



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.



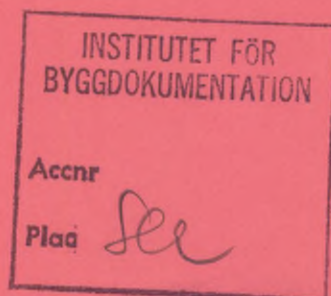
Rapport

R54:1985

**Skador i konstruktioner i
svenska sjöfartsanläggningar
beroende på den marina miljön**

Kurt Eriksson mfl

R
EM



Byggforskningsrådet

R54:1985

SKADOR I KONSTRUKTIONER I SVENSKA SJÖFARTS-
ANLÄGGNINGAR BEROENDE PÅ DEN MARINA MILJÖN

Kurt Eriksson
Lars-Erik Mattsson
Hans Klingenberg
Curt Wannerberg

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840349-9
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,
Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R54:1985

ISBN 91-540-4382-4
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

SUMMARY

1.	KORTFATTAD BESKRIVNING AV SVENSKA SJÖFARTSANLÄGGNINGAR	1
1.1	Kajer	1
1.2	Utsjöfyrrar	4
1.3	Kanaler, vågbrytare och vissa broar	5
2.	BYGGNADSMATERIAL	6
2.1	Allmänt	6
2.2	Trä	6
2.3	Sten	6
2.4	Stål	7
2.5	Betong	7
3.	SKADOR PÅ KONSTRUKTIONER	8
3.1	Allmänt	8
3.2	Naturföreteelser	8
3.3	Trä	9
3.4	Sten	10
3.5	Stål	10
3.6	Betong	14
3.6.1	Frost-/saltangrepp	15
3.6.2	Nötnings- och erosionsangrepp	15
3.6.3	Armeringskorrosion	16
3.6.4	Kemiska angrepp	17
3.6.5	Kombination av skadeformer	17
4.	SKADEFALL	18
4.1	Betongdäckskajer	18
4.2	Bropelare i Östersjön	20
4.3	Stenkistkaj	21
4.4	Offshoreanläggningar	22
4.5	Stålspontkajer	23
5.	INSPEKTIONSMETODER	25
6.	MATERIALPROVNING	27
6.1	Allmänt	27
6.2	Provning av betongbeständighet	27
6.2.1	Typer av angrepp	27
6.2.2	Frostbeständighet	27
6.2.3	Armeringskorrosion	28
6.2.4	Kemiska angrepp på betong	29
6.2.5	Betongens permeabilitet	29
7.	FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER	30
7.1	Utformning och utförande	30
7.2	Material- och konstruktionselement	30
7.2.1	Trä	30
7.2.2	Natursten	31
7.2.3	Stål	31
7.2.4	Betong	31
8.	EKONOMISKA ASPEKTER	33

SUMMARY

In Sweden the total quay length is about 200 km, corresponding to an investment of SEK 8 billion in 1984 monetary value. In older quays wood has been used as construction material to a high extent, primarily in piles. In modern quays concrete is the dominating material although steel sheet-piling is also widely used (Figure 1.1)

In other marine structures such as offshore lighthouses, locks and bridge piers, concrete is the most common material although stone has been used as protection especially in older structures.

Damage to maritime structures is caused by a number of reasons (Figure 3.1). 30 to 40 % of the damage can be referred directly to the marine environment. In Sweden and other Scandinavian countries ice constitutes an environmental factor which is causing or enhancing damage to maritime structures due to abrasion-erosion, lifting of piles, etc. (Figure 1.3).

Wooden structures of pine or spruce are subject to rotting near the water surface if not impregnated. On the Swedish west coast untreated piles are attacked by marine borers (*Teredo navalis*) and pile canker (*Limnoria lignorum*).

Recent measurements of corrosion of steel sheet piling in brackish water have revealed that the rate of maximum corrosion is 0.2-0.3 mm/yr sometimes even higher if pitting is included, which is considerably higher than figures which are usually used in the design (Figure 3.3). The maximum corrosion occurs between MW and MLW (Figure 3.2)

In concrete the forms of damage are:

- Frost/saline attack
- Abrasion-erosion
- Reinforcement corrosion
- Chemical attack.

Combinations of these effects are common.

With the purpose of increasing the resistance of concrete to frost attack and penetration of chlorides Swedish concrete codes specify the use of air entraining agents, low water-cement ratio and careful vibration of the concrete for structures in marine environment, all in order to obtain a dense concrete with a well distributed system of small non-capillary voids.

Abrasion-erosion has been studied in a number of offshore concrete structures. The mechanism of ice impact plays an important role. More severe degradation of the concrete surface is encountered where a combination of thick ice sheets and ice movements is prevailing.

Reinforcement corrosion may occur as a result of carbonation of the concrete cover or by penetration of chlorides. Chloride content as high as 5 to 6 % CaCl_2 of cement weight has been observed as a result of enrichment in the splash zone.

Degradation on concrete structures may result from:

- Congestion of reinforcement in thin concrete sections.
- Poor workmanship in the compaction of the concrete and in the execution of tremie concreting.
- Development of cracks.

A number of case studies comprising concrete deck quays, offshore caissons, steel sheet piling and bridge piers are reported (Figures 4.1-4.9).

The importance of introducing adequate inspection methods and routines is emphasized. Inspection should be carried out by professional diving engineers with thorough knowledge of marine structures and materials. UW-cameras and UW-TV with video recording of pictures and comments should be used. A number of non-destructive testing methods should be applied. In addition drilled-out concrete cylinders should be tested for durability in a material testing laboratory.

Degradation of material could be prevented to a large extent by

- Suitable design solutions which will allow a high standard in the execution.
- Adequate material specifications.
- Careful inspection during the execution especially for underwater structural elements.

Degradation of material can give rise to extremely high repair costs for maritime structures. The total annual maintenance requirement for quay installations in Sweden is estimated to at least 2 % of the actual construction cost. In view of the fact that the marginal costs for an increase of quality is low, one should not hesitate to apply a high standard in selection of material specifications, design and inspection of the execution. For existing structures inspection plans must be worked out and maintenance measures be implemented in a systematic way before the structures have deteriorated.

1. KORTFATTAD BESKRIVNING AV SVENSKA SJÖFARTS-ANLÄGGNINGAR

1.1 Kajer

I Sverige finns sammanlagt ca 200 km kajer till ett totalt nybyggnadsvärde av ca 8 miljarder kronor. Antalet hamnar och lastageplatser är ca 370 st och antalet kajer 1 500-2 000 med en kajlängd av i medeltal 100-130 m.

Den ungefärliga fördelningen på olika kajtyper är följande:

	Kajlängd (km)	Procentuell fördelning
ÖPPNA KAJER	104	52
Pålkajer, plattformskajer med träpålar	43	22
" btg-däck med träpålar	7	3
" btg-däck med betongpålar	38	19
Pelarkajer	6	3
Kassunkajer	6	3
Övriga kajer	<3	<2
MASSIVKAJER	96	48
Spontkajer	45	23
Bålverkskajer	16	8
Stenkistkajer	16	8
Stödmurskajer	15	7
Kassunkajer	4	2
Övriga kajer	<1	<1

Öppna kajer är sålunda något vanligare än massivkajer och bland de öppna kajerna dominerar pålkajer. Bland massivkajerna var tidigare stenkistkajer mycket vanliga i Östersjön. Efter ca 1930 har många kajer byggts som enkla spontväggskajer, dels som enda bärande konstruktion och dels för att förstärka befintliga pålkajer och stenkistkajer. Sådana spontkajer har byggts vid fördjupning av befintliga hamnbassänger samt under senare år ofta även i syfte att förebygga erosionsskador. Större kajer har även under senare år byggts med kassuner, dels som massivkajer och dels som öppna kajer.







De vanligaste konstruktionsmaterialen i kajernas bärande element är numera betong och stål, förr var det natursten och trä. I en mellanperiod byggdes kajer som plattformskajer grundlagda

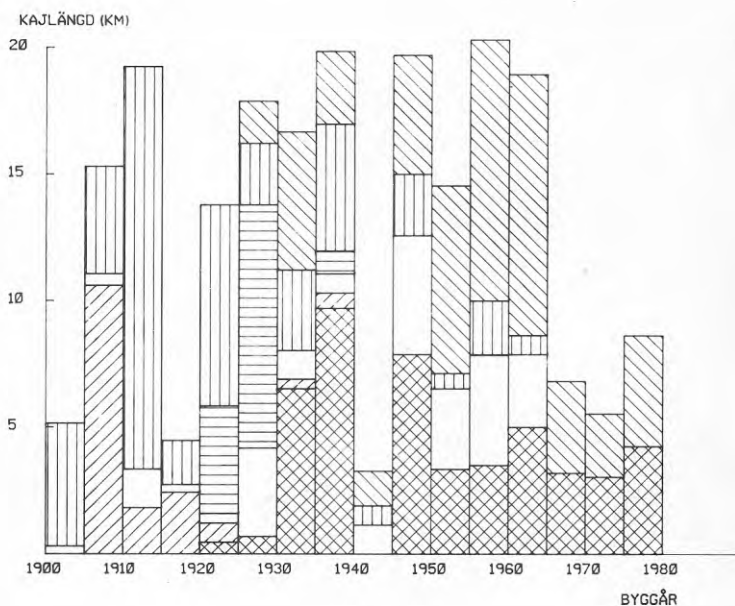
på träpålar eller stenkistor med en bakgjuten stenfront som överbyggnad.

En stor del av kajerna saknar numera ekonomisk betydelse för handelsjöfarten. Trots detta är det i de flesta fall angeläget att hålla kajerna i stand ur säkerhetssynpunkt, som strandskoning, som inslag i stadsbilden, som småbåtshamn m m.

Byggnadsår för olika typer av kajer framgår av figur 1.1, som även visar reparationsbehovet fördelat på olika kajtyper (se kap 3).

SAMMANSTÄLLNING AV KAJUTBYGGNAD I SVERIGE

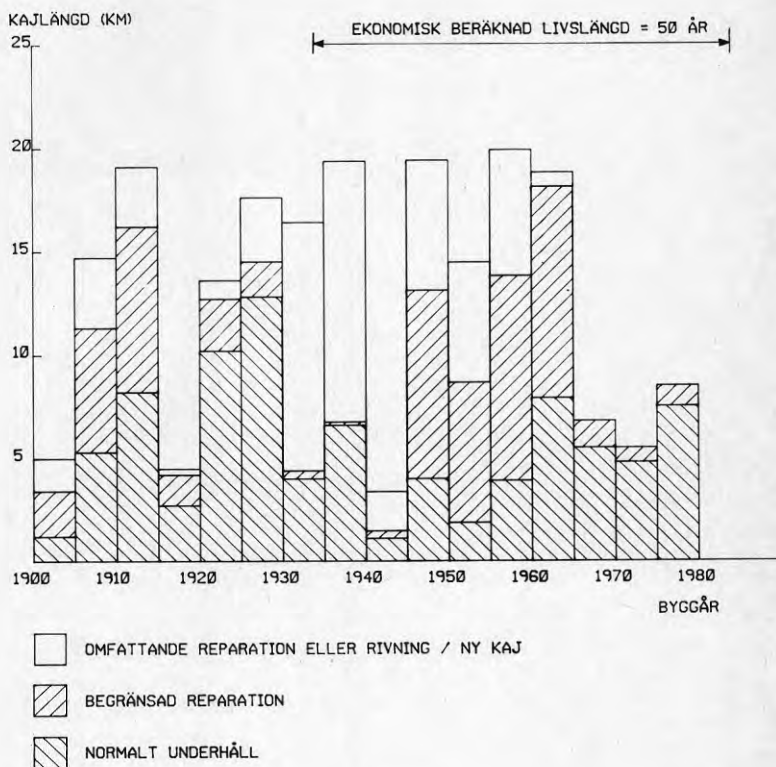
	TOTAL KAJLÄNGD (KM)	ÅTGÄRDER OMFATTANDE REPARATION ELLER RIVNING/NY KAJ (KM)	BEGRÄNSAD REPARATION (KM)
 KAJER PÅ TRÄPÅLAR	50	5	15
 STENKISTKAJER	16	2	5
 STÖDMURSKAJER	15	—	—
 BETONGDÄCKSKAJER MESTADELS PÅ BETONGPÅLAR	50	25	15
 SPONTKAJER	45	17	19
 ÖVRIGA KAJER	24	9	7



Figur 1.1 Sammanställning av kajutbyggnad i Sverige

Många av de äldre kajerna har till skillnad från nyare kajer haft en funktionstid som varit åtskilligt längre än den livslängd som normalt ligger till grund för dimensioneringen, dvs 50 år, se figur 1.2, som också visar det totala reparationsbehovet.

SAMMANSTÄLLNING AV REPARATIONSBEHOV FÖR KAJER I SVERIGE



Figur 1.2 Sammanställning av reparationsbehov för kajer i Sverige

1.2 Utsjöfyrrar

Som hjälp för sjöfarten har runt Sveriges kuster byggts ca 50 större utsjöfyrrar sedan 1950-talet. Fyrarna, som mestadels har byggts som betongkassoner, utrustats och färdigställda i skyddat vatten och sedan bogserats ut på plats, är belägna i områden med vitt skilda miljöbetingelser.

Under 1983 har VBB utfört undersökningar av 34 utsjöfyrrar i ett forskningsprojekt finansierat av sex amerikanska oljebolag samt fyra norska och svenska intressenter, däribland Statens råd för byggnadsforskning.



Figur 1.3 Grundkallens fyr under ispåverkan

Fyrarna tillhör de få byggnadsverk i världen som under lång tid utsatts för stor ispåverkan i öppet hav. Miljöförhållandena har under mer än 100 år registrerats i Östersjön, som därigenom kan sägas fungera som ett stort fullskalelaboratorium. Detta kan vara till hjälp vid planering av bl a offshoreanläggningar i arktisk miljö. Undersökningarna har omfattat:

- Okulär inspektion och mätning av tillståndet hos fyrarna
- Materialprovtagning och laboratorieprovningar
- Sammanställningar av miljöbetingelserna
- Utredning av betongens beständighet i fyrarna med avseende på den marina miljöpåverkan av is, speciellt beträffande avnötning.

Rapporterna från undersökningarna är intressanta i detta sammanhang men kan enligt kontrakten publiceras tidigast i början av 1986.

1.3 Kanaler, vågbrytare och vissa broar

Göta kanal och Trollhätte kanal, som byggdes 1809-32 resp 1909-16, förbinder Nordsjön med Östersjön över Vänern. I Trollhätte kanal finns slussar, som sprängts ner i berget och byggts upp av natursten. Dessa anläggningar är utsatta för omfattande ispåverkan speciellt sedan kanalen öppnades för vintersjöfart. Göta kanal, som numera används mest av fritidsbåtar, har inte utnyttjats vintertid under islägningsperioden.

Övriga kanaler av väsentlig betydelse för sjöfarten är Södertälje kanal och Lindö kanal i Norrköping.

Vågbrytare är mestadels uppbyggda som sprängstensvågbrytare, i vissa fall i kombination med en parapetkonstruktion i sten eller betong.

I detta sammanhang med sjöfartsanläggningar jämförbara konstruktioner är brostöd belägna i öppet vatten. Den största bron är den 6 km långa Ölandsbron, som har 123 betongstöd i vatten.

Omfattande arbeten pågår för att kartlägga tillståndet hos broarna med avseende på materialförstörelse framför allt på ovanvattensdelarna, där nedbrytning av betong och armeringskorrosion drar höga underhållskostnader.

2. BYGGNADSMATERIAL

2.1 Allmänt

Nutida svenska anläggningar byggs normalt mest i betong och stål som bärande element. Äldre anläggningar byggdes mestadels av inhemska träslag och natursten. Dessa material beskrivs endast översiktligt nedan.

2.2 Trä

De vanligaste inhemska träslagen är furu och gran. Dessa träslag är lättillgängliga i hela landet och används inom all byggnadsverksamhet. Trä användes tidigare i de flesta byggnadsdelar i en kaj för:

- Grundkonstruktioner (pålar, stenkistor och spont)
- Överbyggnader (bryggor)
- Fenderkonstruktioner

I nyare kajanläggningar byggda efter 1960 ingår trä huvudsakligen i fenderkonstruktioner.

Tropiska träslag såsom Greenheart, Basralocus, Azobé m fl har först under senare decennier fått en viss användning och då främst som pålar i dykdalber och som fendervirke i färjelägen.

Skador, som är vanliga i träkonstruktioner till följd av den marina miljön, redovisas i kapitel 3.3.

2.3 Sten

Natursten betående av de kristallina bergarterna granit och gnejs har tidigare använts i stor utsträckning i sjöfartsanläggningar som

- Massivkajer där grundförhållandena varit goda
- Murverk på rustbädd av trä med grundläggning på träpålar eller på stenkistor
- Beklädnader av betong i konstruktionernas överbyggnader på grund av stenens mycket goda nötningsresistens.
- Beklädnader av utseendeskäl

2.4 Stål

Stål används mest i spont- och pålkonstruktioner samt till utrustningsdetaljer.

Allt spontstål i Sverige är importerat, huvudsakligen från Mellaneuropa och levereras normalt med en brotthållfasthet av 370-520 MPa. Tidigare användes koppartillsats ca 0,3 % i syfte att göra stålet mera motståndskraftigt mot rost.

Speciella stålqualitéer har endast i mindre utsträckning använts i spontkonstruktioner i Sverige.

Beträffande betongfyllda stålrörspålar tillgodoräknas i många fall inte bärförmågan hos stålet vid dimensioneringen, utan hänsyn tas endast till bärförmågan hos den armerade betongen i pålen.

2.5 Betong

Vattenbyggnadsbetong vid hamnbyggnader skall enligt rekommendationer från 1949 vara vattentät.

Betong i saltvatten bör vara sulfatresistent vilket åstadkommes genom att använda cement med låg C₃A-halt.

Betong utsatt för stark nötning, slag eller stötar har enligt tidigare praxis bekläts med granit eller gnejs utförd så att den samverkar med betongen. Beklädnad med natursten har normalt inte utförts efter 1950.

De svenska betongbestämmelserna för vattenbyggnadsbetong har successivt skärpt kraven på tryckhållfasthet (från B25/30 till B30/40) dvs indirekt tätare betong genom lägre vct (vattencementtal).

För undervattengjutningar gäller 350 kg cement/m³ som krav på lägsta cementhalt.

Fr o m 1965 infördes också kravet på lufttillsats i betongen samt därtill även krav på större täckande betongskikt.

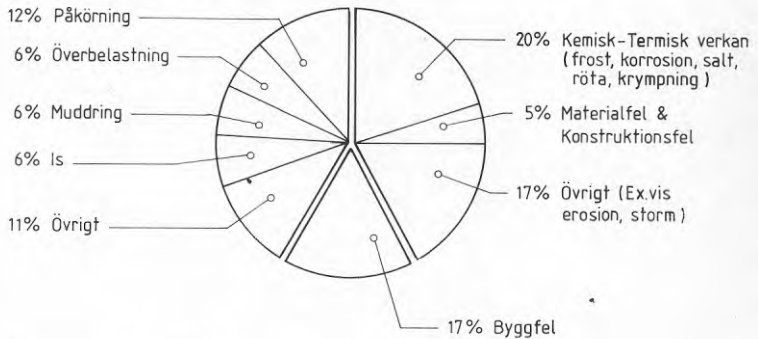
3. SKADOR PÅ KONSTRUKTIONER

3.1 Allmänt

Skador, som förekommer på sjöfartsanläggningar till följd av marin miljöpåverkan, redovisas under punkt 3.3-3.6 för byggnadsmaterialen trä, sten, stål och betong. Vissa naturföreteelser, som påverkar materialförstörelsen, framför allt is, presenteras under punkt 3.2.

Efter inspektion av över 100-talet sjöfartsanläggningar (kajer och fyrar) eller närmare bestämt ca 12 km kaj och 34 utsjöfyrar under de senaste 5 åren har skador iakttagits på ca 90 % av anläggningarna. Skador, som nedsätter bärförmågan och som därmed bör föranleda reparationsåtgärder, finns på ca hälften av dessa anläggningar. Skadornas fördelning på olika kajtyper framgår av figur 1.1 och på olika anläggningsår av figur 1.2.

Skadeorsakernas ungefärliga fördelning framgår av figur 3.1.



Figur 3.1 Skadeorsaker

Skador direkt orsakade av marin miljöpåverkan utgör ca en tredjedel av det totala antalet skador.

3.2 Naturföreteelser

Förutom de naturföreteelser, som normalt påverkar de marina konstruktionerna i flertalet länder såsom vattenkvalitet, vind, vågor, tidvatten, strömmar och materialvandring, har i Östersjön isen en stor påverkan på sjöfartsanläggningar.

Miljöbetingelserna varierar starkt utmed Sveriges kustlinje.

Salthalten:

- I Nordsjön med salthalt 3 % till Bottenviken med salthalt 0,3-0,1 %

Istjockleken:

- Tjockleken för det fasta istäcket varierar mellan några centimeter och upp till ca 80 cm
- Istäckets varaktighet:
Istäckets varaktighet varierar från mindre än en månad i södra Östersjön till omkring 6 månader i Bottenviken.

Viktiga faktorer, som påverkar iskrafterna på en konstruktion är:

- Konstruktionens utformning och respons
- Typ av is (fast is, drivis, packis)
- Brottmekanismerna i isen (böj- eller skjuvbrott)
- Kontakten mellan is och konstruktion.
- Statisk- eller dynamisk belastning
- Ishållfastheten (kristallform och kornighet, temperatur, saltinnehåll, spänningstillstånd, belastningshastighet)

Tidvattenvariationer har normalt liten betydelse i Sverige. Normala maximala vattenståndsvariationer är 1-1,8 m främst beroende på vindens och lufttryckets verkan. De största variationerna i vattenstånd förekommer normalt längs västkusten, i Öresund och i Bottenviken. Vattenståndet är jämfört med medelvattenståndet i medeltal ca 5 à 10 cm lägre under månaderna mars-maj.

Den sekundära förändringen i vattenståndet beroende på landhöjningen och avsmältningen kring polerna resulterar i följande nivåförändringar utmed svenska kusten:

<u>Plats</u>	<u>Ungefärlig landhöjning, cm/år</u>
Göteborg	0,25
Ystad	-0,1
Stockholm	0,4
Sundsvall	0,7
Luleå	1,0

3.3 Trä

Träslagen furu och gran är normalt beständiga även obehandlade i sötvatten och bräckvatten. Endast undantagsvis och i långsam takt sker angrepp av svamp och bakterier. Sådan påverkan har noterats där strömmande vatten med hög halt av suspenderat material och isrörelser nött bort

uppluckrat trä. Rötgränsen ligger i närheten av vattenytan där virket hålls genomfuktat. Över vattenytan klarar sig obehandlat virke ca 5-25 år beroende på belägenhet. Mest utsatt miljö återfinns i Nordsjön och minst i Bottenviken. Över vattenytan förekommer angrepp av insekter, av dess larver och av svampar.

I saltvatten längs svenska västkusten förekommer pålmask (*Teredo navalis*) och pålkräfta (*Limnoria lignorum*), vilka förstör obehandlat virke.

Under vissa betingelser kan trä förstöras och luckras upp av rostade järn vid långvarig kontakt varvid träet förlorar en del av sin draghållfasthet.

De använda tropiska träslagen såsom Greenheart, Basralocus, Azobé m fl är normalt motståndskraftiga mot biologiska angrepp i vatten.

I några fall har snabb uttorkning möjligen också sträng kyla under stötbelastning från fartyg gjort att vissa tropiska träslag i fenderkonstruktioner spricker och flisas sönder.

3.4 Sten

Naturstenen uppvisar sällan skador. Normalt uppstår problem endast i fogar mellan stenarna och i grundläggningen.

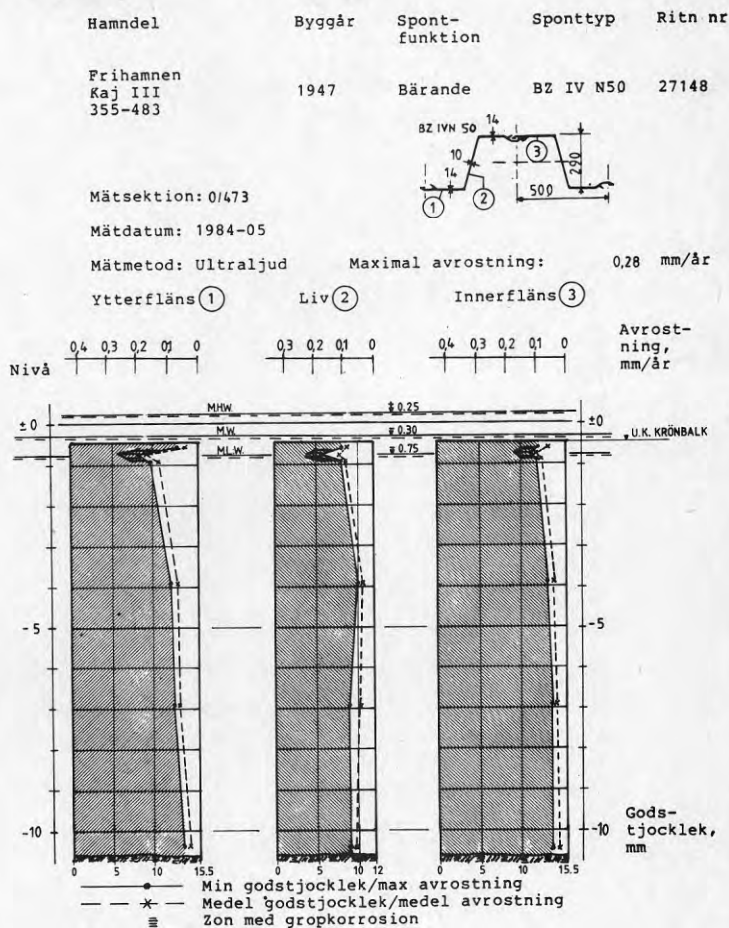
Vågskvalp och propellerströmmar kan åstadkomma vattenrörelser i öppna fogar så att fyllningen bakom stenarna spolats bort.

3.5 Stål

När stålspont på 30-talet började användas i större omfattning vid hamnbyggen i Sverige räknade man med livslängder på ca 50 år. De riktvärden för avrostningshastighet som hittills varit vägledande för dimensionering av spontkajer i Sverige och i många andra länder har varit ca 0,1 mm/år, beräknat som medelvärde för utsatta spontdelar. Efter uppnådd livslängd skall därvid stålspanningarna ej överstiga sträckgränsen i stålet. Som maximal avrostning i Sverige för inte rostskyddsbehandlad spont anges 0,14 mm/år.

Under 1977-84 har VBB genomfört mätningar på stålsponter i fem hamnar längs syd och ostkusten i Sverige och dessutom i en insjöhamn i Väneren. 18 kajer har undersökts i totalt ca 70 sektioner. Avrostningen längs en spontyta är normalt mycket ojämnt fördelad, vilket framgår av bilagt typexempel, figur 3.2.

För att undvika systematiska fel vid beräkning av avrostning är det väsentligt speciellt för yngre spont att känna spontens ursprungliga godstjocklek. Ursprungstjockleken kan avvika från nominella tabellvärden.



Figur 3.2 Korrosion av spont

Den maximala allmänna avrostningen har uppmätts till 0,2-0,3 mm/år mellan MW och MLW. Den maximala totala avrostningen, inkluderat gropkorrosion, överstiger på vissa orter 0,3 mm/år mellan MW och MLW, se figur 3.3.



Figur 3.3

Belägenhet	Antal undersökta kajer	Maximal istjocklek (cm)	Antal isdagar/år	Salthalt (%)	Maximal avrostning (mm/år)
Härnösand	4	35	130	0,2	0,33
Norrsundet	1	30	110	0,2	0,24
Karlstad*	1	30	120	0	0,27
Stockholm	5	25	90	0,3	0,34
Karlskrona	1	15	50	0,7	0,34
Malmö	6	10	30	1,0	0,29

* Osäkert värde (ny spont)

På den nivå där maximala böjmomentpåkänningen i sponten finns, dvs normalt nära botten, visar mätresultaten i de flesta fall en avrostning mindre eller lika med 0,1 mm/år.

Det bör emellertid noteras att högre avrostning nära botten har uppmätts för 3 spontkajer. Två av dessa kajer är hårt frekventerade av fartyg som åstadkommer kraftiga propellerströmmar.

Det bör påpekas att mätresultat saknas från västkusten. Den marina miljön längs västkusten påminner mer om förhållandena längs de norska och danska nordsjökusterna. I dessa länder har tidigare utförts omfattande undersökningar av korrosion på stålspont.

I Danmark har maximala korrosionshastigheter av 0,25-0,35 mm/år uppmätts i flertalet hamnar med extremvärden uppemot 0,5 mm/år.

I Norge har liknande resultat erhållits och här bör påpekas att ca 0,3 mm avrostning per år även uppmätts på spont nära botten.

De redovisade mätningarna i Sverige har utförts på spont av olika kvalitet och utformning:

- U-spont, Z-spont och flatspont
- Spont med koppartillsats (0,25-0,35 %) och utan koppartillsats
- Varierande hållfasthet
- Inga undersökta sponter var försedda med katodiskt skydd
- Sponthuvud av betong, som omsluter sponten ner till olika nivåer

De faktorer som på olika sätt påverkar den totala korrosionsprocessen kan indelas i tre huvudgrupper: Kemiska, fysikaliska och mikrobiologiska faktorer. Om detta finns åtskilligt beskrivet i litteraturen. Nedan redovisas endast de speciella förhållanden som bedöms ha stor betydelse för korrosionshastigheten på sjöfartsanläggningar i Sverige:

- De korrosionsformer, som på undersökta konstruktioner bedöms vara väsentliga för avrostningen är allmänkorrosion, gropkorrosion och erosionskorrosion. Erosionskorrosion är en kombinerad mekanisk och elektrokemisk påverkan på stålet. Det mekaniska slitaget bidrar till att ständigt exponera stålytan för korrosion

- Signifikanta skillnader i korrosionshastighet mellan sponter med olika utformning, stål-kvalitet och koppartillsats har inte noterats. Förändringar i de marina miljöbetingelserna längs spontytan påverkar sannolikt korrosions-hastigheten mera än vad olika spontprofiler och olika stål-kvalitet gör
- Avrostningen är mindre på spont, som är kring-gjuten av en krönbalk ner till lågvattenytan. Betongbalken utgör ett gott skydd för sponten i den zon där det mekaniska slitaget (erosions-korrosionen) och där luftsyre tillförseln nor-malt är störst.
- Gropkorrosionen kan lokalt vara upptill 5 à 10 ggr större än den allmänna korrosionen
- Korrosionen sker huvudsakligen på utsidan av sponten och avrostningen på baksidan är normalt mindre än 10 % av korrosionen på ut-sidan
- En faktor som påverkar korrosionsutveckling-en är strömningsförhållandena i vattnet orsa-kade av bl a vågskvalp och propellerström-mar. Propellerströmmarnas intensitet har ökat under senare år på grund av ökad färjetrafik och bogpropellrar på nya fartyg. Vattenhastig-heter uppmot 15 m/sek förekommer. Fartygen blir dessutom större vilket leder till att kajerna utsätts för större påfrestningar av is när fartygen utan isbrytning eller bogser-hjälp lägger till vid kaj eller lämnar kaj
- Generell påväxt kan medföra att syretillför-seln starkt begränsas under en bevuxen stål-yta. Detta kan i vissa fall skydda sponten mot allmän korrosion men i andra fall leda till att anaeroba förhållanden uppkommer. Detta kan medföra korrosion orsakad av sul-fatreducerande bakterier. Lokal påväxt kan medföra gropkorrosion eftersom en luftnings-cell uppkommer beroende på att syretillgången är liten under påväxt (anodiskt område) och stor utanför detta område (katodiskt område). Bakterier kan även orsaka att miljöbetingel-serna förändras t ex genom PH-sänkning, som befrämjar korrosion.

3.6 Betong

Betong och betongkonstruktioner har i allmänhet god beständighet i marin miljö. En bra betong utsatt för moderat påverkan kan vara beständig under många år med ett minimum av underhåll.

De skadeformer som förekommer är:

- Frost-/saltangrepp
- Nötnings- och erosionsangrepp
- Armeringskorrosion
- Kemiska angrepp
- Kombination av dessa skadeformer

Av dessa skademekanismer har frost-/saltangrepp, armeringskorrosion och kemiska angrepp studerats ingående genom åren.

3.6.1 Frost-/saltangrepp

Frostangrepp inträffar där vatten i betong omväxlande fryser till is och tinar och därmed åstadkommer en genom inre spänningar uppkommen förstörelse av betongen. Betongdäck, som tösaltas vintertid, och betongkonstruktioner som är belägna i vattenlinjen är mest utsatta för frost- och saltangrepp. Närvaron av klorider i betongen försämrar dess frostbeständighet.

I syfte att öka betongens frostbeständighet har i betongbestämmelserna ställts krav om lufttillsats, vattentät betong, lågt vattencementtal samt noggrann vibrering och efterbehandling av betongen.

Porerna bör vara små och ligga tätt. Halva medelavståndet mellan luftporer, den s k avståndsfaktorn, bör högst uppgå till 0,18 à 0,20 mm för betong belägen i saltvatten. Förbättrad beständighet erhålls om betongytan görs tät. Detta kan uppnås genom att den färska, icke härdade betongen vakuumugs och därefter stålslipas.

3.6.2 Nötnings- och erosionsangrepp

Erfarenheter från inspekterade sjöfartsanläggningar i Östersjön visar att konstruktioner, som står skyddade mot mekanisk påverkan, t ex inunder en kaj, klarar sig bättre än konstruktioner som längs en kajfront är mera utsatta för slitage av t ex is. Pelare och andra betongkonstruktioner kring vattenlinjen kan skadas i områden med större horisontella isrörelser orsakade av fartyg, vind eller ström. Därvid krävs även att isens tjocklek är så stor att den kan överföra en tillräckligt stor kraft för att ge upphov till nötnings- och erosionsangrepp. Sådana skador återfinns allmänt i områden där istjockleken är större än 25 cm.

Konstruktioner utsatta för påverkan av fast is uppvisar endast obetydliga skador, under förutsättning att de är utförda i vattentät betong och med hög hållfasthet.

Graden av nötnings- och erosionsangrepp styrs huvudsakligen av förändringar i den marina miljön under förutsättning att normalt god betong enligt betongbestämmelserna används. Skador till följd av nötnings- och erosionsangrepp synes inte kunna förhindras genom lufttillsats i betongen.

Jämfört med andra skadeformer är nötnings- och erosionsangrepp på betong från is lite undersökt och lite teoretiskt beskrivet.

Vid belastningshastighet motsvarande drivis brister isen genom krossning, ytsplittring eller uppsprickning. I Östersjöns bräckvatten uppgår isens hållfasthet vid dragpåkänning till minst 1-2 MPa. Isens tryckhållfasthet bedöms uppgå till minst 3-6 MPa.

Isens hållfasthet bör jämföras med betongens draghållfasthet, böjdraghållfasthet, skjuvhållfasthet, tryckhållfasthet, slaghållfasthet och utmattningshållfasthet.

Det kan inträffa att betongens hållfasthet i något avseende med tiden lokalt är lägre än isens hållfasthet varvid skador kan utvecklas. Det kan dessutom vara så att denna nedbrytning av betongen sker successivt i mikroskala. Förstörelsemekanismen vid nötnings- och erosionsangrepp är ej tillräckligt känd.

3.6.3 Armeringskorrosion

Armeringskorrosion är en av de vanligaste och mest väsentliga skademekanismerna som begränsar en konstruktions livslängd. Betongen skyddar normalt armeringsstålet genom sin höga alkalitet (pH >12). Denna skyddsbarriär kan upphävas antingen genom att betongen karbonatiserar eller genom att klorider tränger in till armeringen. I fukt-mättad miljö sker ingen eller mycket låg karbonatisering.

De betingelser som i marin miljö befrämjar armeringskorrosion är närvaro av klorider och tillgång till syre och vatten. En tät betong minskar risken för armeringskorrosion genom att tillförseln av klorider, syre och vatten begränsas.

Otät betong, otillräckligt täckande betongskikt och sprickor befrämjar armeringskorrosion.

Kloridkoncentrationer på 5 à 6 % mätt som Ca Cl_2 i procent av cementvikten har uppmätts kring högvattenytan, t o m i områden där salthalten är mindre än 2 ‰. Som en följd av kapillärsugning och vågskvalp samt därtill uttorkning av vatten från betongytan anrikas klorider, som

även tränger in på djupet mot armeringen där skyddet för armeringskorrosion upphävs. Kravet på tät betong och ett väl tilltaget täckande betongskikt minskar risken för armeringskorrosion.

3.6.4 Kemiska angrepp

Kemisk förstörelse av betong förekommer sällan i Östersjöns marina miljö. För att minska inverkan av havsvattnets sulfater rekommenderas en C_3A -fattig, d v s aluminatfattig cement. Det nya anläggningscementet uppfyller detta krav.

3.6.5 Kombination av skadeformer

Skademekanismer såsom frost-/saltangrepp, nötnings- och erosionsangrepp och andra angrepp som åstadkommer materialförstörelse på betongytan kan vara svåra att entydigt särskilja.

Det kan inte uteslutas att flera faktorer samverkar under nedbrytningsprocessen. T ex kan frystings-tiningsskador påskyndas genom att nötnings- och erosionsangreppen transporterar bort material från den uppluckrade betongytan.

Våra erfarenheter visar entydigt på att vissa betingelser kan försämra beständigheten oavsett vilken betongsammansättning som väljs:

- Olämplig utformning av armering och betongtvärsnitt, dvs mycket armering i tunna konstruktioner. Konstruktiva statiska hänsyn har överdrivits
- Misslyckade gjutningar, speciellt undervattensgjutningar
- Sprickor utvecklade som
 - o avsvälningssprickor i nygjuten betong
 - o temperatursprickor
 - o krympsprickor
 - o sprickor av miljöangrepp
 - o sprickor vid pålning
 - o sprickor av yttre last

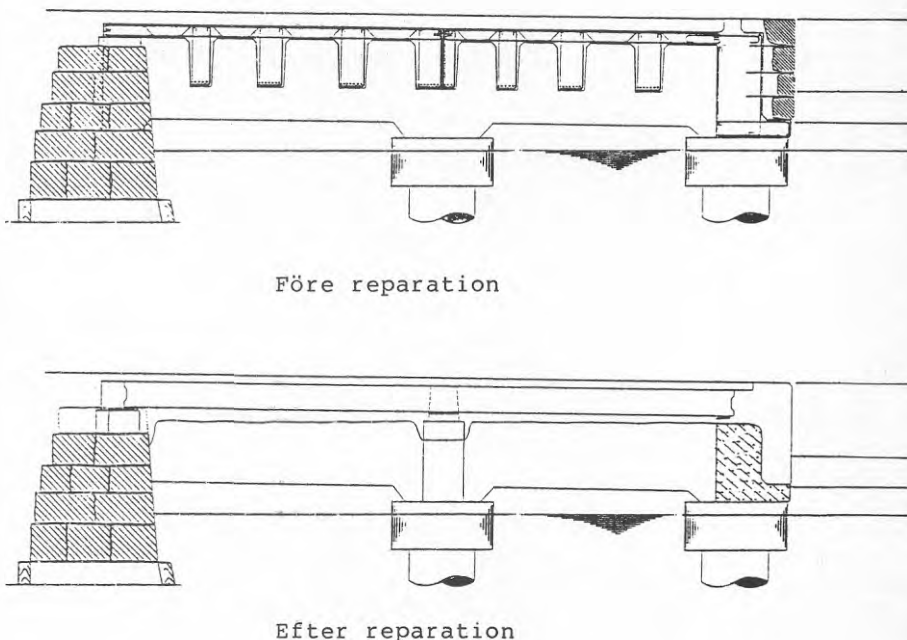
Mikrosprickor av kortvarig last är reversibla och därför ej allvarliga.

4. SKADEFALL

Den marina miljön ställer stora krav på beständighet hos olika material. I det följande redovisas några exempel på materialförstörelse.

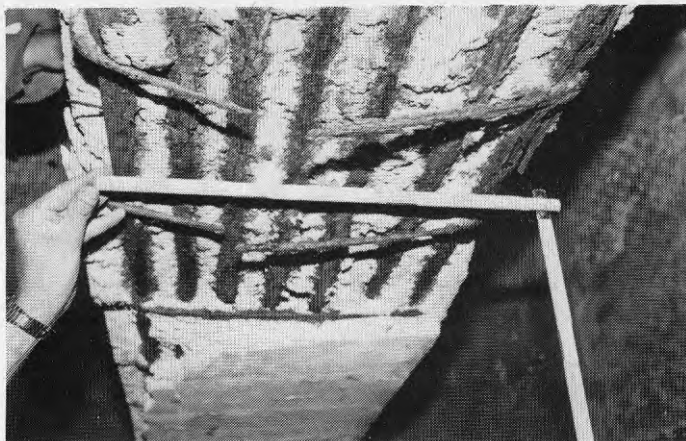
4.1 Betongdäckskajer

Stadsgårdskajen, som är belägen centralt i Stockholms hamn, undergår för närvarande på en sträcka av ca 210 m en omfattande reparation till en kostnad av 7 à 8 milj svenska kronor. Hela överbyggnaden av kajen bestående av däck, huvudbalkar och tvärbalkar av betong, som är upplagda på pelare av betong, bortbilas och ersätts med prefabricerade betongplattor som uppläggs på pelarna och på en ny frontbalk av betong, se tvärsektion i figur 4.1.

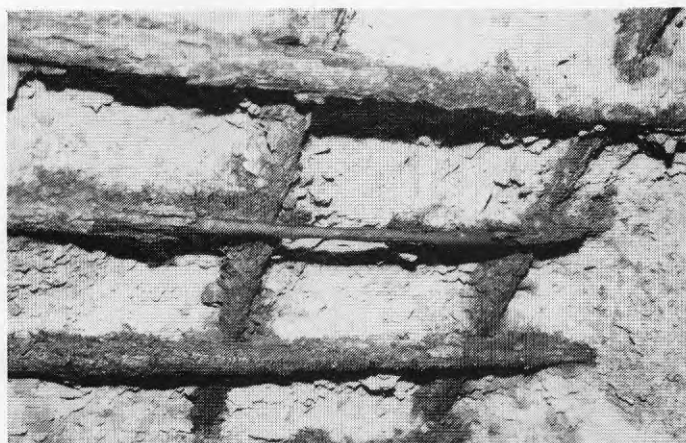


Figur 4.1 Stockholm, Stadsgårdskajen

Orsaken är de betydande skador på betong och armering i bl a balkarnas underdelar, som framgår av visade foton, se figur 4.2 och 4.3. Bygelarmeringen och det undre lagret i huvudarmeringen är på många ställen helt sönderrostade.



Figur 4.2 Stockholm, Stadsgårdskajen Undersidan av balk



Figur 4.3 Stockholm, Stadsgårdskajen Detalj

Skadorna har hållits under observation under ett par decennier och under sista tioårsperioden har kajen i avvaktan på erforderligt anslag för reparationsarbetena hållits avstängd för tung trafik.

Kajen byggdes på 1930-talet. Betongen motsvarar tryckhållfasthet ca B 30 men allt tyder på högt vct, separation i det blöta betongen, tät armering och därmed sämre komprimering under stängerna. Huvudarmeringen har dimensionen $\varnothing 28$ mm.

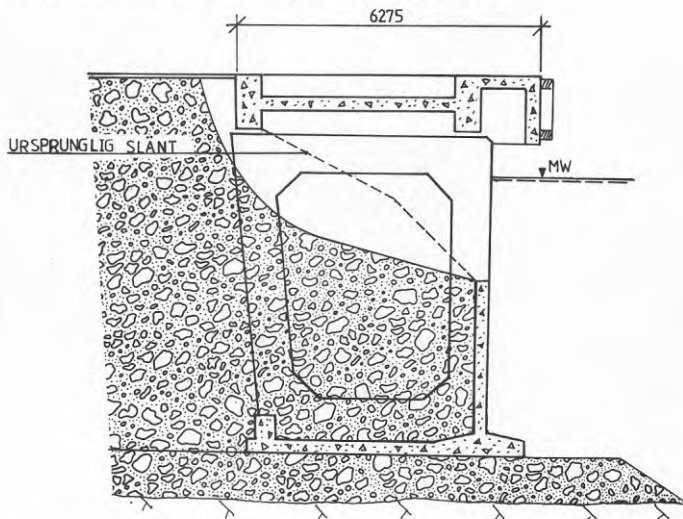
Undersökningar visar att det bräckta saltvattnet successivt anrikats i betongen så att kloridhalten i däck och balkar vuxit till 1-2 % av cementvikten, dvs 5-10 gånger mer än vad denna betong tål. Frostbeständigheten är mycket låg jämfört med

dagens krav. Det hjälper inte att den fuktmättade betongen hindrat karbonatiseringen att nå in till armeringen, ty kloriderna har varit orsak nog att ge kraftig armeringskorrosion och bortsprängning av täckande betongskikt.

Exemplet i figur 4.4 visar ett kajdäck på tre längsgående betongbalkar som uppbärs av tvärstående betongramar på en bottenplatta. En frontmur stöder stenfyllningen, som ligger i slänt upp mot den innersta balken.

Denna inre betongbalk uppvisar efter 20 år svåra skador, som troligen kan hänföras till kloridinträngning. Betongens täckande betongskikt har sprängts loss och armeringen korroderat. Övriga balkar är oskadade.

Erosionen i släntfyllningen har förändrat släntens profil så att vågorna nu slår upp högt på innerbalken och ständigt väter betongen. Vattnets 0,5 % salt anrikas på betongytan.



Figur 4.4 Gotland, storugn

4.2 Bropelare i Östersjön

Skadorna på betongpelarna i visad bro är störst där vattendjupet är litet, ca 2 m, och där pelarna endast når 3 m över vattenytan. Särskilt på de 4 låga pelarna närmast stranden, som är mest skadade, slår vågorna ibland upp till pelartopparna. I betongytan har nu salt anrikats upp till en halt av 6 %, att jämföra med vattnets salthalt som är ca 0,5 %.

Armeringens täckande betongskikt har frusit sönder och den blottade armeringen korroderar i den salthaltiga och fuktiga miljön, se figur 4.5.

I byggskedet föreskrevs lufttillsats endast närmast vattenlinjen, 1 m över HHW ned till 1 m under LLW, och den relativt låga föreskrivna betongkvaliteten 30 MPa uppnåddes med ett ganska högt vattencementtal. Betongen över vattenlinjen blev därvid mycket sårbar för frost.

Ytterligare skadefaktorer kan vara användningen av det 0,5 %-iga havsvattnet vid betongframställningen och att porös kalksten och sandsten förekommer i ballasten.



Figur 4.5 Bropelare, Östersjön

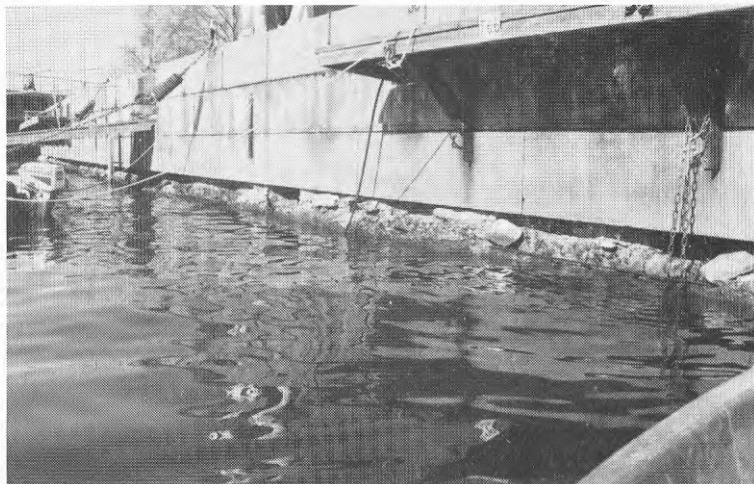
4.3 Stenkistkaj

Kajen, som byggdes omkring 1909, är utförd med en överbyggnad av naturstensbeklädd betongmur grundlagd på stenkistor. Trävirket i stenkistorna är friskt.

Kaviteter i betongen inunder stenbeklädningen finns längs hela kajen, se figur 4.6. Urgröpningens storlek uppgår i höjddled till 20-80 cm och i djupled, tvärs kajen, lokalt till mer än 100 cm. Stenbeklädningen, som på vissa ställen hänger utan understöd, är emellertid oskadad.

Landhöjningen är sedan byggtillfället ca 60 cm, vilket inneburit att betongen som tidigare helt legat under vatten med tiden alltmer blivit exponerad för frost-/saltangrepp samt för nötnings- och erosionsangrepp från is och vågor. Den porösa betongen har inte kunnat motstå den marina miljö-

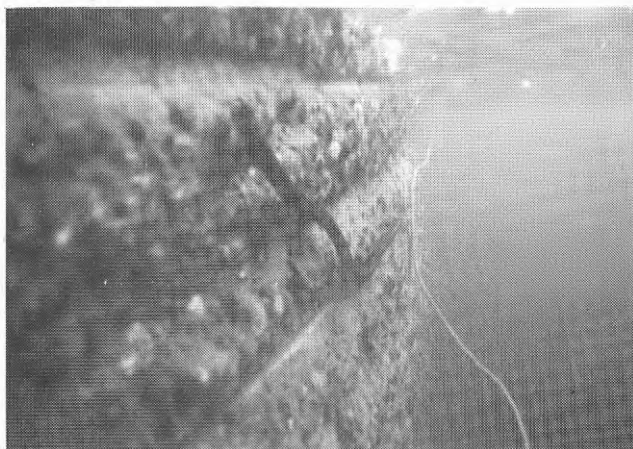
påverkan. Kostnaden för att enbart fylla ut kaviteterna uppgår till ca 5 000 kr/m och en ombyggnad av hela överbyggnaden uppgår till ca 13 000 kr per m kaj.



Figur 4.6 Härnösand. Skador på betongen i vattenlinjen

4.4 Offshoreanläggningar

Betongkonstruktioner belägna i vattenytan kan i utsatta lägen, där kraftiga isrörelser förekommer, åsamkas skada till följd av nötningserosion. Figur 4.7 visar skador på betong i vattenlinjen, där såväl vertikal som horisontell armering slitits bort.



Figur 4.7 Kassunfyr i Bottenhavet
Vattenlinjen

På konstruktionsdelar, som är belägna över vattenytan kan frost-/saltangrepp samt armeringskorrosion förekomma om inte betongen har tillräckligt hög kvalitet. De visade skadorna i figur 4.8 är belägna ca 20 m ovan vattenytan.



Figur 4.8 Kassunfyr, södra Östersjön
Platsgjutet torn

4.5 Stålspontkajer

I Östersjön är avrostningen på stålspont normalt störst mellan MW och MLW. Korrosionshastigheten kan i denna zon uppgå till mer än 0,3 mm/år, medan avrostningen normalt är betydligt lägre ca 0,1 mm/år någon meter därunder. Figur 4.9 visar en skyddsspont som är byggd omkring 1939 och som är avsedd att skydda och förstärka bakomliggande äldre kaj byggd på träpålar. Förstärkningen utfördes i syfte att kunna fördjupa hamnområdet invid kajen. Detta exempel utgör extremfallet bland undersökta spontkajer.



Figur 4.9 Stockholm, Strandvägen
Genomrostad stålspont fotograferad vid lågvatten

Kostnaden för att skydda en rostskadad spont, som inte är genomrostad, genom att bygga ner krönbalken inom en ca 1,5 m hög zon mellan MHW och LLW torde ligga mellan 10 000 och 15 000 kr per m kaj. Skador av ovan visade omfattning leder ofta till att kajer måste byggas om.

5. INSPEKTIONSMETODER

Inspektionsrutiner finns upprättade för fordon, kajkranar och fartyg. Däremot inspekteras sällan eller aldrig den konstruktion, dvs kajen, som skall bära lasterna av dessa.

Det kan vara svårt att inspektera en kaj eftersom många vitala konstruktionsdelar är dolda i mark och vatten. Påväxt av alger, svampar, snäckor, dålig åtkomlighet samt dålig sikt i vattnet, ibland mindre än 0,2 m, hindrar också inspektion av konstruktionselementen.

Inspektion bör utföras av professionell dykarin- genjör med gedigen konstruktions- och materialkun- skap och med sakkunnig assistans. Det är fördelak- tigt att använda UV-kamera, UV-TV med videoinspel- ning av bild samt av de kommentarer dykaren ger. Det är nämligen mycket vanskligt för en ensam dykare att under begränsad tid och under svåra yttre betingelser göra alla nödvändiga registre- ringar och bedömningar på platsen. Samtidigt är det med dokumentation möjligt att kunna jäm- föra förändringar mellan olika inspektionstillfäl- len samt att låta berörda parter ta del av alla basfakta.

För en noggrannare bestämning av geometri, håll- fasthet och beständighet hos en kaj krävs mätningar, provtagningar och laboratorieprovningar.

Geometrin beskrivs enklast med traditionella redskap som tumstock, lod och vattenpass. Dessa redskap kan behöva kompletteras med lutningsmä- tare, nivåmätare och tjockleksmätare för stål.

En mängd oförstörande provningsmetoder har använts under den senaste 10-årsperioden vid inspektion av speciellt oljeriggar i stål. Metoder för oför- störande provning tillämpas även på trä- och betongkonstruktioner. Nedan beskrivs översiktligt ett antal sådana metoder för olika konstruktions- material.

NDT (Non Destructive Testing) Metod/Instrument	Resultat	Anm
BETONG		
Studsmätare	Ythårdhet och skattad tryckhållförmåga	1
Potentialmätning	Armeringskorrosion	1
Täckskiktetsmätning	Täckande betong	1
Utdragsprovning	Hållfasthet, vidhäftning	
Bomknackning	Kaviteter	
STÅL		
Ultraljudsprovning	Tjocklek Spricklägen	
Magnetisk provning	Spricklägen	2
Potentialmätning	Kontroll av katodskydd	1
Akustisk emission	Spricktillväxt	2
Optiska fibrer	Hållfasthetsförändringar	2
Täckskiktetsmätning	Tjocklek av ytbehandling	1, 2
TRÄ		
Ultraljudsprovning	Lägen för angrepp av marina skadedjur och omfattningen av skadorna	2
Pilodyn (nål-inträngningsmätare)	Densitet och hållfasthet	

Anm 1 = används ej under vatten

2 = ovanligt i sjöfartsanläggningar

6. MATERIALPROVNING

6.1 Allmänt

Betong- och trämaterials hållfasthet och beständighet bestäms förutom med icke förstörande provning också med provning på utborrade cylindrar. I stålkonstruktioner under vatten tas sällan prover för bestämning av hållfasthet. Sådana har normalt litet värde, eftersom stål genom sitt uppmätta tvärsnitt är tämligen väldefinierat vad gäller hållfastheten.

Nedan beskrivs endast materialprovning på betong.

6.2 Provning av betongens beständighet

6.2.1 Typer av angrepp

Högkvalitativ betong har normalt mycket god förmåga att motstå miljöangrepp, dvs den har god beständighet. Följande tre typer av angrepp ställer dock stora krav på betongen:

- Frostangrepp, speciellt i närvaro av klorider
- Korrosionsangrepp på armeringen, som dessutom kan leda till bortsprängning av täckskiktet
- Kemiska angrepp, i form av nedbrytning eller volymökning så att materialet sönderfaller

6.2.2 Frostbeständighet

A. Direkt frostprovning genom att betongen i en freezer utsätts för upprepade frysning och upptining under ständig tillgång till vatten med eller utan salt. Successivt avskalade mängder ställda mot antalet frostcykler ger besked om betongen är mer eller mindre frosttålig.

B. Indirekt provning

Nedbrytningen motverkas av

- lågt vattencementtal
- litet antal vattenupptagande porer
- stort antal finfördelade slutna luftporer

Dessa faktorer medverkar till större förmåga att upptaga dragspänningar vid frostsprängning,

resp att avlasta dragspänningarna, och provas därför enligt nedan:

a) Mikroskopmätning

På en slipad yta mäts och räknas skyddsluftporerna och medelavståndet mellan porerna ger besked om frosttåligheten.

På tunnslip (20 mikrometer) bedöms vct, blandning, porstruktur, ballastkvalitet, mikrosprickor och karbonatisering i fluorescens- och polariserat ljus.

b) Vattenabsorbtion

Vägning av torkade prover i vattenbad ger upplysning om mängden kapillärporer och därmed om vct.

I högt vattentryck, ca 14 MPa, fylls därefter även de slutna skydds-luftporerna, som skall ge expansionsutrymme vid frysning. Vägning ger besked ifall mängden luftporer är tillräcklig.

c) Kloridhaltsbestämning

Kloridhalten (framtagen genom kemisk eller elektrisk analys) i olika nivåer från betongytan i relation till betongens olika frosttålighet ger en antydning om möjligheten att motstå frostnedbrytning. I betong utan skydds-luftporer börjar riskerna redan vid 0,2 % kloridjon/cementvikt. Kloridprofilen styr även hur djupt betong måste bilas bort vid en pågjutningsreparation.

6.2.3 Armeringskorrosion

- A. Elektrokemisk kartläggning av pågående korrosion genom potentialmätning på betongytan. EDB-behandling ger nivåkarta
- B. Elektrokemisk bestämning av korrosionsfarliga klorider i betongen.
- C. Magnetisk mätning av täckande betongskikt över armeringen.
- D. pH-profilbestämning i betongen (med bl a indikatorvätska) för bedömning av karbonatiseringsfronten i betongen, eftersom neutralisering genom karbonatisering förstör betongens passivering av stålytan.

6.2.4 Kemiska angrepp på betong

Kemisk analys av betong och vattenmiljön beträffande bl a syror och sulfater.

6.2.5 Betongens permeabilitet

Permeabiliteten på betongprover kan bestämmas enligt följande:

Mantelytorna av 30-50 mm höga provcylindrar med 100 mm diameter förseglas med epoxy. Proverna placeras i en testcylinder. Vatten utan luftbubblor och med ett tryck av 4 MPa tillåts penetrera provstyckets undersida. När ett jämnt flöde genom provet uppnåtts registreras genomströmningen. Permeabiliteten kan sedan beräknas med Darcys lag.

7. FÖREBYGGANDE ÅTGÄRDER

7.1 Utformning och utförande

Skador till följd av den marina miljön kan i många fall ej helt undvikas. Det gäller därför att utforma konstruktionerna så att dessa trots den marina påverkan är funktionsdugliga under sin avsedda livslängd. Sådana konstruktionslösningar kan bättre uppnås om följande faktorer uppfylls:

- Anpassa utformning av konstruktionerna till de miljöbetingelser som råder i området
- Välj sådana konstruktionslösningar som är genomförbara i praktiken med god teknik
- Förutom hållfasthetstekniska överväganden vid utformningen värderas även beständigheten för studerade alternativ
- Byggnad i vatten är tekniskt och ekonomiskt utomordentligt krävande, varför det är angeläget att såväl entreprenörer som beställare väljer välutbildad personal för de arbetsmoment, som var och en svarar för
- Kontrollen måste skärpas, speciellt för de delar som är belägna under vatten. Utförandet av undervattensinspektioner vid rätta tidpunkter skall vara angivna i entreprenadhandlingarna. De flesta skador, som uppdagas först när en anläggning är färdigställd, är mycket svåra att reparera
- Innan slutbesiktning sker skall undervattensinspektion utföras. I alltför många slutbesiktningssprotokoll har parterna utan sådan inspektion nöjt sig med formuleringen, att "arbetsledare och kontrollant intygar att byggnadsdelar som är dolda i vatten är utförda på föreskrivet sätt"

7.2 Material och konstruktionselement

7.2.1 Trä

Lång erfarenhet finns om träets goda beständighet i sötvatten och i bräckvatten samt relativt dåliga beständighet i skvalpzonen och i saltvatten, där pålmask och pålkräfta kan angripa träet.

Impregnering med kreosotolja (dock ej gran) och andra preparat bl a arsenik förbättrar verkets beständighet i vatten. En svensk standard, SIS 05 61 10, avseende klassindelning av impregnerat trä trädde i kraft redan 1977.

Nordiska Träskyddsrådet (NTR) har arbetat med att åstadkomma likalydande standard för impregnerat trä i de nordiska länderna.

7.2.2 Natursten

Att använda natursten, som byggnadsmaterial i nya anläggningar är för de flesta otänkbart med hänsyn tagen till det höga priset jämfört med alternativa byggnadsmaterial.

I vissa fall är dock kostnadsskillnaderna begränsade. Detta gäller t ex när en gammal stenbeklädd kaj behöver repareras på grund av dålig underbyggnad. Därvid kan det i vissa fall övervägas att återmontera stenfronten på en ny underbyggnad, speciellt då stenen av estetiska skäl ingår i stadsbilden.

7.2.3 Stål

Livslängden för stålspont i de svenska östersjöhamnarna förefaller kunna förlängas avsevärt om sponten skyddas, t ex genom kringgjutning ner till LLW. Därigenom minskar risken för att håll med risk för utspolning av bakfyllning tidigt uppkommer i sponten långt innan spontens hållfasthet är uttömd.

Få äldre anläggningar med katodskydd finns i Sverige. Man har föredragit att dimensionera spont med rostmån utifrån avrostningskriteriet 0,1 mm/år. I nya anläggningar kan katodiskt skydd med fördel införas.

7.2.4 Betong

Betong och betongkonstruktioner har som tidigare nämnts normalt god beständighet i marin miljö. Emellertid förekommer skador på betong främst som frost/saltangrepp, nötnings- och erosionsangrepp samt armeringskorrosion.

Betongens beständighet kan förbättras med:

- Hög täthet, lågt vattencementtal (därmed hög hållfasthet)

- Lämplig luftporhalt och avståndsfaktor
- Lämpliga täckande betongskikt
- Lämpliga härdningsbetingelser
- Lämplig konstruktionsutformning
- God gjutningsteknik och kontroll
- I vissa fall tillsats av lämplig typ av kiselstoff för att öka betongens täthet och hållfasthet
- Andra tillsatsmedel till betongen, t ex superplasticerande medel, har gynnsam inverkan på betongens bearbetning och kan därvid medverka till att reducera vattencementtalet. Vissa negativa effekter vid kombination av dessa tillsatsmedel med luftporbildande medel har konstaterats, varför en viss försiktighet har iakttagits i Sverige vid användning i marina konstruktioner.
- I vissa fall vakuumsugning och stålslipning för att minska vct och därmed öka tätheten.
- I vissa fall utförande av en skyddsbeläggning på betongdäck.

När inte dessa beständighetsförbättringar bedöms vara tillräckliga kan betongen skyddas med stålplåt i de fall nötningserosion är stor, t ex som iskydd på kassuner eller pålar.

I stället för stålplåtbeklädnad kan man, där konstruktionen så medger, välja att utöka det täckande betongskiktet i sådan utsträckning att en förväntad avnötning kan tolereras.

Rörelsefogar i betongdäckskonstruktioner medför ofta angreppspunkter och bör därför så långt möjligt minimeras. Där fogar erfordras skall dessa utformas och utföras med stor omsorg.

8. EKONOMISKA ASPEKTER

Såsom tidigare framgått kan materialnedbrytning genom den marina miljön orsaka mycket stora reparationskostnader. Detta gäller inte enbart äldre betong- och stålkonstruktioner utan även relativt unga sådana och speciellt betongkonstruktioner, där materialkvaliteten ej blivit den eftersträfvade eller ej tillräckligt hög kvalitet föreskrivits.

Av betongkonstruktioner är det särskilt sådana utförda utan nutida krav på luftinblandning och lågt vattencementtal som visar stora skador och kräver relativt mycket underhåll. Det är därvid av stor ekonomisk betydelse att veta var gränsen för tillräcklig bilning av förstörd betong skall dras när gamla konstruktioner repareras.

Marginalkostnaden för att erhålla en väsentligt bättre kvalitet och därmed beständighet i en konstruktion är ganska liten. Därför bör man ej tveka om denna ringa tilläggskostnad för att erhålla denna kvalitetsförbättring. Valet av god kvalitet måste dock alltid paras med noggrann kontroll av utförandet och därefter kontinuerliga inspektioner av den färdiga anläggningen sedan denna tagits i bruk.

Det är ej längre möjligt att, som bl a varit fallet i Sverige, i stor utsträckning bortse från behovet av kontinuerlig inspektion och kontinuerligt underhåll av kajer. Liksom tidigare var fallet för de svenska broarna är materialförstörelsen i sjöfartsanläggningar ett område som ägnats allt för liten uppmärksamhet.

Det totala underhållsbehovet av kajanläggningar i Sverige torde med hänsyn tagen till den eftersläpning i underhållet som förevarit uppgå till minst 2 % per år av nyanläggningsvärdet. Därtill kommer reinvesteringsbehovet av kajer som uppnått sin tekniska livslängd och funktionellt måste bestå.

Den som är ansvarig för anläggningens bestånd och fortsatta utnyttjande, i regel ägaren, måste se till att kostnaden även för underhåll av det slag som beskrivits här beaktas och att medel avsättes för detta underhåll för att på så vis undvika en väsentlig kapitalförstöring. Medel måste också avsättas för inspektion av befintliga konstruktioner så att en underhållsplan kan upprättas och pågående materialnedbrytning så snart som möjligt åtgärdas.

Mot bakgrund av våra erfarenheter från inspektion av svenska hamnar kan sammanfattningsvis följande rekommendationer anges för nedbringande av kostnaderna för framtida kajunderhåll:

- I projekteringsskedet måste beaktas all möjlig information om fel och skador som kontinuerligt insamlats genom inspektion av kajanläggningar.
- I utförandeskedet måste modern inspektionsteknik och vid rätta tillfällen utförda inspektioner användas i kontrollverksamheten.
- I driftskedet bör objektsanpassade underhållsprogram upprättas för långsiktig budgetering av underhållskostnaderna.

Hög kvalitet i såväl material som utförande medför långsiktigt god ekonomi, speciellt för undervattenskonstruktioner och konstruktionsdelar i övrigt utsatta för den marina miljöns påverkan.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840349-9
från Statens råd för byggnadsforskning till VBB AB,
Stockholm.**

R54: 1985

ISBN 91-540-4382-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6705054

**Abonnemangsgrupp:
V. Anläggningsteknik**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 89 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms