivne værdier af hensyn til tilgængelighed. Ved højder mellem 400 og 800 mm proportioneres retlinet.

Tabel 12. Mindste frie afstand i mm gældende for de i figur 24 og 25 viste konstruktioner.

h, mm	f, mm	g, mm
400	200	200
≥ 800	400	600

Specifikationer

Løbende kontrol

DS 2019  
Forskrifter

Standard

GB

Udfaldskrav

### Tilsyn og kontrol

Det er vigtigt for et malingsystems holdbarhed, at de givne specifikationer er tilstrækkelige og at de overholdes. En grundig kontrol vil derfor almindeligvis være en god investering.

Ved større malerarbejder bør kontrollen foretages løbende under arbejdets gang. Ved kontrollen er det især vigtigt at påse, at forbehandling ved børstning eller sandblæsning udføres omhyggeligt i henhold til DS 2019, og at de af malingsleverandøren givne forskrifter for malingsbehandlingen og påføringsomstændigheder overholdes. Disse forskrifter bør blandt andet omfatte grænser for tilladelig temperatur og relativ fugtighed, mindste og største tidsinterval mellem påføring af de enkelte lag i afhængighed af temperaturen samt våd og tør lagtykkelse for de enkelte påføringer. Kontrol med malingspåføring vil i øvrigt lettes betydeligt for både tilsyn og entreprenør, såfremt der til de enkelte malingslag vælges/foreskrives forskellige farvenuancer.

Ved måling af den beskyttende belægnings lagtykkelse, vedhæftning og andre egenskaber anvendes metoder og bedømmelseskriterier i henhold til gældende Dansk Standard. I mangel af en relevant Dansk Standard bør fremgangsmåden ved kontrollen fastlægges i samråd med et anerkendt laboratorium.

Udfaldskrav kan specificeres med henvisning til Generalbeskrivelse GB 5, Malerarbejde (1970), gengivet i GB 4, 7, oplag, (1971) og i GB 73 (1974).

De på næste side anførte udfaldskrav er normalt relevante ved malerarbejde på stålkonstruktioner.

1. Udseendet skal være ensartet i glans og kulør.
2. Lagtykkelser af grundmaling og det totale system: efter specifikationen (Metode ISO/DIS 2808).
3. Vedhæftning (GB 5, pkt. 308) bedømmes ved gittersnitmetoden (ISO Standard 2409).
4. Poretæthed kontrolleres efter vådsvampmetoden (gennemgående porer) eller efter højspændingsmetoden.

Galvanisk korrosion

Støbejern

Stål

Gennemføring

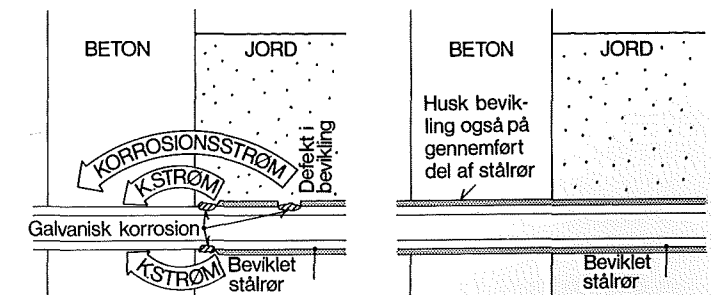
## Fundamenter

### Armeringsjern

korroderer ikke hvis de er fuldstændig omstøbt af en tilstrækkelig cementholdig beton, som er beskrevet side 39ff. Derimod kan armeringsjern i beton, som er i kontakt med en fugtig jord, forårsage galvanisk korrosion på stål- og støbejernsdele i jorden, hvis der tillige er metallisk kontakt (om galvanisk korrosion, se side 34). I denne forbindelse skal det fremhæves at den metalliske kontakt godt kan ligge langt fra korrosionsstedet, og erfaringsmæssigt er det svært at undgå at armeringsjern får kontakt med rørinstallationer.

### Rør

og lignende af stål og støbejern skal også i beton indstøbes som omtalt side 39. Et støbejernsrør, der går fra beton til fugtig jord, kan være udsat for lokal korrosion lige uden for betonen, men de praktiske erfaringer tyder ikke på, at der er behov for at tage hensyn til denne risiko. Derimod vil et stålrør under disse omstændigheder let kunne tæres, men stålrør i jord skal alligevel korrosionsbeskyttes, fx ved lægning i en tør kanal, ved bevikling eller ved katodisk beskyttelse. Hvis et stålrør er beviklet, bør beviklingen være ført gennem betonen, se figur 26. Man kan også føre røret gennem en bøsning, og da dette giver den bedste sikkerhed, må det fx anbefales for gasrør.



Figur 26. Når stålrør føres igennem fx betonfundamenter er der risiko for galvanisk korrosion, hvis ikke beviklingen føres helt igennem fundamentet.

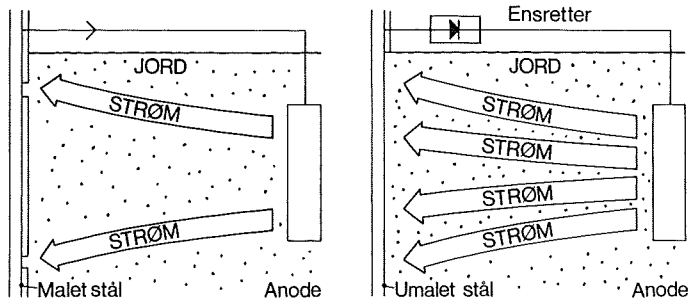
## Fundamentdele af stål

kan beskyttes ved varmforsinkning, maling, katodisk beskyttelse eller blot ved et passende »korrosionstillæg« i godstykkelsen.

Korrosionshastigheden af både stål og varmforsinket stål i jord kan variere betydeligt fra sted til sted, og der bør derfor i hvert enkelt tilfælde foretages en vurdering af det nødvendige korrosionstillæg, eller af en varmforsinknings levetid.

Til orientering kan anføres at levetiden for en varmforsinkning med lagtykkelse 100 µm ofte vil være 10-15 år, og at stål ofte vil korrodere med en gennemsnitlig hastighed på 20-30 µm pr år, regnet som jævn overfladetæring. Der vil dog normalt forekomme grubetæringer, hvor tæringshastigheden kan være ti gange højere.

Maling på stål har vist sig at holde ganske godt under nedramning i jord, men det kan dog anbefales at supplere maling med katodisk beskyttelse. Hertil vil man normalt anvende magnesiumanoder, som er billige at installere, og som kan dimensioneres til lang, vedligeholdelsesfri levetid, idet anodeforbruget vil være ringe, fordi det kun er de beskadigede arealer der skal beskyttes; dertil kommer dog en vis egenkorrosion. En umalet stålkonstruktion vil kræve langt større strømstyrke, og man vil da normalt bruge fx magnetit- eller skrotjernsanoder med påtrykt strøm. Katodisk beskyttelse bør udføres i samarbejde med et specialfirma.



Figur 27. Katodisk beskyttelse af malet og umalet stål i jord. Det umalede stål kræver langt større beskyttelsesstrøm end malet stål, hvor kun de beskadigede arealer skal beskyttes. Ved umalet stål vil man normalt bruge fx magnetit- eller skrotjernsanoder med påtrykt spænding.

## Stålkonstruktioner

Stålkonstruktioner i bygninger kan korrosionsbeskyttes ved nedennævnte behandlinger.

Varmforsinkning.  
Sprøjteforsinkning.  
Sprøjtealuminisering.  
Maling.  
Varmforsinkning plus maling.  
Sprøjteforsinkning plus maling.  
Sprøjtealuminisering plus maling.

### Varmforsinkning

Om varmforsinknings holdbarhed i de forskellige atmosfæretyper, se side 30. Som det dér fremgår, er levetiden proportional med lagtykkelsen, som derfor bør specificeres – for godstykkelser over 5 mm kan anvendes DS 2022.

### Sprøjteforsinkning

En rigtigt udført sprøjteforsinkning holder omtrent lige så godt som en varmforsinkning med samme lagtykkelse, men det er meget vigtigt at påsprøjtningen sker på helt rent stål, det vil normalt sige på stål som højst 3 timer forinden er sandblæst til SA 3.

### Sprøjtealuminisering

Sprøjtealuminisering skal udføres på samme måde som sprøjteforsinkning, og lagtykkelsen bør ikke være under 100 µm. Det er desuden almindeligt at »forsegle« en sprøjtealuminisering med siliconepræparater og lignende. Aluminiseret stål er generelt mere korrosionsbestandigt end forzinket stål, og især i industriatmosfærer og i lokalt stærkt svovlforurenede omgivelser er forskellen mærkbar. Som omtalt side 30 stiger korrosionshastigheden for zink omtrent proportionalt med luftens svovldioxidindhold, mens aluminium til gengæld næsten ikke påvirkes af svovldioxid. Fx til udvendig beskyttelse af skorstene er sprøjtealuminisering derfor velegnet.

Vurdering

Korrosionstillæg

Maling

Specifikation

Forsegling

Skorstene

**Høj kvalitet**

**Maling**  
 Problemerne med maling er omtalt på side 50. Til udendørs stålkonstruktioner må anbefales malearbejde af høj kvalitet, det vil sige sandblæsning til SA 3 og påføring af et egnet malesystem i så stor lagtykkelse, at porethæthed opnås. Både lagtykkelse og porethæthed kan let kontrolleres, og en sådan kontrol må absolut anbefales.

**Æstetik**

I fugtigt indendørsklima bør malearbejde ligeledes være af høj kvalitet. I tørt indendørsklima maler man derimod kun af æstetiske grunde; sandblæsning er derfor ikke nødvendig, hvis man på anden vis kan opnå en nogenlunde afrensning, og malingslagets tykkelse er ikke kritisk.

**På varmforzinkning**

Maling oven på varmforzinkning frembyder specielle problemer, og disse er omtalt side 54. Bemærk den anførte procedure for maling af svejsninger, hvor zinklaget er ødelagt under svejsearbejdet, se side 55.

**Længere levetid**

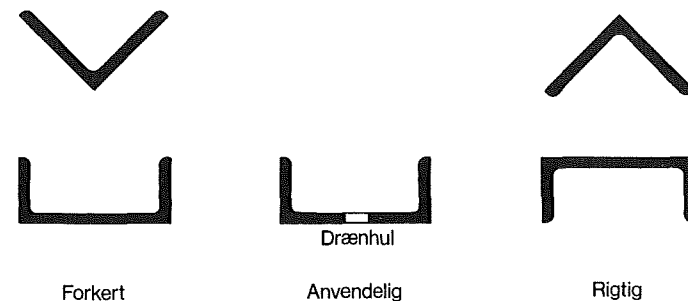
**Varmforzinkning plus maling**  
 Ved rigtigt udført arbejde kan man med varmforzinkning plus maling opnå længere levetid end summen af levetiderne for stål + varmforzinkning og stål + maling. Årsagen hertil er at der ved korrosion af stål under maling dannes voluminøse korrosionsprodukter, som afsprænger malingslaget; zinks korrosionsprodukter fylder derimod kun lidt mere end den zink hvoraf de er dannet, og desuden korroderer zink langsommere end stål.

**Ruhed**

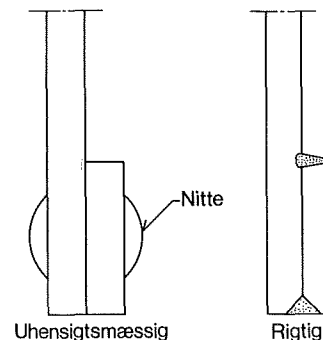
**Sprøjteforzinkning og sprøjtealuminisering**  
 Både sprøjteforzinkning og sprøjtealuminisering danner, på grund af overfladens ruhed, et glimrende underlag for maling. For overflader der skal renholdes er maling af samme grund næsten en nødvendighed.

**Specifikation og kontrol**  
 For al overfladebehandling må en nøje specifikation af forbehandling og selve overfladebehandlingen tilrådes, ligesom en vis kontrol må anbefales.

**Konstruktionsmæssige forhold**  
 Hvad der i det foregående er sagt om holdbarheden af forzinkning, aluminisering og maling, og om ståls korrosions-



Figur 28. Ved at orientere konstruktionsdele hensigtsmæssigt kan det ofte lykkes at mindske mulighederne for ansamling af vand og snavs.



Figur 29. Fuger mellem stålede giver let adgang for fugtighed og dermed mulighed for korrosion. Så vidt muligt bør fugerne lukkes ved svejsning.

**Vandansamlinger**

hastigheder, gælder for flader, der kun udsættes for »normale« atmosfæriske forhold.

Hvis der kan forekomme vandansamlinger, vil nedbrydningen her let blive langt hurtigere. Man bør derfor sikre sig at der overalt er afløb for regnvandet. De fleste konstruktionsdetaljer kan uden gener udformes således at dette opnås, men om nødvendigt kan man etablere afløb fra bunden af mulige vandsamlingssteder, ofte simpelt hen ved at bore et hul. Eksempler herpå er vist i figur 28.

**Fugelukning**

Fuger mellem stålede bør i så vid udstrækning som muligt lukkes ved svejsning, se figur 29. Kan en fuge ikke lukkes luft- og vandtæt ved svejsning, skal fugen lukkes med et fugemiddel, helst kombineret med et effektivt korrosionsbeskyttelsesmiddel.



	<p><b>Lukkede hulrum</b></p> <p>I svejste stålkonstruktioner optræder ofte lukkede hulrum, og det har vist sig at hvis blot disse virkelig er tæt lukkede, er korrosion indefra så ringe, at man kan se bort fra den. Hvis hulrummene er ventilerede vil korrosionen indvendig være omtrent som udvendig (oftest dog en del mindre), og hvis dette ikke kan accepteres kan man vælge blandt efterfølgende muligheder.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Hulrummene lukkes tæt.</li> <li>2. Hulrummene lukkes bedst muligt, og korrosion hindres ved udtørring eller ved hjælp af dampfaseinhibitorer.</li> <li>3. Hulrummene udfyldes fuldstændig med fx polyurethanskum.</li> <li>4. Konstruktionen overfladebehandles indvendig.</li> </ol> <p><i>ad 2:</i> Denne metode er ikke videre aktuell i boligbyggeri, men skal dog for fuldstændighedens skyld omtales.</p> <p>I mindre hulrum kan anbringelse af silicagel være en tilfredsstillende fremgangsmåde, idet man så jævnlige må tilse at silicagelen stadig er vandsugende, det vil sige ikke er af-farvet. Ved opvarmning afgiver silicagel det optagne vand og bliver igen blå, og regenerering er derfor let at foretage og simpel at kontrollere.</p> <p>I større hulrum kan lufttørring med specielle apparater komme på tale. Disse lufttørringsapparater virker som blæsere, der blæser med tør (men ikke opvarmet) luft, og der må derfor etableres fuld luftcirkulation i de hulrum der skal beskyttes.</p> <p>Dampfaseinhibitorer anvendes ikke meget; det er faste stoffer med ret højt damptryk, og dampene er i stand til at hindre korrosion. Anvendelse af dampfaseinhibitorer bør ske med sagkyndig bistand.</p> <p><i>ad 3:</i> Denne metode bør kun benyttes hvis man er sikker på at kunne opnå en fuldstændig og holdbar udfyldning.</p>
Tæt lukning	
Silicagel	
Lufttørring	
Dampfaseinhibitorer	
Regnvand	Der bør i lukkede hulrum ikke være adgang for regnvand, og hvis dette ikke kan undgås må der afdrænes effektivt.
Eksplønsionsfare	I emner som skal varmforzinkes må der ikke forekomme lukkede hulrum, idet der er fare for eksplosion under neddybningen i zinkbadet.

## Facader

Indstøbning	<p><b>Armeret beton</b></p> <p>Armeringsstål i beton skal indstøbes i henhold til de retningslinjer der er givet på side 40.</p>
DS 414	<p><b>Murværk</b></p> <p>Her skal citeres DS 414: Murværk (1969), stk. 5.9:</p> <p><i>Stålbjælker</i></p> <p><i>Ved indmuring af en stålbjælke skal der, såfremt bjælken ikke på anden måde er tilstrækkeligt beskyttet mod korrosion, anvendes cementmørtel C 100 overalt, hvor mørtlen berører stålet; udføres det øvrige murværk i kalkcementmørtel KC 20/80, vil denne mørtel dog også være tilladt til brug ved indmuring af en stålbjælke.</i></p> <p>En passende korrosionsbeskyttelse kan også opnås ved maling svarende til tabel 10, korrosionsklasse 4 (side 53), eller ved varmforzinkning plus maling.</p>
Maling Varmforzinkning	
Materiale	<p><b>Bindere og beslag</b></p> <p>En ydermur vil i en hulmurskonstruktion ofte kunne blive våd på indersiden, især under regnvejr, og trådbindere mv bør derfor ubetinget være af korrosionsbestandigt materiale, fx rustfrit stål eller bronze; det er ret underordnet hvilken type rustfrit stål eller bronze der vælges, dog bør man nok undgå de ferritiske rustfri stål, da de har tendens til koldskørhed. Ud fra et korrosionsteknisk synspunkt bør varmforzinket stål ikke anvendes i forbindelse med ydermure, men kan derimod bruges hvis der på begge sider af hulmurskonstruktionen er tørt indendørsklima.</p>

I DS 414, tillæg 1: Skalmure (marts 1975) er givet eksempler på tilladte materialer til bindere i skalmure.

Messing bør ikke anvendes til bindere. Ganske vist er det udmærket bestandigt over for alle normale påvirkninger, men kommer der ved et uheld ammoniak i hulrummet kan man risikere at messingbindere på kort tid revner ved spændingskorrosion.

#### Facadebeklædning af korrosionstræge stål

De korrosionstræge ståls fordele som facadebeklædning består i høj grad i, at de ikke kræver vedligeholdelse eller rengøring. Desuden har de en særdeles god korrosionsbestandighed i de fleste atmosfæretyper, og sidst men ikke mindst har de et udseende, der kan udnyttes arkitektonisk.

Hvor hurtigt det færdige rustlag – og dermed den karakteristiske farve – dannes, afhænger af omgivelserne og kan være fra 1½ til 3 år. Rustlaget opbygges hurtigst på steder, der er udsat for skiftende vejrpåvirkninger. Pletter med glødeskal, beskyttende fedtlag eller lignende kan være længere om at danne beskyttende rust, og det kan være en fordel at pladerne renses ved affedtning, sandblæsning eller syrebejdsning inden opsætningen.

Da det beskyttende rustlag angribes af chlorider, er de korrosionstræge stål ikke egnet til facadebeklædning på bygninger beliggende direkte ud til kysten.

Er der risiko for specielt fugtige forhold (kondens, regnvand) på indersiden af en beklædning, må denne korrosionsbeskyttes, eventuelt med maling. Ligeledes er det vigtigt at sørge for dræning, hvor der kan opstå vandsamlinger.

Så vidt muligt bør alle fastgørelsesmidler (skrue, bolte etc) udføres i korrosionstræge stål, både af hensyn til udseendet og af hensyn til risikoen for galvanisk korrosion. Man kan dog også bruge varmforzinket stål og rustfrit stål.

Regnvand, der har været i kontakt med korrosionstrægt stål, vil afsætte rust, som kan misfarve underliggende konstruktionsdele. Der må derfor sørges for passende afløb for regnvandet.

Messing

Cor-Ten  
CCP-stål

Rustlag

Rensning

Chlorider

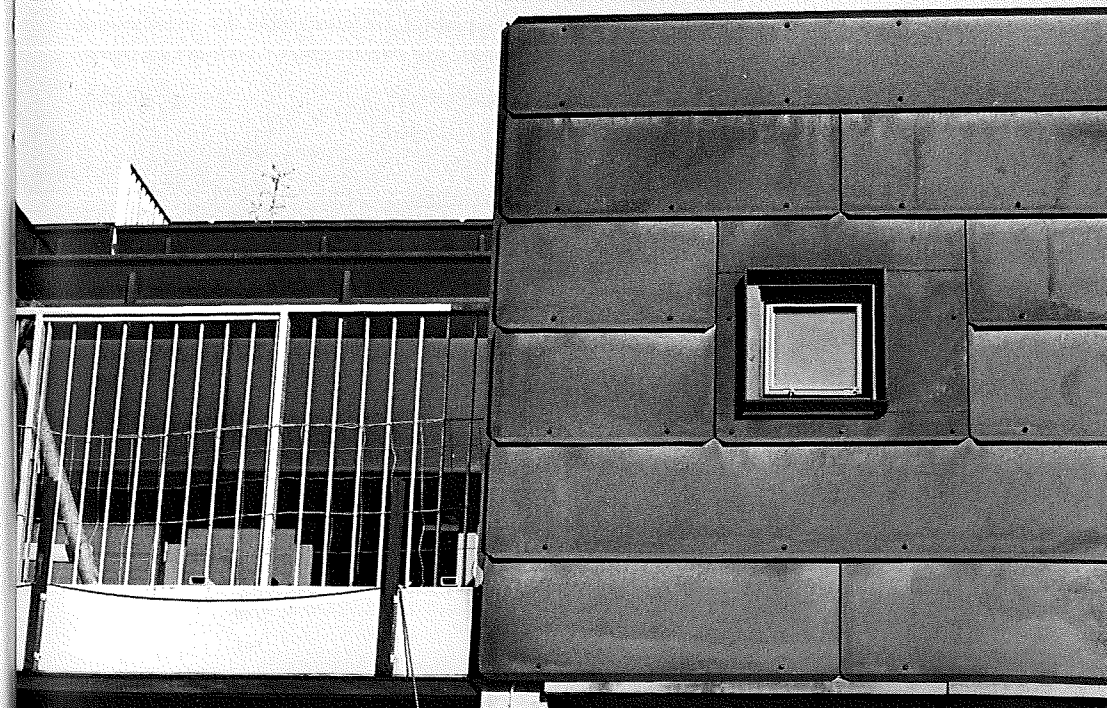
Inderside

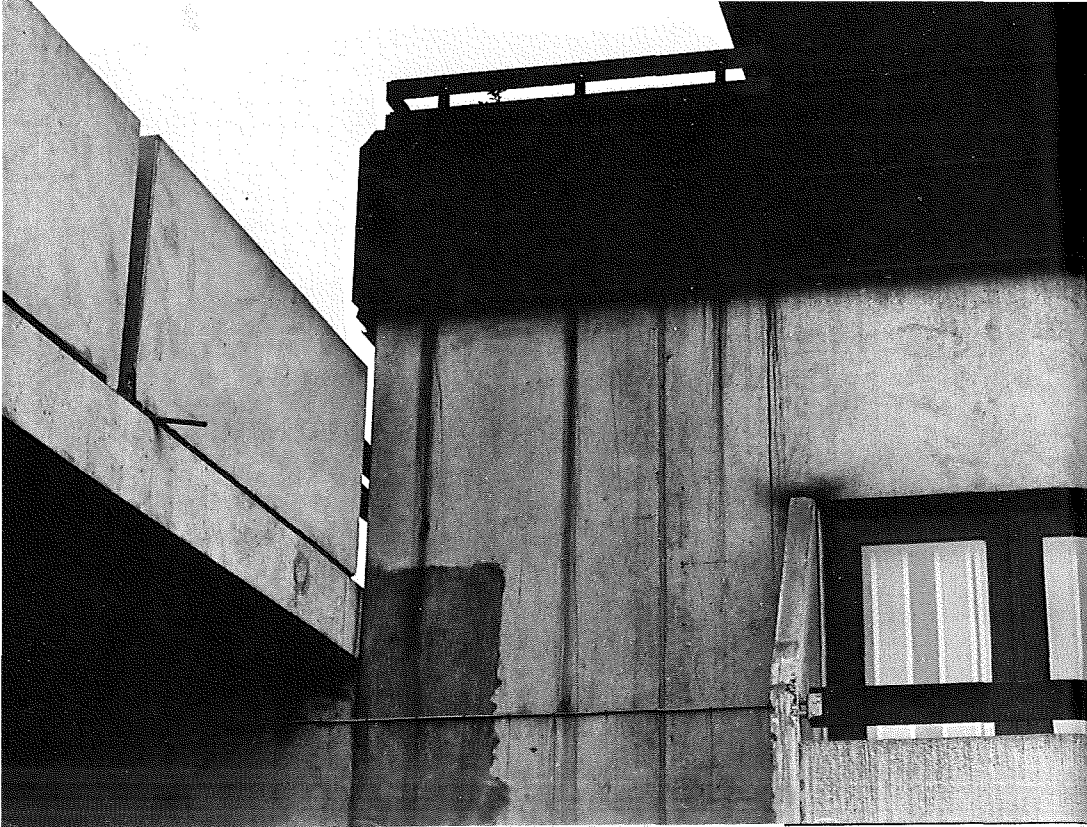
Fastgørelsesmidler

Regnvand



Figur 30. Nyopsatte facadeplader af korrosionstrægt stål (øverste foto) er stærkt blakkede, men efter 3 år er pladerne næsten ensfarvede (nederste foto).





Figur 31. Regnvand som har været i kontakt med den overliggende facadeplade af korrosionstrægt stål har her givet ruststriber på betonfacaden.

### Facadebeklædning af aluminium

Til facadebeklædning benyttes både ubehandlet aluminium og aluminium med en eller anden form for overfladebehandling.

Ubehandlet aluminium

Hvis man kan acceptere at en aluminiumfacade med tiden antager en mellemgrå til mørkegrå farve, kan man uden risiko vælge ubehandlet aluminium til brug i de fleste atmosfæretyper. Det beskyttende oxidlag, der fremkommer ved iltning i atmosfæren, bliver med tiden stærkere og fornyr sig selv i tilfælde af beskadigelse. Korrosionshastigheden i de forskellige atmosfæretyper fremgår af figur 8 og 9, side 22.

Anodisering

Hvor der lægges mere vægt på udseendet, vælger man anodiserede aluminiumplader eller malede aluminiumplader.

Anodiseret aluminium er meget bestandigt over for korrosionsangreb, og den korrosion som kan forekomme, vil vise sig som grubetæringer eventuelt som følge af aflejringer fra en forurenede atmosfære (kulstøv etc), eller som følge af beskadigelser i anodiseringen.

Bestandigheden er afhængig af anodiseringens lagtykkelse. Vedrørende valg af lagtykkelse i forskellige atmosfæretyper henvises til tabel 3, side 23.

Maling

Malede aluminiumplader fremstilles både som plane og profilerede plader. Pladerne fremstilles i et stort udvalg af farver og anvendes til såvel facadebeklædning som tagbeklædning. Der benyttes mange forskellige malingstyper til de fabriksfremstillede produkter, men her skal blot nævnes et par eksempler. I tidsskriftet *Aluminium*, nr 2, 1974, findes en mere omfattende oversigt over malingstyper.

Alkyd

Maling på alkydbasis er den billigste form for farve, men kan imidlertid ikke benyttes hvor tildannelsen skal foretages efter at malingen er påført, idet elasticiteten (smidigheden) er mindre god. Malinger på polyvinylkloridbaser har derimod en god formbarhed og kan bøjes og falses uden at malingslaget beskadiges. Disse malingstyper giver en øget grad af beskyttelse sammenlignet med alkydmaling. Endelig skal nævnes malinger på polyfluoridbaser, der ligesom polyvinylkloridbelægningerne har en god formbarhed. Disse malinger er desuden meget bestandige, men er relativt kostbare.

PVC

Polyfluorid

Alkali

For såvel ubehandlede som overfladebehandlede aluminiumplader gælder det, at de på byggepladsen må beskyttes mod alkaliske bygningsmaterialer. Som fx kalk og cement.

Fastgørelse

Fastgørelse af aluminiumplader bør foretages med fastgørelsesmidler af aluminium eller rustfrit stål. Rustbeskyttet stål kan også accepteres, men her må der iagttages særlige forholdsregler, som er nærmere beskrevet i tidsskriftet *Aluminium*, nr 1, 1974.

# Metaltage

Til metaltage anvendes kobber, aluminium, rustfrit stål, zink og forzinket stål.

Tagbeklædningen kan være udformet som profileret plade eller den kan være opbygget af måtter – fx af et asfaltprodukt – beklædt med metalfolie, der kan være presset i et mønster.

Ved de efterfølgende beskrivelser af korrosionsegenskaberne for de forskellige metaltage er det forudsat, at regnvandet kan løbe frit og hurtigt af fra et hvilket som helst punkt på taget, idet alle metaltage vil tære på steder uden afløb. Dette indebærer, at man må kræve en vis mindste taghældning, der svarer til de givne forhold. Man regner ofte med mindst 7°, idet man dog kan acceptere en mindre hældning, hvor betingelserne er meget gunstige, fx tagdækning med gennemløbende plade fra tagfod til tagryg. En hældning på 5° må dog betragtes som et absolut minimum. Ved mindre gunstige betingelser må man derimod kræve en større hældning, fx ved en tagdækning, hvor oplægningen er med vandrette overlæg.

## Kobbertage

Kobber vil i atmosfæren korrodere jævnt og med aftagende hastighed, se side 26. De gode korrosionsegenskaber gør kobber velegnet til tagbeklædning, og den ensartede grønne farve der efterhånden udvikles kan udnyttes arkitektonisk.

Da der er set eksempler på, at kobbertage kan gennemtære, hvor der på grund af den konstruktive udformning opstår vandfyldte »lommer«, må man enten undgå sådanne konstruktioner eller sørge for et effektivt dræn.

## Aluminiumtage

Aluminiumtage har i de senere år – overvejende på erhvervsbyggeri – vundet stor udbredelse. Her er der ofte tale om forholdsvis store tagkonstruktioner, hvor aluminium har en fordel på grund af den lave vægt i forhold til styrken.

Der anvendes overvejende profilerede plader (eller bånd), hvoraf der findes standardprogrammer omfattende bølge- og trapezformede profiler i varierende »bølgebredde«.

Plader  
Måtter

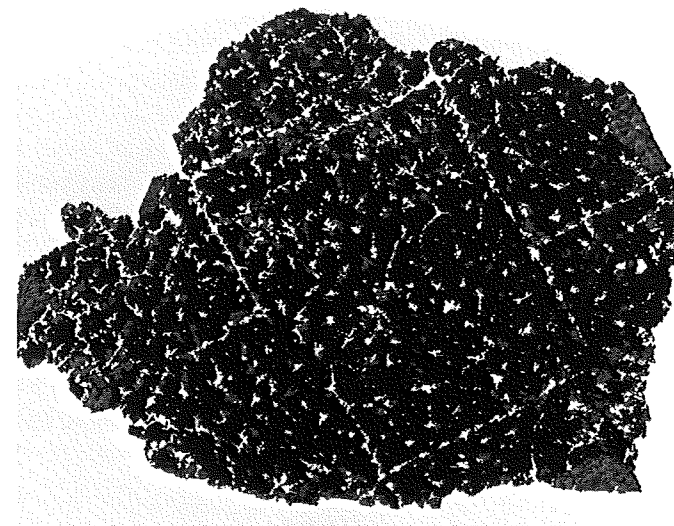
Taghældning

Jævn korrosion

Gennemtæring

Store tage

Pladetyper



Figur 32. Fotografiet viser en stump af et aluminiumtag, som på et par år var fuldstændig ødelagt. Årsagerne hertil var nedfald af svovlsyreholdigt sod og for ringe taghældning.

Blanke og  
malede plader

Til mange formål anvendes aluminiumpladerne valseblanke, men hvor det ikke kan tolereres, at pladerne ændrer udseende og efterhånden bliver matte og grå, anvender man malede plader. Malede plader fås i forskellige kvaliteter og med forskellige egenskaber. Se herom side 69.

Folie

## Tag af rustfrit stål

Anvendelse af rustfrit stål som tagbeklædning er mest realistisk i form af folie på fx asfaltmåtter. I landatmosfære samt by- og industriatmosfære er den almindelige 18/8-kvalitet tilfredsstillende i korrosionsmæssig henseende. I marin atmosfære må man nok foretrække den molybdænholdige kvalitet, der er mere bestandig over for chlorider; se herom side 19.

18/8

Chlorider  
Rengøring

Rustfrit stål kan gennem længere tids brug som tagbeklædning i korrosive atmosfærer få en vis anløbning, dvs at man må regne med en jævnlig rengøring, hvis man vil holde taget blankt.

## Tag af zink og forzinket plade

Som omtalt side 30 korroderer zink jævnt i atmosfæren. Holdbarheden af såvel et zinktag som et tag af forzinket plade er afhængig af luftens svovldioxidindhold, og zink er følgelig et

Svovldioxid

uheldigt valg i stærkt forurenede industrikvarterer medmindre man er indstillet på at udskifte tagbeklædningen med jævnlige mellemrum.

#### Inddækninger

Inddækninger kan udføres i kobber, zink, aluminium og bly. Med hensyn til bestandigheden af kobber, zink og aluminium gælder det samme, som for de tilsvarende tagmaterialer.

Bly er meget bestandigt i atmosfæren og er specielt velegnet, hvor der er risiko for nedfald af svovlsyreholdige partikler (fx sod) eller metalstøv. Over for zink og aluminium forholder bly sig omtrent som kobber, dvs kontakt zink/bly og aluminium/bly bør undgås, ligesom regnvand ikke bør løbe fra større blyarealer til zink eller aluminium.

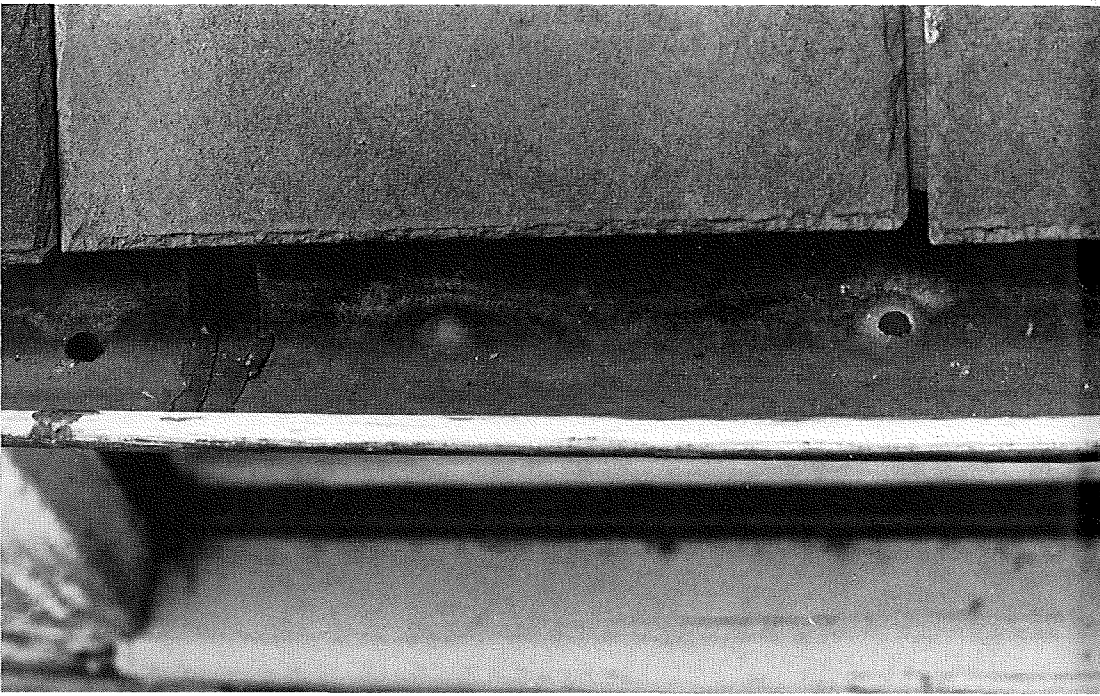
Regnvand

#### Tagrender

Det almindeligst anvendte materiale til tagrender har gennem mange år været zink. Mange tagrender og nedløbsrør er også blevet fremstillet af varmforzinket plade, der har den fordel fremfor zink, at det er et langt stivere materiale.

Zink og varmforzinket plade

*Figur. 33. Selv i mild byatmosfære vil svovldioxid og nedfald af syreholdigt sod efterhånden bevirke en gennemtæring af fx zinktagrender. De gennemtærede huller findes lige ud for tagpladesamlingerne.*



Gennemtæring

Aluminium

Bestandigheden af zink er normalt tilfredsstillende, men i by- og industriatmosfære, hvor  $\text{SO}_2$ -indholdet efterhånden er blevet betragteligt og hvor der forekommer nedfald af syreholdigt sod, kan der ske en hurtig gennemtæring af zink. Forholdene er ikke bedre for varmforzinket plade, og det er derfor blevet almindeligt at fremstille såvel tagrender som nedløbsrør i plast.

Der blev tidligere fremstillet en del tagrender af aluminium, men dette er man næsten holdt op med, da aflejring af sodpartikler etc let forårsager gennemtæring.

# Stålskorstene

Røggaskorrosion

I en skorsten er kerne og top udsat for røggaskorrosion samt i stilstandsperioder for almindelig atmosfærisk korrosion. Skorstenskappen er overvejende udsat for almindelige atmosfæriske forhold, men især på den øverste del af kappen kan der på grund af røgnedslag forekomme stærkere korrosive påvirkninger.

## Røggaskorrosion i skorstenskerne

Røggaskorrosion optræder i skorstene i temperaturområdet op til 160-180 °C og skyldes forekomsten af svovlsyre på stål-overfladen. Denne korrosionsform kaldes ofte lavtemperaturkorrosion til forskel fra højtemperaturkorrosion, som kan forekomme i kedler ved overfladetemperaturer på 500-700 °C.

Det svovl, som findes i brændslet, vil under forbrændingen omdannes til svovldioxid, som ikke gør væsentlig skade i kedlen eller i skorstenen, men en lille del vil forbrænde videre til svovltrioxid, der sammen med de vanddampe, som findes i røggassen, kan være årsag til tæring, når der sker en fortætning af svovlsyre på stålfladen.

Mængden af den dannede svovltrioxid ligger på omkring 0,2-2 pct af svovldioxidmængden, men afhænger i øvrigt af en hel række faktorer. Af disse kan nævnes vanadiumpentoxid og ferrioxid, der virker som katalysatorer. Visse råolier har et ikke uvæsentligt indhold af vanadium, og ferrioxid er en bestanddel af rust.

Også luftoverskuddet i selve flammen har indflydelse på den mængde svovltrioxid der dannes, idet der ved et lille luftoverskud, dvs høj CO<sub>2</sub>-pct i røgen, vil dannes en meget ringe mængde svovltrioxid, mens stigende luftoverskud vil give stigende mængder. Det må understreges, at det ikke er gennemsnittet af luftoverskuddet alene, som bevirker svovltrioxid-dannelsen, men ved ujævn forbrænding kan der optræde store luftoverskud lokalt i flammen.

Ved en given mængde svovlsyre i røggassen afhænger risikoen for korrosion af røggassens dugpunkt. Hvis røggassen var helt fri for svovltrioxid, ville dugpunktet være bestemt

Lavtemperaturkorrosion

Svovltrioxid

Katalysatorer

Luftoverskud

Dugpunkt

Maksimum

To minima

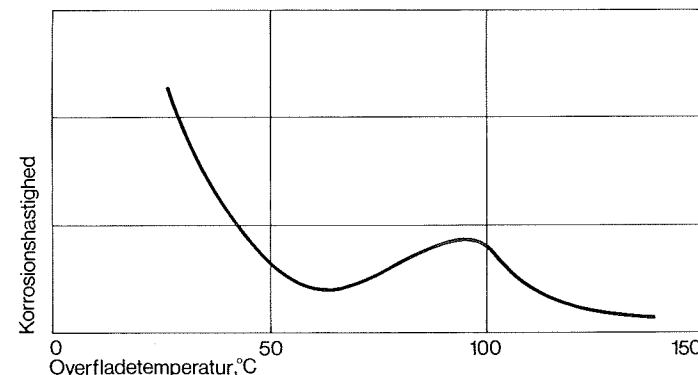
Temperatur

Isolering

Isolering

af vanddampens dugpunkt, som er 40-50 °C. Når der er svovltrioxid til stede, findes endnu et dugpunkt, der kaldes svovlsyre-dugpunktet, og som ligger væsentligt højere, omkring 125-150 °C.

Figur 34 viser korrosionshastigheden i røggasatmosfære i afhængighed af metaloverfladens temperatur. Kurven har et maksimum omkring 95 °C, hvilket hænger sammen med, at den maksimale svovlsyre fortættes ca 30 °C under dugpunktet for svovlsyren. Kurven har to minima. Det første findes omkring 60 °C, fordi to gunstige forhold her falder sammen. For det første er den udfældede mængde svovlsyre ret ringe, og for det andet har svovlsyren en koncentration, som ikke virker særlig kraftigt korroderende over for stål. Det andet minimum findes oven for 150 °C, og det optræder fordi udfældningen af svovlsyre ophører ved disse temperaturer.



Figur 34. Eksempel på hvordan korrosionshastigheden kan variere med overfladetemperaturen i en stålskorsten. Ændring af fyringsforholdene og af oliens svovlindhold kan dog medføre forskydninger i kurven, fx ligger maximum, som her er vist ved ca 95 °C, ofte ved 110-115 °C.

I skorstene udnyttes normalt det andet korrosionsminimum dels ved, at røggastemperaturen holdes tilstrækkelig høj, dels ved, at skorstenen udstyres med en tilstrækkelig god og omhyggeligt udført isolering, hvorunder det er vigtigt, at kuldebroer undgås.

## Materialer til stålskorstene

Det må forudsættes, at stålkerner til skorstene varmeisoleres effektivt, således at overfladetemperaturen holdes over syre-

dugpunktet ved normal drift. I det kritiske temperaturområde 90-130 °C korroderer kernen hurtigt uanset stålqualiteten.

Isolerede stålkerne udføres ofte af ulegeret, blødt stål. Det er imidlertid nærliggende at overveje, om man med fordel kan anvende mere korrosionsbestandige stålqualiteter eller overfladebeskyttet stål.

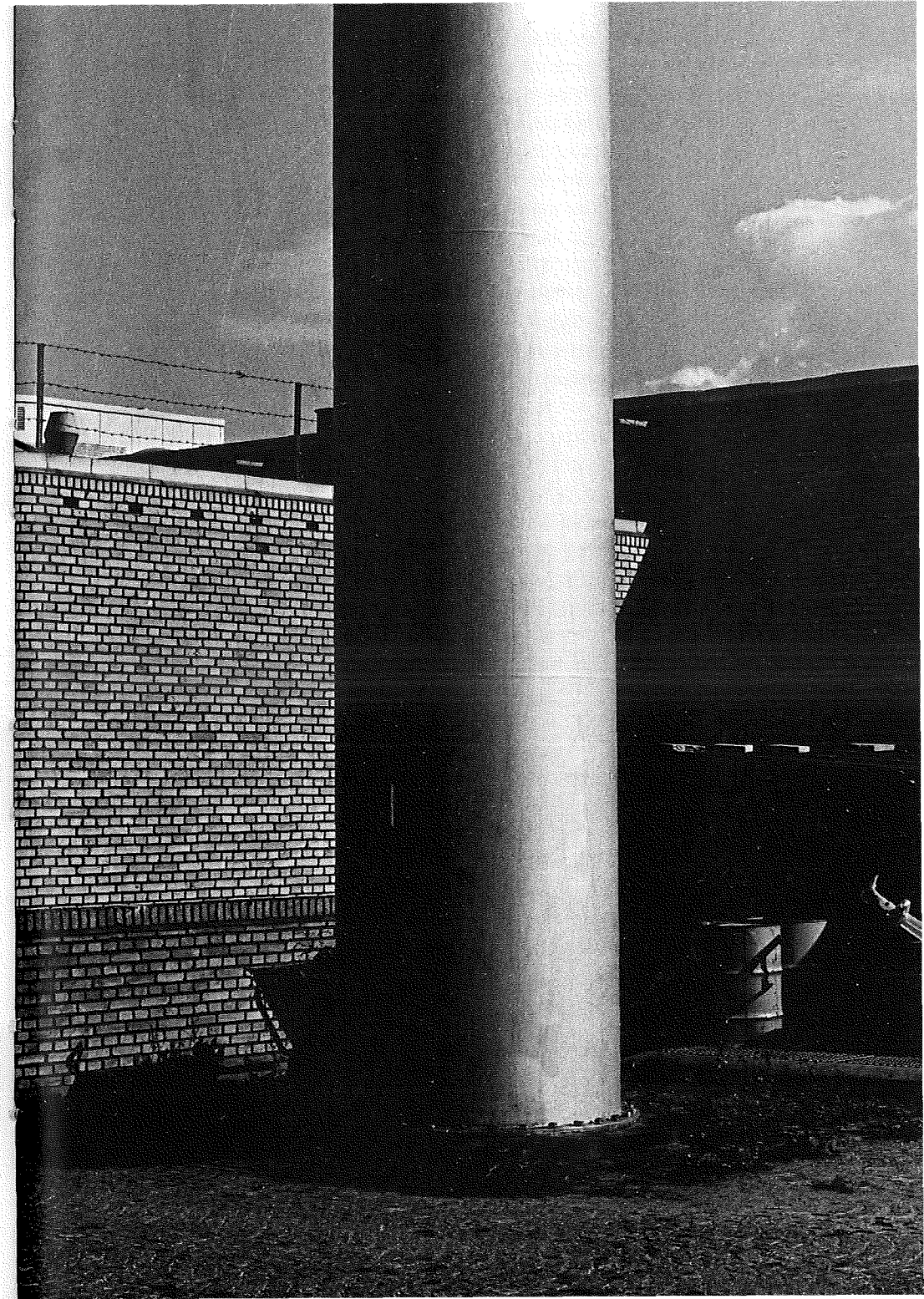
Lavtlegeret stål af typen Cor-Ten og CCP har væsentlig bedre korrosionsegenskaber end blødt stål ved temperaturer under 100 °C, men ved 150-200 °C synes forskellen at være meget lille, således at det næppe er økonomisk fordelagtigt at anvende det lavtlegerede stål til større skorstenskerne.

Højtlegerede stål af chrom-nikkel-typen har lavere korrosions-hastighed end blødt stål i temperaturområdet 150-200 °C, men materialeprisen er så meget højere, at det er tvivlsomt, om merprisen i almindelighed opvejes af den længere levetid, selv når muligheden for reduktion af godstykkelsen tages i betragtning.

Mindre skorstene er ofte kun røggaspåvirkede i 15-25 pct af driftstiden på grund af oliefyrenes intermitterende driftsform. Derfor har stilstandskorrosionen antageligt større betydning for disse skorstene. Samtidigt er røggassens svovlindhold gennemgående lavere ved de små anlæg. Erfaringen synes at vise, at rustfrit stål under disse driftsforhold er væsentligt mere bestandigt end blødt stål, og dette er baggrunden for, at bygningsmyndigheden nu tillader anvendelsen af små sektionsskorstene fremstillet af ganske tynd, rustfri plade. Lavtlegeret stål vil utvivlsomt også være bedre end blødt stål til små skorstene, men erfaringerne er endnu sparsomme.

Bygningsmyndigheden tillader også, at kerner til små skorstene fremstilles med reduceret godstykkelse, såfremt stålet er varmtaluminiseret. Begrundelsen er, at aluminisering i modsætning til forzinkning yder en korrosionsbeskyttelse, som er bestandig mod svovldioxid. Ved svejsning af varmtaluminiseret plade bør man bruge argon som beskyttelsesgas for at undgå oxidation af aluminiumbelægningen.

Figur 35. Aluminiumsprøjet stålkorsten efter 8 år i industriatmosfære.



Cor-Ten  
CCP

Højtlegerede stål

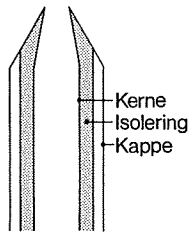
Belastning

Rustfrit stål

Aluminisering

Korrosionsrisiko

Konstruktion



Højtlegerede stål

Bly

Nederst

Øverst

### Skorstenstoppe

I toppen af en skorsten kan overfladetemperaturen falde til under svovlsyredugpunktet. Derfor er øverste del af kernen og inddækninger mellem kerne og kappe særligt udsatte for korrosion. Inddækninger kan desuden angribes, hvis der aflejres syreholdigt sod.

Korrosion i skorstenstoppen kan mindskes gennem konstruktion og materialevalg. En god konstruktion er skitseret på figur 36. Den indvendige kegle bevirker at røgen forlader skorstenen med høj hastighed, så røgfanen går fri af skorstenen og keglen på kappen bevirker dels at sod mv kun vanskeligt kan blive liggende og dels at soden bortskylles ved regnvejrr.

Figur 36. God udformning af skorstenstop. Kegleformen sikrer at røgen forlader skorstenen med høj hastighed, og at sod ikke bliver liggende, men skylles bort af regn.

Som materiale for skorstenstoppe og inddækninger anvendes ofte højtlegerede rustfri stål, fx stål med 20 pct chrom, 25 pct nikkel, 4-5 pct molybdæn og 2-3 pct kobber. Sådanne stål giver oftest tilfredsstillende resultater, men har alligevel kun begrænset bestandighed over for de svovlsyrekoncentrationer og temperaturer som kan forekomme ved skorstens-toppen. Man er derfor i nogen grad gået tilbage til igen at udføre inddækningerne af bly, som holder udmærket, og som må siges at være det metal, der har de bedste korrosionsmæssige egenskaber under disse forhold. Også den øverste del af skorstenskernen kan beklædes med bly, men man må så enten sørge for afløbsmuligheder for den kondenserede svovlsyre, eller føre blybeklædningen så langt ned at svovlsyren fordamper igen inden den når stålkernelen.

### Stigetrin og sikkerhedsudstyr

På den nederste del af skorstenen kan man regne med stort set normale atmosfæriske forhold, og stigetrin mv kan derfor beskyttes ved varmforzinkning eller maling. I nærheden af skorstenstoppen bør man derimod regne med at nedslag af svovl-

syre, svovldioxid og sod kan forekomme, og her bør udvendige installationer være bedre sikret mod korrosion. Eksempelvis udføres stigetrin på de øverste meter ofte af højtlegeret rustfrit stål, længere nede af rustfrit stål af almindelig 18/8-type, og endelig – måske på den nederste halvdel af skorstenen – af stål med gængs korrosionsbeskyttelse. Det er klart at korrosionssikring især er vigtig på eventuelle skjulte dele af det udvendige udstyr.

Rustfrit stål

På baggrund af hvad der tidligere er anført om rustfrit stål til kerne og top, virker det måske ulogisk at rustfrit stål her anbefales til det udvendige udstyr. Årsagen er den lavere temperatur, ved hvilken svovlsyre ikke er nær så aggressiv over for rustfrit stål. Desuden er rustfrit stål bestandig over for svovldioxid, som angriber ulegeret stål og varmforzinket stål. Men det må fremhæves at under uheldige forhold er heller ikke højtlegeret rustfrit stål sikkert mod korrosion, især ikke nær skorstenstoppen. Det er derfor under alle omstændigheder vigtigt at stigetrin og sikkerhedsudstyr inspiceres og afprøves omhyggeligt under opkltring, og man skal herunder være opmærksom på at der kan forekomme dybtgående, men lidet synlige angreb lige op mod skorstens-kappen, hvis der har løbet svovlsyre ned fra toppen.

Inspektion



Denne SBI-anvisning giver orientering om korrosion og vejledning i beskyttelse af de metaller, der indgår i dansk boligbyggeris konstruktioner. Formålet er at sætte læseren i stand til at vælge en hensigtsmæssig form for korrosionsbeskyttelse i en given konstruktion. Der advares også mod en række gængse fejl.