



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R49:1975

**Utvändig korrosion på
metallrör i husbyggnader**

Sven Bergström

Gunnar Brandt

Einar Mattsson

Kyösti Tuutti

Byggforskningen

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

Utvändig korrosion på metallrör i husbyggnader

S Bergström, G Brandt, E Mattsson & K Tuutti

Korrosionsskador på metallrör i byggnader, särskilt mineralullsisolerade stålrör i bjälklag är av mycket stor teknisk och ekonomisk betydelse, detta på grund av de sekundärskador som ofta blir följden av genomfrätningar i de inbyggda ledningarna. Skadorna är dock ej begränsade till mineralullsisolerade stålrör utan förekommer även på plastbelagda stålrör och på stålrör direkt ingjutna i betong.

Ett flertal skador av ifrågasvarande typ har beskrivits i facklitteraturen utan att några entydiga slutsatser om korrosionsförloppet kan ha ansetts blivit fastställda.

Bristen på kunskaper gör att lämpliga åtgärder i samband med byggprocessen ofta ej vidtages för att undvika dylika skador.

Syfte

Forskningsprojektets målsättning är att insamla sådan information rörande byggprocessen att den kan utgöra underlag för formulering av förslag till modifierade konstruktioner och sådana åtgärder under byggprocessen att risken för korrosionsskador nedbringas till lägsta möjliga nivå. De planerade anvisningarna avses i tillämpliga delar även kunna användas för ingjutna armeringsjärn.

Undersökningar

Arbetet har i första hand varit inriktat på att fastställa dagens tekniska kunskapsnivå dels genom sökning och utvärdering av relevant litteratur, dels genom utfrågning av lämpliga personer inom byggnadsbranschen. Den sistnämnda delen av undersökningen har vänt sig till såväl projekterande som producerande och förvaltande företag. Utfrågningen har främst varit inriktad på att få kännedom om nu använda konstruktioner och material samt frekvensen av inträffade skadefall för olika konstruktions- och materialval.

Resultat

Rör ingjutna i betong

Miljön i vanlig portlandcementbetong är normalt tillräckligt alkalisk för att skyd-

da det ingjutna stålet mot korrosion. Betongens pH-värde kan dock reduceras genom att inträngande koldioxid reagerar med den vid cementreaktionerna frigjorda kalciumhydroxiden (karbonatisering), varvid den korrosionsskyddande förmågan upphör. Karbonatiseringsfrontens inträngningshastighet är starkt beroende av betongens täthet mot gaser och vätskor. Även mängden kalciumhydroxid har viss betydelse. Faktorer som inverkar på betongens permeabilitet är bl a cementhalten, vattencementtalet och komprimeringsgraden.

Permeabiliteten minskar vid ökande cementhalt. Även mängden kalciumhydroxid ökar med cementhalten.

Cementpastans täthet bestäms i huvudsak av vattencementtalet. Huvuddelen av det tillsatta vattnet har ingen strukturell funktion utan bildar porer som ökar betongens porositet, speciellt dess kapillärporositet. Överskottsvattnets funktion är uteslutande att ge den färska betongmassan tillräckligt goda gjutegenskaper med ett minimum av cement. Undersökningen har visat att tätheten försämras väsentligt om vattencementtalet överstiger ~ 0,6.

En förutsättning för att den hårdnade betongen skall erhålla tillräcklig täthet är givetvis en fullständig komprimering. Ur korrosionssynpunkt är en "övervibrering" bättre än en "undervibrering". Eftervibrering är en metod som använts framgångsrikt, speciellt vid grova konstruktioner, för att öka den nygjutna betongens vattentäthet. Även risken för sättsprickor och kaviteter av vattenseparation minskas då. Man bör således eftersträva:

— ett vattencementtal som är lägre än ca 0,60, men för rör lägre än ca 0,50,
— en fullgod komprimering, gärna eftervibrering.

Sprickor i betong har ofta diskuterats. Huvudregeln är dock att sprickor mindre än 0,1 mm är ofarliga t o m i relativt korrosiv atmosfär. Grövre sprickor kan behöva åtgärdas i utomhusmiljö, t ex genom injektering.

Allmänt gäller att täcksiktets tjocklek bestämmer ingjutna ståldetaljers korrosionsskydd. Tillfredsställande resultat torde erhållas om de statliga betongbe-

Byggforskningen Sammanfattningar

R49:1975

Nyckelord:

metallrör, armeringsstäng, ingjutning, inbyggnad, korrosion

Rapport R49:1975 hänför sig till forskningsanslag 730072-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutet, Stockholm.

UDK 620.193
621.643.23
SfB (59)
ISBN 91-540-2481-1

Sammanfattning av:

Bergström, S, Brandt, G, Mattsson, E & Tuutti, K, 1975, *Utvändig korrosion på metallrör i husbyggnader*. (Statens råd för byggnadsforskning) Stockholm. Rapport R49:1975, 105 s., ill. 21 kr + moms.

Rapporten är skriven på svenska med svensk och engelsk sammanfattning.

Distribution:

Svensk Byggtjänst,
Box 1403, 111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60

Grupp: Konstruktion

stämmelserna följs. Man bör dock observera att maximala stenstorleken ej bör överstiga täcksiktets tjocklek.

Många rörskadorna har orsakats av felaktiga konstruktioner eller felaktigt utförande. Korrosionsskyddet kan t ex gå förlorat om det omgivande mediet fuktanrikas och rör inbäddats i två material, eller om rör blivit ofullständigt omgjutet då det ligger på ett betongunderlag.

Vid ingjutning av stålrör med plastbeläggning finns viss korrosionsrisk. Ofta tränger vatten in mellan ytskiktet och metallen. Detta sker via skarvar eller skador som uppstått vid monteringen. Därefter uppträder lokal punktfrätning som snabbt genomfräter godset.

Gjutfogar och tillsatsmedel som innehåller klorider kan ytterligare försämra korrosionsskyddet.

Korrosionshastigheten är direkt beroende av den omgivande miljön. Betongens elektrolytiska ledningsförmåga liksom luftpermeabiliteten bestäms av betongens vattenhalt, vilken i sin tur är beroende av luftens relativa fuktighet. Enligt teorier och erfarenhet är korrosionsriskerna störst mellan 60 och 90 % rf. I helt vattenmättad betong är korrosionsriskerna små. Orsaken till detta är den låga luftpermeabiliteten vid vattenfyllda porer.

Vad som ovan sagts om stål ingjutet i betong gäller även för stål ingjutet i lättballastbetong.

Vid ingjutning av andra metaller måste den alkaliska miljön beaktas. Speciellt varnas för ingjutning av aluminium. Man bör även observera att koppar angrips om betongen innehåller kloridjoner.

Som stöd för teorierna kan nämnas att för samtliga skadefall som utretts vid Cement- och Betonginstitutet har betongens permeabilitet och fukthalt haft avgörande betydelse för korrosionsprocessen.

Rör förlagda i värmeisoleringsmaterial

Allvarliga korrosionsskador på rör förlagda i isoleringsmaterial är i de flesta fall orsakade av lokala korrosionsangrepp till följd av uppkomster av luft-

nings- eller syrekonzentrationsceller. Syrekonzentrationskillnader kan uppkomma genom att rörytan endast lokalt är i kontakt med isoleringsmaterialet eller genom att isoleringsmaterialet är lokalt sammanpressat.

För att en syrekonzentrationscell skall kunna uppkomma fordras att vatten i flytande form får tillträde till isoleringen. Enbart en hög relativ fuktighet räcker ej om inte isoleringsmaterialet innehåller hygroskopiska salter som absorberar fukt och bildar en vätska. Vattenlösliga salter kan dessutom bidra till att korrosionsangrepp uppkommer genom att öka ledningsförmågan hos fuktfilmen eller genom att öka halten av sådana joner som medför risk för lokala angrepp.

Angreppshastigheten kan visserligen variera något för olika isoleringsmaterial, bl a beroende på olika halt av lösliga salter som påverkar ledningsförmågan, men det är i princip ringa skillnad mellan olika isoleringsmaterial varför det alltid föreligger risk för genomfrätning om isoleringsmaterialet blir fuktigt.

Flertalet av de skador som uppkommer till följd av yttre korrosion inträffar på cirkulationsvärmerör av stål. Genom att använda mer korrosionshårdiga material som t ex koppar och rostfritt stål skulle troligen de skador som uppkommer genom att cirkulationsvärmerör ligger förlagda i fuktiga isoleringsmaterial under byggnadstiden elimineras. En förutsättning är då att konstruktionen är utformad på ett sådant sätt att uttorkning kan ske då värmesystemet påkopplas. Vid långvarig förläggning i fuktiga isoleringsmaterial, t ex då man har kontinuerlig tillförsel av vatten från en läckande rörskarv, måste man dock räkna med att genomfrätning kan inträffa även på dessa material om förutsättningar för lokal korrosion är uppfyllda.

Ett sätt att skydda stålrören mot utvärdig korrosion är att förse dem med ett skyddsskikt av plast. Man måste då vara uppmärksam på att plastskiktet ej skadas vid förläggningen av rören. Om plastskiktet skadas och isoleringsmaterialet blir vått sker i sådana fall en snabbare korrosion där beläggningen är skadad än om röret ej är plastisolerat.

Ett annat sätt att undvika korrosionsskador är att utforma konstruktionen på ett sådant sätt att vatten och fukt ej får tillträde till isoleringen. Konstruktioner där rören placeras i ett poröst material mellan konstruktionsbetong och överbetong har visat sig ha en speciellt hög skadefrekvens. De porösa materialen utgörs oftast av sand, lättbetong eller mineralull.

Erfarenhetsmässigt vet man att det är mycket svårt att undvika fuktning av det material som omger rören under byggnadstiden. Fukt kan tillföras konstruktionen vid regn eller då betongen vattenhårdas. Korrosionsskadornas omfattning är direkt beroende av den tid som erfordras för att torra isoleringsmaterialet närmast rörytan. Uttorkningen kan påskyndas om rören uppvärms i ett tidigt skede. Den är dock oftast mycket svår att genomföra.

Skador uppkommer även under förvaltningstiden för denna typ av konstruktioner. I dessa fall tillförs fukt från läckande rörskarvar och hushållsmaskiner.

Om rörförläggningen sker efter det att husstommen färdigstälts elimineras byggfukten som sannolikt är den vanligaste orsaken till yttre korrosionsskador på rör. Rören måste då förläggas fritt eller i speciella ursparingar. Denna konstruktion medför ytterligare fördelar genom att eventuell fuktning av isoleringsmaterialet under förvaltningstiden upptäcks i ett tidigt skede, innan allvarliga korrosionsskador hunnit uppkomma och att eventuella reparationer avsevärt förenklas.

Konklusion

Med hänsyn till de särskilda riskerna för läckageskador till följd av korrosionsangrepp, då rör förläggs ingjutna i betong eller med dolt utförande i värmeisoleringsmaterial, är det angeläget att ingjutning i betong eller annan dold förläggning av rör i korrosionskänslig miljö inte företas annat än då särskilda skäl föranleder detta. Om ingjutning eller annan dold förläggning i speciella fall anses nödvändig måste konstruktion och arbetsutförande noggrant kontrolleras.

External corrosion in metal pipes in residential structures

S Bergström, G Brandt, E Mattsson & K Tuutti

Corrosion damage to metal pipes in buildings, especially steel pipes with mineral wool insulation which are buried in floor slabs, is of great engineering and economic significance, owing to the secondary damage which often results from disintegration of buried pipe lines. However, damage is not confined to pipes with mineral wool insulation, but also occurs in steel pipes with a plastics coating and in steel pipes directly embedded in concrete.

Several cases of damage of this kind have been described in technical literature, but it cannot be said that unambiguous conclusions have been drawn concerning the corrosion process.

Owing to the lack of knowledge, appropriate measures for the prevention of such damage are often not taken in conjunction with the building process.

Object

The object of this research project is to collect information concerning the building process, such that it may form the basis for the formulation of proposals for modifications to design and for measures to be taken during the building process in order that the risk of corrosion damage may be reduced to the least possible level. It is intended that the planned recommendations should also, as and when appropriate, be used in conjunction with reinforcing steel.

Investigations

The primary purpose of the work was to ascertain present standards of technical knowledge by search and evaluation of relevant literature, and also by interviewing the people concerned in the building trade. The latter part of the investigation made contact with firms both in the design field and in the construction and management fields. The main purpose of the interviews was to obtain knowledge concerning structures in use at present and of the frequency of damage to different kinds of structures and materials.

Results

Pipes cast into concrete

In the normal case, the environment in common Portland cement concrete is sufficiently alkaline to protect against corrosion the steel embedded in it. The pH value of the concrete can however be

reduced by reaction of external carbon dioxide with the calcium hydroxide produced in the course of cement reactions (carbonation), which causes the corrosion protection effect to cease. The rate of penetration of the carbonation front is greatly dependent of the permeability of concrete to gases and liquids, and the quantity of calcium hydroxide also has some significance. Factors which influence permeability of the concrete are the cement content, water-cement ratio and the degree of compaction, etc.

Permeability diminishes as the cement content increases. The quantity of calcium hydroxide also increases as the cement content rises.

The permeability of the cement paste is mainly determined by the water-cement ratio. Most of the added water has no structural function, but forms pores which increase porosity of the concrete, especially its capillary porosity. The exclusive function of the excess water is to make the green mass of concrete sufficiently workable with the minimum quantity of cement. Investigations have shown that there is a considerable increase in permeability if the water-cement ratio exceeds about 0.6.

One of the essential conditions in order that the hardened concrete should have sufficient impermeability is complete compaction. From the point of view of corrosion, excessive vibration is preferable to insufficient vibration. Revibration is a method which is used with success, especially in large structures, in order to increase watertightness of the concrete. This process also reduces the risk of settlement cracks and cavities due to separation of water. To achieve low porosity, the following is recommended.

- the water-cement ratio should not be greater than about 0.6 and in the case of pipes, not greater than about 0.5;
- revibration may be used to give better compaction.

Cracks in concrete have often been the subject of discussion. It is however the general rule that cracks less than 0.1 mm are not harmful, even in a relatively corrosive atmosphere. If necessary, larger cracks outdoors can be repaired, e.g. by grouting.

Generally speaking, it is the thickness of the cover which determines the corrosion protection of the embedded steel details. Satisfactory results will be obtained if the Standard Specifications are

Swedish Building Research Summaries

R49:1975

Key words:

metal pipes, reinforced steel, embedment, corrosion

Report R49:1975 refers to research grant 730072-1 from the Swedish Council for Building Research to Korrosionsinstitutet, Stockholm.

UDK 620.193
621.643.23
SfB (59)
ISBN 91-540-2481-1

Summary of:

Bergström, S, Brandt, G, Mattsson, E & Tuutti, K, 1975. *Utvändig korrosion på metallrör i husbyggnader*. External corrosion in metal pipes in residential structures. (Statens råd för byggnadsforskning.) Stockholm. Report R49:1975, 105 s., ill. 21 kr + moms.

The report is in Swedish with Swedish and English summaries.

Distribution:

Svensk Byggtjänst,
Box 1403, S-111 84 Stockholm
Sweden

complied with. It should however be noted that the maximum size of aggregate should not exceed the thickness of the cover.

Much damage to pipes has been due to faulty design or faulty workmanship. For instance, corrosion protection may vanish if the surrounding medium becomes damp and the pipe has been embedded in two materials, or if a pipe on a concrete base has an incomplete surround.

There is a certain risk of corrosion when a plastics-coated steel pipe is embedded. Water often penetrates between the coat and the metal. This takes place at joints or sites of damage caused during placing. This is rapidly followed by pitting.

Construction joints and additives containing chlorides can further reduce the efficiency of corrosion protection.

The rate of corrosion is directly dependent on the ambient environment. The electrolytic conductivity of concrete and also its airtightness are determined by the water content of the concrete, which in turn depends on the relative humidity of air. According to theory and experience, the risk of corrosion is greatest between 60 % and 90 % RH. In completely saturated concrete, the risk of corrosion is small; when the pores are filled with water, the material is very airtight.

The above concerning steel embedded in concrete also holds for steel embedded in lightweight concrete.

When other metals are embedded, the alkaline environment must be borne in mind. Particular care must be taken in conjunction with aluminium. It should also be noted that copper is attacked if the concrete contains chloride ions.

It may be mentioned in support of these theories, that in all cases of damage investigated by the Cement and Concrete Research Institute, permeability and moisture content of the concrete were found to be critical with regard to the corrosion process.

Pipes laid in thermal insulation material

Serious damage to pipes laid in insulation material is in most cases due to local corrosion caused by oxygen concentration cells. Differences in oxygen concentration may be due to the pipe surface

being in only local contact with the insulation material, or to local compression of the insulation material.

In order that an oxygen concentration cell may be set up, it is necessary for water in the liquid state to have access to the insulation. A high relative humidity on its own is not sufficient, unless the insulation material contains hygroscopic salts which absorb moisture and form a liquid. Water-soluble salts can also promote corrosion attack by increasing the conductivity of the film of moisture, or by increasing the concentration of ions which involve a risk of local attack.

Although the rate of attack may vary somewhat in different insulation materials, for instance due to differences in the concentration of soluble salts which affects the conductivity, there is in principle little difference between different insulation materials, and there is therefore always a risk that corrosion will penetrate the pipe if the insulation material becomes wet.

A lot of damage which occurs as a result of external corrosion is to steel heating pipes. It is probable that by using materials which are more corrosion resistant, such as copper and stainless steel, much of the damage due to heating pipes being laid in moist insulation material during the construction period, could be eliminated. It is however essential that the design is such that the material can dry out when the heat is turned on. If a pipe is however left in moist insulation material for a long time, for instance when there is a continuous supply of water from a leaky joint, it is to be expected that corrosion will penetrate the pipe even in these materials, if conditions are favourable for local corrosion.

One way of protecting steel pipes against external corrosion is to give them a protective coating of plastics. Care must then be taken to ensure that this coat is not damaged when the pipe is placed in position. If the plastics coat is damaged and the insulation material becomes wet, corrosion will be more rapid at the point where the coating is damaged than if the pipe had been given no plastics coating.

Another way of preventing corrosion

damage is to design the installation in such a way that water and moisture cannot penetrate the insulation. Structures in which the pipes are placed in some porous material between structural concrete and topping concrete have been found to have a particularly high frequency of damage. Such porous material is mostly sand, lightweight concrete or mineral wool.

It is known by experience that it is very difficult during the construction period to prevent material surrounding the pipes from getting wet. Moisture can penetrate the structure during rain or when the concrete is being cured. The extent of corrosion damage is directly dependent on the time needed to dry the insulation material next to the pipe surface. Drying out is accelerated if the pipe is warmed up at an early stage, but this is in most cases very difficult to do.

In this type of structure, damage occurs even during the management period. In these cases, moisture is received from leaky joints and household machines.

If pipes are laid after completion of the building frame, then it is possible to eliminate construction damp which is probably the most common cause of external corrosion damage to pipes. The pipes must be laid exposed or in special chases. This type of construction has the additional advantage that any moisture in the insulation material which is found during the management period is discovered at an early stage before serious damage has been caused, and any repair which becomes necessary can be carried out much more easily.

Conclusions

In view of the special risks of damage due to leaks as a consequence of corrosion attacks when pipes are embedded in concrete or placed inside insulation material and covered over, it is important that, in a corrosive sensitive environment, pipes should not be embedded in concrete or laid out of sight unless there are special reasons for this. If, in special cases, it is considered that embedment or some other kind of concealment is necessary, then design and workmanship must be very thoroughly checked.

R49:1975

UTVÄNDIG KORROSION PÅ METALLRÖR I HUSBYGGNADER

Sven Bergström
Gunnar Brandt
Einar Mattsson
Kyösti Tuutti

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730072-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutets Forsknings- och utvecklingslaboratorium, Stockholm.

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
ISBN 91-540-2481-1

LiberTryck Stockholm 1975

INNEHÅLL

BETECKNINGAR	5
1 BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING	6
2 AKTUELLA KORROSIONSTYPER	8
2.1 Allmän korrosion	8
2.2 Lokal korrosion	8
2.3 Spaltkorrosion	8
2.4 Avlagringskorrosion	9
2.5 Spänningskorrosionssprickning	9
2.6 Korrosionsutmattning	10
2.7 Galvanisk korrosion	10
2.8 Läckströmskorrosion	12
2.9 Korrosion i aktiv-passiv-celler	12
3 ENKÅT INOM BYGGNADSRANSCHEN	13
4 KORROSION PÅ METALL DIREKT INGJUTEN I BETONG . .	22
4.1 Korrosionsmekanismer	22
4.2 Inverkan av betongens egenskaper	23
4.2.1 Betongkvalitet	27
4.2.2 Sprickor	47
4.2.3 Utförande	51
4.3 Inverkan av yttre faktorer	64
4.3.1 Karbonatisering - pH	64
4.3.2 Fukt	67
4.3.3 Temperatur	70
4.3.4 Salter	70
4.4 Lättballastbetong	70
4.5 Korrosion på icke-järnmetaller	74
4.6 Skadefall som utretts av CBI:s uppdragsfunktion .	76
4.7 Skyddsåtgärder	78
4.7.1 Skyddande ytskikt på metallen	78
4.7.2 Minskning av omgivande miljöns korrosivitet . . .	80
4.7.3 Katodiskt skydd	80
4.7.4 Konstruktiva åtgärder	80
5 KORROSION PÅ RÖR OMGIVNA AV ISOLERINGSMATERIAL .	82
5.1 Korrosionsmekanismer	82
5.1.1 Luftningsceller	82
5.1.2 Galvanisk korrosion	83
5.1.3 Läckströmskorrosion	83
5.2 Inverkan av värmeisoleringsmaterialets egenskaper	85

5.2.1	Hygroskopiska salter	86
5.2.2	Korrosiva salter	87
5.3	Inverkan av yttre faktorer på korrosionshastigheten	89
5.3.1	Fukt	89
5.3.2	Temperatur	90
5.4	Rörmaterialets betydelse	90
5.5	Skadefall som utretts av KI eller rapporterats i litteraturen	91
5.6	Korrosionshindrande åtgärder	96
5.6.1	Metallens egenskaper	96
5.6.2	Minskning av miljöns korrosivitet	96
5.6.3	Ytbehandling	96
5.6.4	Konstruktiva åtgärder	97
6	SLUTORD	98
	REFERENSER	101

BETECKNINGAR

t	tid	år
x	karbonatiseringsdjup	mm
p	porositet	%
c	cementhalt	kg/m ³
l	lufthalt	%
α	hydratationsgrad	
vct	vattencementtal	

1. BAKGRUND OCH MÅLSÄTTNING

Korrosionsskador på metallrör i byggnader, särskilt mineralull-isolerade stålrör i bjälklag är av stor teknisk och ekonomisk betydelse, detta på grund av de sekundärskador som ofta blir följden av genomfrätningar i de inbyggda ledningarna. Skadorna är dock ej begränsade till mineralullisolerade stålrör utan förekommer även på plastbelagda stålrör och på stålrör direkt ingjutna i betong.

Ett flertal skador av ifrågavarande typ har beskrivits i facklitteraturen utan att några entydiga slutsatser om korrosionsförloppet kan ha ansetts blivit fastställda.

Det bedöms emellertid som möjligt att genom lämpliga åtgärder i samband med byggprocessen undvika dylika skador eller åtminstone nedbringa skaderisken till låg nivå.

Mot denna bakgrund startades ett projekt med syfte att formulera förslag till sådana åtgärder under byggnadsprocessen att risken för korrosionsskador på metallrör i husbyggnader nedbringas till lägsta möjliga nivå. De planerade anvisningarna avses i tillämpliga delar kunna användas även för ingjutna armeringsjärn.

Undersökningarna har utförts inom Korrosionsinstitutet under medverkan av Cement- och Betonginstitutet och Hagconsult AB.

Forskningsanslag har för projektarbetet utgått från Statens Råd för Byggnadsforskning.

Arbetet har bedrivits med stöd av en arbetsgrupp inom Korrosionsinstitutets utskott 6 - Korrosion i jord.

Arbetsgruppen har haft följande sammansättning:

avd dir T Norell, Statens planverk, ordf
 fil mag G Dahlstedt, Korrosionsinstitutet, sekr
 prof S G Bergström, Cement och Betonginstitutet
 bergsing G Brandt, Korrosionsinstitutet
 ing J Fritz, Rockwool AB
 ing S Holmkvist, Svenska Riksbyggen
 civ ing S Hultsjö, Hagconsult AB
 dir C-O Morfeldt, Hagconsult AB
 civ ing K Tuutti, Cement- och Betonginstitutet
 ing A Östman, Svenska Riksbyggen

Arbetet har i första hand varit inriktat på att fastställa dagens tekniska kunskapsnivå dels genom sökning och utvärdering av relevant litteratur, dels genom utfrågning av sakkunniga personer inom byggnadsbranschen.

Litteratursammanställningen är utförd av K. Tuutti, Cement- och Betonginstitutet, och G. Brandt, Korrosionsinstitutet, och behandlar metaller ingjutna i betong resp rör inlagda i värmeisoleringsmaterial.

Opublicerad information har insamlats genom utfrågning av experter inom byggnadsbranschen. Denna del av undersökningen har för att man skall få en så allsidig belysning av problematiken som möjligt riktats till såväl projekterande som producerande och förvaltande företag. Utfrågningen har främst varit inriktad på att få information om nu använda konstruktioner och material samt frekvensen av inträffade skadefall för olika konstruktions- och materialval.

2. AKTUELLA KORROSIONSTYPER

Inledningsvis skall kortfattat beskrivas de korrosionstyper som förekommer i detta sammanhang (1).

2.1 Allmän korrosion

Den allmänna korrosionen förlöper med ungefär samma hastighet på hela den yta som är utsatt för korrosivt medium. Den leder därför till relativt jämn avfrätning. Den allmänna korrosionens omfattning kan anges genom viktförlusten per ytenhet eller genom medelfrätningen, som är medeldjupet av det bortfrätta ytskiktet. Det kan bestämmas genom direkt uppmätning eller genom beräkning av viktförlusten per ytenhet, då materialets densitet är känd. Allmän korrosion kommer vanligen till stånd genom verkan av korrosionsceller utan särskiljbara anod- och katodytor.

Vid allmän korrosion står materialets korrosionshårdighet och den därav beroende användbarheten vanligen i direkt samband med medelfrätningen per år.

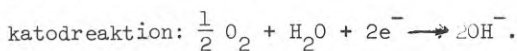
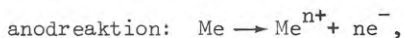
2.2 Lokal korrosion

Korrosion som är koncentrerad till vissa begränsade delar av den yta som är utsatt för korrosivt medium kallas lokal korrosion. Om angreppet utgörs av frätgropar med liten utbredning, kallas den lokala korrosionen punktfrätning eller gropfrätning. Vid lokal korrosion verkar i allmänhet korrosionsceller med särskiljbara anod- och katodytor.

Lokal korrosion medför ofta svårare skador än allmän korrosion, därigenom att den relativt snabbt kan leda till genomfrätning. Detta gäller i synnerhet punktfrätning.

2.3 Spaltkorrosion

I trånga, vätskefyllda spalter finns tendens till lokal korrosion, som kallas spaltkorrosion. Denna korrosion är en följd av att vätska lätt samlas och kvarstår i sådana spalter. Därtill kommer att en luftningscell ofta bildas i en spalt, där vätskeströmningen är försvårad. Luftningscellen är en typ av koncentrationscell som är baserad på att syrehalten är väsentligt högre vid spaltmynningen än i spaltens inre, dit syretransporten är långsam. Luftningscellen verkar som en korrosionscell med elektrodreaktionerna:



I denna korrosionscell är anod- och katodytorna åtskilda, så att det anodiska angreppet försiggår i spaltens inre, medan syrereduktionen sker vid spaltmynningen, där syretillförseln är god. Spaltkorrosionsprocessen sammanhänger i regel med att pH-sänkning inträffar i spalten.

Spaltkorrosion kan förekomma på de flesta metaller. Risken för spaltkorrosion bör dock särskilt beaktas på metaller vilkas korrosionsbeständighet är avhängig av passivering genom närvaro av en tunn, skyddande oxidfilm på ytan. Till dessa metaller hör de rostfria stålen. Eftersom syrehalten i spaltens inre är låg, upprätthålls inte metall-ytans passivering där. Detta medför nedsatt korrosionshårdighet.

Spaltkorrosion uppträder inte bara vid spalter mellan närliggande ytor av samma metall utan även vid anliggning av metall mot icke-metalliskt material. En kombination av spaltkorrosion och galvanisk korrosion kan äga rum, om två olika metaller ligger an mot varandra.

2.4 Avlagringskorrosion

Avlagringskorrosion uppkommer under icke-metalliska avlagringar och beläggningar (fig 1). Den orsakas av att fukt hålls kvar i och under avlagringen eller beläggningen. Eftersom vätskeströmningen är försvårad, uppkommer luftningsceller, vilka framkallar korrosion på liknande sätt som vid spaltkorrosion.

2.5 Spänningskorrosionssprickning

Spänningskorrosionssprickning är en korrosionstyp som uppkommer genom samverkan mellan statiska dragspänningar i ett material och ett specifikt korrosionsmedium. Spänningskorrosionssprickning kan under ogynnsamma förhållanden uppträda hos ett stort antal legeringstyper, däremot inte hos renmetaller.

Det är endast mekaniska dragspänningar över en viss kritisk storlek som orsakar spänningskorrosionssprickning. Mekaniska tryckspänningar är däremot ofarliga i detta avseende. Dragspänningarna kan vara:

- restspänningar, som finns kvar från en tidigare kalldeformation eller
- tillsatsspänningar, pålagda genom direkt belastning.

Det korrosionsmedium som medverkar till spänningskorrosion är specifikt för legeringstypen:

- för kolstål: nitrater,
- för austenitiskt rostfritt stål: klorider, bromider, svavelväte, alkali (vid hög temperatur),
- för aluminiumlegeringar: klorider,
- för kopparlegeringar: ammoniak och liknande kväveföreningar samt kvicksilver och kvicksilverföreningar.

I ett flertal fall har konstaterats att korrosionsmomentet vid spänningskorrosionssprickning består av en elektrokemisk process.

Spänningskorrosion ger upphov till sprickor, som kan vara:

- transkristallina, dvs med ett förlopp tvärs igenom de kristallkorn, varav materialet är uppbyggt eller
- interkristallina, lokaliserade till materialets korngränser.

Sprickorna kan leda till att materialstycket brister. Spänningskorrosionssprickning kännetecknas därvid av sprött brott. Detta innebär, att någon kontraktion inte sker vid brottstället såsom vid segt brott.

2.6 Korrosionsutmattning

Då ett material utsätts för växlande belastning, kan skadliga förändringar uppkomma i materialet, även om belastningen är väsentligt mindre än materialets brottgräns. Belastningsväxlingar kan sålunda i ogynnsamt fall leda till sprickbildning och brott. Denna typ av skada kallas utmattning. Angreppet kan avsevärt påskyndas, om korrosion sker samtidigt med utmattningen. Man talar då om korrosionsutmattning.

Tiden tills utmattnings- eller korrosionsutmattningsbrott inträffar är beroende dels av antalet belastningsväxlingar, dels av belastningens storlek. Samhörande värden på dessa storheter för uppnående av brott kan sammanfattas i en s k Wöhler-kurva (fig 2).

Hos vissa metaller, t ex stål, inträffar inte utmattningsbrott, hur stort antalet belastningsväxlingar än blir, under förutsättning att påkänningen består i ren utmattning och belastningen är mindre än ett visst värde, utmattningsgränsen (fig 2). Vid korrosionsutmattning finns emellertid inte någon utpräglad utmattningsgräns såsom antyds i fig 2.

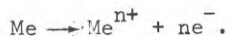
De sprickor som uppkommer vid utmattning och korrosionsutmattning är i regel transkristallina, raka, oförgrenade och breda. Vid korrosionsutmattning uppträder de vanligen flera tillsammans i kolonier men är vid utmattning ofta fåtaliga.

2.7 Galvanisk korrosion

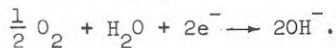
Galvanisk korrosion uppkommer genom verkan av en bimetallcell, dvs en galvanisk cell, där elektroderna består av olika material. De kan utgöras av två olika metaller eller av en metall och ett annat elektronledande material, t ex grafit eller magnetit (fig 3).

För att korrosionscellen skall verka fordras att området kring gränslinjen mellan materialen är täckt med elektrolytlösning. I en korrosionscell med två olika metallelektroder blir den ädlare metallen katod och den oädlare anod.

I fråga om elektrodreaktionerna kan sägas att anodreaktionen består i metalloxidation, t ex enligt:



Katodreaktionen består i reduktion, vanligtvis av i elektrolytlösningen löst syrgas enligt:



Det blir således endast det oädlare materialet (anoden) som angrips. Galvanisk korrosion innebär med andra ord, att i närvaro av elektrolytlösning, korrosionshastigheten hos en metall ökas genom metallisk kontakt med ett ädlare material. Detta beror på att reduktionsreaktionen sker lättare på det ädlare materialet än på den oädlare metallen samtidigt som katodytan ökas.

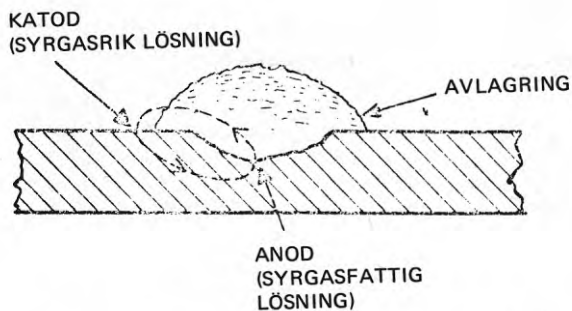


Fig. 1. Principen för avlagringskorrosion.

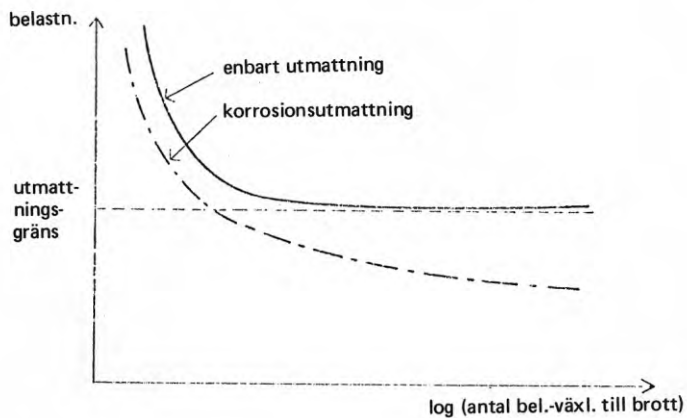


Fig. 2. Wöbler-kurvor avseende utmattning och korrosionsutmattning hos stål.

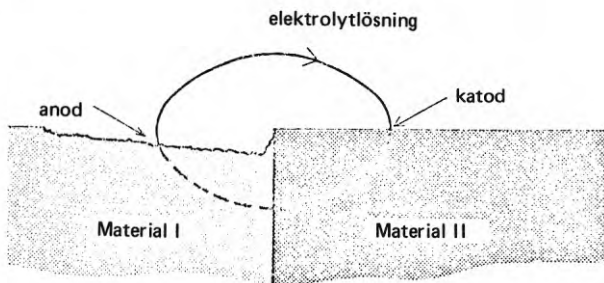


Fig. 3. Korrosionscell vid galvanisk korrosion.

2.8 Läckströmskorrosion

Denna typ av korrosion orsakas av läckström från en elektrisk anläggning, t ex ett kraftnät eller en elektrisk bana med någon del ansluten till jord. Det är i allmänhet likström som ger upphov till läckströmskorrosion.

I fig 4 visas hur läckströmskorrosion kan uppkomma i en stålrörsledning invid en elektrisk bana driven med likström. En del av strömmen, läckströmmen, återleds inte till strömkällan genom järnvägsskenan såsom avsett utan tar vägen genom jorden, där stålrörsledningen är belägen. Eftersom stålröret har relativt god elektrisk ledningsförmåga, kommer en del av läckströmmen att övergå till röret. I närheten av strömkällan utträder strömmen åter ur röret.

2.9 Korrosion i aktiv-passiv-celler

En vanlig orsak till lokala korrosionsangrepp är bildningen av så kallade aktiv-passiv-passiv-celler. Till aktiv-passiv-celler kan räknas de korrosionsceller, som uppstår mellan metall och glödskal eller vals-hud då denna är skadad. Aktiv-passiv-celler kan även bildas där metallen är i kontakt med två olika material samtidigt, t ex cementbruk och gips.

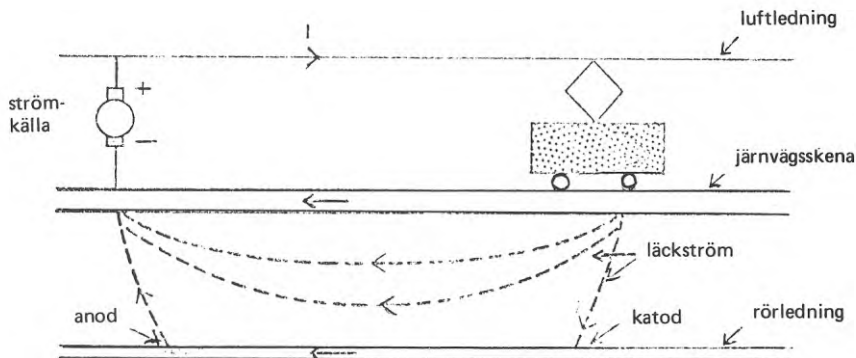


Fig. 4. Läckströmskorrosion vid likströmsbana.

3. ENKÄT INOM BYGGNADSRANSCHEN

Inom projektet har utförts en serie intervjuer med utvalda representanter för projekterande, producerande och förvaltande företag inom byggnadsbranschen. Avsikten har varit att få en uppfattning om frekvensen av rörskador orsakade av yttre korrosion samt att få kännedom om olika konstruktioners lämplighet.

De företag som tillfrågats är:

ABV-Vägförbättringar AB
 AB Göteborgshem
 AB Stockholmshem
 BPA-Byggproduktion AB, VVS-avdelningen
 Calor-Celsius AB
 FKI - Konsulter AB
 Göteborgs Stads Bostads AB
 HSB:s Riksförbund
 Kungl. Byggnadsstyrelsen
 Malmö Kommunala Bostads AB
 Nordiska Värme & Sana
 Riksbyggen
 Skånska Cementgjuteriet
 Stockholms Läns Landstings Fastighetsnämnd
 Sundsvalls Värme & Sanitet
 Svenska Bostäder AB
 Svenska Industribyggen AB
 Theorells Ingenjörbyrå AB

Dessa företag utgör tillsammans 10 projekterande, 11 producerande och 9 förvaltande organisationer.

Följande frågor har ställts:

- Vilka rörmaterial användes idag för förbrukningsvatten och cirkulationsvärme?
- Vilka typer av konstruktioner användes för rörförläggningen?
- Vilka motiv ligger bakom valet av konstruktion?
- Har det inträffat fall av yttre korrosion?

Enkätsvaren skall här i korthet refereras.

ABV-Vägförbättringar AB - Företaget producerar framför allt småhus men även andra byggnader i hela Sverige. Produktionen av flerfamiljshus avslutades år 1970.

Man använder plastisolerade kopparrör för tappvattensystemet och stålrör för värmesystemet.

I huvudsak används friliggande konstruktioner av produktionstekniska skäl. Tidigare använde man konstruktioner med ingjutning av oisolerade rör i betong. Dessa har ej vållat några problem.

Man hade nyligen ett inträffat skadefall som var under utredning. Gröna rör var förlagda i ett isolerskikt av lättklinker mellan konstruktions- och överbetongen. Den troligaste orsaken till korrosionsskadorna är fuktanrikning i lättklinkern under byggnadstiden.

AB Göteborgshem - Företaget projekterar, producerar och förvaltar hyreshus, radhus och centrumanläggningar i Göteborgsregionen. Man förvaltar för närvarande ca 37 000 lägenheter.

Man använder i huvudsak friliggande konstruktioner av produktionstekniska skäl men även den ökade användningen av förtillverkade betongelement minskar naturligtvis möjligheterna till ingjutning. Värmesystemet görs helt friliggande. Sanitetssystemet förläggs horisontellt friliggande och vertikalt används slitsar. Ingjutning av stålrör förekommer över huvud taget ej. Däremot ingjuts kopparrör. Erfarenhetsmässigt vet man att varmförzinkade rör och kopparrör har en ungefärlig livslängd av 35 år.

Man kände till ett skadefall där vatten från en läckande koppling trängt in mellan plast och rör på ett plastisolerat stålrör.

AB Stockholmshem - Företaget förvaltar ca 35 000 lägenheter i Stockholmsområdet.

För tappvattensystemet används huvudsakligen koppar men även varmförzinkade rör kan förekomma för kallvatten. För cirkulationsvärmesystemet används stålrör. Stämledningarna förläggs i slitsar som fylls med stenull (med hänsyn till ljudisoleringskravet). Fördelningsledningarna förläggs fritt.

Korrosionsskador hade man råkat ut för i några fall:

- erosionskorrosion på tunnväggiga plastbelagda kopparrör; kopparrören var förlagda i lättbetong och det utströmmande vattnet orsakade utväändig korrosion
- sprickning i en expansions slinga som av misstag blivit ingjuten
- utväändig korrosion på värmeslingor i betong p g a av att slingorna vid ingjutningen lagts på bräder.

Man påpekade också att ofta inträffar läckage från disk- eller tvättmaskin som väter rörisoleringen. Genom att rören inte är lätt åtkomliga (olämpligt placerade slitsar och liknande) får man onödiga kostnader vid byte av rör.

BPA - Byggproduktion AB - BPA bedriver ett omfattande utvecklingsarbete med nya rörförläggningssystem, där tyngdpunkten ligger på produktionsanpassning och korrosionsskydd.

Detta har lett till att man idag ej utnyttjar ingjutna stålrör i någon form. De tillämpade systemen är dels utanpåliggande stålrör, dels i undantagsfall ingjutna kopparrör med eller utan plastisolering, dels ett eget system där rör förläggs i ursparingar av förzinkade plåtrör i betong. Vid det senare systemet används kall- och varmvattenrör av plast eller samtliga rör av mjukt stål (Wirsborör).

Några fall av utvändig korrosion hade man ej haft med undantag av en utförandemiss vid ursparingssystemet.

Calor-Celsius AB - Calor-Celsiuskoncernen har ca 2 800 anställda. Huvudverksamheten, rörinstallationer, fördelar sig med ca 60 % på VVS-entreprenader för bostäder, skolor, kontor och dylikt och ca 30 % på industrikunder som cellulosaindustri och petrokemisk industri. Företaget arbetar över hela Sverige och även utomlands.

För tappvattensystemet används enbart kopparrör, medan man för värmesystemet använder gröna rör till stamledningarna och tunnväggiga stålrör till kopplingsledningarna. Stamledningarna förläggs oftast i schakt, medan kopplingsledningarna förläggs friliggande.

Korrosionsskador kände man till i ett fall där man hade gjutit in isolerade värmerör i ett skyddsrumsvälv i ett bostadshus. Läckage uppstod ca ett år efter det att värmen påkopplats. Skadan förorsakades troligen av byggnadsfukt.

FKI - Konsulter AB - Hos FKI-Konsulter projekterar man idag byggnader med cirkulationsvärmerör av stål som ej gjuts in. Motivet är dels produktionstekniska fördelar, dels ett önskemål att undvika termiskt betingade spänningar. Korrosionsrisken beaktas dock i så måtto att man, där ingjutning krävs, föreskriver koppar. Trots denna principiella inställning förekommer och beaktas ännu byggherrekraV på ingjutning av stålrör. Rören isoleras i sådana fall med papp för minskning av de termiskt betingade spänningarna.

Man hade ej några erfarenheter av utvändig korrosion på ingjutna rör.

Dessutom framfördes åsikten att man, i varje fall för kontors- och affärshus, har en utveckling mot luftburen värme, vilket helt eliminerar behovet av ingjutna rör.

Göteborgs Stads Bostads AB - Företaget producerar och förvaltar flerfamiljsbostäder. Man förvaltar 24.000 bostäder och producerade 1700 bostäder 1972 i Göteborgsområdet.

Man använder kopparrör för varm- och kallvatten och stålrör för värmesystemet.

Stamledningarna förläggs i allmänhet i slitsar och fördelningsledningarna fritt. Ingjutning av stålrör förekommer ej. Däremot ingjuts plastisolerade kopparrör.

De fall man under senare tid haft av utvändig korrosion var alla orsakade av läckande rörskarvar. År 1958 inträffade dock ett fall av utvändig korrosion på ingjutna stålrör i närheten av armeringsjärnen. Skadefallet blev dock aldrig utrett. Troligen orsakades korrosionsangreppen av ofullständigt komprimerad betong mellan armering och rör.

HSB:s Riksförbund - Företaget producerar, projekterar och förvaltar familjebostäder och egnahem i hela Sverige. Man hade t o m 1973 en sammanlagd produktion av ca 334 000 lägenheter och ca 14 000 egnahem.

För närvarande och sedan cirka 10 år tillbaka används i huvudsak friliggande konstruktioner för värmerör och materialet är nästan alltid stål.

För tappvatten används kopparrör som vanligen förläggs i slits eller schakt och isoleringen utgörs av mineralull. Friliggande kopplingsledningar utförs ibland av kopparrör med plastmantel. I källare, vid serviceintag och vattenmätare, förekommer kallvattenrör av plast.

Under se senaste året har inrapporterats en skada på värmerör förlagda i lättklinkerunder bjälklagsplatta på 1-plansvillor. Vatten steg upp till rören beroende på hög grundvattennivå eller dålig dränering.

Förläggning av rör i lättklinkerundviks, då man har dåliga erfarenheter av sådan förläggning.

Kungl. Byggnadsstyrelsen - KBS projekterar ej VVS-anläggningar själva, utan utnyttjar konsulter. Man har under senare år byggt flera byggnader med värmerör av stål som ingjutits i konstruktionsbetong eller överbetong endera direkt eller med isolering av papp eller mineralull + papp.

Korrosionsproblem kände man till i ett fall (kv Garnisonen), där mineralulls- och pappisolerade stålrör i betong efter något års användning börjat läcka kraftigt, uppenbarligen som följd av utvändigt korrosion. Orsaken är inte klarlagd ännu, men torde sammanhånga med läckage i dragna eller bristfälligt tätade rörskarvar, vilket medfört fuktning av mineralullsisoleringen.

Denna erfarenhet har orsakat ett generellt förbud inom KBS mot all ingjutning av stålrör i betong. Där ingjutning måste ske kräver man kopparrör. Motivet är alltså enbart korrosionsrisken, även om de produktions tekniska fördelarna med utanpåliggande rörförläggning också underströks.

Tre skadefall har vidare rapporterats per brev från Kungl. Byggnadsstyrelsen. Det ena skadefallet hänför sig till förläggning av mineralullsisolerade gröna rör som placerats i en ursparing i konstruktionsbetongen. Ursparingen var sandfylld och övergjuten med betong, Rören var dessutom omgivna av diffusionstät papp som fasthållits med järntråd. Enligt skaderapporten har isoleringsmaterialet troligen fuktanrikats under byggnadstiden. I rapporten som utförts av rörentreprenören, uttrycks detta som "Man får erfarenhetsmässigt anta att den sand i vilken rören förlägges är fuktig". Den sannolika skadeorsaken angavs vara galvanisk korrosion mellan rör och utanpåliggande järntråd. Det förefaller dock troligare att korrosionsangreppet accelererats genom att mineralullen lokalt pressats samman under järnträden, varvid man fått s k luftningsceller.

I det andra skadefallet hade man placerat mineralullsisolerade stålrör i sand i en ränna av lättklinker. Den primära skadeorsaken är enligt skaderapporten fuktning av isoleringsmaterialet i samband med gjutning av övergolvet.

Slutligen rapporterades ett skadefall av ingjutna mineralulls isolerade stålrör. Den sannolika skadeorsaken var i detta fall sprickbildning i en svets på en olämplig ingjutning. Huvudledningen hade expanderat, medan avgrenade rörledningar varit fast fixerade. Det utströmmande vattnet orsakade utvändigt korrosion.

Malmö Kommunala Bostads AB - Företaget förvaltar ca 18 000 lägenheter i Malmöområdet (1972). Vid telefonförfrågan meddelades att inga fall av yttre korrosion har inträffat.

Nordiska Värme & Sana - Företagets verksamhetsområde är hela Sverige och på senare tid har en inriktning skett mot industribyggen.

Utvecklingen går mot friliggande konstruktioner, ingjutning förekommer över huvud taget ej.

Korrosionsskador till följd av yttre korrosion hade man haft i ett äldre fall då man förlagt rören i masugnsslagg. Vidare hade man haft ett flertal fall av läckande skarvar. Dessa hade i några fall orsakat yttre korrosion på plastisolerade stålrör, eftersom vatten trängt in mellan plast och stålrör.

Riksbyggen - Företaget projekterar flerfamiljshus, ålderdomshem och barndaghem i hela Sverige. Man förvaltar för närvarande ca 180 000 lägenheter. Man har en projekteringsavdelning bestående av 500 anställda, varav 130 arbetar med installation och energi.

För tappvattensystemet användes koppar och även plaströr för kallvatten, för cirkulationsvärmesystemet används stålrör och tunnväggiga plastbelagda stålrör.

Man använder dels friliggande konstruktioner, dels ett eget utvecklat system med rörutsparringar. Man anser att det är orationellt att gjuta in rören, eftersom de endast har en livslängd på ca 30 år mot husstommens ca 100 år.

Skadefall har inträffat för mer än 15 år sedan med stålrör förlagda i Siporex-kross och koksslagg. Dessa isoleringsmaterial är dock numera förbjudna. Vidare hade man haft ett utförandefel vid användning av rörutsparringar, så kallade spirorör. Ytterröret, som var utfört i varm-förzinkad plåt, hade gjutits in i betongen på ett sådant sätt att naturlig dräneringsmöjlighet saknades. Vatten hade samlats i ytterröret. Några månader efter det att värmesystemet tagits i bruk skedde en kraftig utvändigt korrosion på innerröret, som var ett tunnväggigt elförzinkat stålrör. En bidragande orsak till den snabba korrosionen kan ha varit att zink vid högre temperatur i vissa fall blir ädlare än järn. Galvanisk korrosion inträffar då på det elförzinkade stålröret. Även en skada på ingjutna värmeledningsrör rapporterades. Vid undersökningen konstaterades att betongen var mycket porös. Detta orsakades av ett högt vattencementtal. En porös betong karbonatiserar lätt, varvid betongens pH-värde reduceras. I detta fall uppmättes betongens pH-värde till 7 mot normalt 12. Betongen har i sådant fall ingen korrosionsskyddande förmåga.

Skånska Cementgjuteriet - Vid telefonsamtal meddelades att ingjutning av rör undviks. Som skäl angavs husstommens längre livslängd jämfört med rörens och att friliggande konstruktioner också medför produktions- tekniska fördelar.

Det enda skadefall man kunde rapportera hade inträffat på ett plast-isolerat stålrör. Vid ett läckage i en rörskarv erhöll man en vatten-inträngning mellan plast och stålrör vilken medförde genomfrätning av röret.

Stockholms Läns Landstings Fastighetsnämnd - Vid telefonförfrågan meddelades att man inte kände till något aktuellt fall av yttre korrosion på rör. Tidigare har emellertid skadefall inträffat vid rorförläggning i porösa byggnadsmaterial som slagg och lättbetongkross. Skadorna var i de flesta fallen orsakade av skarvläckage.

Sundsvalls Värme & Sanitet - Företaget utför entreprenadarbeten inom Stockholmsområdet. Ca 40 man är sysselsatta med nyinstallationer.

Man förlägger i allmänhet rören friliggande men ingjutning förekommer dock fortfarande till ca 10 %. Man önskade ett förbud mot ingjutning av isolerade rör. Under de senaste 14 åren har ca 50 skadefall inträffat, i år 3 st. Enligt företaget är det nästan helt omöjligt att er-hålla en torr isolering vid förläggning av mineralullsisolerade rör. Det är fukten under byggnadstiden, exempelvis regn, som orsakar de flesta skadorna. Om man inte har möjlighet att omedelbart värma rören, inträffar yttre korrosion redan under byggnadstiden. Vid ingjutning av oisolerade rör har det dock inte inträffat några skadefall.

Svenska Bostäder AB - Företaget producerar, projekterar och förvaltar flerfamiljshus och småhus. Ungefär 25 % av produktionen omfattar småhusbebyggelse. Man förvaltar för närvarande ca 40.000 lägenheter och byggde ca 1000 lägenheter 1973. Företaget är geografiskt begränsat till Stockholm med omgivningar.

För tappvattensystemet används kopparrör och för cirkulationsvärme-systemet stålrör och tunnväggiga kopparrör.

AB Svenska Bostäder har tidigare arbetat med ingjutna stålrör för cirkulationsvärme. Isolering har endera skett med mineralull + papp eller genom ingjutning i cellbetong.

Man använder idag i stor utsträckning en konstruktion där rören förläggs i slitsar så att de är utbytbara och lätt åtkomliga. Ingjutning av rör undviks och när det förekommer används heldragna plastisolerade kopparrör. Valet av koppar för ingjutning motiveras endast av korrosionsrisken vid stålrör. Tidigare har man haft problem med skarvarna. Numera är de kapillärlödda och medför ej några problem.

Utanpåliggande rörsystem är ekonomiskt och produktionstekniskt till-talande då de möjliggör en separering av byggande och installation. Dessutom undviker man temperaturspänningar i systemet och därmed sam-manhängande problem.

Tunnväggiga stålrör ansågs olämpliga på grund av att skador på plast-skiktet är svåra att undvika under byggnadstiden samt på grund av risken för vatteninträngning vid skarvar. I båda fallen uppstår punktfrätning som snabbt genomtränger godsväggen.

Bland de skadefall som rapporterades var ett fall där rören förlagts i lättklinker i en ursparing i betongen. Lättklinkern hade fuktanriktas p g a vatteninträngning via en tröskel varefter skadorna var ett faktum. Flera skadefall hade inträffat i tvåskiktsgolv där rören legat i ett isoleringsskikt av sand eller slagg. Rören hade i dessa fall lagts på klotsar av lättbetong eller trä. Den primära skadeorsaken var inläckande vatten från kök eller badrum under brukstiden. Man hade också råkat ut för flera fall av sprickning av rör p g a statiska påkänningar. Rören hade ej monterats med rörlig skarv som rekommenderades av rörtillverkaren.

Slutligen önskade man bestämmelser för förläggning av cirkulationsvärmesystemer då det nu endast föreligger Arbetarskyddsstyrelsens bestämmelser för tryckkärn på området.

Svenska Industribyggen AB - Företaget producerar företrädesvis småhus och industribyggnader i hela Sverige. Årsomsättningen är i storleksordningen 1 miljard, varav kostnaden för rörinstallationer uppgår till 100-150 miljoner.

Idag används huvudsakligen koppar för tappvattensystemet och stål för cirkulationsvärmesystemet. I allmänhet använder man friliggande konstruktioner och undviker ingjutning. Motiveringen till detta är framför allt produktionstekniska fördelar, men det valda förläggningssättet innebär också en avsevärd förenkling vid reparation och eventuell modernisering av systemet. Ett annat vägande skäl är att livslängden för husstommen beräknas till ca 100 år medan livslängden för rörsystemet erfarenhetsmässigt är ca 30 år, dvs man räknar med att byta rörsystemet under husets livstid.

Ingjutning av mineralullsisolerade rör förekommer över huvud taget ej då denna konstruktion anses mycket riskabel. Konstruktioner där värmesystemer av stål ingjutas i betong har använts. Ett exempel som kan nämnas är Arlandahallen som fungerat klanderfritt i 17 år. Rören placerades i nämnda byggnad på distansklotsar av betong, så att man lätt kunde komprimera betongmassan runt rören.

Skadefall till följd av yttre korrosion har inträffat:

- på ingjutna mineralullsisolerade rör
- i samband med förläggning av rör i Siporex-kross (numera förbjudet)
- till följd av galvanisk korrosion vid ingjutning av olika material
- på ingjutna skarvar då dessa ej har varit täta.

Theorells Ingenjörbyrå AB - Företaget projekterar VVS-anläggningar för hela Sverige. Av dessa utgör industrier 60 %, kontor 25 %, sjukhus 12 % och bostäder 3 %.

För tappvattensystemet används koppar och plastbelagda kopparrör. För värmesystemet används stålrör till stamledningarna och plastbelagda kopparrör till serviceledningarna.

Av korrosionsskäl används numera friliggande konstruktioner.

En konstruktion som medfört många skadefall är förläggning av gröna rör i sand. Ofta har allvarlig korrosion inträffat eftersom rören ej har uppvärmts i tid, så att sandens uttorkningstid blivit lång. Det är då ur korrosionssynpunkt bättre att gjuta in dem i betong. Brustna kopplingar utgör en stor felkälla, ofta inträffar detta på nya produkter som ej provats. Det har också inträffat att kopplingarna brustit p g a tryckstötar. Korrosionsskador på grund av kondensation har också inträffat på friliggande oisolerade rör, förlagda i källare. Detta medför ej genomfrätningar men fula ytor.

Beträffande industriinstallationer kan sägas att man tillämpar speciallösningar för varje enskilt fall, emedan förhållandena är så olika. Mijön kan exempelvis bestå av aggressiv atomsfär vid betkar och liknande.

På sjukhus används friliggande konstruktioner då man har stora krav på flexibiliteten, man beräknar en livslängd av 10-15 år för rörinstallationen och 40-50 år för byggnaden.

Sammanfattning - Med ledning av de utförda intervjuerna kan följande slutsatser dras.

Ingjutning eller icke utbytbar förläggning av rör för tappvattensystem förekommer sällan. VA-byggnormen ställer särskilda krav ifråga om material, skarvetoder och arbetsutförande, då ledning skall förläggas som ej utbytbar. Därför har man ej heller problem med utvändig korrosion i sådana system.

Med ingjutning av rör avses enligt gängse terminologi flera olika typer av förläggningar:

- ingjutning av rör i direkt kontakt med betong
- förläggning av rör i sand, lättbetong eller annat material mellan konstruktionsbetong och överbetong
- förläggning av rör i ursparing i konstruktionsbetongen med efterföljande övergjutningar.

Ingjutning av rör för cirkulationsvärme förekommer bland de intervjuade företagen med ett undantag numera endast i begränsad omfattning och i flera företag över huvud taget ej. De huvudtyper av ledningar som används idag för cirkulationsvärme är:

- friliggande stålrör
- utbybara stålrör förlagda i rörursparingar
- undantagsvis ingjutning av kopparrör, med eller utan plastisolering.

Huvudmotivering för den ökade användningen av friliggande konstruktioner för cirkulationsvärmerör är framför allt produktionstekniska fördelar. Också andra skäl framhålls som:

- livslängden på rören är betydligt kortare än husstommens; många uppgiftslämnare har angett ett förhållande av 30/100 år
- avsevärd förenkling vid eventuell reparation och modernisering av systemen
- minskad risk för yttre korrosion
- användning av förtillverkade betongelement.

Övergången från ingjutna till friliggande konstruktioner har medfört att antalet korrosionsskador till följd av yttre korrosion avsevärt har minskat.

Där ingjutning av rör för cirkulationsvärme förekommer har konstruktioner där rören placeras i ett poröst material mellan konstruktionsbetong och överbetong visat sig ha en speciellt hög skadefrekvens. Orsaken till detta är primärt att isoleringsmaterialet blir fuktigt. De porösa materialen utgörs oftast av sand, lättklinker eller mineralull.

Erfarenhetsmässigt vet man att det är mycket svårt att undvika att det material som omger rören blir fuktigt under byggnadstiden. Fukten kan tillföras konstruktionen vid regn eller då betongen vattenhärddas. Korrosionsskadornas omfattning är direkt beroende av den tid som erfordras för att torka isoleringsmaterialet närmast rörytan. Uttorkningen kan påskyndas om rören uppvärms i ett tidigt skede. Detta är dock oftast mycket svårt att genomföra.

Skador uppkommer även under förvaltningstiden för denna typ av konstruktion. I dessa fall tillförs fukten från läckande rörskarvar och hushållsmaskiner.

Ingjutna rör i betong tycks däremot inte ha vållat några skador utom vid direkta utförandefel. Exempel på sådana fel är:

- rör upplagda på porösa material såsom trä, lättbetong m m
- felaktig betongsammansättning
- ofullständig komprimering av betongmassan närmast metallytan.

Följande avsnitt behandlar då ej annat anges korrosion på stål och järn i betong. Korrosion på icke järn-metaller behandlas i avsnitt 4.5.

Teoretiskt sett kan ingen korrosion inträffa om stålet är fullkomligt tät ingjutet, oavsett närvaron av föroreningar, kloridjoner m.m. Att korrosion trots allt förekommit tyder på att även vad man i normala fall anser som tät betong dock icke är så tät att den förhindrar luftens syre att tränga in till stålet. Däremot kan korrosionsangreppen minieras genom val av rätt betongkvalitet.

För att betongen skall nå tillräcklig täthet fordras:

- a) viss grad av täthet hos cementpastan och ballasten
- b) ett riktigt utförande med avseende på täcksikt, komprimering, härdning och arbetsteknik
- c) eventuellt ytbehandling med tätande medel.

De skadeanmälningar och uppdrag som Cement- och Betonginstitutet har fått visar dock att korrosionsskador på rör av vanligt handelsstål ingjutna i betong, är en viktig skadegrupp. Det kan antingen vara värmeledningsrör eller luftcirkulationsrör. Skador på sådana anläggningar kan ske mycket snabbt. I ett par fall har värmeslingor i golv fått bytas ut innan byggnaden tagits i bruk. Skador av denna art är mycket obehagliga på grund av följdsador på närliggande material och de tidskrävande och komplicerade reparationsarbetena.

Tre stadier i korrosionsprocessen kan särskiljas. Först ses bruna fläckar på betongytan. Hos vertikala konstruktionsdelar åstadkommer rostvattnet bruna ränder som totalt förstör betongytans estetiska struktur. Sedan uppstår longitudinella sprickor. Sprickorna ökar korrosionshastigheten ytterligare p g a större möjligheter för föroreningar, syre, CO₂ m m att nå stålytan, varefter betongskiktet sprängs sönder. I slutstadiet avspjälkas betongskiktet och armeringen fri-läggs helt, Atimtay och Ferguson (2).

4.1 Korrosionsmekanismer

Aktiv-passiv-celler - Korrosion på metall ingjuten i betong är ofta orsakad av bildningen av aktiv-passiv-celler. Portlandcementbetongen är alkalisk och på grund härav bildas på stålet ett passiverat ytskikt. Om passiviteten lokalt upphävs t ex genom karbonatisering av betongen uppkommer korrosionsceller på grund av den stora potentialskillnaden mellan passiverat och opassiverat stål. Aktiv-passiv-celler kan även förekomma där metallen är i kontakt med två olika material samtidigt, t ex betong och värmeisoleringsmaterial eller där kontakten mellan stålet och betongen ej är fullständig beroende på dålig komprimering.

Luftningsceller - Korrosion till följd av att syrekoncentrationen är olika på skilda delar av metallytan kan uppkomma vid förekomsten av sprickor i betongen. Syrekoncentrationen vid stålets yta i sprickan är högre än i betongen intill sprickan.

Galvanisk korrosion - Vid ingjutning av olika metaller i betong bör man observera att de ej ligger för nära varandra eller står i metallisk kontakt med varandra, eftersom det då föreligger risk för galvanisk korrosion.

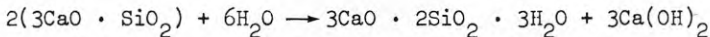
Läckströmskorrosion - Läckströmmar kan även orsaka korrosion på stål ingjutet i betong. Så har t ex stålplåarna vid elektriska järnvägar korroderat i sina betongfundament.

4.2 Inverkan av betongens egenskaper

Betong består av stenmaterial med varierande kornstorlek vilket sammanbinds av cementpastan. Cementpastan består av cement och vatten. Ibland tillsätts olika typer av tillsatsmedel för att väsentligt förändra den färiska och hårdnande betongens egenskaper.

De cement som används inom betongtekniken kan ha ganska varierande sammansättning och egenskaper. I Sverige används mestadels portlandcement, vars variation i sammansättning och egenskaper ej har någon större betydelse ur korrosionssynpunkt. Det övervägande antalet cementtyper hör också till familjen portlandcement. Portlandcementets väsentligaste beståndsdelar är oxider av kalcium, kisel, järn och aluminium.

Vid reaktionerna mellan cement och vatten ombildas den ursprungliga suspensionen av cementkorn i vatten till gel, som gradvis bildar den kontinuerliga fasen i cementpastan. Reaktionerna kan beskrivas med ett antal formler, t ex



Reaktionsprodukterna är tobermorit och fri kalciumhydroxid. Cementpastan är därför alkalisk med ett pH-värde mellan 12 och 13.

En del av vattnet fixeras som icke förångningsbart. Det icke förångningsbara vattnets volym är ca 25 % mindre än för fritt vatten. Detta orsakar en kontraktion av cementpastan. Efter några timmar är massan så styv att kontraktionen inte kan ske. Detta ger upphov till kontraktionsporer. I själva gelen uppstår även porer, gelporer, med en storlek från ca 2-3 Å. Vatten utöver det icke förångningsbara och utöver den del som fixeras i gelporerna, gelvatten, bildar kapillärporer, se fig 5, 6, 7 och 8, Bergström (3).

Betongens porositet varierar starkt bl a beroende på sammansättning, arbetsteknik m m. Det är emellertid inte enbart den totala porositeten som är utslagsgivande för materialens egenskaper, utan det sätt på vilket porssystemet är utformat och i första hand då porform och porstorleksfördelning, se fig 8. Stora genomgående porer ger t ex hög permeabilitet och vid minskande porstorlekar minskar permeabiliteten. Som senare kommer att ses har permeabiliteten en avgörande betydelse ur korrosionssynpunkt, Bergström, Nielsen, Ahlgren och Fagerlund (4).

Betongens porositet, P, kan uttryckas enligt Bergström (5):

$$P = \frac{C}{10}(vct - 0,19\alpha) + 1 \%$$

där C = cementhalten i kg/m³

vct = vattencementtalet

$$\alpha = \text{hydratationsgraden} = \frac{\text{hydratiserat cement}}{\text{ursprunglig mängd cement}}$$

dvs α anger det stadium till vilket reaktionerna hunnit vid viss tidpunkt

l = lufthalten i %

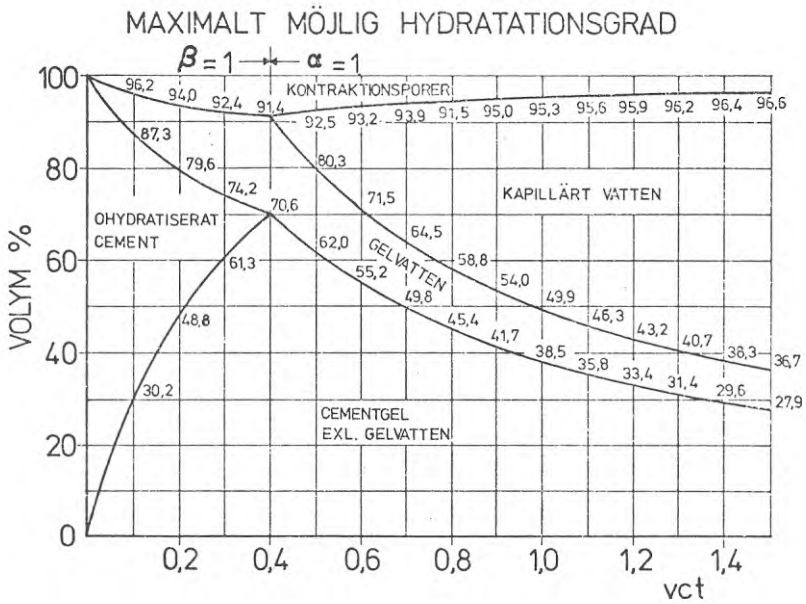


Fig 5. Volymfördelning av cementpastans beståndsdelar vid maximalt möjlig hydratationsgrad, $vct \geq 0,40$. (3)

Hydratationsgraden α definieras som förhållandet mellan hydratiserad och ursprunglig cementmängd.

Faktorn β anger hur stor del av den maximalt möjliga hydratationsgraden cementpastan uppnått då $vct \geq 0,40$.

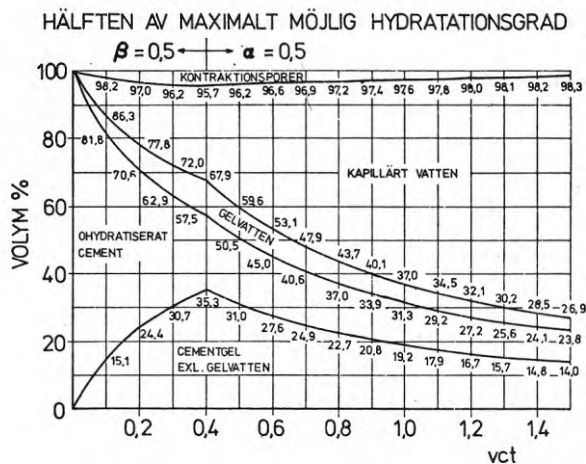


Fig 6. Volymfördelning av cementpastans beståndsdelar vid hälften av maximalt möjlig hydratationsgrad, vct 0,40. (3)

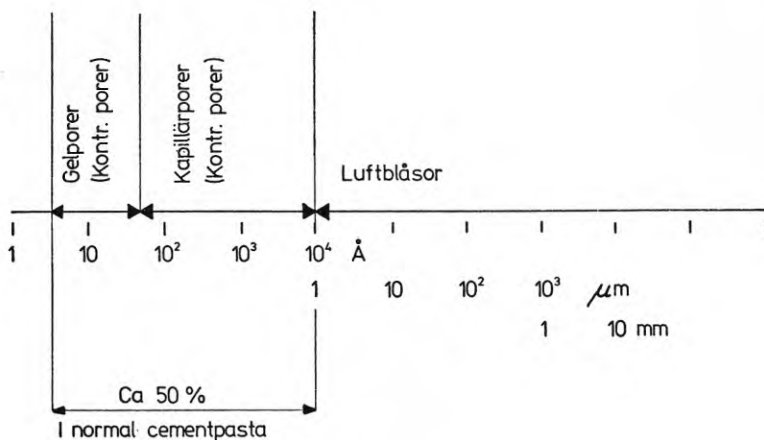


Fig 7. Ungefärlig storlek på porerna i cementpastan.

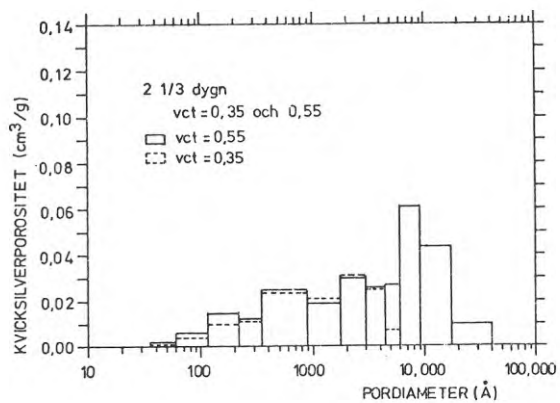


Fig 8. Porstorleksfördelningen vid varierande vct. (70)

I denna formel har ballastens porositet försumrats. Detta är en tillåten approximation för svenska bergartsmaterial, däremot inte för lättballast.

Miljön i vanlig portlandcementbetong är således normalt tillräckligt alkalisk för att skydda det ingjutna stålet mot korrosion genom passivering. Passiviteten kan emellertid brytas om pH-värdet i betongens vattenfas närmast stålet blir reducerat. Alkaliteten kan förändras genom karbonatiseringen eller inträngande föroreningar.

4.2.1 Betongkvalitet

I de statliga betongbestämmelserna menas med betongkvalitet, betongens egenskaper med avseende på tryckhållfasthet, vattentäthet, frostbeständighet m m, dvs önskvärda egenskaper hos betongen. Med anledning härav indelas konstruktionerna i grupper som är beroende av omgivande miljö. Ur korrosionssynpunkt önskas låg permeabilitet för gaser, vätskor och föroreningar. Detta åstadkoms genom sänkning av porositeten, speciellt de grövre porerna, de så kallade kapillärporerna.

Permeabilitet - Vid praktiskt betongarbete kan man ej uppnå den höga täthet som man i laboratorium uppmätt på cementpasta, se fig 9. Den kraftiga ökningen vid ökat vct orsakas av kapillärporernas ökning, se fig 10. Då man vid tillverkningsprocessen använder tät natursten och lika tät cementpasta måste permeabilitetsökningen bero på svaghet i beröringsytan mellan de båda komponenterna och iblandningen av luftblåsor, se fig 10a. Fullständig täthet erfordras emellertid inte för att armeringen skall skyddas mot allvarliga korrosionsangrepp. Även kemiska angrepp på den hårdnade betongen genom utlösning, kemisk omsättning eller genom kombination av båda, minimeras då betongen har låg permeabilitet för gaser och vätskor. I det följande beskrivs hur delmaterialens egenskaper och inbördes proportioner och typer påverkar ovanstående egenskaper.

Cementtyp - Varierande mängder kalciumhydroxid bildas med olika cementtyper, så t ex bildas mindre mängd kalciumhydroxid med Portland-slaggcement än med ren portlandcement. I hydratiserad Portland-puzzolancement reduceras $\text{Ca}(\text{OH})_2$ genom reaktioner med puzzolanen. Även cementets förmåga att reducera eventuell kloridkoncentration i betong beror sannolikt på mängden kalciumaluminat, se fig 11, Steinour (6).

Hur cementtypen påverkar permeabiliteten visas i fig 12. Normalt väntar man sig inget utpräglat minimivärde, vilket förekommer vid vct 0,49. Resultaten visar också att bl a luftinnehållet vid detta vattencementtal var speciellt lågt, vilket överensstämmer med hållfasthetsvariationerna. Eventuella skillnader i permeabilitet synes vara marginella. Ur samma betongsatser göts även balkar. Dessa besprutades dagligen med en 3-procentig saltlösning, dvs en mycket korrosiv miljö. Armeringsdimensionen, cementhalten och vattencementtalet varierades. Resultatet visas i fig 13. Förklaringen till varför cementtyp III gav en mindre angripen yta ges av den höga halten trikaliumaluminat, dels bildades en större kalciumhydroxidmängd, pH-värdet ökade, dels reducerades kloridkoncentrationen.

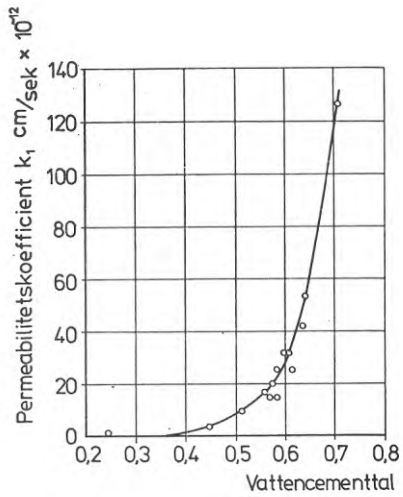


Fig 9. Cementpastans vattengenomsläpplighet sedan hydratiseringen praktiskt taget avslutats. (7)

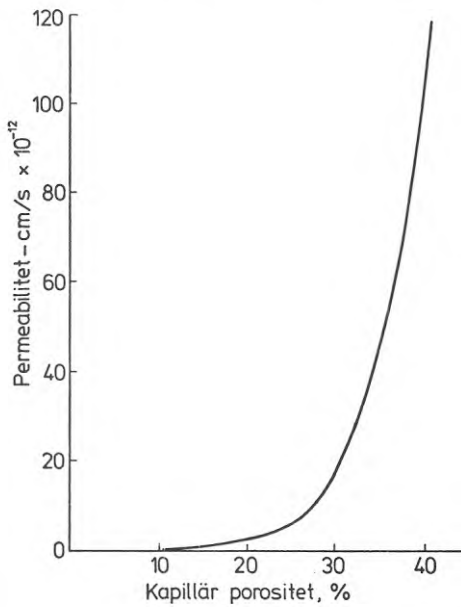


Fig 10. Cementpastans permeabilitet med varierande kapillär porositet. (34)

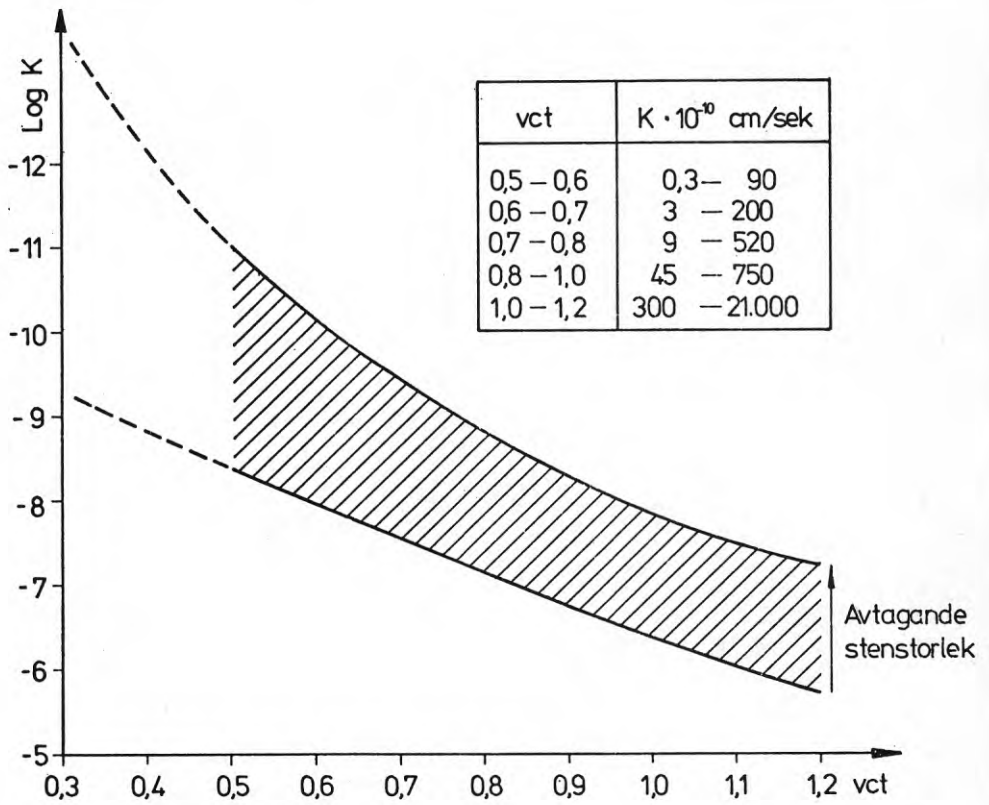


Fig 10a. Permeabilitetskoefficienten för betong och bruk. (18)

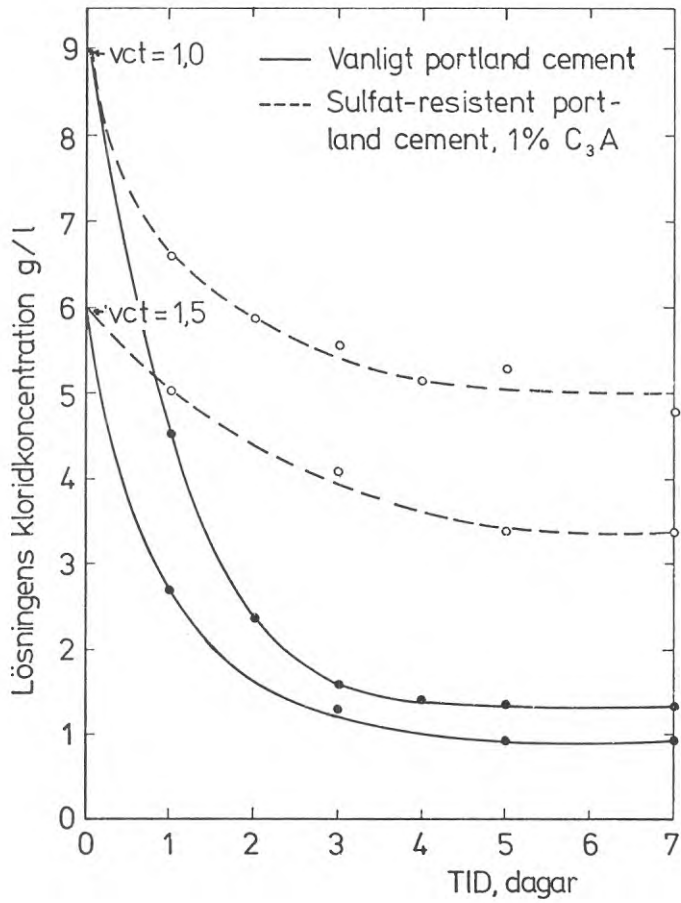


Fig 11. Kloridkoncentrationen som funktion av tiden. 1,4% CaCl₂ av cementvikten har tillsatts.

(6)

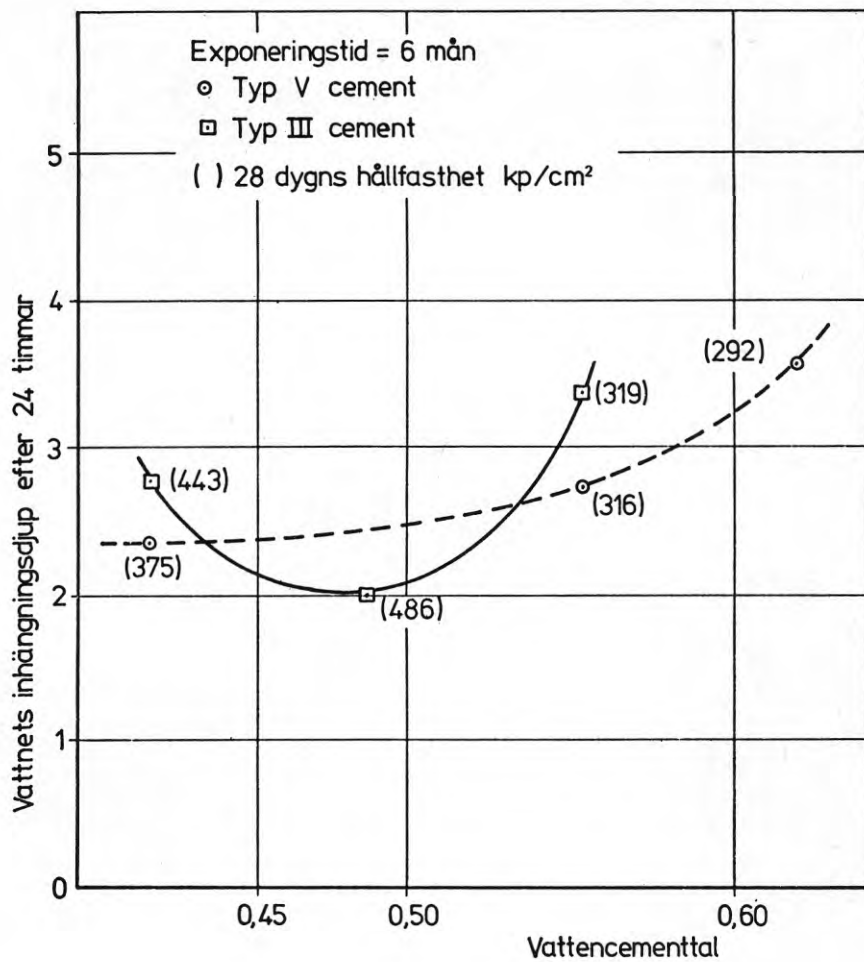


Fig 12. Effekten av varierande cementtyp på vattentätheten. (21)

Cementtypernas huvudkomponenter

Cementtyp	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
	%	%	%	%
III	56	15	12	8
V	43	36	4	12

(Concrete Manual 1963)

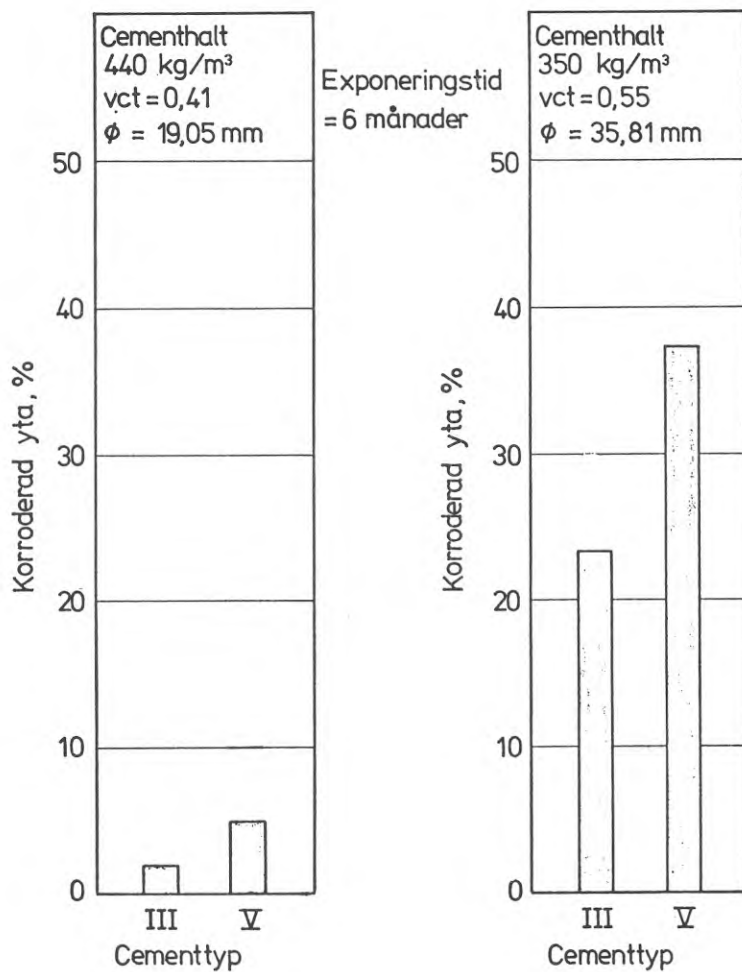


Fig 13. Korroderad yta på armeringsjärn som funktion av bl a cementtyp. (21)

Cementets malfinhet spelar ej någon roll för permeabiliteten. Vid samma vattencementtal och samma hydratiseringsgrad får man samma täthet antingen det använda cementet var grovt eller finmalet, Czernin (7). Vattenseparationen kan dock öka vid grovt cement.

I detta sammanhang bör det också observeras att syret kan spela en mycket stor roll vid bildandet av passiva skikt. Vid vattenlagring var järnets potential i betong av slaggcement mycket oädlare än i portlandcement. Detta skulle enligt Herrmann (8) bero på slaggcementets halt av tvåvärdigt järn som absorberade syret. När proven var i luft blev potentialen ädlare. Syret kan nämligen lättare tränga in i en kropp som befinner sig i luft, se fig 14.

Cementhalt - Betongens cementhalt inverkar i flera olika avseenden på korrosionen. Cementmängden inverkar primärt på vattencementtalet och därmed på porositeten, varvid betongens vattentäthet och luftgenomsläpplighet förändras.

Vid samma vattencementtal inverkar cementhalten på betongens arbetbarhet. Betong med dålig arbetbarhet kan få stor mängd luftblåsor och därmed ger den ett sämre korrosionsskydd.

Vid tillverkning av vattentät betong finns i betongbestämmelserna rekommendationer på mängden finmaterial i ballasten, vidare finns krav på minimicementhalter. Bestämmelserna anger varierande minimicementhalter ($370 - 210 \text{ kg/m}^3$ för vattentät betong) beroende av stenmaterialets största kornstorlek, utförandeklass, hållfasthetsklass och konsistens. Olika författare anger olika gränser på betong som ej är korrosiv, t ex Heberling (9) 300 kg/m^3 , Friedland (10) 235 kg/m^3 , Brocard (11) är för sin del av den mening att variationer i cementhalten mellan 250 och 350 kg/m^3 inte har någon större effekt på korrosionshastigheten. Om cementhalten ökas i hög grad, dvs lågt vattencementtal åstadkommes, kan emellertid en mycket stor minskning i korrosionen märkas, se fig 15. Detta stämmer kvalitativt överens med permeabilitetsvariationen enligt fig 9 och 10a.

Eftersom korrosionsceller endast kan arbeta om reaktionerna vid båda elektroderna kan äga rum, har syretillförseln till stålets yta en stor betydelse. Syret kan naturligtvis lätt tränga in i en porös betong. Brocard har konstaterat att betongens luftgenomsläpplighet icke varierar i en kompakt betong med en cementdosering mellan 250 och 350 kg/m^3 . Genomsläppligheten blev märkbart lägre först när cementdoseringen var av storleksordningen 500 kg/m^3 , tabell 1.

Direkt proportionalitet råder mellan kalciumhydroxidhalt och cementhalt vid samma cementsort och hydratationsgrad. Betongens alkali neutraliseras dock vid miljöpåverkan, karbonatisering. Avgörande betydelse för karbonatiseringens inträngningshastighet har luftpermeabiliteten, se fig 16, inverkan fås även av mängden kalciumhydroxid. Kosaka (12) har genom försök visat randskiktets ($\text{pH} < 9$) inträngningshastighet, se tabell 2 och fig 17, dvs där stålets passiverande yta förstörs.

Vattencementtal - Cementpastans täthet bestäms i huvudsak av vct. Orsaken till vct:s betydelse förklaras nedan.

Tabell 1 Betongens genomsläpplighet för luft
Brocards (11) resultat bearbetat av Sneck (15)

Betongens cement- halt, kg/m ³	Genomsläpplighets- faktor för luft
200	92
300	31
400	6
600	3

Tabell 2 Tjockleken på randskiktet pH < 9
Kosaka (12) bearbetat av Moll (23)

vct	Cementhalt kg/m ³	Randskiktets tjocklek efter 5 år mm
0,5	360	2,8
0,6	350	6,2
0,7	345	8,9
0,5	320	5,8
0,6	310	6,7
0,7	300	10,1
0,5	290	6,6
0,6	285	8,7
0,7	280	13,1
0,5	260	7,4
0,6	260	10,2
0,7	255	17,4

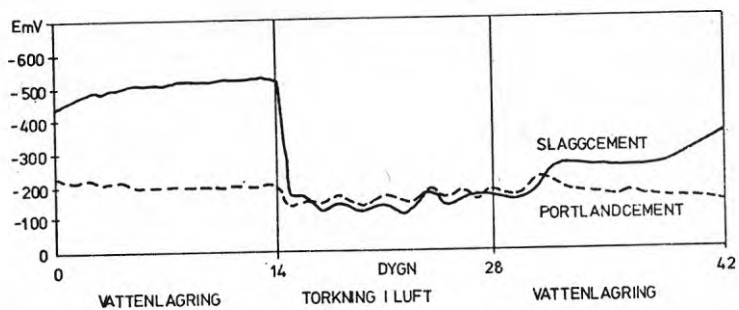


Fig 14. Potentialer hos järn i cementbruk gentemot en n-kalomel-elektrod. (8)

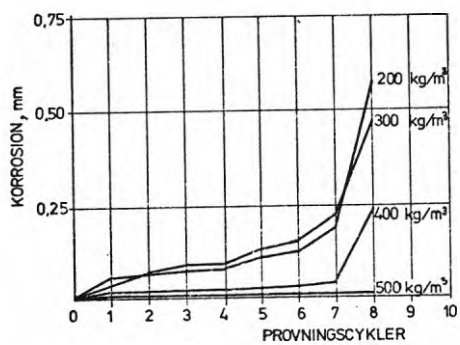


Fig. 15. Cementhaltens inflytande på korrosionen hos stål i betong. (11)

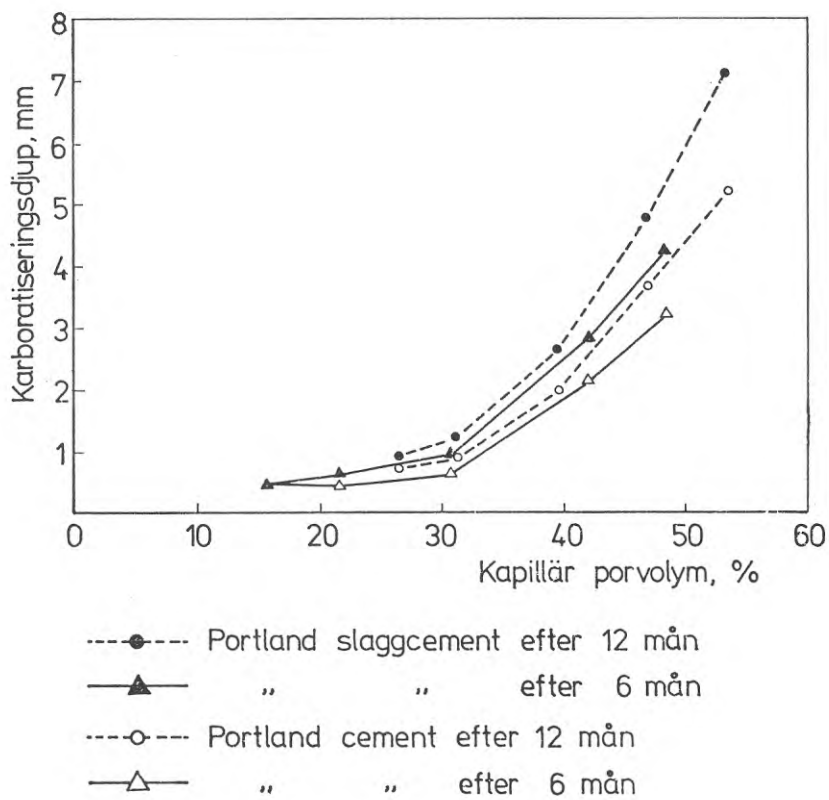


Fig 16. Karbonatiseringsdjupet som funktion av kapillär porvolym. Relativa fuktigheten ~65%. (32)

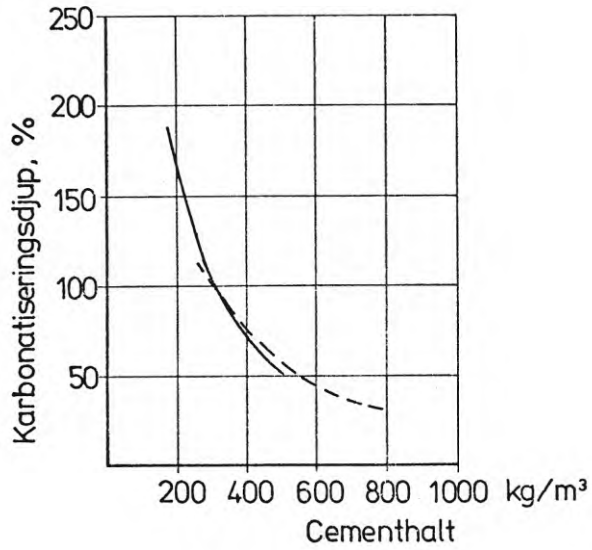


Fig 17. Cementhaltens betydelse på relativa karbonatiseringsdjupet. (70)

Det strukturellt bundna vattnet motsvarar endast ett vct av maximalt ca 0,25 à 0,30, medan man i praktiken arbetar med betydligt högre värden på vct. Överskottsvattnet har ingen strukturell funktion utan bildar porer som ökar betongens porositet, se formel. Dess funktion är uteslutande att ge den färska betongmassan tillräckligt goda gjutegenskaper med ett minimum av cement. Vattnet fyller hålrummen mellan cementkornen och adsorberas i en hinna kring varje korn. Dessutom absorberas en del av vattnet i kornen. Om vattencementtalet överstiger ett basvattencementtal, ca 0,40, uppstår vattenseparation. Vattenseparationen uppkommer genom att cementbruket eller betongen sedimenterar före tillstyvnandet.

Genom tyngdkraftens inverkan sjunker de fasta beståndsdelarna under det att det härigenom undanträngda vattnet kommer upp till betongytan. Detta medför en sänkning av betongens vattencementtal. Vattenseparationen inverkar även störande på betongens homogenitet. Det uppstigande vattnet kan bilda strömningskanaler utarmade på bindemedel. Därtill kommer att anrikningen av vatten inte alltid inskränker sig till betongytan. De grova kornen stöder sig mot varandra och kan därför ej följa med i sjunkningsrörelsen då sedimentationen går vidare i det inre av det stela skelettet. Samma företeelse kan uppträda i rör ingjutna i betong där det stelt fixerade röret ej kan följa med i betongens sättning, Czernin (7).

Vattenseparation inträder särskilt vid låg halt av finsand, vid användning av alltför grovmalet cement, se fig 18, eller vid låg cementhalt. Även användandet av vattenrika blandningar befordrar vattenseparationen.

Om möjligheter finns till en efterkomprimering sedan vattenseparationen avstannat och tillstyvnandet börjat, kan homogeniteten återställas.

Ibland har man felaktigt tolkat vattencementtalets betydelse. Vid höga vct ökar korrosionen av ökad porositet, medan vid låga vct arbetbarheten orsakat porositetsökning. Nyare undersökning visar dock att korrosionsangreppen ökar vid ökande vct, se fig 19 och 20. Även tjockleken på randskiktet ($\text{pH} > 9$) ökar med ökande vattencementtal, se tabell 3 och 4.

Sammanfattningsvis tycks tillgängliga undersökningar visa att tätheten blir väsentligt nedsatt om vct överstiger $\sim 0,6$.

Ballast - Betongsandens korngradering är av största betydelse för framställning av en arbetbar betongmassa och en stark, tät och beständig betong. Alltför finkornigt fingerus medför stort vattenbehov hos betongmassan och därmed försämrad kvalitet hos den hårdnade betongen. Alltför grovkornigt fingerus kan försämma betongmassans stabilitet och arbetbarhet. I båda fallen ökar porositeten. Stenmaterialets gradering har vanligtvis ej fullt så stor betydelse som fingerusets gradering, dock bör ej största stenstorlek uppnå täcksiktets tjocklek.

Ballastens kornform, dvs flisighet, kantighet och ytstruktur, är av betydelse för betongmassans vattenbehov och gjutegenskaper samt för vidhäftningen mellan ballastkornen och cementlimmet. Krossmaterial har i regel ogynnsammare kornform än naturmaterial, se tabell 5.

Tabell 3 Tjockleken på randskiktet pH < 9
Lagring vid 65 % rf
Materialprüfungsamt München bearbetat
av Moll (23)

vct	Cement- halt kg/m ³	Lagrings- tid år	Randskiktets tjocklek mm
0,45	350	5 3/4	ca 0
0,55	340	4	5
0,62	340	4	6
0,65	300 ca	5	6
0,78	300 ca	6 1/2	7
0,83	250	2 1/4	7
0,85	240	3 1/4	16
0,92	250	3	12
0,92	250	6	16
1,33	150	2 1/4	18

Tabell 4 Tjockleken på randskiktet pH < 9,
20 års utomhuslagring
Soda, Yamazaki bearbetat av Moll (23)

vct	Cement- halt kg/m ³	Randskiktets tjocklek mm		
		Min	Max	Medel
0,41	ca 350	1	10	4
0,50	ca 350	1	10	4
0,62	ca 350	2	19	5
0,49	ca 260	1	10	4
0,68	ca 260	3	20	6
0,89	ca 260	4	32	20

Tabell 5 Olika ballastmaterials vattenbehov
Sällström (13)

Material	Relativt vattenbehov, %
Välrundat naturmaterial	100
Kantigt naturmaterial	ca 105
Natursand + makadam	ca 110
Krossand + makadam	ca 125

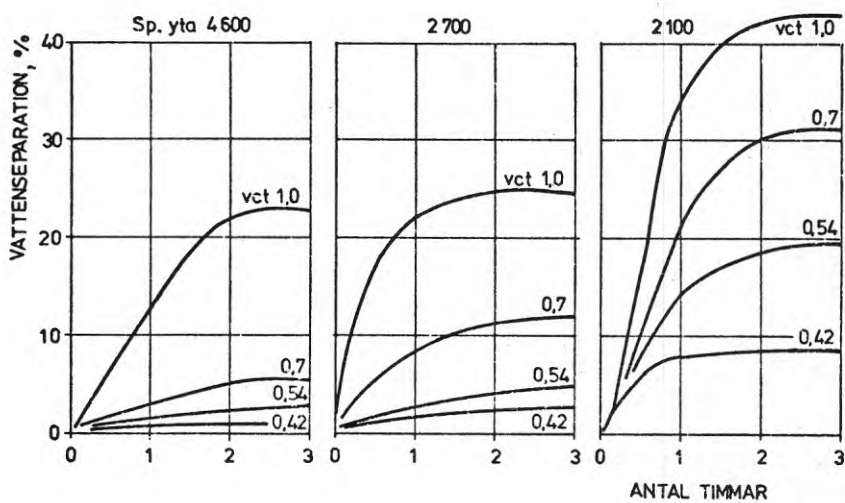


Fig. 18. Effekten av finmalningsgrad på vattenseparationen. (4)

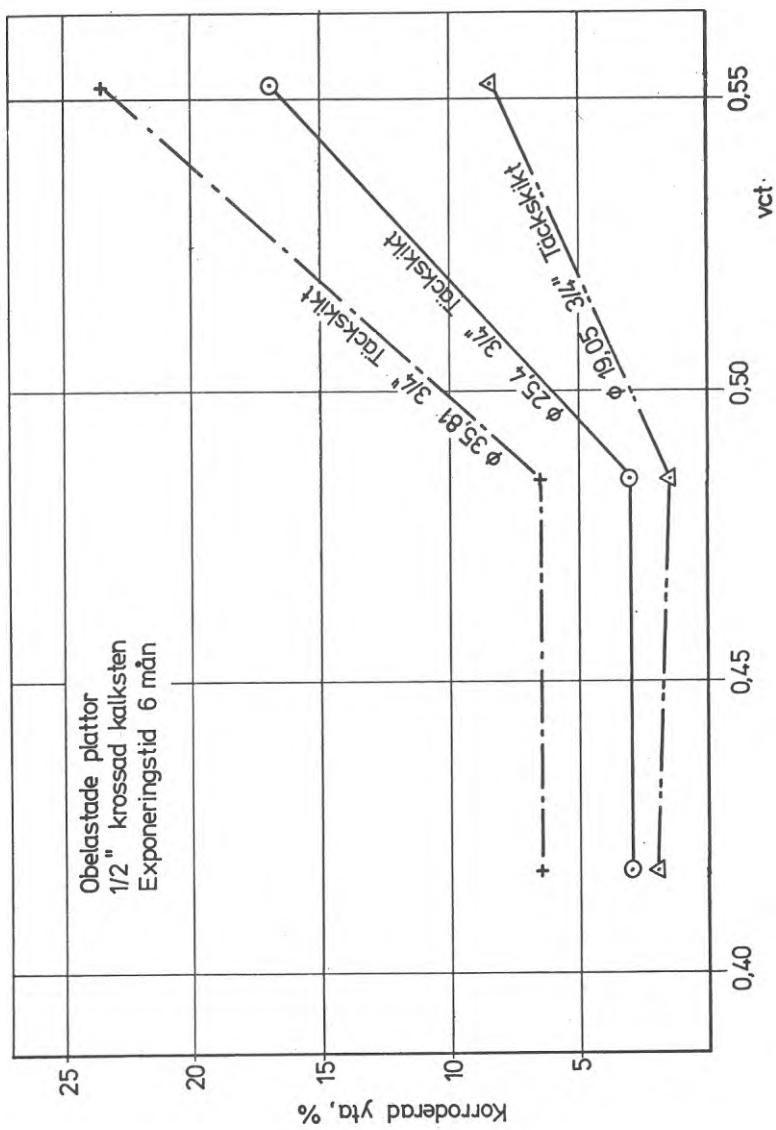


Fig 19. Vattencementtalets betydelse på korrosionsprocessen. (21)

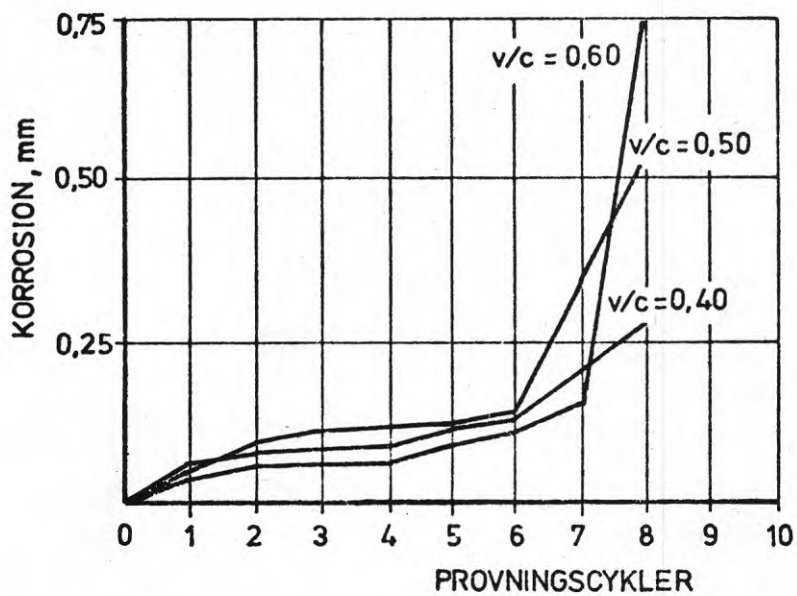


Fig. 20. Vattencementtalets betydelse på korrosionsprocessen. Vid försöken användes 300 kg cement per m^3 . (11)

En gynnsam kornform avspeglas i tätare packning och mindre hålrumsporcet. Ett sådant material medför mindre vattenbehov och bättre arbetbarhet hos betongmassan och därmed lägre porositet. Fig 21 åskådliggör effekten med avseende på vattenbehov, Sällström (13).

Hur vattencementtalet påverkar permeabiliteten framgår av punkt 4.2.1.

Beträffande lättballastbetong se kap 4.4.

Tillsatsmedel - Tillsatsmedel till betong definieras som ett preparat som i vätske- eller pulverform tillsätts betongblandningen omedelbart före eller under blandningsprocessen. Avsikten med att använda tillsatsmedel är att man vill förbättra någon eller några av betongens egenskaper.

Tillsatsmedlen kan gruppindelas efter den huvudsakliga avsikten med medlets användning.

a) Luftporbildande	tillsatsmedel	/L/
b) Vattenreducerande	tillsatsmedel	/V/
c) Accelererande	tillsatsmedel	/A/
d) Bindningsaccelererande	tillsatsmedel	/BA/
e) Bindningsretarderande	tillsatsmedel	/R/
f) Medel som inverkar på vattentätheten		/T/
g) Medel som underlättar injektering		/I/

Johansson (14)

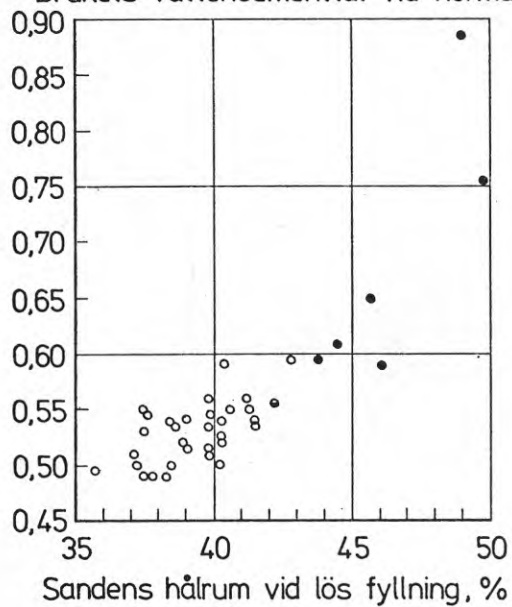
Luftporbildande tillsatsmedel - De luftporbildande tillsatsmedlens viktigaste egenskaper är en förbättrad frostbeständighet hos hårdnad betong och en förbättring av den färskas betongens transportstabilitet och arbetbarhet.

Genom att tillsätta luftporbildande medel ändrar man karaktären av betongens porssystem. Dels ökar den totala lufthalten, dels blir luftblåsorna jämnare fördelade samtidigt som halten av små blåsor ökar.

Eftersom betongmassans konsistens ofta är den faktor man utgår ifrån och därför håller konstant, kan man på grund av den förbättrade arbetbarheten i stället sänka vattenhalten, varmed vattenseparationen minskas, Johansson (14).

Luftinblandningens direkta effekt på korrosionsprocessen är ej klart definierad i litteraturen. Enligt alla teorier verkar inhomogeniteter och otätheter korrosionsaccelererande, den jämnare porfördelningen och ökade vattentätheten i lufttillsatt betong ger därför minskade korrosionsrisker.

Bruketts vattencementtal vid normalkonsistens



- Naturmaterial
- Krossmaterial
- Blandmaterial

Fig 21. Vattenbehov, vct, hos cementbruk 1:3 i relation till sandens hålrumsprocent. (13)

Däremot ökar luftinblandningen korrosionsskyddet genom ökad frostbeständighet. Utan luftinblandning får betongkonstruktionen svåra skador som ökar permeabiliteten, inhomogeniteterna och minskar täckskiktet, dvs föroreningar m m när stålytan betydligt fortare.

Vattenreducerande tillsatsmedel - Vattenreducerande tillsatsmedel förbättrar den färiska betongens arbetbarhet vid oförändrad vattenhalt eller reducerar vattenbehovet vid oförändrad konsistens. Genom att betongmassa med tillsats av vattenreducerande medel får förbättrad arbetbarhet och stabilitet får betongen en tätare och homogenare struktur som i de flesta fall ger en bättre vattentäthet. Dessa faktorer bidrar till ett bättre korrosionsskydd för ingjutna ståldetaljer. Däremot kan vissa medel öka vattenseparationen och därmed inhomogeniteterna längs rörens undersidor. Medel baserade på bl a lignosulfonat ger därför ett bättre korrosionsskydd på grund av dess förmåga att minska både vattenhalten och vattenseparationen.

Accelererande tillsatsmedel - Det vanligaste accelererande medlet är kalciumklorid (CaCl_2). Betongmassans arbetbarhet påverkas inte vid tillsats av accelererande medel, men genom den snabbare tillstyvnaden blir den tid under vilken vattenseparationen pågår kortare och därigenom minskar den totala vattenseparationen.

Om man använder ett luftporbildande medel tillsammans med ett accelererande påverkas inte betongmassans totala lufthalt, däremot finns risk att luftporsystemets struktur förändras. Denna förändring innebär att luftporernas medelstorlek ökar, dvs sämre frostbeständighet.

Betongens täthet påverkas inte nämnvärt av acceleratorer men betongkonstruktionen kan få sämre täthet genom den ökande risken för sprickbildning p g a bl a temperaturspänningarnas storlek, Johansson (14).

I betongbestämmelserna finns föreskrifter beträffande maximaldosering av kloridhaltiga tillsatsmedel. Kloridhalten skall anges som vattenfri CaCl_2 och denna halt får inte överstiga 1,5 % räknat på cementvikten. Denna begränsning beror på kloridjonernas korrosionsbefrämjande egenskaper

- a) Cl^- förstör den skyddande oxidhinnan på ingjutna ståldetaljer
- b) kloridjonerna förbättrar den elektrolytiska ledningsförmågan
- c) pH-värdet reduceras något.

Kloridjonerna är effektiva förstörare av passiva skikt. Det har konstaterats att redan 0,0035 % CaCl_2 förstör järnets passivitet i en mättad kalciumhydroxidlösning, Snäck (15). Stål i betong tål dock större kalciumkloridmängder. Cementets kalciumaluminat binder nämligen saltet, se fig 11.

I cement med mycket hög aluminathalt har stålet varit passivt vid en tillsats av 4,9 % CaCl_2 av cementvikten, Bäuml och Engell (16). Det är inte mängden CaCl_2 som är avgörande utan kloridkoncentrationen i elektrolyten som omger stålet. När betongen är färsk och innehåller mycket vatten är koncentrationen låg. Vid uttorkning avdunstar en del vatten och koncentrationen kan i vissa fall öka hundrafalt, speciellt i marin miljö där kloridhaltigt vatten kan tränga in i betongen.

Kalciumkloridens inverkan på armeringen har undersökts i ett flertal studier, KB5 (17). I armerad betong är måttlig tillsats av klorider, 1,5 - 2 % av cementets vikt, ofarlig om betongen är tät, har tillräckligt täckskikt, har relativt hög cementhalt, bearbetningen är väl utförd och omgivande miljön icke är aggressiv. Kalciumkloriden måste emellertid blandas mycket väl i vatten. Om kloridhalten varierar kan det bli risk för koncentrationsceller.

Vid friliggande armering eller när armeringen befinner sig i karbonatiserad betong ökas korrosionshastigheten vid närvaro av klorider, se fig 22 och 23. Kalciumkloridens inverkan på ingjutna stålrör har undersökts av Halvorsen (18). Han fann att vid den normalt tillåtna maximidoserings ökade inte den korroderade ytan, men en stark ökning av korrosionsdjupet i frätgroparna erhöles. Tillsatsen av CaCl_2 gav även upphov till djupa punktangrepp vid porer mot rörytan, se fig 24.

Rör i bruk med CaCl_2 bedöms således vara avsevärt mer känsliga för otillräcklig ingjutning och porositeter än rör i motsvarande bruk utan CaCl_2 . Eftersom förutsättningarna vid ingjutning av rör i förhållandevis tunna slipskikt på bjälklagsbetong är sådana att riskerna för förekomst av enstaka porer, luftfickor, sprickor och otillräckliga täckskikt måste bedömas som stora, även vid omsorgsfull gjutning, måste man avråda från att använda CaCl_2 -tillsats till sådana bruk. Efter uppkomsten av ett enda genomgående hål i vattenförande rör kommer i regel den fortsatta förstöringen att ske snabbt.

I princip gäller samma resonemang för det mer sällan använda NaCl .

Bindningsretarderande tillsatsmedel - Retarderande medel på lignosulfonatbasis påverkar i regel inte betongmassans vattenseparation medan de flesta andra medlen ökar separationen. De retarderande tillsatsmedlen minskar i regel betongens vattenbehov vid oförändrad konsistens. När hydrationsprocessen, efter det tidiga tillstyvandet, kommer igång, fortgår både hållfasthets- och värmeutveckling något snabbare än för betong utan tillsatsmedel, dvs retarderande medel kan således inte ersätta ett långsamt hårdnande cement vid gjutning av konstruktioner som är känsliga för stora temperaturpåkänningar, Johansson (14).

Frågan om retarderande och övriga tillsatsmedels inverkan på korrosionsprocessen måste ännu betraktas som obesvarad, dock torde man kunna förutsäga att den åstadkomna effekten är betydligt lägre än vid klorid-tillsats.

4.2.2 Sprickor

Sprickor i betongen försämrar naturligtvis korrosionsskyddet av ingjutna metaller. Koncentrerade angrepp kan ske i och vid en spricka och åstadkommer allvarligare skador än en mera jämnt fördelad korrosion. Huruvida stålet i sprickan blir anod eller katod beror på orsaken till korrosionsangreppet. Så till exempel kan syrekonzentrationen vara större i sprickan, varvid stålet intill blir anod, Sneek (19). Om däremot det passiverande skiktet i sprickan förstörs av aggressiva ämnen blir stålet i sprickan anod. Halvorsen (20) anser att betongkvaliteten är avgörande om korrosionsangreppet sker i eller vid en spricka. Om betongen är tät koncentrerar sig korrosionen till stålet i själva sprickan, medan man för en mera porös och otät betong får spridning av korrosionen till båda sidorna av sprickan. En sammanställning av tänkbara korrosionspåskyndande verkningar hos sprickor ges i tabell 6.

Tabell 6 Sprickors inverkan på korrosionsrisken enligt Halvorsen (18)

Orsak	Verkan
1. Syre och fukt kan tränga in till stålet genom sprickor	Ökad potentialdifferens vid stålytan som följd av skillnad i syrekoncentration i och vid sprickan. Tillgången på elektrolyt och reduktionsmedel ökar
2. Genomströmmande vatten lakar ur betongens fria kalk	Betongens pH reduceras och den passiverande verkan minskar
3. Kolsyra från luften eller vattnet tränger in till armeringen	Betongen karbonatiseras in till armeringen och man får samma verkan som under punkt 2
4. Aggressiva ämnen kan lätt tränga in till stålet	Betongens skyddande förmåga kan förstöras

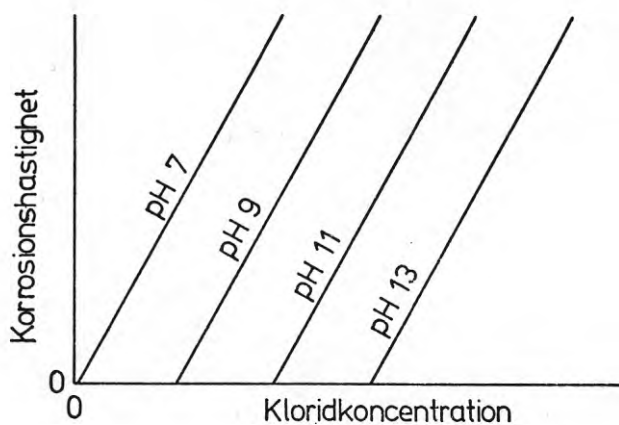


Fig 22. Kloridkoncentrationens effekt på korrosions-
hastigheten. (42)

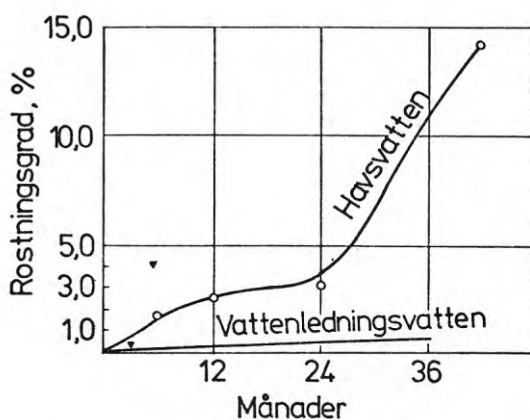


Fig 23. Korrosionshastigheten i ett cementbruk 1:4,
när havsvatten och vattenledningsvatten an-
vänts till gjutningen. (15)

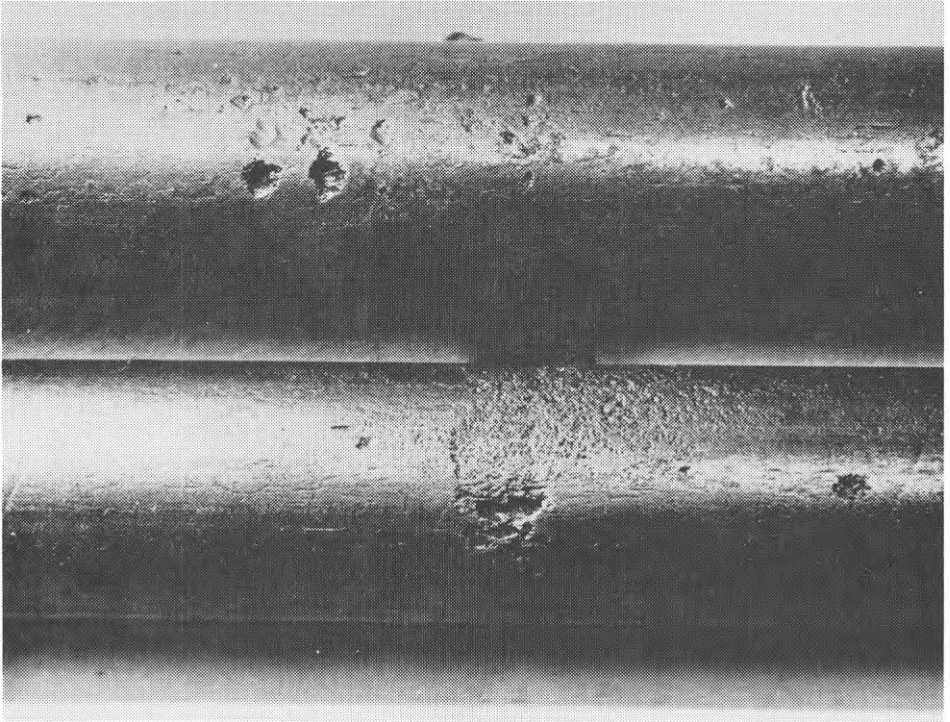


Fig. 24. Frätgropar i rör från serie med 2 % kalciumklorid.
Övre röret från prov utan sprickor. (18)

Tillåten sprickvidd nämns ofta i litteraturen, varvid värdena varierar mellan 0,1 och 1,0 mm. Houston, Atimtay och Ferguson (21) har i sin litteraturstudie till och med redovisat att en sprickvidd på 0,01 mm åstadkommer korrosionsangrepp. Detta beror på att faktorer som omgivande miljö, täcksikt, betongkvalitet, konstruktionstyp m m tillsammans med sprickvidden bestämmer betongens korrosionsskyddande förmåga. Rehm och Moll (22) har utfört en undersökning av sprickviddens inverkan på korrosion hos armering i betong förvarad i miljöer av olika korrosivitet, tabell 7. Då enbart sprickvidden varieras finner man att korrosionsangreppen minskar med sprickvidden, se fig 25. Detta gäller den korroderade ytan. Allvarliga rostangrepp tycks förekomma även vid de minsta sprickvidderna, se fig 26.

Under normala förhållanden, dvs ej i speciella fabrikslokaler där HCl-gaser eller andra mycket korrosiva ämnen kan nå stålytan, sker inga allvarliga korrosionsangrepp då sprickvidden underskrider ca 0,1 mm vid betongytan. En anledning till detta kan vara att kalciumkarbonat som bildas vid karbonatiseringsprocessen tätat sprickan, dvs karbonatiseringens inträngningshastighet bromsas och föroreningar hindras nå stålytan. Även producerade rostprodukter kan täta sprickor tillräckligt för att kraftigt hämma fortsatt korrosion, Moll (23).

Enligt Rehm och Moll (22) tycks korrosionshastigheten minska med tiden, se fig 27. Orsaken kan även här vara rostprodukternas och karbonaternas tätande förmåga.

En ökning av betongens cementhalt minskar också den korroderade ytan vid sprickan, däremot inte den procentuella andelen punktangrepp, se fig 28, Halvorsen (18).

Halvorsen (18) har även undersökt kloridjonernas inverkan på korrosionsprocessen. Han fann att närvaro av kloridjoner ej ökade den korroderade ytan vid sprickan, men en stark ökning av djupet hos frätgroparna kunde konstateras.

4.2.3 Utförande

Täcksikt - Allmänt gäller att täcksiktets tjocklek bestämmer ingjutna ståldetaljers korrosionsskydd, se fig 9, 29, 30, 31 och 32. Även här finns ett flertal uppgifter på minsta täcksikt för att uppnå ett tillfredsställande skydd, bl a anges täcksiktets tjocklek ur statisk och korrosionssynpunkt i de statliga betongbestämmelserna. Emellertid har det påvisats att ett tunt och tätt betongskikt skyddar bättre mot korrosion än ett tjockare poröst skikt, se fig 33.

Armerings- eller rördimensionen spelar en viss roll enligt nästa avsnitt I ett försök att erhålla bättre överensstämmelse mellan uppmätt korrosion och täcksiktets tjocklek har Houston, Atimtay, Ferguson (21) ritat diagram där täcksiktets tjocklek/armeringsdimension är en variabel, se fig 34. Försöken utfördes i mycket korrosiv miljö, vilket förklarar de kraftiga korrosionsangrepp som proven erhöill. Bättre resultat skulle troligen erhållas om man i stället kombinerade permeabiliteten med täcksiktets tjocklek.

Halvorsen (18) har undersökt korrosionsskadornas omfattning i sprucken betong med varierande täcksikt. Ytkorrosionen blev mindre med ökande täcksikt, däremot påverkades ej korrosionsdjupet. Även beräknat karbonatiseringsdjup måste beaktas vid val av täcksikt.

Tabell 7 Miljöns betydelse ur korrosionssynpunkt
Rehm och Moll (22)

Sprick- vidd mm	Antal observationer i % med korrosionsgrad 0-3											
	Normal stadsatmos- fär, München				Industriatmos- fär vid ett ko- keri i Ruhromr.				I tidvatten- zonen vid Nordsjön			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
0-0,05	100	-	-	-	100	-	-	-	100	-	-	-
0,06-0,10	100	-	-	-	100	-	-	-	100	-	-	-
0,11-0,15	75	25	-	-	80	13	7	-	100	-	-	-
0,16-0,20	75	13	12	-	57	39	14	-	82	18	-	-
0,21-0,25	33	67	-	-	40	30	30	-	75	16	9	-
0,26-0,35	50	25	25	-	-	17	83	-	80	20	-	-
0,36-0,45	25	75	-	-	-	12	88	-	100	-	-	-
0,46-0,60	-	100	-	-	-	16	51	33	100	-	-	-
0,61-0,80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	50
0,81-0,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	-	50

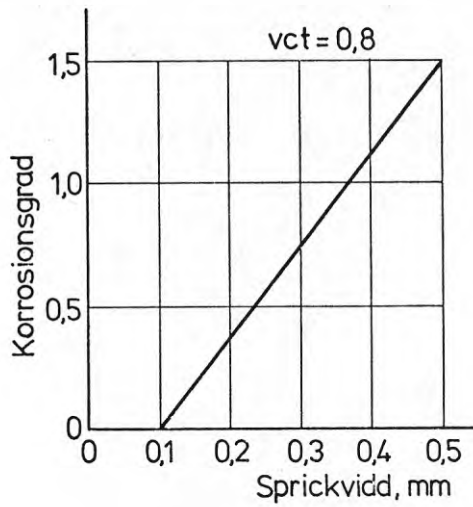


Fig 25. Korrosionsgraden som funktion av sprickvidden. (29)

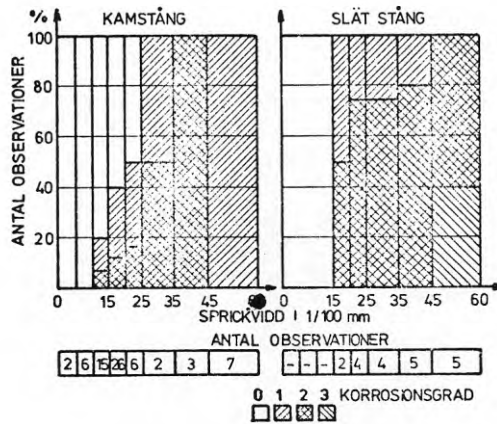


Fig 26. Korrosionsgraden vid varierande sprickvidd för kamstål och slät stång. (22)

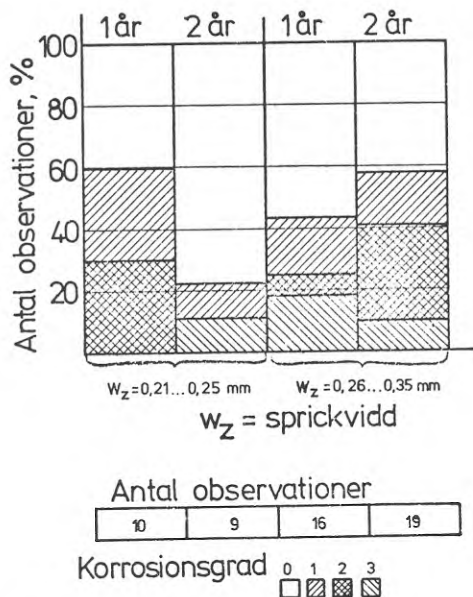


Fig 27. Sammanställning av antalet rostställen i sprickor från 0,20 - 0,35 mm. Balkarna har förvarats i tidvattenzonen vid Nordsjön. (22)

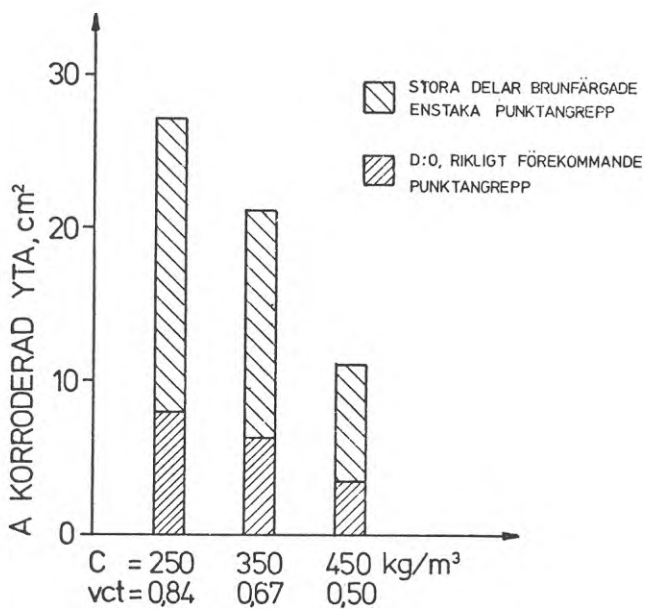


Fig 28. Cementhaltens inverkan på ytkorrosionens omfattning vid sprickor med 1,5 mm vidd vid ytan. (18)

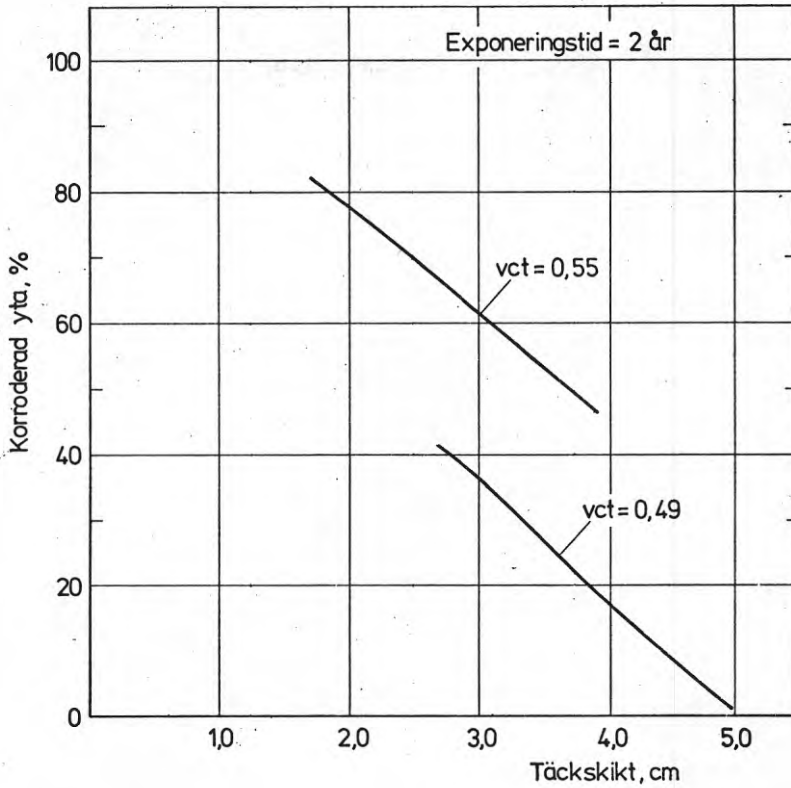


Fig 29. Korroderad yta som funktion av täckskiktets tjocklek. (21)

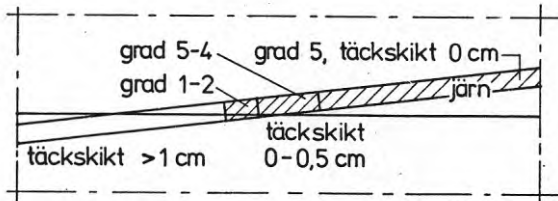


Fig 30. Rostfördelning längs järnet. Järnet är utan spår av rost när betongskiktet överstiger ca 1 cm. (18)

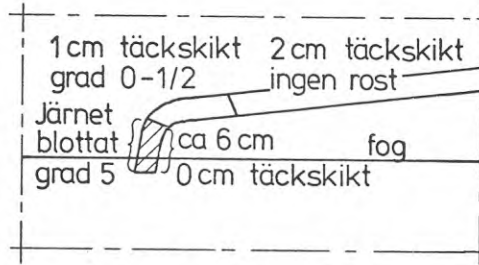


Fig 31. Endast över den fritt exponerade delen av järnet har man korrosion av betydande omfattning. (18)

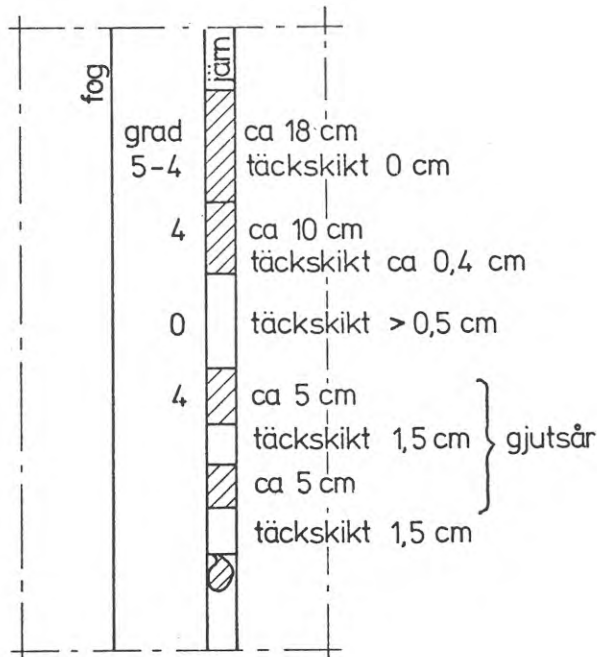


Fig 32. Fördelning av rostförekomst längs järnet. När täcksiktet överstiger 0,5 - 1,0 cm är järnet utan rostangrepp. (18)

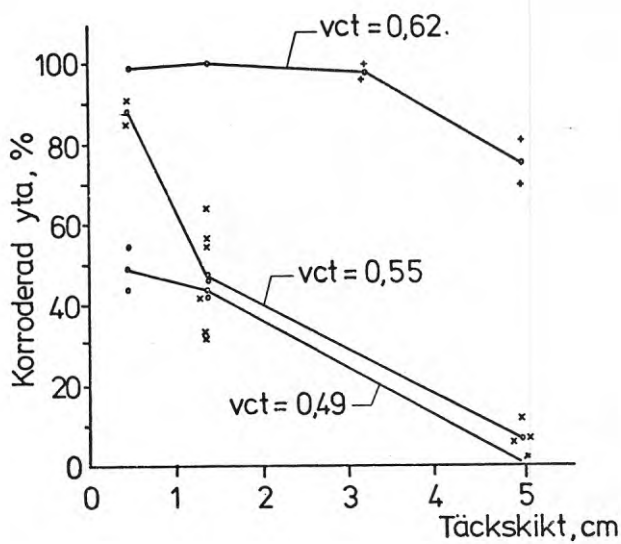


Fig 33. Korroderad yta som funktion av täckskiktet. För att erhålla ett gott korrosionsskydd måste även täckskiktet ha låg permeabilitet. (2)

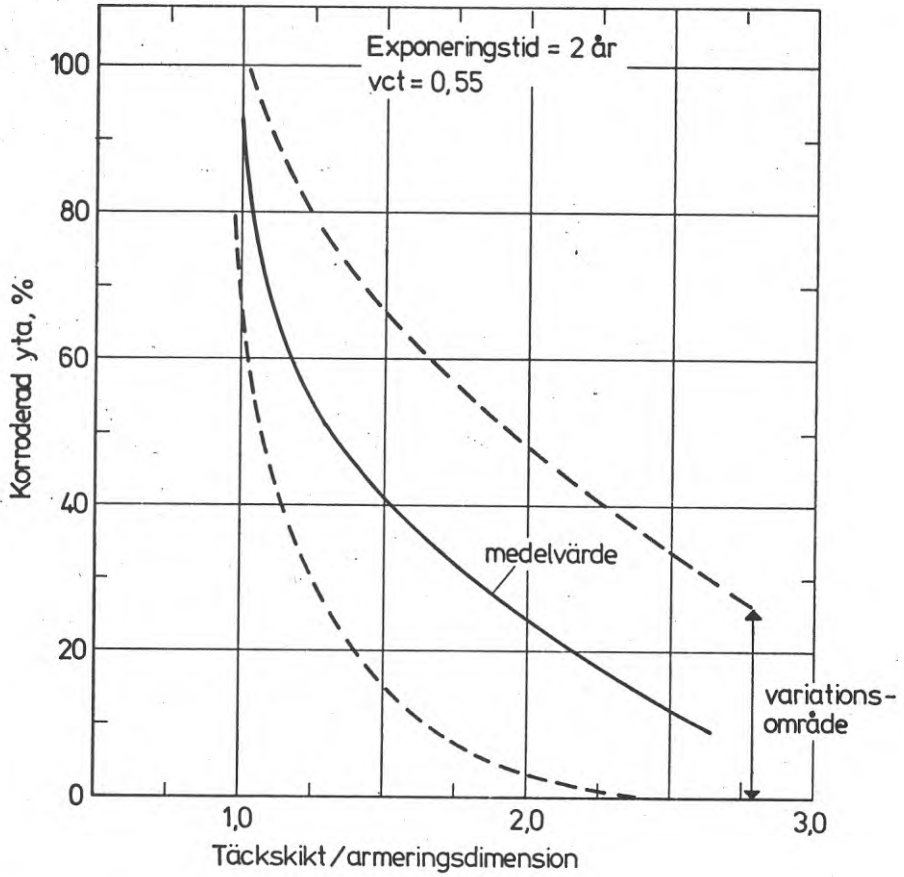


Fig 34. Korroderad yta som funktion av täckskikt/ armeringsdimension. (21)

Röravstånd och stålets dimension och utformning - För tätt placerade rör ger "silverkan", dvs den färska betongen separerar varvid ett poröst täcksikt erhålls. Minsta röravstånd bör bestämmas så att betongen kan omsluta ingjutna rör. Som ett exempel anger bl a betongbestämmelserna den maximala stenstorleken till det fria avståndet mellan armeringsstängerna minskat med 5 mm. Även arbetsplatsens problem måste lösas, dvs att erforderlig utrustning, som möjliggör en god komprimering, anskaffas.

Sprickvidderna i betongkonstruktioner beror i hög grad av stålytans vidhäftningsförmåga. Försök med armeringsjärn har bevisat kamstålets bättre korrosionshårdighet jämfört med slät stång. Fig 35 visar korrosionsgradens fördelning i sprickor (sprickvidd vid konstruktionens yta 0,20 - 0,45 mm). Kamjärnet motverkar genom sin vidhäftningsförmåga tillväxten av sprickvidd, i stället uppstår ett flertal mycket små sprickor. Konstruktioner med släta stänger ger däremot stora öppna sprickor. Därmed påskyndas korrosionsangreppen genom ökande permeabilitet för gaser, vätskor och föroreningar, Rehm och Moll (22). Metallytan inverkar även på kontakten med betongmassan. Det är lättare att få ett kontinuerligt och likartat skikt på en slät än på en räfflad yta. Förbättring av kontakten kan ske genom att metallytan förses med ett tunt skikt av cementvälling före ingjutning, Sneck (19). Denna rekommendation kan diskuteras, se kap 4.7.1.

Sannolikheten för inhomogeniteter i den hårdnade betongen ökar med ökande rördimension, speciellt kontakten med metall och betong på rörens undersidor, se fig 36. Producerad rostmängd ökar även med dimensionen. Detta leder till större påkänningar på täcksiktet, dvs riskerna för longitudinella sprickor ökar, Houston, Atimtay och Ferguson (21).

Komprimering - En god komprimering av den färska betongmassan är viktig, eftersom betongkvaliteten närmast ingjutningsdetaljer är starkt beroende härav. Under den första vibreringsperioden komprimeras betongen, dvs den löst fyllda betongen övergår i suspension. För kort vibreringstid resulterar således i större hålrum längs exempelvis ingjutna rör.

På arbetsplatser sker ofta en "övervibrering" av betonggolv, Houston, Atimtay och Ferguson (21). Vatten och bruksöverskott avgår då ur blandningen så att den återstående massan separerar, se fig 37. Ur korrosionssynpunkt är en "övervibrering" bättre än en "undervibrering", Houston, Atimtay och Ferguson (21). "Eftervibrering" är en metod som använts framgångsrikt för att öka den nygjutna betongens densitet och vattentäthet, även risken för sättsprickor minskas. Korrosionsangreppens variation med komprimeringen kan ses i fig 38. Den högre korrosionshastigheten i ytskiktet är betingad av att packningsgraden där är något lägre än för djupare belägna delar.

Ytbehandling (glättning) - Med glättning menas att den färdiga betongytan behandlas med stålskiva eller glättningsmaskin i syfte att göra den tät och slät. Detta borde inverka positivt på korrosionshårdigheten. Övriga ytbehandlingsmetoder redovisas under punkt 4.7.

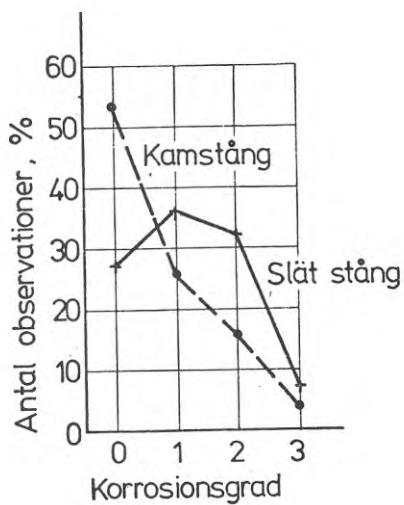
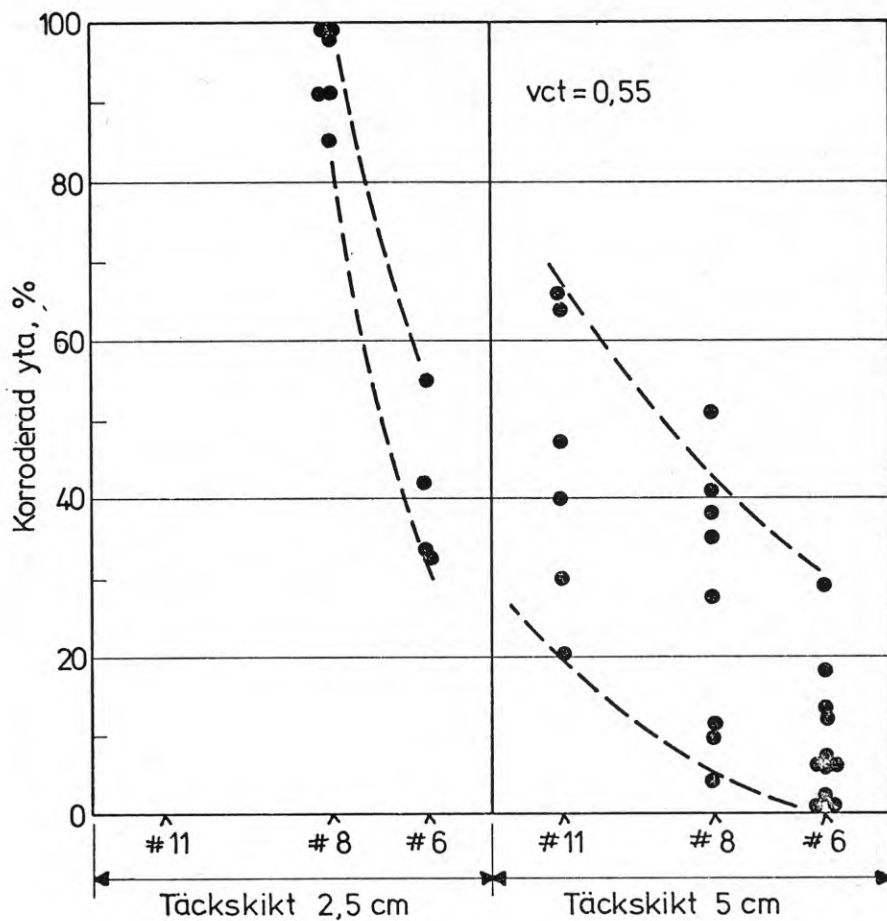


Fig 35. Korrosionsgraden i sprickor mellan 0,20 mm och 0,45 mm. Belastningen var 50% högre för balkar med ingjutna kamjärn. Trots det blev medelsprickvidden 0,39 mm för balk med slät stång och 0,24 mm för balk med kamjärn. (29)



11 = ϕ 35,8

8 = ϕ 25,4

6 = ϕ 19,1

Fig 36. Effekten av varierande ståldimension. Ballast-
materialet bestod av krossad kalksten. (21)

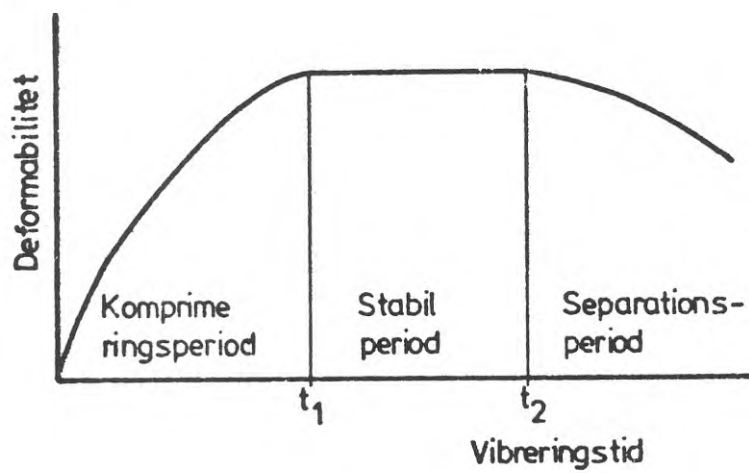


Fig. 37. Deformabilitet som funktion av vibreringstid. (5)

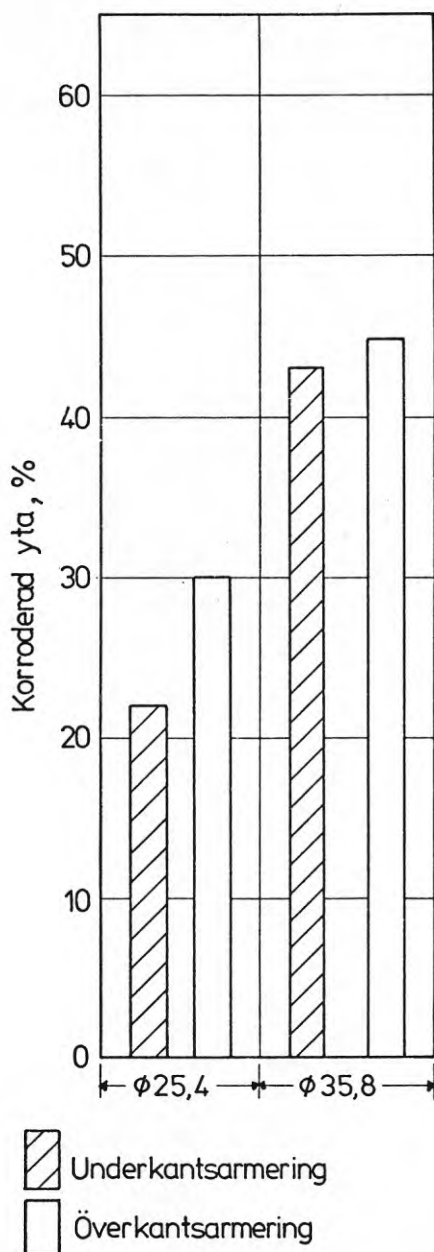


Fig 38. Armeringslägets betydelse ur korrosions-
synpunkt. (21)

Härdning - För att den härtnade betongen skall ge stålet ett gott korrosionsskydd måste den nygjutna betongmassan härddas. Härdningen skall påbörjas omedelbart efter gjutningen. Detta hindrar uppkomsten av plastiska krympsprickor.

En ökning av hydratationsgraden, t ex genom ökning av härdningstiden minskar betongens permeabilitet.

Arbetsteknik - Många rörsador har orsakats genom att ett skyddande betongskikt saknats. Korrosionsskyddet kan i princip elimineras enligt tre principer

- a) Röret är inbäddat i ett isoleringsmaterial under betonggolvet, se fig 39.
- b) Röret är inbäddat i två material, se fig 40.
- c) Röret blir ofullständigt omgjutet då det ligger på ett betongunderlag, se fig 41.

I samtliga fall sker korrosion om fukt tränger in till rörets yta.

Värmeslingor bör givetvis helt gjutas in i betongen. Detta åstadkoms med hjälp av betongklotsar eller ståltrådar som lyfter upp röret från underlaget, se fig 42. Att använda distansklotsar av trä, gasbetong eller andra porösa material är förkastligt.

Varmvattenledningar i speciellt höghus fordrar rör av god elasticitet. Om en ledning är inspänd i två punkter och mellanliggande delar inte har tillräcklig elasticitet kan utmattningsskador inträffa, p g a längdändringar vid temperaturförändringar. Antingen kan sådana utmattningsskador undvikas genom ett tillräckligt antal böjar mellan infästningspunkterna eller genom särskilda expansionsanordningar.

Vidare måste genomföring av rör genom betonggolv förhindra vatten att intränga i golvet, se fig 43. Även kontakt med flera material måste naturligtvis undvikas.

I ACI 318-63, Building Code Requirements, föreskrivs att lösa rostkor skall avlägsnas före ingjutning. Detta avlägsnande sker vid normal hantering av metallen, övrig bearbetning erfordras ej ty måttliga allmänna korrosionsangrepp ökar vidhäftningen.

Allmänna korrosionsangrepp före ingjutning av stålrör minskar konstruktionens livslängd genom ökande risker för inhomogeniteter i kontaktytan mellan rör och betong. Punktfrätning kan leda till läckage i rör med små godstjocklekar, vilket ytterligare accelererar korrosionsangreppen.

4.3 Inverkan av yttre faktorer

4.3.1 Karbonatisering - pH

Atomosfärens koldioxid kan penetrera betongkonstruktioner och reagera med kalciumhydroxiden som bildats vid cementets hydratation. Man säger att betongen karbonatiseras.

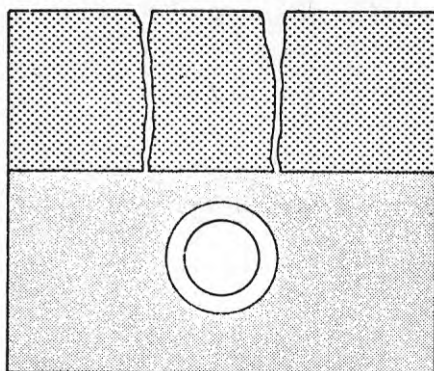


Fig 39. Rör inbäddade i ett isoleringsmaterial. Korrosiva ämnen kan nå stålet via sprickor i betongen. (15)

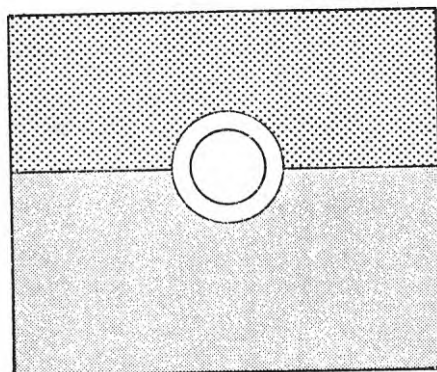


Fig 40. Rör inbäddade i betong, delvis i isoleringsmaterial. (15)

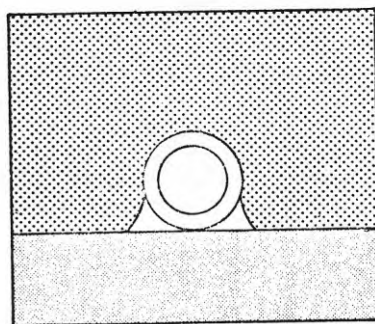


Fig 41. Ett ofullständigt inbäddat rör i betonggolv. (15)

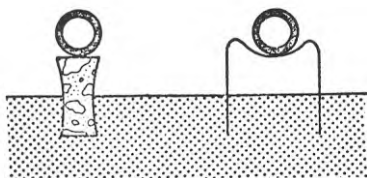


Fig 42. Exempel på hur rör kan lyftas upp från sitt underlag. (19)

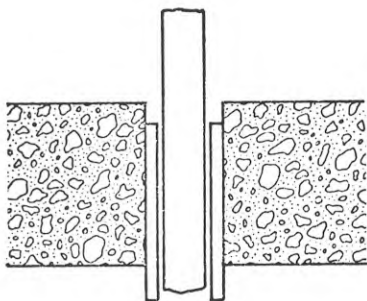
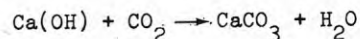


Fig 43. Felaktigt utförande av rör genomföring. I stället skulle hylsan dragits upp över betongen. (19)



Karbonatiseringen leder till minskande Ca(OH)_2 -halt, dvs pH-värdet sjunker och därmed ökar korrosionsriskerna.

Karbonatiseringens inträngningshastighet kan skrivas:

$$\text{karbonatiseringsdjup} = \text{konstant} \times \sqrt{\text{tiden}}$$

Konstanten bestäms av ett flertal faktorer, Schröder, Smolczyk, Grade, Vineklos och Roth (24). Ett annat försök att finna ett teoretiskt samband mellan åldern och karbonatiseringsdjupet har utförts av Hamada (25). Enligt Hamadas antaganden är tillgången på koldioxid omvänt proportionell mot avståndet från betongytan. Vidare att karbonatiseringsdjupet helt beror av den totala mängden koldioxid som kommit i kontakt med betongens hydrationsprodukter. Härledningen resulterade i nedanstående formel

$$t = K \cdot x^2 \quad \text{där } K = \frac{0,3 (1,15 + 3 \cdot \text{vct})}{(\text{vct} - 0,25)^2}$$

t = tiden

x = karbonatiseringsdjupet

Naturligtvis har betongkvaliteten avgörande betydelse, se fig 44 och 45, dvs låg luftpermeabilitet resulterar i små karbonatiseringsdjup. Luftpermeabiliteten beror även på vattenmängden i betongens porer, särskilt de ytliga porerna, se fig 46.

4.3.2 Fukt

Den hårdnade betongens fukthalt och även omgivningens relativa fuktighet har stor betydelse för betongens karbonatisering. Då kalciumhydroxid enbart i vattenlösning reagerar med kolsyran uppstår ingen karbonatisering i torr betong.

Frågan om ett nedre gränsvärde på relativa fuktigheten under vilket karbonatisering icke kan ske måste ännu betraktas som obesvarad. Åtminstone måste karbonatiseringshastigheten minska vid mycket låga fukthalter, Powers (26). Vid mycket höga fuktkvoter förhindras koldioxiden att tränga in i betongen, på grund av vattenfyllda porer.

Även den elektrolytiska ledningsförmågan liksom luftpermeabiliteten bestäms av betongens vattenhalt. Om den relativa fuktigheten ständigt underskrider 50-60 % räcker inte betongens elektrolytiska ledningsförmåga för att möjliggöra korrosionsangrepp, även om stålets passiverings-skikt har förstörts genom t ex karbonatisering eller klorider, Moll (23). I bostads- och kontorsrum överskrider den relativa luftfuktigheten sällan 50-60 %. Vid sådana överskridanden ökar korrosionsriskerna obetydligt. Emellertid är det viktigt att inse betongens betydligt högre fuktkvot p g a kvarvarande byggfukt. Det kan dröja flera år innan jämvikt med inomhusklimatet erhållits, se fig 47.

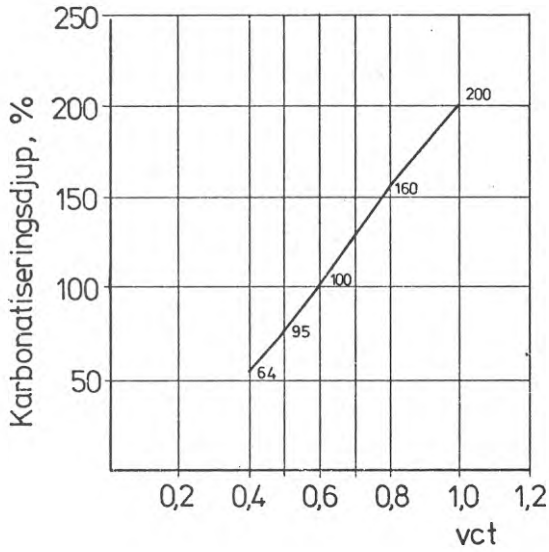


Fig 44. Vattencementtalets betydelse på relativa karbonatiseringsdjupet. (70)

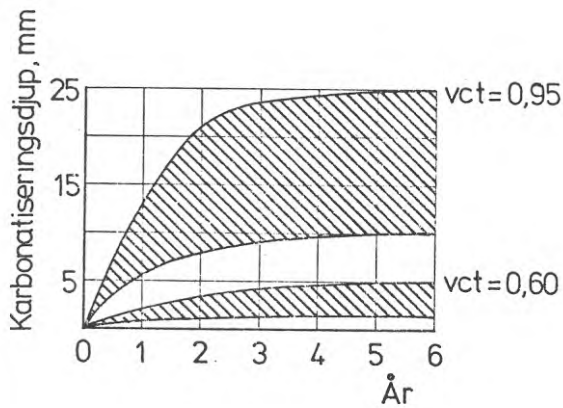


Fig 45. Karbonatiseringsdjupet som funktion av tiden. (29)

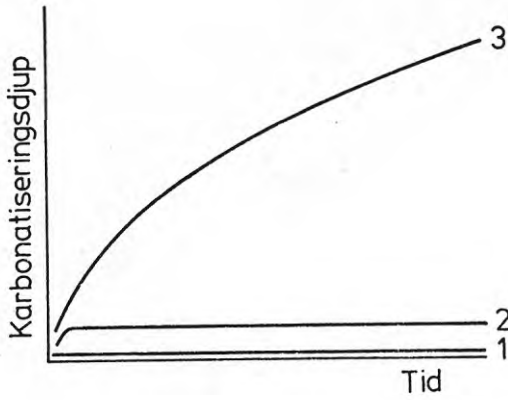


Fig 46. Karbonatiseringsdjupets variation med lagringsmiljön.

Kurvornas betydelse

1. Betong ständigt under vatten
2. Horizontal betongyta under stark påverkan av nederbörd
3. Betong inomhus eller betong som är skyddad för regn

(70)

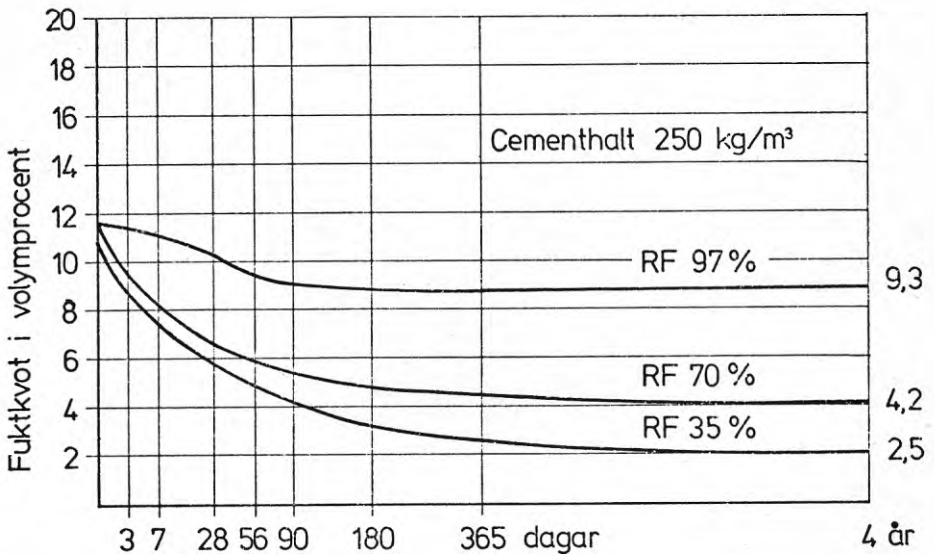


Fig 47. Uttorkningskurvor för 12 cm tjocka betongprover. (70)

För byggdelar som ständigt befinner sig under vatten är korrosionsriskerna små, även om stålets passiveringsskikt blivit punkterat. Orsaken till detta är minskande luftpermeabilitet vid vattenfyllda porer, dvs syret når ej stålytan tillräckligt snabbt, Moll (23).

Enligt dessa teorier är korrosionsriskerna störst vid en relativ fuktighet mellan 60 och 90 %, se tabell 8.

Fig 48 visar hypotetiskt hur karbonatiseringen och korrosionsfaran varierar med relativa fuktigheten.

Relativa fuktigheten inomhus varierar med årstiden. Fig 49 visar månadsmedelvärden för normalår för temperatur och relativ fuktighet utomhus samt därav beräknad relativ fuktighet inomhus vid olika fuktillskott.

4.3.3 Temperatur

Kemiska reaktioner som korrosion ökar exponentiellt med ökande temperatur. Emellertid minskar vattnets syreinhåll med ökande temperatur. Korrosionshastigheten i vatten har därför ett maximum vid ca 80°C för att därefter avta vid ökande temperatur, se fig 50.

4.3.4 Salter

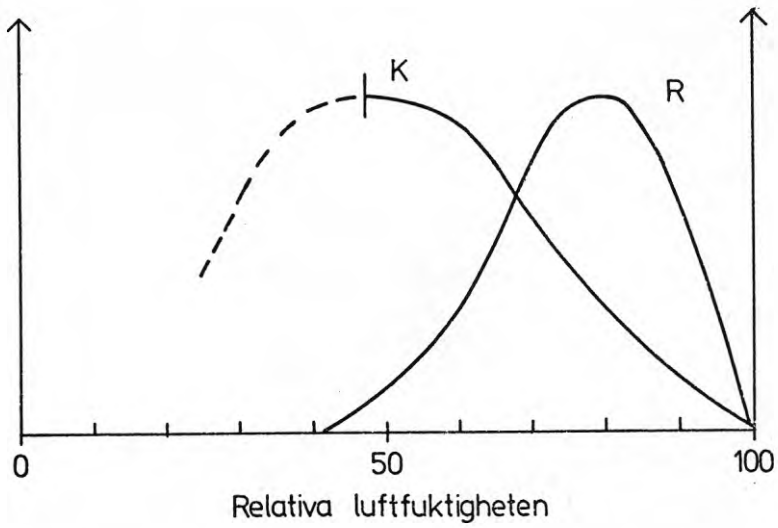
Klorider kan tillföras betongen antingen avsiktligt vid blandningsproceduren eller då konstruktionen fuktas med vätska som innehåller klorider. Kloriders inverkan på ingjutna ståldetaljer framgår av punkt 4.2.1. Liknande korrosionsrisker uppstår då kloridkoncentrationen ökar av andra orsaker.

Allvarliga korrosionsskador på stål i betongkonstruktioner kan orsakas av klorväte, HCl, som frigörs vid kemisk sönderdelning av PVC. Locher och Sprung (28) har gjort en studie av gasens inträngningshastighet i betong. Betongkvaliteten visade sig åter vara en viktig faktor. Hög resistens uppnås om vct begränsas till 0,55. Vidare måste HCl-koncentrationen och temperaturen vara höga, betongen hållas fuktig och exponeringen vara i flera dagar om farligt angrepp skall ske.

4.4 Lättballastbetong

Om den alkaliska miljön runt ingjutna ståldetaljer neutraliseras och tillgång på vatten och syre finns, kan korrosionsangrepp ske. Karbonatiseringsprocessen åstadkommer en neutralisation av miljön men fordrar tillgång på koldioxid.

För lättballastbetong kan karbonatiseringshastigheten, uttryckt med frontens inträngning, förväntas öka jämfört med vanlig betong p g a snabb diffusion genom de porösa kornen. Å andra sidan är cementpastan vid lika hållfasthet tätare än hos vanlig betong, vilket verkar i motsatt riktning.



K = karbonatiseringsfrontens inträngningshastighet
R = korrosionshastigheten

Fig 48. Schematisk skiss över karbonatiserings- och korrosionsprocessens hastighet vid varierande rf.

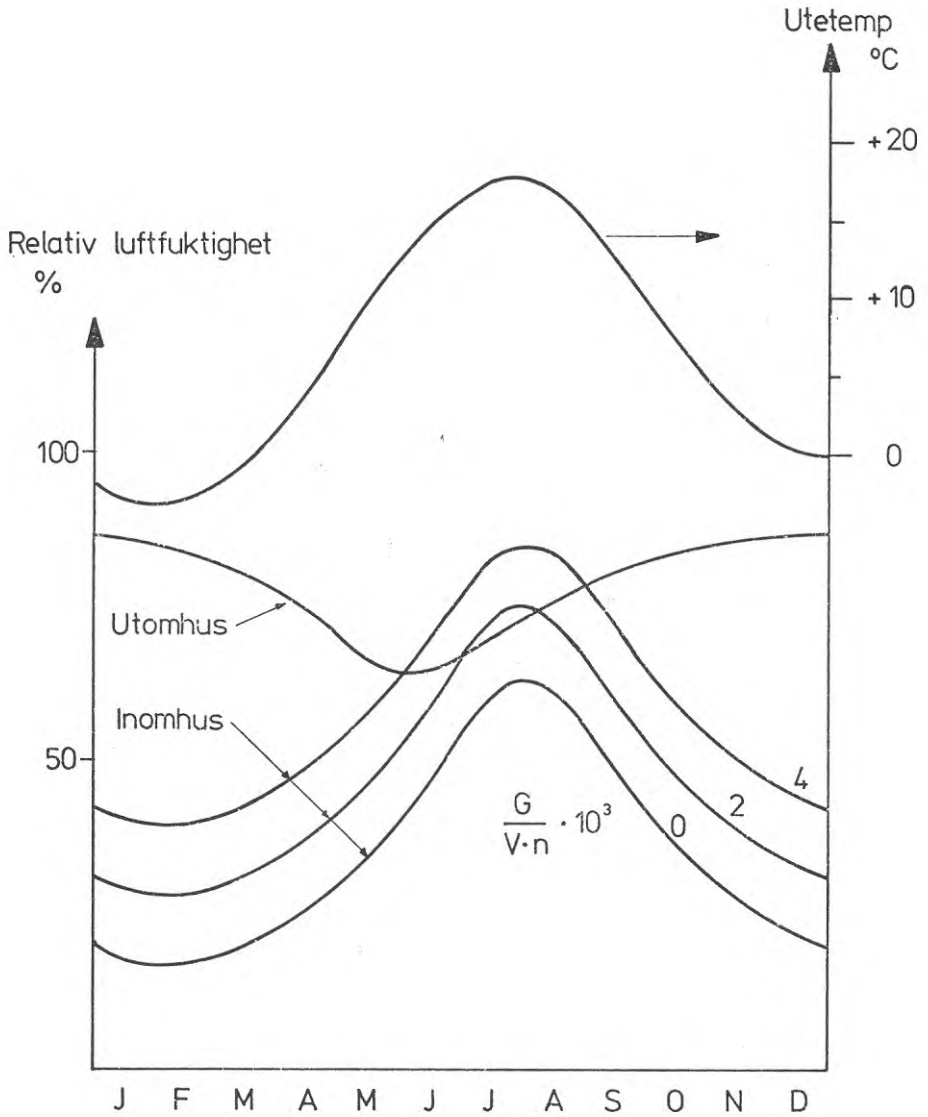


Fig 49. Månadsmedelvärde av temperatur och rf utomhus och beräknad rf inomhus vid olika fukttillstånd, $\frac{G}{n \cdot V}$ kg/m³. (71)

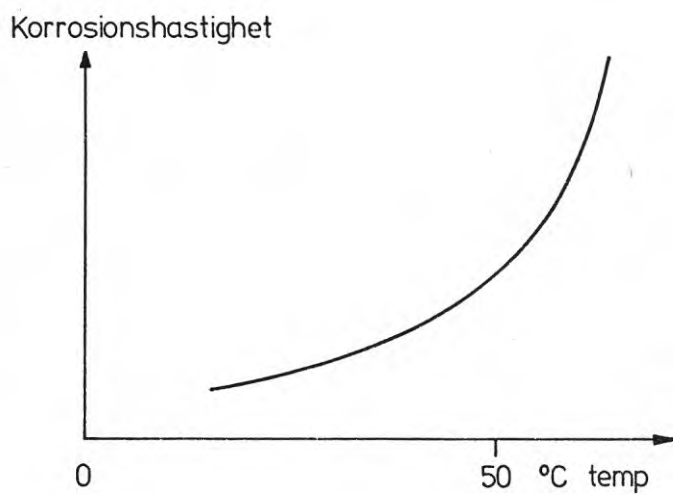


Fig 50. Schematisk skiss över temperaturens betydelse för korrosionshastigheten.

Grimer (29) har visat att karbonatiseringshastigheten och -djupet har ungefär samma principiella beroende av vct och tid för lättballastbetong som för vanlig betong. Karbonatiseringsdjupet för vanlig betong med vct 0,6 är ett fåtal mm/år. Vid övergång till lättklinkerbetong har Soretz och Grimer (29, 30) funnit dubbelt så stor karbonatiseringshastighet, medan Saarima och Sihvonen (31) vid lika tryckhållfasthet fått samma karbonatiseringshastighet. Schulze och Günzler (32) har funnit karbonatiseringsfronten ojämn p g a gaspenetration genom ballasten, se fig 51. Täcksiktets tjocklek rekommenderas därför överstiga maximala kornstorleken.

Härav framgår att karbonatiseringsdjupet troligen blir något större för lättballastbetong än för vanlig betong, däremot är skillnaderna större vid varierande permeabilitet på cementpastan.

Rostsprängningar som resulterar i långsgående sprickor och sålunda ökar korrosionsangreppen hejdas främst genom ett tillräckligt tjockt täcksikt. Lättballastbetongen har lägre brottöjning varför mindre volymexpansioner kan uthärdas utan sprickbildning. Grimer (29) har utfört jämförande försök varvid rostsprängningar erhöles för lättballastbetong men inte för ordinär betong.

Korrosionsriskerna kan dock vara betydligt större om svavelhaltiga ballasttyper används, Skarendahl (33).

4.5 Korrosion på icke-järnmetaller

Metaller som aluminium, bly, koppar och zink kan korrodera när de har ytkontakt med betong eller ingjuts i betong, se tabell 9. Korrosionsprodukterna orsakar en volymökning, vilket kan resultera i utsprängning av täcksiktet.

Tabell 9 Korrosionshastigheten för olika metaller i cementpasta
Martikainen (69) Korrosionshastigheten anges med siffrorna 0-5.

Koppar	1-2
Bly	4
Aluminium	5
Zink	3

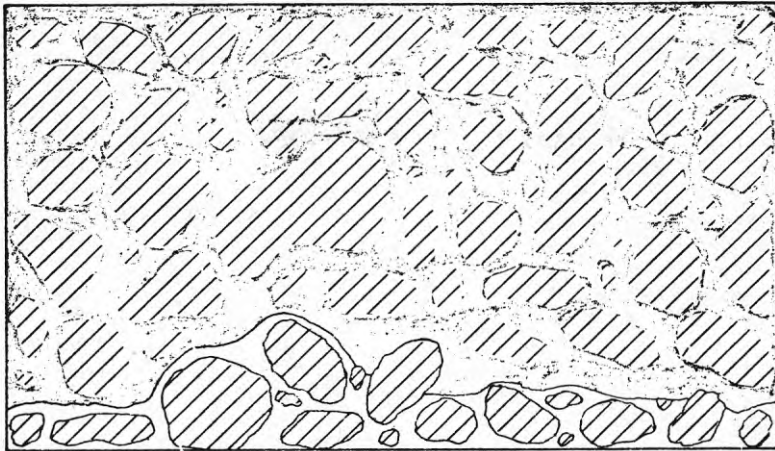
Ingjutna metaller med olika sammansättning bör inte ha för små avstånd eller vara i kontakt med varandra. Konstruktioner där en separering omöjliggörs fordrar att metallen har ett skyddande ytskikt. Detta kan åstadkommas med organiska beläggningar som bitumen, plaster, m m, se punkt 4.7.

Liksom betongkvaliteten, utförandet, miljön och sprickorna påverkar stålets korrosion i betong, gäller in princip samma regler för ovan nämnda metaller.

Aluminium - Aluminium korroderar i betong, speciellt i färsk betong som har hög alkalihalt, se fig 52. En av korrosionsprodukterna är vätgas.

Om galvanisk korrosion kan ske ökar korrosionshastigheten om både stål och aluminium ingjuts i betongen, Woods (34). Även om elektrolyten innehåller kloridjoner accelereras korrosionsprocessen.

Sammanfattningsvis kan sägas att aluminium ej bör ingjutas i betong, speciellt då även stål eller andra metaller ingjuts och då betongen innehåller kloridjoner. Korrosionshårdigheten kan avsevärt förbättras med ett skyddande ytskikt.






-  Lättballast
-  Okarbonatiserad cementpasta
-  Karbonatiserad cementpasta

Fig. 51. Schematisk skiss över karbonatiseringsfrontens inträngning i lättballastbetong. (32)

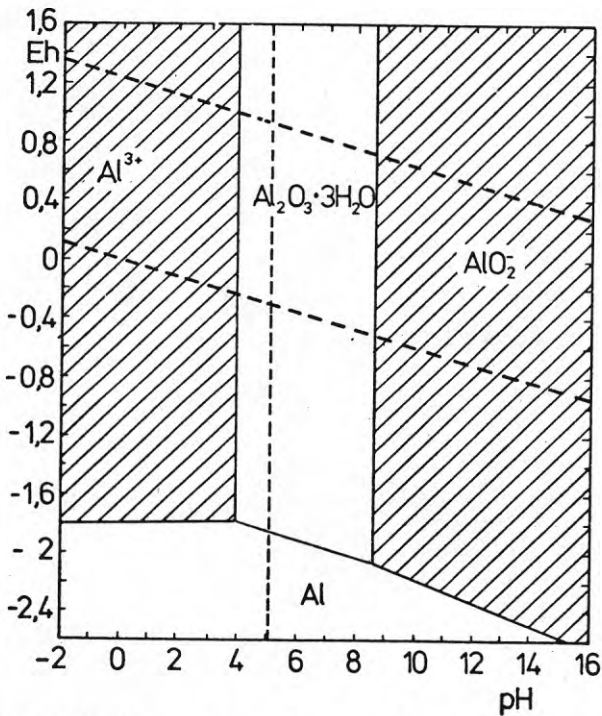


Fig. 52. Potential-pH-diagram för aluminium. (72)

Bly - Bly har god motståndskraft mot många kemikalier, men i kontakt med fuktig betong attackeras metallen av kalciumhydroxiden som bildar blyoxider. Om blyet kommer i kontakt med t ex armeringsstålet i betongen, accelereras korrosionsprocessen. Ett skyddande yttskikt bör därför användas då bly ingjuts i betong.

Koppar - Koppar och kopparlegeringar angrips normalt ej av färsk betong, ej heller av hårdnad betong med hög fuktighet, se fig 53. Betong som innehåller kloridjoner kan däremot orsaka korrosionsangrepp, speciellt vid hög fuktighet.

Galvanisk korrosion kan väntas om kopparn är för nära eller står i kontakt med ingjutna ståldetaljer. Närvaron av klorider accelererar därvid korrosionsprocessen. Då koppar och stål ingjuts i betong bör kopparn isoleras med något yttskikt, exempelvis ett plastskikt.

Zink - Zink angrips av färsk betong, se fig 54. Hur svårt den alkaliska betongen angriper zink har inte klarlagts. Korrosionen kan avstanna efter ett initialangrepp. Zinkens största användningsområde är som beläggning på förzinkat stål, se under punkt 4.7.

4.6 Skadefall som utretts av CBI:s uppdragsfunktion

De korrosionsskador på värmeledningsrör och luftcirkulationsrör som Cement- och Betonginstitutet utrett skall här behandlas kortfattat.

Korrosion på ingjutna värmeslingor - Ovanpå ett bjälklag ingöts värmeslingor i cementbruk. Först utlades s k banor av bruk som enbar komprimerades med slag av en skyffel. Nästa dag fortsatte ingjutningen av värmeslingorna varvid en vibratormaskin fördes på dessa banor.

Cementhalten i slipbruket var ca 350 kg/m^3 och kalciumkloridtillsatsen motsvarade ca 0,25 % av cementvikten. Efterkontroll visade dock att kloridkoncentrationen i vissa fall kunde varit större.

På de ingjutna rören upptäcktes läckor. Dessa var belägna i bana eller i omedelbar närhet av bana. Vid närmare undersökning observerades att de allvarligaste korrosionsskadorna var belägna på de delar av slingorna som var närmast banorna.

Den ofullständiga komprimeringen av slipbruket i banorna var troligen den primära skadeorsaken. Vidare kan kloridjonerna ha accelererat korrosionsprocessen, Bergström och Lundström (35).

Korrosion på ingjutna värmeslingor - Värmeslingorna som bestod av svetsade tuber med godstjockleken 1,5 mm hade ingjutits i cementbruk med blandningsförhållandet 1:11, dvs låg cementhalt.

Den låga cementhalten har troligen orsakat skadorna. Andra faktorer som accelererat korrosionsprocessen var den ofullständiga komprimering som bruket erhållit. Bruket innehöll även klorider. Koncentrationen motsvarade ca 1 - 1,5 % CaCl_2 av cementvikten, Halvorsen (36).

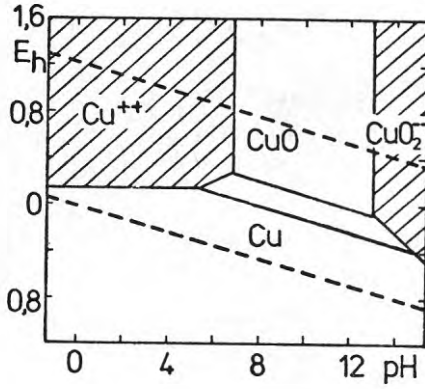


Fig. 53. Potential-pH-diagram för koppar. (72)

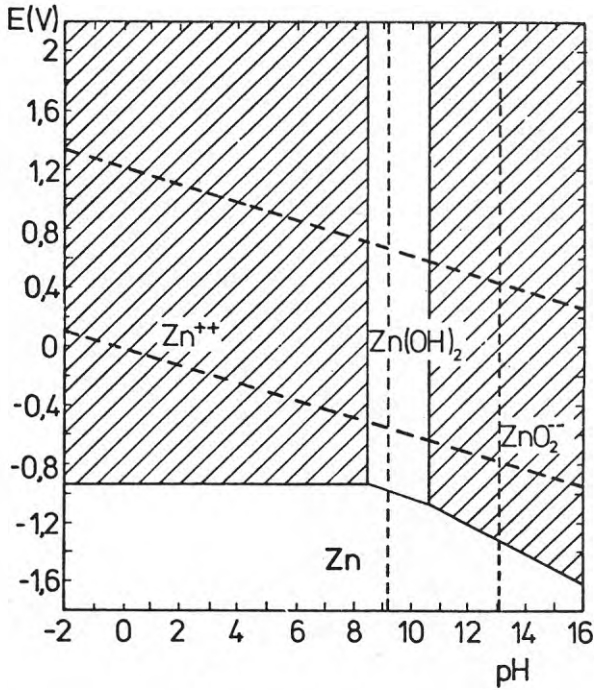


Fig. 54. Potential-pH-diagram för zink. (72)

Korrosion på värmerör i villor - Golvet bestod av två bruksskikt vardera 5 cm tjockt, som låg på 8 cm armerad betong. Värmeslingorna som var upplagda på träklotsar, placerades i det understa bruksskiktet.

Vidhäftningen mellan de två bruksskikten var dålig och "bom" konstaterades på 50 % av ytorna. Detta har underlättat för luften att komma i kontakt med rören. Den låga kvaliteten hos bruket Kl50, dvs hög porositet, ansågs vara den primära skadeorsaken. Antagligen gynnade även träklotsarna korrosionen.

I detta fall hade det varit säkrare att placera rören i betongplattan p g a högre betongkvalitet i plattan, Birger Warris (37).

Korrosion på radiatorledning - Rörledningarna passerade genom en linotolbeläggning, ett vanligt betongundergolv och ett bjälklag. De hade omlindats med stenull, dock icke på sträckan där röret passerade linotolgolvet.

Korrosionsskador konstaterades på hela sträckan genom linotolgolv, undergolv och bjälklag. Eftersom allvarliga skador endast uppstått på ett rör torde anledningen till skadorna vara golvets olyckliga lutning. Vatten hade nämligen kunnat rinna från ett angränsande duschrum och fuktat det skadade röret. Även rörets kontakt med det kloridhaltiga linotolgolvet kan ha accelererat korrosionen.

En bättre lösning ur korrosionssynpunkt hade varit att ingjuta ett plaströr som slutat några centimeter ovanför linotolskiktet, Birger Warris (38).

Sammanfattningsvis kan sägas att vid samtliga skadefall har faktorerna, betongens permeabilitet och fukthalt haft avgörande betydelse.

Hög permeabilitet har åstadkommit genom dålig komprimering och låg cementhalt. Betongens fukthalt kring rören har ökat, dels genom dålig detaljplanering på konstruktionsstadiet, dels genom slarv på byggnadspaltserna. Vårt att observera är förekomsten av kloridjoner vid de flesta skadefallen.

4.7 Skyddsåtgärder

Korrosion kan endast ske då potentialskillnader kan uppstå på metall-ytan, då elektrolyt med tillräckligt stor ledningsförmåga existerar, och då reaktionerna kan fortgå vid båda elektroderna. Eliminering av enbart en av dessa förutsättningar förhindrar korrosionsangrepp.

4.7.1 Skyddande ytskikt på metallen

Bortsett från kemisk behandling av metallytan för utveckling av ett skyddande oxidskikt, har man föreslagit beläggningar med plast, gummi eller tunna metallskikt.

Av de organiska beläggningarna kan tre huvudtyper särskiljas enligt Mattsson (1).

- a) Härdplaster, såsom fenol-, epoxi- och furanplast
- b) Termoplaster, såsom eten-, propen-, amidplast m m
- c) Gummi, såsom natur-, butyl-, hårdgummi m m.

Beläggningarna skall ha tillräcklig motståndskraft mot slag, nötning, kemiska och termiska påkänningar. Skulle en sådan beläggning få lokala defekter kan den underliggande metallen få djupa korrosionsangrepp. Detta gäller då metallen blir anod i korrosionsprocessen. De organiska beläggningarna skyddar effektivt mot galvanisk korrosion då olika metaller ingjuts. Så t ex bör kopparrör bekläs med en organisk beläggning i en armerad betongplatta. Med hjälp av förekommande tabellverk kan materialval ske.

Vid metallisering kan två typfall särskiljas enligt Mattsson (1)

- a) beläggningmetallen är ädlare än grundmetallen
- b) beläggningmetallen är oädlare än grundmetallen.

Djupa korrosionsangrepp kan ske då ytskiktet är ädlare än grundmetallen, denna metod bör därför ej användas på rör.

Zink är oädlare än stål och har använts för att bl a minska korrosionsriskerna för armering. Försök visar att färsk betong kan reagera med zink, Nordisk Förzinkningsförening (40). Vid pH-värden mellan 6 och 12,5 à 12,6 sägs täta zinkbeläggningar vara nästan stabila, medan en ökning av pH-värdet med 0,1 enheter över detta intervall ökar zinkupplösningen högst avsevärt, Rouen (41). Reaktionen tycks emellertid avstanna under betongens hårdnande och ytterligare med tiden.

Zinkens reaktion i färsk betong är starkt beroende av mängden lösliga kromater, Gjörv (42). Reaktionen minskar med mängden kromater. Klorider sägs ha mindre inverkan ur korrosionssynpunkt på förzinkat stål än på svart stål, Frazier (43). Klorider kan emellertid ej betraktas som ofarliga då stålet är förzinkat p g a att korrosionsstarten framflyttas i kloridhaltig miljö, men bara för en begränsad tid. Förzinkning löser således inte alla korrosionsproblem för ingjutna ståldetaljer i betong.

Man kan minska korrosionsriskerna genom att förse stål med ett tunt skikt av cementvälling före ingjutning. Cementskiktet får dock inte torka före ingjutning. En uttorkning kan resultera i sämre vidhäftning och ökad porositet närmast metallen så att korrosionsriskerna ökar.

4.7.2 Minskning av omgivande miljöns korrosivitet

Ingjutna metaller kan skyddas genom minskning av omgivningens korrosivitet. Blockering av syretillförseln är ett sätt att förhindra korrosion. Syret kan hindras nå stållytan genom val av rätt betongkvalitet. Ytterligare permeabilitetsminskningar kan fås genom att påföra en tät beläggning på betongytan. Denna beläggning hindrar naturligtvis även föroreningar och salter att nå stållytan.

Enligt tabell 8 påverkas korrosionsprocessen av betongens fukthalt, vattenfyllda porer hindrar nämligen syret att tränga in till stålet.

Inhibitorer har nämnts av en del författare. Man skiljer på anodiska, katodiska och dubbelverkande inhibitorer. Inhibitorerna tillsätts i små mängder och förmår minska korrosionen. Så t ex motverkar natriumnitrit, NaNO_2 , stålets korrosion i neutral och basisk miljö. Mattsson (1). Inhibitorer skall dock användas med försiktighet eftersom ett felaktigt användande kan öka korrosionshastigheten, Sneek (19).

4.7.3 Katodiskt skydd

En metallytas elektropotential kan minskas genom att metallen belastas med en katodisk ström. Metallens korrosion kan därvid minskas eller helt upphöra beroende på elektropotentialens förskjutning. I praktiken är det dock ett problem att få tillräcklig kontroll av potential och ström-täthet över hela konstruktionen.

4.7.4 Konstruktiva åtgärder

För att korrosionsskador inte skall komma som en fullständig överraskning måste man redan på konstruktionsstadiet göra en bedömning av miljöns och andra inverkan faktorerers korrosionspåskyndande egenskaper. Vidare måste konstruktionerna utformas på ett sådant sätt att fukt, smuts och andra aggressiva ämnen inte samlas i konstruktionen. Så t ex är en fullständig omgjutning omöjlig vid skarpa in- och utvändiga hörn, därför rekommenderas avrundade hörn.

Rör som passerar bjälklag bör isoleras med ett material som både förhindrar fukt att tränga in till metallytan och tillåter temperaturrörelser, Sneek (19).

Om möjligheter finns bör givetvis rör installeras på sådant sätt att de kan inspekteras och eventuellt utbytas utan alltför stora kostnader.

Tabell 8 Inflytandet av luftens relativa fuktighet
på korrosionen hos stål i betong Sneck (15)

Relativ fuktig- het, %	Anmärkingar	Korrosions- risk
Betongen helt i vatten	Porerna och kapillärerna fyllda med $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -lösning. Syret mås- te diffundera genom dessa fyll- da porer för att nå fram till stålytan.	Ingen/Liten
90-95	Porerna och kapillärerna kan fyllas med kondensvatten. Syret måste diffundera genom dessa fyllda porer för att nå fram till stålytan.	Liten/Stor
Mellan 60-95	Vatten och syre förs lätt in till armeringen.	Stor
Under 50-60	Ingen elektrolyt.	Ingen

5. KORROSION PÅ RÖR OMGIVNA AV ISOLERINGSMATERIAL

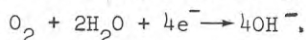
5.1 Korrosionsmekanismer

5.1.1 Luftningsceller

Potentialskillnader kan uppkomma till följd av skillnader i elektrolytens sammansättning på skilda delar av metallytan. Den vanligaste orsaken till korrosionsskador på värmeisolerade metallrör torde vara att syrekonzentrationen är olika på skilda delar av metallytan. Syrekonzentrationsskillnader kan uppkomma genom att isoleringsmaterialet endast lokalt är i kontakt med rörmaterialet eller genom att isoleringsmaterialet lokalt är sammanpressat.

På det ställe där syrekonzentrationen är lägre bildas anoden i luftningscellen och metallen korroderar enligt formeln $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2e^-$.

På det ställe där syretillförseln är obehindrad bildas katoden där förbrukning av de frigjorda elektronerna sker enligt formeln



Vid all beröring mellan en metall och ett poröst material finns därför risk för korrosion om fukt är närvarande. Detta visas av följande experiment.

T Sneek (44) undersökte i ett laboratorieprov svetsade stålrör som var täckta med lecagruskorn, glaspärlor och polytetrafluoreten- halvsfärer. Fyra provserier utfördes. Rörets yta hölls kontinuerligt våt eller hölls ömsom i vatten och ömsom i luften. Detta prov utfördes såväl vid rumstemperatur som med varmt vatten cirkulerande i rören.

Samtliga provstycken var korroderade efter 6 veckor. Provningsresultaten visade att rören under provningsbetingelserna korroderat lokalt vid beröringspunkterna oberoende av om rören varit i kontakt med leca-gruset, pärlorna eller plasten som såväl till sammansättning som till egenskaper är mycket olika varandra. I praktiken innebär detta att korrosionsskador är möjliga då metall kommer i kontakt med ett poröst ämne vid närvaro av fukt och syre.

Hagman (45) undersökte följande isoleringsmaterial: glasull (Glasullex), slagull (Slagulex), stenull (Rockwool), vadd och magnesiamaassa av två olika fabriker. Materialen hade inköpts i fria handeln under år 1946. Undersökningen tillgick så att stålrör av en given längd isolerades och försågs med ändskivor av masonit till förhindrande av uttorkning. Provserier utfördes dels med dels utan vattentät beklädnad. De iordningställda proverna nedsänktes därefter med vissa tidsintervaller i vatten med en temperatur av 50°C . Under uttorkningsperioderna förvarades proverna i luft med en temperatur av ca $+55^\circ\text{C}$ och ca 25 % relativ fuktighet. Efter en viss tid varierande mellan 45 och 260 dygn - avbröts undersökningen.

Undersökningen gav resultatet att korrosionshastigheten genomgående visade en avtagande tendens för proven utan tät ytterbeklädnad medan förhållandet var det omvända med sådan ytbeklädnad. Detta beror på att vatten, sedan det väl trängt in, avdunstar ytterst långsamt genom en tät ytbeklädnad. Undersökningen visade vidare: "Den hastighet med vilken isolerade järn- och stålrör korroderar varierar visserligen i någon mån för olika isoleringsmaterial men å andra sidan föreligger alltid - oavsett vilken isolering som används risk för mer eller mindre svåra korrosionsangrepp, om isoleringen blir våt och vatten under någon tid kommer i kontakt med röret."

5.1.2 Galvanisk korrosion

G Nilsson (46) undersökte riskerna för galvanisk korrosion vid sandwichkonstruktioner. Den undersökta konstruktionen framgår av figur 55.

Ett betongblock innehåller den ingjutna elektroden. Yttrelektroden som står i det vattendränkta och mot betongen anliggande isoleringsmaterialiet hålles på en bestämd plats i förhållande till betongblocket.

På grundval av potential- och strömmätningar bedöms riskerna för korrosion vid användning av olika kombinationer av elektroder. Följande kombinationer undersöktes:

Inre elektrod	Yttre elektrod
Kolstål	Kolstål
Förzinkat kolstål	Förzinkat kolstål
Kolstål	Förzinkat kolstål
Kolstål + förzinkat kolstål	Förzinkat kolstål
Kolstål + rostfritt stål	Rostfritt stål

Vidare undersöktes fyra olika isoleringsmaterial (Wellit, Rockwool, Laxåplattor och plastad glasull).

Av de undersökta korrosionscellerna var det endast den sistnämnda kombinationen som under de aktuella försöksbetingelserna var praktiskt taget helt strömlös och därmed ur korrosionssynpunkt ofarlig. De undersökta isoleringsmaterialen kunde inte graderas inbördes med de genomförda mätningarna som grund.

T Sneck och E Hänninen (47) har i sina undersökningar av olika isoleringsmaterial även använt koksgrus. Kol är elektriskt ledande varför det verkar på liknande sätt som en metall och bildar en av elektroderna i den galvaniska cellen koks/rörmaterial. Korrosionshastigheten blir större än vid användning av andra isoleringsmaterial som ej ger denna galvaniska verkan.

5.1.3 Läckströmskorrosion

Denna typ av korrosion torde vara ganska sällsynt i isolerade byggnadskonstruktioner men kan utgöra en viss fara om likspänningsaggregat av någon typ jordas genom anslutning till den isolerade konstruktionen t ex vid svetsning.

I husinstallationer har denna korrosionsform dock icke entydigt påvisats, åtminstone inte vid rörgenomfrätningar efter förhållandevis kort användningstid. Förmodligen har de i föregående avsnitt behandlade korrosionsorsakerna bidragit mer eller mindre starkt eller varit helt dominerande.

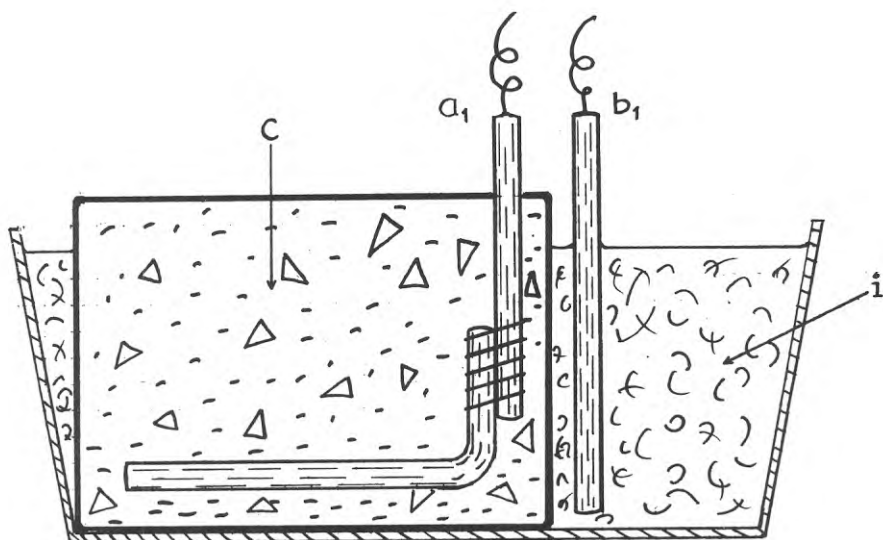


Fig. 55. Konstruktion för undersökning av galvanisk korrosion.

5.2 Inverkan av värmeisoleringsmaterialets egenskaper

De olika typer av isoleringsmaterial som kan komma i kontakt med metaller i husbyggnader framgår av följande sammanställning (48):

<u>Isoleringsmaterial</u>	<u>Form</u>	<u>Anm</u>
<u>Mineralull</u>		
Glasull	Lösull, skivor mattor, rörskålar	Ej hygroskopiska
Stenull		Ej kapillärsugande
Slaggull		
<u>Cellplaster</u>	Skivor, rörskålar	
<u>Cellglas</u>	Skivor, rörskålar	Ej hygroskopisk, ej kapillärsugande
<u>Kork</u>	Skivor, rörskålar	Ej kapillärsugande
<u>Wellisolering</u>	Skivor	Ej kapillärsugande
<u>Såg- och butter- spån</u>	Lös fyllning	
<u>Trällsplattor</u>	Skivor	Max 1,5 % CaCl_2 av torr platta
<u>Lättbetong</u>	Block, plattor, ele- ment, lös fyllning	
<u>Lättklinkerbetong</u>	Block, plattor, lös fyllning	
<u>Koksaska, koksslagg</u>	Lös fyllning	Höga svavelhalter kan förekomma
<u>Granulerad masungs- slagg</u>		Höga svavelhalter kan förekomma

5.2.1 Hygroskopiska salter

De vattenlösliga salterna i isoleringsmaterialen kan tillmätas viss betydelse, Bukowiecki (49) har undersökt den av fasta salter och andra hygroskopiska ämnen förorsakade korrosionen. Om salterna tar upp vatten ur luften kan detta resultera i svåra korrosionsangrepp. Detta kan ske om luftens absoluta fuktighet är högre än ångtrycket över det ifrågavarande ämnets mättade vattenlösning.

T Sneck och E Hänninen (47) utförde med anledning härav experiment där tvättade och otvättade isoleringsmaterial placerades på stål- och kopparplattor vid 70 % relativ fuktighet. De mest intressanta resultaten erhöles med koksgrus som i obehandlat tillstånd orsakade en ytterst kraftig korrosion. Resultaten tolkades så att koksen innehållit hygroskopiska salter som upptagit vatten redan vid 70 % relativ fuktighet. Därvid har bildats elektrolyt för den galvaniska cellen koks/stål. Träullsplattan visade i princip ett liknande uppförande. Detta tolkas så att isoleringsmaterial, om de innehåller hygroskopiska salter, kan orsaka korrosion även om flytande vatten ej får tillträde till isoleringen. Nedanstående uppställning visar korrosionsangrepp på stål och koppar i kontakt med obehandlat (O) och tvättat (T) isoleringsmaterial vid 70 % relativ fuktighet. Korrosionsangreppen är graderade: tydlig korrosion (+), obetydlig korrosion((-)) och ingen korrosion (-).

Nr	Material	Stål		Koppar	
		O	T	O	T
1	Glasull	-	-	-	-
2	Bergull	-	-	-	-
3	Slaggull	-	+	-	-
4	Vadd	-	-	-	-
5	Träullsplatta	+	(-)	-	-
6	Lättbetong	-	-	-	-
7	Asbest	+	+	-	-
8	Wellpapp	-	-	-	-
9	Infusoriejord	-	-	-	-
10	Sand	(-)	-	-	-
11	Koksgrus	+	(-)	+	(-)

G Nilsson (66) utförde försök med järnplåtar som var inbäddade i isoleringsmaterial vid olika relativa fuktigheter (33, 76, 94 och 97 %). Samtliga försök utfördes vid rumstemperatur.

Utvärderingen av korrosionsförsöken skedde med rostgradskalan för rostskyddsfärger (SIS 185111) där siffran 10 betyder helt intakt och siffran 1 helt rostig yta. Exempel på försöksresultat från 100 dygns provning i 94 och 97 % relativ fuktighet ges i följande uppställning:

<u>Isoleringsmaterial</u>	<u>Relativ fuktighet</u> %	<u>Rostskyddsgrad</u>
Koksaska	94	1 och 2
Slagg av varierande ursprung	94	2, 8 och 9
Lättbetong- kross	2 mm 0,5 mm	5 och 8 1 och 3
Tegelkross	94 och 97	8 och 9
Mineralullskiva	97	9 och 10
Kross av gipsplattor	94	2

Följande slutsatser dras av försöksresultaten: "Fyllnadsmaterial som koksaska och gips är mycket riskabla att använda. Även kross av lättbetong samt vissa slag av masugnsslagg kan medföra korrosionsskador. Tegelkross och mineralull synes knappast medföra några risker för svårartade angrepp."

Dessutom är dessa försök ytterligare ett bevis på att inerta isoleringsmaterial ej orsakar allvarliga korrosionsangrepp på stålytor även vid en så hög relativ fuktighet som 97 %.

5.2.2 Korrosiva salter

Vattenlösliga salter kan, förutom genom den i föregående avsnitt behandlade verkan bidra till korrosionsangrepp på en fuktig metallyta genom:

- att öka ledningsförmågan hos fuktfilmen,
- att förändra fuktfilmens pH-värde,
- att öka halten av sådana joner som medför risk för lokala angrepp.

Flera undersökningar har utförts i syfte att fastställa halten lösliga salter i isoleringsmaterial och dessa salters inverkan på korrosionen av olika metaller. I några äldre arbeten bl a Fleissner, 1912 (50) påstås att slaggull sönderfaller under inverkan av fuktighet. De bildade sönderfallsprodukterna är enligt författaren aggressiva mot stålrör. Enligt en uppgift från 1943 innehåller slaggullen ca 1,8 % CaS (51). Något samband mellan korrosionshastigheten vid lagring utomhus hos järnplåtar omgivna av isoleringsmaterial och sulfidhalten kunde dock inte erhållas, av Guttman (52). Däremot erhöles ett samband mellan slaggullens gipshalt och korrosionshastigheten vid denna provning. I detta sammanhang kan dock påpekas att dagens mineralull ej innehåller kalciumsulfid eller gips (48).

Ett flertal undersökningar har undersökt inverkan av tvättlösningar från olika isoleringsmaterial på korrosionen av olika metaller. T Sneek och E Hänninen (47) undersökte några egenskaper hos olika isoleringsmaterials vattenlösningar. Lösningarna har - med några undantag - blivit alkaliska till följd av isoleringsmaterialets inverkan. I följande uppställning anges analys av tvättlösningarna:

Nr	Material	pH	SO ₃	Cl
			mg/100 g isoleringsmaterial	
	Vatten	5.9	-	-
1	Glasull	9.4	21	
2	Bergull	9.7	7	
3	Slaggull	10.3	10	
4	Vadd	6.4	41	
5	Träullsplatta	9.2	172	750
6	Lättbetong	10.4	645	
7	Asbest	8.1	10	
8	Wellpapp	9.2	165	
9	Infusoriejord	6.9	329	
10	Sand	6.6	34	
11	Koksgrus	8.1	96	

De ur isoleringsmaterialen utlösta salterna ökar inte korrosionshastigheten av stål och aluminium jämfört med korrosionen i vatten. Korrosionen av koppar tycks däremot vara större i tvättlösningarna.

Schindler (53) redovisar resultat från en undersökning av aluminium och förzinkat stål i tvättvatten från mineral- och glasull samt i lednings- och destillerat vatten. För zinkplåtarna gällde att angrepp erhöles i samtliga tvättvatten men korrosionshastigheten var störst i det destillerade vattnet. Aluminium angreps lika mycket i alla tvättvatten. Det bör kanske påpekas att undersökningarna avseende tvättlösningarnas korrosivitet inte är relevanta för de förhållanden som gäller vid korrosion av rör förlagda i isoleringsmaterial, utom i de fall då allmän korrosion sker t ex vid upplösning av aluminium i starkt alkalisk lösning. Vid korrosionsundersökningar i stillastående tvättvatten är i allmänhet det hastighetsbestämmande steget tillförsel av syre och en ökning av halten aggressiva joner ökar inte märkbart korrosionshastigheten. Korrosionsangreppet sker på hela den neddoppade ytan och angreppet är av typ allmän korrosion.

Vid angrepp på rör förlagda i isoleringsmaterial är i allmänhet angreppet av typ lokal korrosion på grund av skillnader i elektrolytens syrehalt. En ökning av halten aggressiva joner påverkar korrosionshastigheten genom att öka elektrolyten ledningsförmåga och tillgång på aggressiva joner är ibland en förutsättning för att lokal korrosion skall inträffa. Klorider är exempelvis en förutsättning för punktfrätning i rostfritt stål.

Det har dock rapporterats ett fall i samband med mineralullsisolering av aluminium då den alkaliska reaktionen blivit så kraftig att korrosionsskador uppstått (54).

Spänningskorrosionssprickning av austenitiska rostfria stål har rapporterats (55). Skadorna har därvid uppstått genom att isoleringsmaterialet varit kloridhaltigt. Kloridanrikning har skett genom att regnvatten eller ånga passerat genom isoleringsskiktet och urlakat de vattenlösliga kloriderna. Vid den varma stálytan har sedan kloriderna anrikats till följd av förångning av vatten. De typer av isoleringsmaterial som an-

vändas vid denna undersökning innehöll (55) 85 % magnesiumsilikat eller 85 % kalciumsilikat eller utgjordes av glasfiber. Inget av dessa isoleringsmaterial innehöll mer än 0,5 % Cl₂ men genom den anrikningsprocess som beskrivits har halter på 5 % uppmätts på stålytan.

Även om isoleringsmaterialen i och för sig ej är aggressiva i kontakt med fuktiga metallrör måste man dock betrakta risken för att de förändras i samband med rörinstallationen t ex vid svetsning och lödning. Exempel på detta har beskrivits i samband med varmvatteninstallationer av kopparrör (56). Skadorna uppträdde nästan uteslutande vid lödställen. Denna skadetyper kunde sättas i samband med de nya typer av isolerade kopparrör som kommit på marknaden. Skadorna visade sig vara orsakade av isoleringsmaterialens sönderfall vid de höga temperaturer som råder vid lödningen. För att undersöka vilka isoleringsmaterial som i samband med lödning kunde orsaka korrosionsskador på kopparrör genomförde man en laboratorieundersökning med följande isoleringsmaterial: a) silke b) filt c) polyeten d) polyvinylklorid (PVC) e) "Puma"-band (på PVC-bas). Under de valda försöksbetingelserna visade det sig att endast polyeten var ofarligt.

5.3 Inverkan av yttre faktorer på korrosionshastigheten

5.3.1 Fukt

Den relativa fuktighet vars överskridande medför starkt ökad korrosionshastighet, på grund av att fukt absorberas på metallytan, kallas den kritiska fuktigheten. Den kritiska fuktigheten vid vilken järn och stål kan börja rosta anses ligga vid 65 - 70 % (57). Denna korrosion kan dock närmast betraktas som allmän korrosion, och är därmed relativt ofarlig.

A Guttman (52) har angett kvantitativa data för stål i kontakt med värmeisoleringsmaterial (mineralull) vid utomhusprovning under regnskydd. Korrosionshastigheten anges till $0,5 \cdot 10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3} \text{ g/dm}^2 \cdot \text{månad}$. Korrosionshastigheten för stål i kontakt med vått isoleringsmaterial anges av Hagman (45) till $0,5 - 2 \text{ g/dm}^2 \cdot \text{månad}$ dvs ca 1000 gånger större. Om isoleringsmaterialet är inert och ej fuktas av regn eller vatten från byggnadsprocessen föreligger således ej risk för att korrosion skall äga rum genom verkan av luftningsceller vid hög relativ fuktighet. Förhållandena blir annorlunda om isoleringsmaterialet innehåller hygroskopiska salter (se avsnitt 5.2.1).

Om isoleringsmaterialet innehåller större mängder vatten blir korrosionshastigheten betydligt högre och risken för uppkomst av luftningsceller är stor. Detta visar den redan nämnda undersökningen av Hagman (45).

Även kondensering av vattenånga på en kall metallyta kan medföra en snabb lokal korrosion om röret är i kontakt med ett isoleringsmaterial så att luftningsceller kan uppstå. För att illustrera den inverkan som kondensvatten har på värmeisolerade rör undersökte T Sneck och E Hänninen (47) ett antal olika rör- och isoleringsmaterial under förhållanden som orsakade kondensation på rören. De isoleringsmaterial som undersöktes var glasull, stenull, slaggull, vadd, träullsplatta, ånghärdad lättbetong, asbestsnöre, wellpapp, infusoriejord, sand och koksgrus. Rörmaterialen var svetsade stålrör med och utan glödskal, kopparrör och aluminiumrör. Rörbitar, 20 cm långa, isolerades med ett 5-6 cm tjockt isoleringsskikt. De isolerade rören placerades i en plåt-låda och förenades med gummislangar. Botten av lådan var vattentäckt, så att luften i lådan blev vattenmättad när lådan stängdes. Provet utfördes så att hett vatten (50-80° C) leddes genom systemet under två timmars tid. Därefter leddes kallt vatten (3-5° C) in under fem timmars tid. Isoleringsmaterialen fuktades före provningen och hölls fuktiga under hela provningen genom vattnets kondensering. Provningstiden var 4 eller 6 veckor.

Isoleringsmaterialens förmåga att orsaka korrosion varierade, med koks som det mest aggressiva. "Bland de undersökta materialen fanns inte ett enda som inte kunde åstadkomma punktangrepp. Detta var synnerligen klart med stålrören där punktangreppen kunde ses med blotta ögat. Hos kopparrören var tendensen också mycket tydlig. Ytligt betraktat hade aluminiumrören endast blivit utsatta för missfärgning, men även här kunde med mikroskopisk undersökning punktangrepp noteras."

5.3.2 Temperatur

Hos stål i vatten ökar korrosionshastigheten med temperaturen, detta på grund av ökande syretillförsel. Den når maximum vid ca 80° C för att därefter avta vid fortsatt temperaturhöjning, till följd av den sjunkande syrelösligheten i vattnet (57). Detta temperaturberoende kan ha en viss betydelse för varmvattenrör som är utsatta för en konstant fuktighet, t ex på grund av en läckande rörskarv, genom att det påskyndar genomfrätning av röret.

En temperaturhöjning har å andra sidan också en gynnsam inverkan genom att den åtminstone i vissa fall kan påskynda en uttorkning av exempelvis byggfukt. Det torde därför vara fördelaktigt att släppa på värmen så snart som möjligt då ett system är färdigbyggt.

5.4 Rörmaterialens betydelse

I husbyggnader används huvudsakligen följande metalliska material: stål, förzinkat stål, gjutjärn, koppar, olika typer av mässning samt i mindre omfattning rostfritt stål, aluminium och brons. Enligt en äldre beräkning (1957) fördelade sig de olika materialslagen för rör i hysbyggnader enligt följande (58): I flerfamiljshusen förbrukades 50 meter stålrör och 31 meter kopparrör per lägenhet och i enfamiljshusen 125 meter stålrör och 23 meter kopparrör. Stålrören fördelar sig på 48 meter bruna och gröna och 2 meter förzinkade för enfamiljshusen. Enligt en senare bedömning från Planverkets sida (59) utgör i nyproduktionen av husbyggnader koppar numera det helt dominerande materialet i rörssystem för tappvatten. I begränsad utsträckning användes även rör av plastmaterial medan stålrör inte torde användas annat än i undantagsfall.

Sammanfattningsvis dominerar alltså för värmesystemet materialet stål och för vattensystemet materialet koppar.

I det följande ges några allmänna synpunkter på användning av olika metaller med hänsyn till risk för yttre korrosion:

Stål och gjutjärn - I kontakt med fuktigt isoleringsmaterial sker en snabb korrosion (44, 45, 47).

Förzinkat stål - Varmförzinkade rör kan tåla ganska långa perioder med fukt, men om isoleringsmaterialet är fuktigt ständigt sker förr eller senare en genomfrätning av rören (60).

Koppar - Kopparrör är mycket hårdiga mot utvändig korrosion även om miljön ibland är fuktig. I kontakt med koppar bör sulfidhaltiga (slag) och ammoniakhaltiga material undvikas (60). Om isoleringsmaterialet är konstant fuktigt måste man dock räkna med att genomfrätning kan ske vilket inträffade skadefall visar (19, 68).

Brons - Brons har en korrosionshårdighet som motsvarar koppars (19).

Aluminium - Aluminium har en något bättre hårdighet än stål och koppar mot avlagringskorrosion (47). Aluminium är icke beständigt i alkalisk miljö med $\text{pH} > \text{ca } 9$. Viss typ av mineralull som med vatten ger alkalisk reaktion kan därför orsaka korrosionsskador på aluminium (54).

Rostfritt stål - Rostfritt stål till kallvattenrör är mycket hårdigt mot utvändig korrosion under alla förhållanden men varmvattenrör av austenitiskt rostfritt stål kan skadas genom spänningskorrosion (60) om en kloridanrikning sker på metallytan. Rostfria ståls korrosionshårdighet bygger helt på en tunn, skyddande oxidhinna som bildas i syrehaltig miljö. Stålen passiveras lätt. Nackdelen med denna passivitet är emellertid att lokal korrosion (gropfrätning, spaltkorrosion) lätt kan uppstå under spalter och beläggningar med begränsad syretillförsel. Dessa korrosionstyper uppträder speciellt i kloridhaltigt vatten och praktiska erfarenheter har visat att detta kan inträffa redan vid 50-100 ppm Cl^- under ogynnsamma förhållanden.

5.5 Skadefall som utretts av KI eller rapporterats i litteraturen

Korrosionsskador på ventilationsrör - Till ett ventilations- och uppvärmningssystem används 0,4 mm tjocka förzinkade stålrör. Rören isolerades med 2-3 cm mineralull och ingöts i betongbjälklag. Isoleringen över rörändarna var framdragen så högt att den kom att ligga i och över bjälklagets överyta. Vid vattenbegjutning av betongen samt vid regn var det möjligt att vatten kunde tränga ner i rörisoleringen och fylla denna. Vatten kunde även samlas genom kondensation mot det kylda röret. Efter ca 2 års användning upptäcktes korrosionsskador på rören (39).

Genomfrätning av värmeledningsrör - Korrosionsskador konstaterades på ett värmeledningsrör ca 6 månader efter det att värmeledningssystemet tagits i bruk. Vid en undersökning av orsaken till skadorna konstaterades att den angripna zonen bredd var densamma som bredden av en tvärgående träbalk vilken var något upphöjd över underbetongens yta. Situationen åskådliggörs i figur 56. I detta fall har korrosionen orsakats av fuktig mineralullisolering varvid en syrekonzentrationskillnad uppkommit vid träbalken som pressat ihop isoleringen och skapat en spalt där syretillförseln var sämre än på den övriga ytan och där dessutom uttorkning av fukt förhindrades. På det ställe

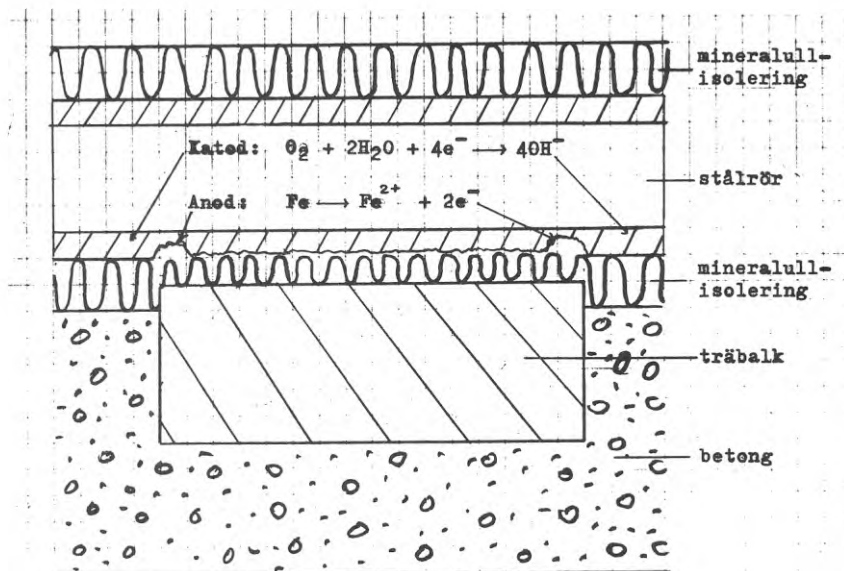


Fig. 56. Förläggning av värmeledningsrör där korrosion inträffat.

där syrekoncentrationen är lägre bildas då anoden i luftningscellen och metallen korroderar enligt formeln: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$. På det stället där tillträde av syre ej hindras bildas katoden där de frigjorda elektronerna förbrukas enligt formeln: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ (61).

Gasrör i magnesit-beklädnad - I slitsar av Heraklith (magnesit)-beklädnader uppträdde gropfrätning av gasrör, som visade sig redan vid tryckprovning (62).

Orsaken till korrosionsangreppen var att stålröret var täckt till ca 3/4 med ett starkt alkaliskt puts och passiverat. I övrigt var det delvis i kontakt med magnesitbeklädnaden. pH-värdet för vatten i kontakt med magnesit är omkring 9 medan det i kontakt med putsen är omkring 12. Under inverkan av byggfukten uppkom en korrosionscell varvid den med alkaliskt puts täckta större delen av rörytan fungerade som katod och den mindre ytan i kontakt med magnesia fungerade som anod. Till följd av den höga strömtätheten orsakades ett snabbt genombrott av rörväggen. Konstruktionen framgår av figur 57.

Korrosion på värmeisolerade kopparrör - Kall- och varmvattenrör av koppar låg på den bärande betongplattan i ett källarlöst hus. Betongen var bitumenisolerad. Rören var isolerade med ett rör av wellpapp med asbest på utsidan. Isoleringen blev våt, korrosion satte in och rören genomfrättes inom 4-5 månader. Detta skedde innan huset tagits i bruk (19). Konstruktionen framgår av figur 58.

Korrosion på isolerade stålrör - Stenfors (63) redogör för ett fall av galvanisk korrosion. Ett stålrör, isolerat med glasull, hade korroderat, varvid koppartråd använts för att sammanhålla isoleringen. Isoleringen var bestruken med asfaltemulsion, men ej fullständigt, så att isoleringen vid ingjutning i betong blivit fuktad av betongvatten. Det visade sig att korrosionen var kraftigast mitt för de ställen där koppartråden legat. Ett annat rör som ingjutits under samma förhållanden, men där isoleringen ej sammanbundits med koppartråd, visade sig vara fritt från korrosionsangrepp. En annan tänkbar förklaring till att korrosionen blev kraftigare mitt för de ställen där koppartråden legat är att isoleringsmaterialet här var lokalt sammanpressat varvid en luftningscell uppkommit.

Korrosion på varm- och kallvattenrör av koppar - I ett två år gammalt hus upptäcktes genomfrätningar av kopparrör för varm- och kallvatten. Anledningen till korrosionen var att mineralullisoleringen blivit våt till följd av ett läckage i en lödskarv. (68). Konstruktionen framgår av figur 59.

Korrosionsskador på plastbelagda stålrör - De första skadorna upptäcktes ca 9 månader efter det att värmeledningssystemet tagits i bruk. Vid inspektion av rören kunde man konstatera att korrosionsangreppen startat på de ställen av rören där plastbeläggningsen var mekaniskt skadad. De mekaniska skadorna hade inträffat vid rörförläggningen på grund av ovarsam hantering. Den sannolika orsaken till korrosionsangreppen var att fukt kommit in i bjälklaget under byggnadstiden, eventuellt kan även en hög grundvattennivå ha bidragit genom att försvåra uttorkning. Konstruktionen framgår av figur 60.

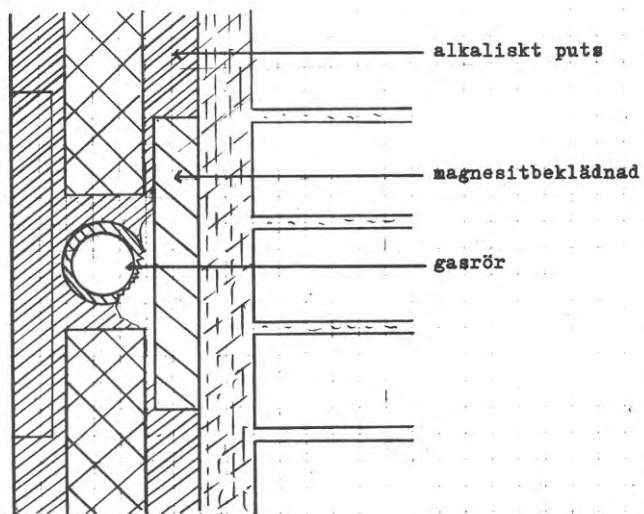


Fig. 57. Förläggning av gasrör i magnesit där korrosion inträffat.

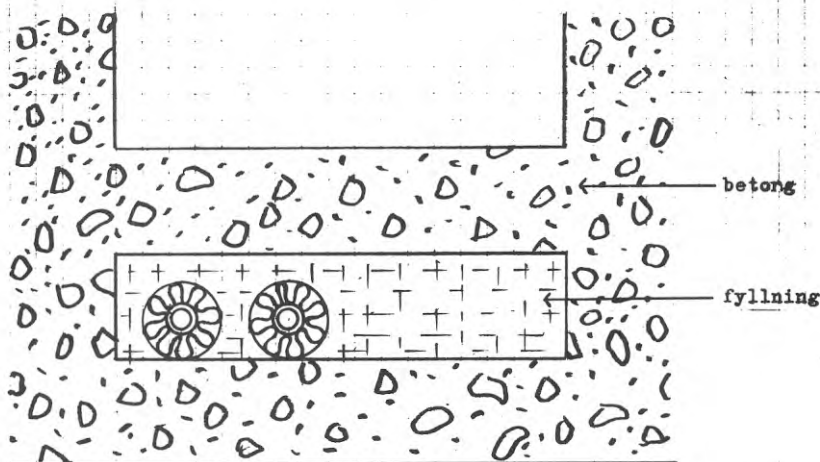


Fig. 58. Förläggning av isolerade kopparrör där korrosion inträffat.

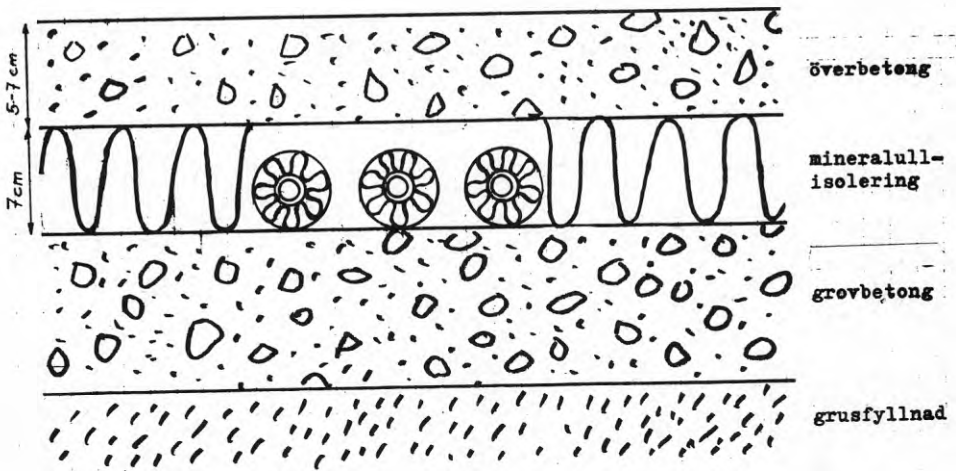


Fig. 59. Förläggning av isolerade kopparrör där korrosion inträffat.

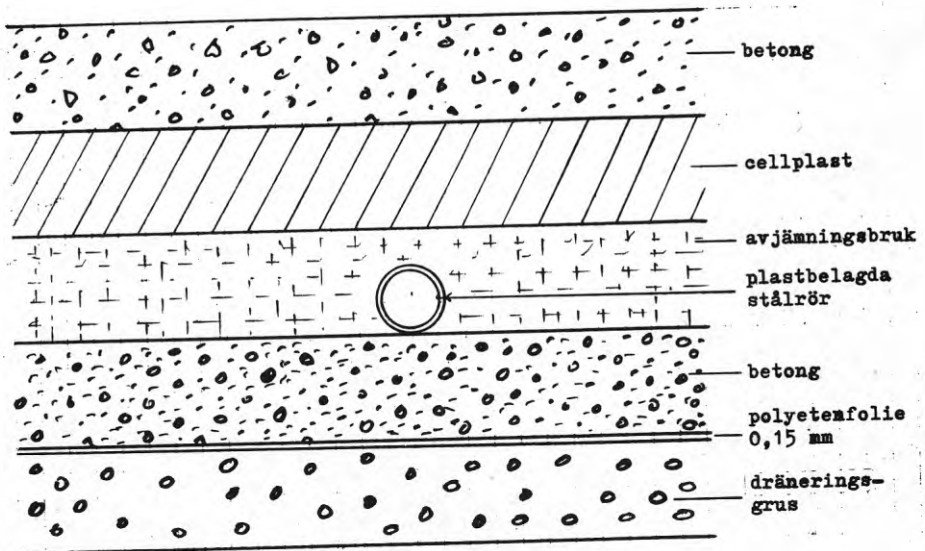


Fig. 60. Förläggning av plastbelagda stålrör där korrosion inträffat.

5.6 Korrosionshindrande åtgärder

5.6.1 Metallens egenskaper

Risken för korrosionsskador minskar naturligtvis vid användning av mera korrosionshårdiga material, som t.ex. koppar och rostfritt stål. Det är därför tänkbart att man skulle kunna eliminera de skador som uppkommer genom att cirkulationsvärmerör ligger i fuktigt isoleringsmaterial under byggnadstiden genom att använda korrosionshårdigare material än stål. En förutsättning är då att konstruktionen är utformad på ett sådant sätt att uttorkning kan ske då värmen släpps på. Vid långvarig förläggning i fuktigt isoleringsmaterial, t.ex. då man har kontinuerlig tillförsel av vatten från en läckande rörskarv, måste man dock räkna med att genomfrätning kan inträffa även på dessa material om förutsättningar för lokal korrosion är uppfyllda.

5.6.2 Minskning av miljöns korrosivitet

Korrosionsinhibitorer är organiska eller oorganiska föreningar som verkar kraftigt nedsättande på korrosionshastigheten genom att hämma antingen anod- eller katodreaktionen eller båda två. Tillsats av korrosionsinhibitorer till värmeisoleringsmaterial förekommer såvitt bekant ej men skulle kunna användas för att minska korrosionsrisken i isoleringsmaterial (65).

5.6.3 Ytbehandling

Ytbehandling av metallen är ett sätt att skydda mot korrosion. De applicerade skyddsskikten kan i princip indelas i två grupper. Den ena gruppens skyddsskikt har fysikalisk inverkan, dvs de isolerar bara metallen från den korrosiva omgivningen. Skyddsskikten i den andra gruppen har kemisk inverkan och kan skydda metallen på olika sätt.

Organiska ytbeläggningar - Organiska ytbeläggningar som påförs metallen genom målning hör till de vanligaste ytskydd. En rostskyddsmålning byggs upp av två skikt, grundfärg och täckfärg. Grundfärgen innehåller beståndsdelar som skyddar metallen genom att inverka på korrosionsprocessens elektrodreaktioner, medan täckfärgens uppgift är att skydda grundfärgen och att motstå påverkan från omgivningen. Målning av stålrör förekommer som transport- och lagringsskydd, t.ex. på s.k. gröna rör. Korrosionsprovning av värmeisolerade kulvertledning som utsattes för en accelererad korrosionsfrämmande dränknings- och uttorkningsprocess har dock visat att rostskyddsmålning av stålrör i längden ej ger något tillförlitligt korrosionsskydd, då den ej kan underhållas (64). Andra typer av organiska beläggningar är plaster och gummi. Vid förläggning av plastisolerade stålrör måste man beakta att plastskiktet ej skadas. Om detta skulle inträffa och fukt får tillträde till isoleringen sker i sådana fall en snabbare genomfrätning vid skadorna i plastskiktet än om röret ej var plastbelagt.

Oorganiska ytbeläggningar - De vanligaste oorganiska beläggningarna är metalliska och för dessa kan man särskilja två fall: det ena då beläggningmetallen är ädlare än underlagsmetallen och det andra då beläggningmetallen är oädlare än underlagsmetallen. Vid en liten skada i beläggningen i det första fallet får man en galvanisk cell med en liten anodarea och snabb genomfrätning som följd. Denna skydds- metod är därför ej lämplig. I det andra fallet får underlaget katodiskt skydd vid en skada i beläggningen. Den i praktiken viktigaste tillämpningen på det andra fallet är förzinkat stål. Förzinkat stål har fått viss användning för kallvattenledningar.

5.6.4 Konstruktiva åtgärder

Korrosionsskador på metallrör är i första hand orsakade av att vatten och fukt kommer i kontakt med rörets yttre yta. Man bör därför vid placering av rören var uppmärksam på de fuktkällor som kan medföra korrosion på rören. Fuktkällorna kan uppdelas i följande huvudgrupper (67):

- vatten eller fukt från rummet
- fukt, som kommer underifrån golvet
- byggnadsfukt
- rörläckor.

Fukt inifrån rummen kan vara korrosionens grundorsak i fuktiga utrymmen, där man använder rikligt med vatten t.ex. i tvättstugor, bastu och badrum. Golven i fuktiga utrymmen måste isoleras på så sätt att vatten inte kan tränga in i dem. Skarven mellan golv och vägg och mellan golvsil och golv måste tätas noggrant.

Den fukt som tränger igenom golvet underifrån bör uppmärksammas speciellt vid golv som ligger direkt på marken. Vatten kan sugas upp kapillärt från markgrunden in i golvkonstruktionen.

Med byggnadsfukt menas i detta sammanhang den fukt, som finns i konstruktionen efter det att den färdigställdes. Fukten kan komma från regn under byggnadsskedet eller från betongtillverkning som kräver rikligt med vatten.

En mycket vanlig fuktkälla är själva rörledningen. Dåliga packningar i rörskarvar och även bristfälliga lödförband kan medföra att vatten rinner ut i isoleringen och förorsakar utvändigt korrosion på rören.

Erfarenheten har visat att risken för utvändigt korrosion på rör är mycket stor framför allt vid ingjutna konstruktioner på grund av byggnadsfukten men även beroende på senare inträffade skarvläckage genom att de inte upptäcks i tid.

Slutsatsen blir att den enda säkra metoden är att placera rören fritt eller i specialbyggda separata kanaler. Detta bör dels minska antalet rörskador, eftersom risken för att fukt skall komma i kontakt med rörets yta minskar, dels medföra en väsentlig förenkling av eventuella reparations- och underhållsarbete.

6. SLUTORD

Rör ingjutna i betong - Miljön i vanlig portlandcementbetong är normalt tillräckligt alkalisk för att skydda det ingjutna stålet mot korrosion. Betongens pH-värde kan dock reduceras genom att inträngande koldioxid reagerar med den vid cementreaktionerna frigjorda kalciumhydroxiden (karbonatisering), varvid den korrosionsskyddande förmågan upphör. Karbonatiseringsfrontens inträngningshastighet är starkt beroende av betongens täthet mot gaser och vätskor. Även mängden kalciumhydroxid har viss betydelse. Faktorer som inverkar på betongens permeabilitet är bl.a. cementhalten, vattencementtalet och komprimeringsgraden.

Cementpastans täthet bestäms i huvudsak av vattencementtalet. Undersökningen har visat att tätheten försämras väsentligt om vattencementtalet överstiger $\approx 0,6$.

En förutsättning för att den hårdnande betongen skall erhålla tillräcklig täthet är givetvis en fullständig komprimering. Eftervibrering är en metod som använts framgångsrikt, speciellt vid grova konstruktioner, för att öka den nygjutna betongens vattentäthet. Även risken för sättsprickor och kaviteter av vattenseparation minskas då. Man bör således eftersträva:

- ett vattencementtal som är lägre än ca 0,60, men för rör lägre än ca 0,50
- en fullgod komprimering, gärna eftervibrering.

Sprickor i betong har ofta diskuterats. Huvudregeln är dock att sprickor mindre än 0,1 mm är ofarliga t o m i relativt korrosiv atmosfär.

Allmänt gäller att täcksiktets tjocklek bestämmer ingjutna ståldetaljers korrosionsskydd. Tillfredsställande resultat torde erhållas om de statliga betongbestämmelserna följs.

Många rörskador har orsakats av felaktiga konstruktioner eller felaktigt utförande. Korrosionsskyddet kan t ex gå förlorat om det omgivande mediet fuktanrikas och rör inbäddats i två material, eller om rör blivit ofullständigt omgjutet då det ligger på ett betongunderlag.

Gjutfogar och tillsatsmedel som innehåller klorider kan ytterligare försämra korrosionsskyddet.

Vad som ovan sagts om stål ingjutet i betong gäller även för stål ingjutet i lättballastbetong.

Vid ingjutning av andra metaller måste den alkaliska miljön beaktas. Speciellt varnas för ingjutning av aluminium. Man bör även observera att koppar angräps om betongen innehåller klorider.

Som stöd för teorierna kan nämnas att för samtliga skadefall som utretts vid Cement- och Betonginstitutet har betongens permeabilitet och fukthalt haft avgörande betydelse för korrosionsprocessen.

Rör förlagda i värmeisoleringsmaterial - Allvarliga korrosionsskador på rör förlagda i isoleringsmaterial är i de flesta fall orsakade av lokala korrosionsangrepp till följd av uppkomster av luftnings- eller syrekonzentrationsceller. Syrekonzentrationskillnader kan uppkomma genom att rörytan endast lokalt är i kontakt med isoleringsmaterialet eller genom att isoleringsmaterialet är lokalt sammanpressat.

För att en syrekonzentrationscell skall kunna uppkomma fordras att vatten i flytande form får tillträde till isoleringen. Enbart en hög relativ fuktighet räcker ej om inte isoleringsmaterialet innehåller hygroskopiska salter som absorberar fukt och bildar en vätska. Angreppshastigheten kan visserligen variera något för olika isoleringsmaterial, bl.a. beroende på olika halt av lösliga salter som påverkar ledningsförmågan, men det är i princip ringa skillnad mellan olika isoleringsmaterial varför det alltid föreligger risk för genomfrätning om isoleringsmaterialet blir fuktigt.

Flertalet av de skador som uppkommer till följd av yttre korrosion inträffar på cirkulationsvärmerör av stål. Genom att använda mer korrosionshårdiga material som t.ex. koppar och rostfritt stål skulle troligen de skador som uppkommer genom att cirkulationsvärmerör ligger förlagda i fuktiga isoleringsmaterial under byggnadstiden elimineras. En förutsättning är då att konstruktionen är utformad på ett sådant sätt att uttorkning kan ske då värmesystemet påkopplas. Vid långvarig förläggning i fuktiga isoleringsmaterial, t.ex. då man har kontinuerlig tillförsel av vatten från en läckande rörskarv, måste man dock räkna med att genomfrätning kan inträffa även på dessa material om förutsättningar för lokal korrosion är uppfyllda.

Ett sätt att skydda stålrören mot utvändigt korrosion är att förse dem med ett skyddsskikt av plast. Man måste då vara uppmärksam på att plastskiktet ej skadas vid förläggningen av rören. Om plastskiktet skadas och isoleringsmaterialet blir vått sker i sådana fall en snabbare korrosion där beläggningen är skadad än om röret ej är plastisolerat. Konstruktioner där rören placeras i ett poröst material mellan konstruktionsbetong och överbetong har visat sig ha en speciellt hög skadefrekvens. De porösa materialen utgörs oftast av sand, lättbetong eller mineralull.

Erfarenhetsmässigt vet man att det är mycket svårt att undvika fuktning av det material som omger rören under byggnadstiden. Fukten kan tillföras konstruktionen vid regn eller då betongen vattenhärddas. Korrosionsskadornas omfattning är direkt beroende av den tid som erfordras för att torka isoleringsmaterialet närmast rörytan. Uttorkningen kan påskyndas om rören uppvärms i ett tidigt skede. Den är dock oftast mycket svår att genomföra.

Skador uppkommer även under förvaltningstiden för denna typ av konstruktioner. I dessa fall tillförs fukten från läckande rörskarvar och hushållsmaskiner.

Om rörläggningen sker efter det att husstommen färdigställtts elimineras byggfukten som sannolikt är den vanligaste orsaken till yttre korrosionsskador på rör. Rören måste då förläggas fritt eller i speciella ursparingar. Denna konstruktion medför ytterligare fördelar genom att eventuell fuktning av isoleringsmaterialet under förvaltningstiden upptäcks i ett tidigt skede, innan allvarliga korrosionsskador hunnit uppkomma och att eventuella reparationer avsevärt för-
enklas.

Konklusion

Med hänsyn till de särskilda riskerna för läckageskador till följd av korrosionsangrepp, då rör förläggs ingjutna i betong eller med dolt utförande i värmeisoleringsmaterial, är det angeläget att ingjutning i betong eller annan dold förläggning av rör i korrosionskänslig miljö inte företas annat än då särskilda skäl föranleder detta. Om ingjutning eller annan dold förläggning i speciella fall anses nödvändig måste konstruktion och arbetsutförande noggrant kontrolleras.

REFERENSER

1. Mattsson, E: Elektrokemi och korrosionslära. Korrosionsinstitutet. Bulletin 56. Stockholm 1970
2. Atimtay, E och Ferguson, P M: Early Chloride Corrosion of Reinforced Concrete - A Test Report. ACI Journal, September. Detroit 1973
3. Bergström, S G: Kompendium i Byggnadsmateriallära FK I. Lunds Tekniska Högskola. Lund 1967
4. Bergström, Nielsen, Ahlgren och Fagerlund: Kompendium i Byggnadsmateriallära, Allmän kurs. Lunds Tekniska Högskola. Lund 1970
5. Bergström, S G: Färsk och hårdnad betongs egenskaper. Cement- och Betonginstitutets kursverksamhet, betongkurs A. Stockholm 1973
6. Steinour, H H: Influence of the Cement on the Corrosion Behavior of Steel in Concrete. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Bulletin 168. Skokie 1964
7. Czernin, W: Cementkemi för byggare. Svenska Cementföreningen. Malmö 1964
8. Herrmann, P: Über Mörtel und Beton. Allgemeiner Industrieverlag, Berlin, 1932
9. Heberling, H: Die Rostschutzwirkung des Zements. Werkstoffe und Korrosion 4 (1953) 7
10. Friedland, R: Influence of the quality of mortar and concrete upon corrosion of reinforcement. ACI Journal, 22 (1950) 12
11. Brocard, I: Corrosion des aciers dans le béton armé. Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics, (1958) 126
12. Kosaka, K: Durability (especially carbonation) test of concrete. RILEM-Symposium, Durability of Concrete, Prag 1961
13. Sällström, S: Ballast. Cement- och Betonginstitutets kursverksamhet, betongkurs A. Stockholm 1973
14. Johansson, A: Betongtillsatsmedel. Byggforskningens informationsblad B8:1973
15. Sneck, T: Korrosion av järn och stål ingjutet i betong. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, Tiedotus sarja III - Rakennus 49. Helsingfors 1961
16. Bäumel, A och Engell, H-I: Korrosion von Stahl in Beton. Archiv für das Eisenhüttenwesen 30 (1959) 7

17. KB5: Kommentarer till 1965 års material- och utförandebestämmelser för betong. 1966
18. Halvorsen, U: Korrosion och kalkurlakning vid sprickor i betongkonstruktioner, Bulletin 1. Institutionen för Byggnadsteknik, Tekniska Högskolan i Lund. Lund 1966
19. Sneek, T: Korrosion i byggnadstekniken. Byggnadsforskningens informationsblad B23:1971. Stockholm 1971
20. Halvorsen, U: Undersökning av sprickors inverkan på korrosion av värmerör ingjutna i slipbruk. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen, Rapport 255a. Stockholm 1964
21. Houston, I T, Atimtay, E och Ferguson, P M: Corrosion of Reinforcing Steel Embedded in Structural Concrete. Center for Highway Research, the University of Texas at Austin, Research Report 112-IF. Austin 1972
22. Rehm, G och Moll, H L: Versuche zum Studium des Einflusses der Rissbreite auf die Rostbildung an der Bewehrung von Stahlbetonbauteilen. DAFS, Heft 169. Berlin 1964
23. Moll, H L: Über die Korrosion von Stahl in Beton. DAFS, Heft 169. Berlin 1964
24. Schröder, F, Smolezyk, H-G, Grade, K, Winkeloe, R och Roth, R: Einfluss von Luftpohlensäure und Feuchtigkeit auf die Beschaffenheit des Betons als Korrosionsschutz für Stahleinlagen. DAFS, Heft 182. Berlin 1967
25. Hamada, M: Neutralization (carbonation) of concrete and corrosion of reinforcing steel. V-ISCC, Tokyo 1968
26. Powers, T C: A Hypothesis on Carbonation Shrinkage. Journal of the Portland Cement Association, Research and Development Laboratories, 4 (1962) 2
27. Fontana, M G and Greene, U D: Corrosion Engineering, McGraw-Hill 1967
28. Locher, F W och Sprung, S: Einwirkung von salzsäurehaltigen PVC-Brandgasen auf Beton. Beton 20 (1970) 3
29. Grimer, F I: The durability of steel embedded in lightweight concrete. Concrete (1967) 4
30. Soretz, S: Korrosionsschutz im Stahlbeton und Spannbeton. Betonstein-Zeitung (1967) 2
31. Saarimaa, I och Sihvonen, K: Korrosion av armering i konstruktioner av vanlig betong och lättklinkerbetong. Tekniska Högskolan i Otnäs, stencil. Otnäs 1970
32. Schulze, W och Günzler, I: Corrosion protection of the reinforcement in lightweight concrete. Proceedings, First International Congress on Lightweight Concrete, vol 1. 1968

33. Skarendahl, Å: Lättballast och lättballastbetong. Svenska Forskningsinstitutet för Cement och Betong vid KTH i Stockholm, Handlingar nr 47. Stockholm 1973
34. Woods, H: Durability of Concrete Construction. American Concrete Institute. Detroit 1968
35. Bergström, S G och Lundström, P E: Korrosion på ingjutna värmeslingor i Åsa-området. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen, Rapport 95. Stockholm 1959
36. Halvorsen, U: Beträffande ingjutna värmeslingor, Råsebäcksskolan. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen, Rapport 159. Stockholm 1962
37. Warris, B: Korrosionsskador på värmerör ingjutna i betonggolv i villor belägna i Skene kommun. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen. Rapport 275. Stockholm 1965
38. Warris, B: Korrosionsskador, sporthall i Malmö. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen, Rapport 313. Stockholm 1966
39. Petersons, N och Lundström, P E: Korrosion på värmelednings- och luftcirkulationsrör, ingjutna i betong. Cement- och Betonginstitutet, kontaktavdelningen, Rapport 270. Stockholm 1965
40. Nordisk Förzinkningsförening: Varmförzinkning som korrosionsskydd. Informationskontoret, Stockholm 1969
41. Rouen, A: Investigations of the corrosion behaviour of galvanized steel reinforcement in concrete. Internationale Verzinkertagung Düsseldorf 1970
42. Gjørsv, O: Korrosionsbeskyttelse av armeringsstål. Nordisk Betong, 16 (1972) 1
43. Frazier, K S: Value of Galvanized Reinforcing in concrete struct. Materials Protection, New York, (1965) 5
44. Sneek, T: Kontaktkorrosion - metallers korrosion vid kontakt med fast byggnadsmaterial. VVS-tidskriften (1959), p. 219-227.
45. Hagman, E: Rörisolering och korrosion. Teknisk Tidskrift 78 (1948), p. 341-345
46. Nilsson, G: Risken för galvanisk korrosion vid konstruktioner med sandwichelement. Tekniska meddelanden nr 11, Halmstads järnverks AB
47. Sneek, T och Hänninen, E: Värmeisoleringsmaterial och korrosion. Statens tekniska forskningsanstalt, Helsingfors, 1958
48. Fritz, J: Sammanställning av materialdata för isoleringsmaterial. Rockwool Aktiebolag, Utvecklingslaboratoriet VVS. 1974

49. Bukowiecki, A: Über des Korrosionsverhalten von Metallen im Bauwesen. Schweizerische Bauzeitung 86 (1968) 48, p. 856-859
50. Fleissner, H: Eisenhochofenschlachen, ihre Eigenschaften und ihre Verwendung. Halle 1912
51. Schmidt, H: Schlachenwolle und Gesteinwolle als vielseitiger Austauschstoff, Stahl und Eisen 63 (1943), p. 360-365
52. Guttman, A: Verwendbarkeit und Eigenschaften von Schlachenwolle. Stahl und Eisen 49 (1929), p. 97-101
53. Schindler, M: Mineralwolle und Metallkorrosion. Bauzeitung (1970) 8, p. 416-418
54. Herenquel, I: L'emploi de laine de verre pour l'isolement thermique d'appareils en alliages légers. Revue de l'aluminium 24 (1947) p. 10-11
55. Dana, A W: Stress corrosion cracking of insulated austenitic stainless steel. ASTM-bulletin, 1957:225, p. 46-52
56. Schellenberg, H: Untersuchungen über Korrosions-erscheinungen in Kupferinstallationen. Schweizerische Spenklermeister und Installateur Zeitung, April (1968), p. 27-28
57. Wranglén, G: Metallens korrosion och ytskydd, Almqvist & Wiksell, Uppsala 1967
58. Nilsson, T, Holm, P: Förbrukningen av rör och rördelar i bostadshus. SNB rapport 40, Stockholm 1957
59. Uppgifter erhållna från Statens Planverk 1974.
60. Korrosionsforebyggelse i boligbyggeriets VVS-installationer. SBI-anvisning 95, Köpenhamn 1973
61. Kucera, V: Korrosion i samband med mineralullisolerade värmerör. Föredrag vid "Kulvertdagen" i Skövde 1972-05-16
62. Moravec, H: Korrosion an Heizungs- und Installationsrohren. Österreichische Installateurzeitung 4 (1970), p. 43-45
63. Stenfors, S: Om förrostning av isolerade rörledningar. Tidskrift för värme-, ventilations- och sanitetsteknik (1949), p. 95-96
64. Rapport om korrosionsprov av några värmekulvertkonstruktioner med olika isoleringsmaterial. Svenska Värmeverksföreningen, Kulvertkommittén, Stockholm, September 1969
65. Soutar, T H: Protective Sodium Benzoate Impregnated Jute Wrappings for Steel Pipes. Corrosion Prevention & Control (1957), p. 47-49
66. Nilsson, G: Korrosionsförsök med järn inbäddat i olika slag av byggnadsmaterial. VVS (1959), p. 219-227

67. Saarima, J: Metalliputkien syöpyminen lattiarakenteissa. Rakennustekniikka, 8 (1971), p.415-418
68. Uppgift om skadefall som erhållits från Skövde kommun. 1974
69. Martikainen, O: Metallien sähkökemiallisesta käytäytymisestä sementtiliimassa. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, Tiedotus Sarja III - Rakennus 125. Helsingfors 1968
70. Meyer, Wierig, Husmann: Karbonatisierung von Schwerbeton. DAFS, Heft 182, Berlin 1967
71. Nevander, Bankvall, Sandberg: Fukt. Kompendium i byggnadsteknik I allmän kurs I. Lunds Tekniska Högskola. Lund 1968
72. Pourbaix, M: Atlas d'Equilibres Electrochimiques à 25° C. Gauthiers-Villars & Cie. Paris 1963

R 49: 1975

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730072-1 från Statens råd för byggnadsforskning till Korrosionsinstitutet, Stockholm.

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403, 111 84 Stockholm
Grupp: konstruktion**

Pris: 21 kronor + moms