



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.



INGVAR OLOFSSON
BENGT ERIKSSON
LEIF BERNTSSON

Reparationsmetoder

R1: 1994

Teknik och ekonomi vid
reparation av betongskador
på parkeringsdäck

R1:1994

REPARATIONSMETODER

**Teknik och ekonomi vid reparation av betongskador på
parkeringsdäck**

**Ingvar Olofsson
Bengt Eriksson
Leif Berntsson**

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 910328-6
från Byggforskningsrådet till Skanska Teknik AB, Göteborg.**

REFERAT

Många av de betongkonstruktioner som producerades under 1950–60-talen uppvisar skador av olika typ och omfattning orsakade av miljöpåverkan. De vanligaste skadetyperna är sprickbildning eller avspjälkning i samband med armeringskorrosion.

Konsekvenser av skadorna kan vara hållfasthetsnedsättning och risk för fortsatt, accelererande skadeutveckling såvitt inte lämpliga reparations- eller skyddsåtgärder sätts in.

Exempel på detta redovisas bl a i två föregående utredningar (rapport 9103 och 9104 i FoU-Västs, Göteborg, rapportserie) där skadestatus, reparationsbehov och reparationsmetoder för P-hus belägna i Göteborgsområdet studerats.

Ändamålet med projektet har varit att undersöka och jämföra traditionella och nyare reparations- eller återställningsmetoder i följande avseenden:

- 1 Metodens allmänna tillämplighet.
- 2 Teknik, arbetsgång, tidsåtgång.
- 3 Positiv eller negativ påverkan på konstruktionen under dess återstående livstid.
- 4 Eventuellt behov av efterföljande ytbehandling. Krav på denna.
- 5 Kostnadsjämförelser. Initialkostnader samt nuvärdet studeras med utgångspunkt från livslängd och behovet av upprepad behandling.

Utvärdering och jämförelser mellan de olika reparationsmetoderna behandlas i rapportens första del (del A).

En stor del av projektet omfattar därutöver en separat studie av kloridutdrivningsförsök på armerade betongplattor. Denna studie redovisas i del B av rapporten.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R1:1994

ISBN 91-540-5610-1
Byggforskningsrådet, Stockholm

gotab 10170, Stockholm 1994

DEL A

UTVÄRDERING AV OLIKA REPARATIONSMETODER

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning	Sid.
1. BAKGRUND, SYFTE, FÖRUTSÄTTNINGAR	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Utredningens syfte	8
1.3 Förutsättningar och begränsningar	8
1.4 Reparationsmetoder	9
1.5 Reparationsarbetenas livslängd	9
1.6 Nuvärdesberäkning	9
2. REPARATION AV GOLV I PARKERINGSDÄCK	11
2.1 Skador av kloridinträngning	11
2.2 Reparationsmetoder golv	13
2.2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong	
2.2.2 Reparation enligt 2.2.1 Kompletterad med membranisolering	
2.2.3 Katodiskt skydd	
2.2.4 Kloridutdrivning	
2.2.5 Kloridutdrivning kompletterad med membranisolering	
2.2.6 Sammanställning av nuvärdeskostnader för reparationsmetoder golv	

	Sid.
3. REPARATION AV BJÄLKLAGETS UNDERSIDA	31
3.1 Skadeorsaker	31
3.2 Reparationsmetoder för bjälklagets undersida	32
3.2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong	
3.2.2 Reparation enligt 3.2.1 Kompletterad med karbonatiseringsbroms	
3.2.3 Katodiskt skydd	
3.2.4 Katodiskt skydd med el-ledande färg	
3.2.5 Realkalisering	
3.2.6 Utorkning av betongplattan	
4. REPARATION AV UNDERLIGGANDE BALKAR	49
4.1 Skadeorsaker	49
4.2 Kostnadsjämförelse	49
4.3 Reparationsmetoder för underliggande balkar	50
4.3.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och igjutning med ny betong	
4.3.2 Reparation med hjälp av vattenbilning och påggjutning med sprutbetong	
4.3.3 Reparation enligt 4.3.1 Kompletterad med karbonatiseringsbroms	

	Sid.	
4.3.4	Katodiskt skydd	
4.3.5	Katodiskt skydd med el-ledande färg	
4.3.6	Realkalisering	
5.	REPARATION AV PELARE	58
5.1	Skadeorsaker	58
5.2	Kostnadsjämförelse	58
5.3	Reparationsmetoder för pelare	
5.3.1	Reparation genom vattenbilning och pågjutning med sprutbetong	
5.3.2	Reparation genom vattenbilning och pågjutning med sprutbetong	
5.3.3	Katodiskt skydd	
5.3.4	Katodiskt skydd med el-ledande färg	
5.3.5	Kloridutdrivning	
5.3.6	Ersättning med ny pelare	
6.	SLUTKOMMENTAR	66

REPARATIONSMETODER

TEKNIK OCH EKONOMI VID REPARATION AV
BETONGSKADOR PÅ PARKERINGSDÄCK

FÖRORD

DEL A: UTVÄRDERING AV OLIKA
 REPARATIONSMETODER

DEL B: KLORIDUTDRIVNING PÅ ARMERADE
 BETONGPLATTOR.
 LABORATORIEFÖRSÖK.

BILAGA 1: LITTERATUR

BILAGA 2: REFERENSGRUPP FoU-VÄST

FÖRORD

Det är idag ett välkänt faktum att många av de betongkonstruktioner som producerades under 1950–60-talen uppvisar skador av olika typ och omfattning orsakade av miljöpåverkan. De vanligaste skadetyperna är sprickbildning eller avspjälkningar i samband med armeringskorrosion.

Konsekvenser av skadorna kan vara hållfasthetsnedsättning och risk för fortsatt, accelererande skadeutveckling såvitt inte lämpliga reparations- eller skyddsåtgärder sätts in.

Exempel på detta redovisas bl a i två föregående utredningar (rapport 9103 och 9104 i FoU-Västs, Göteborg, rapportserie) där skadestatus, reparationsbehov och reparationsmetoder för P-hus belägna i Göteborgsområdet studerats.

För att närmare utreda de olika reparations- eller återställningsmetodernas ändamålsenlighet i samband med reparation av parkeringsdäck eller liknande konstruktioner har detta projekt initierats av FoU-Väst, Göteborg.

Inom FoU-Väst, som är ett utskott till Byggmästareföreningen Väst, finns flertalet av västra Sveriges större entreprenörer representerade (se bilaga).

Projektet har genomförts av en arbetsgrupp bestående av representanter för Skanska Teknik AB, Betongsprutnings AB BESAB AB och Färdig Betong AB tillsammans med Avd. för byggnadsmaterial vid Chalmers Tekniska Högskola.

Försöks- och laboratoriearbete har bedrivits vid Avd. för byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola, av Juhan Aavik och Tang Luping under ledning av Leif Berntsson och under prof. Lars-Olof Nilssons överinseende.

Som referensgrupp har medlemmarna i FoU-Väst medverkat liksom Stabilator AB och Renoveringsentreprenader AB.

Projektet har bedrivits med stöd av medel från BFR och SBUF.

Ändamålet med projektet har varit att undersöka och jämföra traditionella och nyare reparations- eller återställningsmetoder i följande avseenden:

1. Metodernas allmänna tillämplighet.
2. Teknik, arbetsgång, tidsåtgång.
3. Positiv eller negativ påverkan på konstruktionen under dess återstående livstid.
4. Eventuellt behov av efterföljande ytbehandling. Krav på denna.
5. Kostnadsjämförelser. Initialkostnader samt nuvärden studeras med utgångspunkt från livslängd och behovet av upprepad behandling.

Utvärdering och jämförelser mellan de olika reparationsmetoderna behandlas i rapportens första del (del A).

En stor del av projektet omfattar därutöver en separat studie av kloridutdrivningsförsök på armerade betongplattor. Denna studie redovisas i del B av rapporten.

Göteborg i augusti 1993

Ingvar Olofsson, Skanska Teknik AB
(projektledare)

Arbetsgrupp:

Bengt Eriksson

Nils-Olof Sandell

Tomas Kutti

Pär Åhman

Leif Berntsson

Juhan Aavik

Skanska Teknik AB

BESAB

Färdig Betong AB

Byggmästareföreningen Väst/FoU-Väst

Avd. för byggmaterial, CTH

Avd. för byggmaterial, CTH

Sammanfattning

Vid en skadeinventering av parkeringsdäck i Göteborg utförd 1990 konstaterades att de flesta P-däck, som byggts före 1975, är i behov av mer eller mindre omfattande reparationer.

I denna rapport utvärderas olika reparationsmetoder ur teknisk och ekonomisk synvinkel. Därvid studeras reparationer av golv, tak, balkar och pelare i ett parkeringsdäck byggt av platsgjuten betong.

För parkeringsdäck som skadats av kloridinträngning, karbonatisering, sprickbildning m m finns numera ett antal reparationsmetoder att välja mellan.

Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong, katodiskt skydd, kloridutdrivning, realkalisering m fl metoder studeras.

I en kortfattad arbetsbeskrivning redogöres för de olika arbetsmomenten vid varje reparationsmetod.

Kostnader för dessa redovisas. För att kunna jämföra kostnaderna för olika reparationsmetoder görs en bedömning av reparationernas livslängd. Därefter beräknas nuvärdet för de olika reparationsarbetena.

Därvid medräknas framtida reparationer under en tidsperiod av 45 år.

Speciellt framhålls vikten av att i ett tidigt skede få information om betongkonstruktionens tillstånd. Olika metoder för övervakning t ex av armeringens begynnande korrosion beskrivs. Betydelsen av att karbonatiseringsdjup, kloridhalt, sprickor, urlakningsskador samt frysskador kartläggs med jämna mellanrum diskuteras. Dessa undersökningar bör utföras första gången ca 10-15 år efter nybyggnation och därefter kontinuerligt följas upp vart 5:e år.

Förebyggande åtgärder kan då sättas in vid rätt tidpunkt och framtida reparationskostnader kan därmed minimeras.

PARKERINGSDÄCK AV BETONG

UTVÄRDERING AV REPARATIONSMETODER

1. BAKGRUND, SYFTE, FÖRUTSÄTTNINGAR

1.1 Bakgrund

Många av de parkeringsdäck, som under 1950-, 60- och 70-talet uppfördes i armerad betong, uppvisar idag skador av olika slag. De vanligaste skadetyperna är armeringskorrosion, uppsprickning, utspjälkning av betongtäcksikt, skador på en upprepad frysning och upptining, urlakningsskador, slitageskador samt skador i fogkonstruktioner. Orsakerna till de uppkomna skadorna tillskrivs vanligen yttre miljöfaktorer (regn, frost) i kombination med karbonatisering och kemiska angrepp i första hand föranledda av tölsaltning av parkeringsytorna eller intilliggande gatu- och vägområden. Därutöver har kraven på de ingående materialen och arbetsutförandet ofta varit otillräckliga om man mäter med dagens måttstock.

Konsekvenserna för de angripna konstruktionerna består i nedsatt bärlighet och utnyttjandegrad samt risk för fortsatta accelererande angrepp. I vissa fall har omfattande reparationsåtgärder vidtagits för att återställa eller nöjaktigt vidmakthålla konstruktionerna, i några fall har rivning genomförts eller övervägts.

Reparationsarbetena utförs ofta med traditionella metoder såsom ersättning av skadad betong med ny sådan, injektering med epoxi, ersättning eller komplettering av armering, tätning av fogar, komplettering med tätskikt etc.

Utöver de traditionella reparationsmetoderna har på senare tid sk återställningsmetoder, avsedda att tillämpas i ett tidigt skede av en pågående nedbrytningsprocess, lanserats. Metoderna, som är av sinsemellan likartad karaktär, avser att genom jonvandring i ett elektriskt spänningsfält, dels reducera en för hög kloridhalt i närheten av armeringen (kloridutdrivning), dels återställa ett högt pH-värde i området kring armeringen (realkalisering) i fall, då detta reducerats, t ex på grund av karbonatisering.

Tillförlitligheten av dessa metoder har på senare tid varit föremål för diskussion (jämför Folke Karlsson, *Kloridutdrivning ur betong*, Nordisk Betong 34 (1990)). Bland diskuteras de negativa effekter på betong och armering som i vissa fall konstaterats vid höga strömtätheter d v s högre än de som användes i praktiken. Ytterligare klargöranden krävs emellertid innan metodernas effekter på kort och lång sikt kan sägas vara utredda på ett tillfredsställande sätt.

I del B redovisas bl a resultat från utdragsprov utförda före och efter den elektrokemiska kloridutdrivningen. Förankringen av armeringen har försämrats och uppmättes efter kloridutdrivningen till ca 70% av maximal kraft på obehandlad stång. Kloridutdrivning har dock utförts kommersiellt i ett flertal länder. Erfarenhet finns från ett 20-tal objekt varav ca 1/3-del i Sverige.

1.2 Utredningens syfte

För att belysa metodernas allmänna förutsättningar och tillämpbarhet jämförs dessa tekniskt och även ekonomiskt i ett totalekonomiskt perspektiv.

I en tidigare FoU-rapport har 92 st parkeringsdäck inventerats. Där framgår att behovet av mera genomgripande reparationer uppträder 15–20 år efter nybyggnationen. I allmänhet ger sig skadorna tillkänna genom att betongtäcksiktet avspjälkas på grund av svåra rostskador på armeringen. I dessa fall är skadorna på armeringen ofta sådana att betongen måste bilas bort och armeringen ersättas med ny. Om skador från exempelvis kloridinträngning eller karbonatisering upptäckts tidigare kan reparationer utföras med "ej förstörande metoder" såsom katodiskt skydd av armeringen, kloridutdrivning, realkalisering m fl.

1.3 Förutsättningar och begränsningar

En del yttre förutsättningar begränsar valet av reparationsmetoder. Kloridutdrivning är t ex en metod som vid förspända konstruktio-
ner måste användas med stor försiktighet m h t risken för väteförspändning av spännarmeringen. Vissa stållegeringar påverkas av den vätgasutveckling som bildas vid armerings-
stängerna under kloridutdrivningen. Ytterligare forskning krävs för att klargöra graden och varaktigheten av en eventuell hållfasthetsnedsättning.

Om parkeringsdäcket är fristående eller sammanbyggt med exempelvis bostadshus kan detta ha betydelse vid val av reparationsmetod. Stomljudd från bilning kan då vara så störande att denna metod väljs bort.

Parkeringsdäck finns utförda i olika stomsystem. Vanliga konstruktionstyper är platsgjutna pelardäck, platsgjutna enkelspända plattor uppburna av slakarmerade eller förspända balkar, ribbjäklag samt förspända prefabricerade TT-kassetter. Vid reparation av balkar i parkeringsdäck som består av flera våningar kan det vara nödvändigt med stämpning våningsvis ned till grunden. Stämpkostnaden kan där bli så hög att detta motiverar en speciell reparationsmetod.

I vissa fall ökar konstruktionens egenvikt något på grund av betongpågjutning, beläggningsgjutafalt m m. Därvid utföres först en statisk kontrollberäkning av armeringspåkänningarna i bjälklagsplatta och balkar. Även belastning från tyngre arbetsredskap kräver i vissa fall kontrollberäkning innan metoden kan väljas.

Vid kostnadsjämförelser mellan olika reparationsmetoder har valts en platsgjuten slakarmerad betongplatta uppbyggen av slakarmerade balkar på betongpelare. Parkeringsdäckets yta har valts till 1000 m² och antas vara byggt i en våning.

1.4 Reparationsmetoder

I första hand studeras parkeringsdäck där betongen skadats av kloridintränging, karbonatisering, sprickbildning samt frost. För dessa skadetyper finns numera alternativa reparationsmetoder, som här jämföres med mer traditionella metoder. Vattenbilning av skadad betong ersätts med ny högvärdig betong. Den sistnämnda metoden som är "förstörande" jämföres därvid med "icke förstörande metoder" såsom katodiskt skydd med titannät eller elledande färg, kloridutdrivning, realkalisering samt uttorkning av betong.

1.5 Reparationsarbetenas livslängd

Reparationsarbetet föregås av besiktning där skadebilden dokumenteras. Provtagning av karbonatiseringsdjup, kloridinträngning mm leder fram till en planläggning av reparationsarbetet. Därvid kan olika reparationsmetoder väljas, vilka bedöms ha olika livslängd dvs innan reparationen måste göras om på nytt. För att kunna göra en jämförelse mellan olika reparationsmetoder beräknas nuvärdet av reparationsetapp 1, reparationsetapp 2 osv. Det aktuella parkeringsdäcket i vår undersökning antas bli reparerat första gången 15 år efter nybyggnation. Därefter studeras nuvärdet för olika reparationsmetoder 45 år fram i tiden. Livslängden för en reparation, dvs innan samma reparation måste göras om på nytt, är svår att bestämma. Detta gäller speciellt reparationsmetoder som kloridutdrivning och realkalisering där det ännu inte finns tillräcklig erfarenhet för en bedömning av en reparationscykels längd.

I en kostnadsjämförelse är det naturligtvis av stor betydelse hur stora ytor som bedöms vara aktuella vid reparationsetapp 1, 2 osv. Då karbonatiseringsdjupet och samtidigt täckskiktets tjocklek varierar kommer skadornas omfattning att variera fläckvis.

Man måste då avgöra vilka ytor som skall tas med i första reparationsomgången. En bedömning måste också göras med hänsyn till återstående ytors livslängd. Framtida reparationsetapper planeras utifrån den aktuella skadebilden. Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong lämpar sig bättre för reparation av småytor medan metoder som katodiskt skydd, kloridutdrivning, realkalisering och även vattenbilning och ersättning med ny betong tillämpas på större sammanhängande ytor.

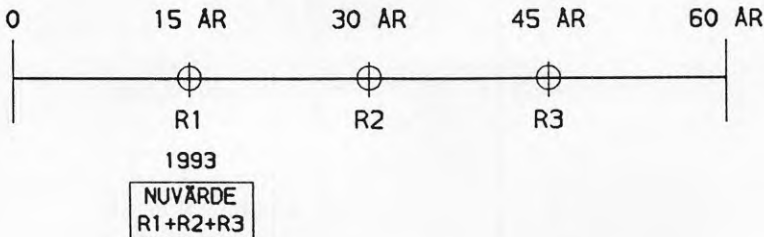
Kostnadsjämförelsen kommer således endast att illustrera ett antaget fall. Reparationsbehovet för varje däck är unikt, varför läsaren själv kan sätta in de reparationsytor som gäller för det aktuella fallet. På samma sätt kan reparationernas livslängd bedömas anorlunda efterhand som erfarenheter från reparationsetapp 1 erhålles.

1.6 Nuvärdesberäkning

Kostnader för de olika reparationsarbetena har tagits in från entreprenörer, som är specialiserade på respektive reparationsmetod.

Kostnaden för den första reparationen R1 är framräknad enligt 1993 års prisnivå.

Reparationscykler studeras 45 år fram i tiden. Kostnader för framtida reparationer R2, R3 osv beräknas varefter nuvärdet av dessa bestämmes. Real kalkylränta väljes till 5%. Beräkningen illustreras av nedanstående exempel.



För vissa reparationsmetoder uppstår kostnader under driftstiden. För katodiskt skydd tillkommer kostnad för el. Detsamma gäller även metoden med uttorkning av plattan med mekanisk ventilation. Även kostnader för uppföljande kontroll med hjälp av potentialkartering, kontrollmätning av referenselektroder m m belastar de olika reparationsmetoderna olika. Dock är dessa kostnader marginella och har ej medtagits i kostnadsjämförelsen.

2. REPARATION AV GOLV I PARKERINGSDÄCK

2.1 Skador av kloridinträngning

Skador orsakas av vägsalt som följer med bilarna in under vinterhalvåret. Saltinträngningen förekommer i överkant i betongplattan och påverkar därvid endast överkantsarmeringen. Saltkoncentrationen är mycket ojämnt fördelad över ytan. De största saltkoncentrationerna har uppmätts lokalt vid bilarnas hjuluppställning på parkeringsplatsen och härrör från snö som lossnat från stänkskydden. Även bjälklagsdelar närmast infarten har höga saltkoncentrationer. Höga kloridhalter återfinns även i lågpunkter där vattnet kvarstår.

I områden med överkantsarmering tränger saltet ned i dragsprickor, varvid korrosionen där startar tidigare. På väggar och på pelare återfinns salt inom stänkzonen upp till 0,5 m från golv och överstiger där ofta tillåtna värden.

Kloridinhållet i betongen analyseras från borrhax. Borrhax från flera hål utjämnar effekten av att ballastinhållet i kaxet påverkar mätningen.

Kloridinhållet fastställs på olika nivåer eftersom det råder ett samband mellan karbonatiseringsfrontens läge, kloridinhållet samt korrosionsrisken. Alternativt urborras betogkärnor $\varnothing 50$ mm från vilka sedan borrhax urborras för uppmätning av kloridjonkoncentrationen. Rekommenderat gränsvärde för kloridinhållet är 0,4% av cementvikten.

Vid undersökningar av ett antal garage i Göteborg är det högsta uppmätta värdet av kloridinhållet 3% av cementvikten. Kloridinträngning med koncentrationer större än 0,3%/cementvikt har uppmätts på 10–15 cm djup under betongytan. För de prover som hittills uppmätts har dock inte i något fall tillåten kloridkoncentration överskridits vid underkantsarmeringen.

Vid förekomst av klorider i andra konstruktionsdelar än ök betongplattor härrör dessa ofta från klorider som tillsatts betongen vid blandningen för att accelerera härdningsprocessen vid vintergjutning. Dessa konstruktionsdelar, exempelvis pelare och väggar ovan stänkzonen samt valvs undersidor, innehåller då jämnare fördelade saltkoncentrationer än de fläckvis stora variationerna av salt, som återfinns i ök betongplatta.

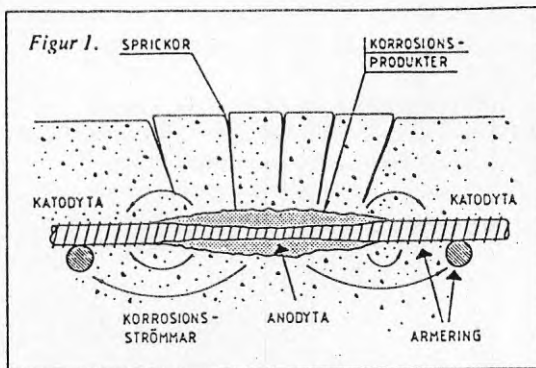
Behovet av reparationer sammanhänger primärt med korrosionsskador på överkantsarmeringen. Se figur 1.1. Överkantsarmering i kontinuerliga bjälklagsplattor, pelardäck, ök armering i balkar, byglars överdelar mm kan därvid ha skadats, vilket i sin tur kan medföra utspjälkning av betongens täcksikt. Spjälkningskadorna är ofta dolda under asfaltbeläggningar. Gjutasfaltbeläggningar spricker upp över de ställen där betongen spjälkat loss. Vatten tränger genom sprickorna in mellan gjutasfalt och betong. Avspjälkningen förstör därvid gjutasfaltens funktion som vattentätande skikt.

Vid reparation av ett parkeringsdäck i Göteborg byggt 1967 kontrollmättes skadorna på ök-armeringen i pelardäcket.

Armeringsstängerna ($\emptyset 16$) var starkt korroderade.

Korrosionsangreppen varierade utefter stängernas längd. I det värst korroderade snittet var stängernas diameter endast ca 7 mm, dvs endast 20% av stångens area kvarstod. Den fläckvis varierande saltkoncentrationen förklarar därvid det varierande korrosionsangreppet på armeringsstängerna.

Uppmätning av ök-armeringens täcksikt göres normalt i samband med provtagning för kloridmätningar. Därvid har konstaterats att där skador i allmänhet först uppträder, har täcksiktet varit mindre än vad som krävs enligt gällande betongbestämmelser. Betongens täcksikt kan också ha minskat på grund av slitage från bilarnas dubbdäck. Plåtar vid dil.fogar är i allmänhet svårt korroderade av tölsalter.



Figur 1.1 Armeringskorrosion

- 2.2 Reparationsmetoder golv
- 2.2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong

Utförandet av reparationsarbetet beskrivs i Betoghandboken, Reparation, kapitel 4.4. Betong med höga kloridhalter bilas bort. Kloridkoncentrationen varierar fläckvis över ytan. Detsamma gäller kloridernas inträngningsdjup. I en karbonatiserad betong är koncentrationen ofta störst ca 10 mm under karboniseringsfronten. Det är således viktigt att mäta saltprofilen i plattan. Därefter kan bedömas till vilket djup vattenbilning skall utföras. Dock bör nedbilning ske minst till ett djup av ca 25 mm (2 ggr max stenstorlek) under armeringsstängerna. Vattenbilningen rengör armeringen från rost och åstadkommer en perfekt betongyta för motgjutning. Vattenbilning utföres på de ytor som är åtkomliga med vattenbilningsriggen. Vissa ytor kompletteras därför med handbilning. På ytor som handbilas utföres sandblästring för att erhålla en ren motgjutningsyta. Armeringen rengöres från rost till Sa 2 1/2. Armering med skador av betydelse byts ut eller kompletteras med ny armering. Pågjutning göres av betong med samma K-värde som den ursprungliga betongen. I övrigt väljs cementtyp, vct, lufthalt, täcksikt m m enligt Beständiga betongkonstruktioner.

Reparationer omfattande mindre ytor kan utföras utan att stämp måste uppsättas. Ofta måste arbetsetapperna planeras så att stämpning blir nödvändig. Kostnaden för stämpning varierar mycket från fall till fall och är svår att uppskatta. Detsamma gäller kostnader för avskärningar för vattenbilning. Dessutom tillkommer kostnader för byggherren för hyresbortfall från avstängda parkeringsplatser. Vid vår kostnadsjämförelse räknas dessa kostnader till sammanlagt ca 150 SEK/m².

Handbilning bör undvikas där detta är möjligt med hänsyn till hälsorisker (hörselskador samt vibrationsskador). Dessutom finns risk för att bilning mot armeringsstängerna kan förstöra vidhäftningen mellan betong och armering.

Arbetsbeskrivning: Kostnad

Stämning

Intäckning av arbetsområde

Vattenbilning

Komplettering med ny armering

Pågjutning med ny betong

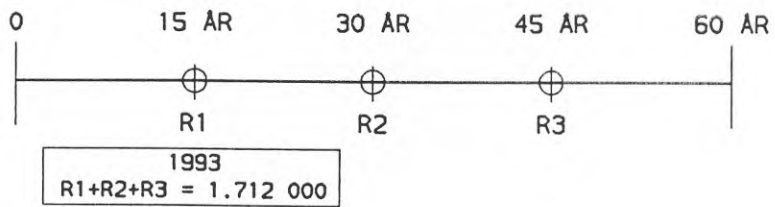
1000 SEK/m²



Figur 2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong

Nuvärdesberäkning

Reparationsbehovet föreligger endast på ytor med bärande huvudarmering. Reparerad yta antas vara 1000 m².



R1 =	1000 x 1000 =	1.000.000 SEK
R2 =	$\frac{1.000.000}{1,05^{15}}$ =	481.000 "
R3 =	$\frac{1.000.000}{1,05^{30}}$ =	231.000 "
Nuvärde 1993	=	1.712.000 SEK

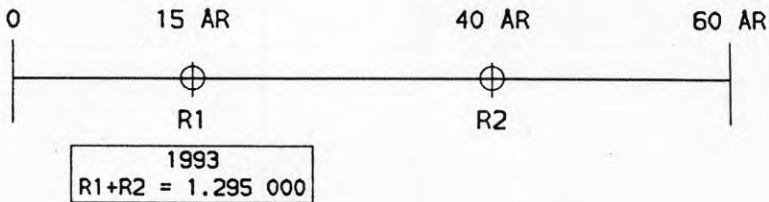
Känslighetsanalys

Med hänsyn till svårigheten att bedöma reparationens livslängd är det av intresse att utföra en känslighetsanalys vid nuvärdesberäkningen. Därvid insättes i detta fall längre livslängd, vilket kan vara motiverat t ex av förbättrade metoder vid utförandet.

Vid vacuumbehandlad pågjutning fås en tätare betong i ytan. Kloriddiffusionen sker då långsammare. Samtidigt innebär vct-sänkningen att ca 2 à 4 gånger högre kloridkoncentrationer erfordras för korrosion. Därvid bedöms att ny reparation för detta fall sker först efter 25 år.

Reparationsbetongens täthet kan även förbättras genom att blanda in slagg i betongen. Detta har studerats vid försöken på CTH, vilka redovisas i del B i denna rapport. Där konstateras att kloridjonernas diffusivitet minskar till ca 1/6-del jämfört med betong utan slaggblandning.

Nuvärdesberäkning



$$R1 = 1000 \times 1000 = 1.000.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{1.000.000}{1.05^{25}} = \underline{\quad 295.000 \quad}$$

$$\text{Nuvärde 1993} \quad 1.295.000 \text{ SEK}$$

2.2.2 Reparation enligt 2.2.1 kompletterad med membranisolering samt slitlager av 25 mm gjutasfalt

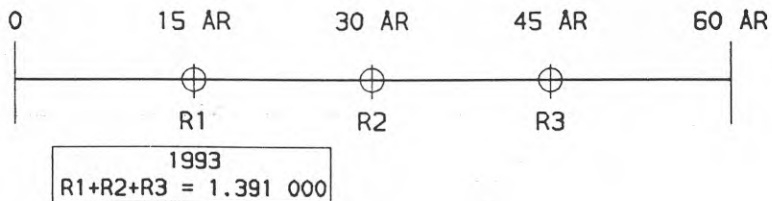
För undvikande av ny kloridinträngning i betongen utföres vid första reparationstillfället membranisolering kompletterad med beläggningsgjutasfalt. Vid reparationstillfälle 2 och 3 utföres endast ny beläggning inom vissa delar som slitits ned av dubbdäck. Reparerad yta antas vara 500 m². Däremot förutsättes att betongbjälklaget klarar sig utan ytterligare reparationer under resterande livslängd.

Arbetsbeskrivning enligt 2.2.1 Kostnad

Membranisolering +25 mm beläggningsgjutasfalt

1.320 SEK

Nuvärdesberäkning



$$R1 = 1320 \times 1000 = 1.320.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{100.000}{1,05^{15}} = 48.000 \text{ "}$$

$$R3 = \frac{100.000}{1,05^{30}} = 23.000 \text{ "}$$

Nuvärde 1993

1.391.000 SEK

2.2.3 Katodiskt skydd

Principen för katodiskt skydd finns beskriven i "Katodiskt korrosionsskydd av stålarmering i betongkonstruktioner" utgiven av Korrosionsinstitutet.

Det katodiska skyddet åstadkomes genom en förändring av armeringens potential med hjälp av en likström såsom figur 2.3 visar. Därvid användes ett titannät som anod, som via strömtilliedare och kablar anslutes till en transformator/strömriktarenhet. Se figurerna 2.4 och 2.5.

Metoden kan användas vid reparation av golv i parkeringsdäck. Man måste då särskilja 2 olika fall. Om kloridangreppet trängt ned till armeringen och skadat denna måste överytan bilas upp och ny armering läggas in.

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Vattenbilning

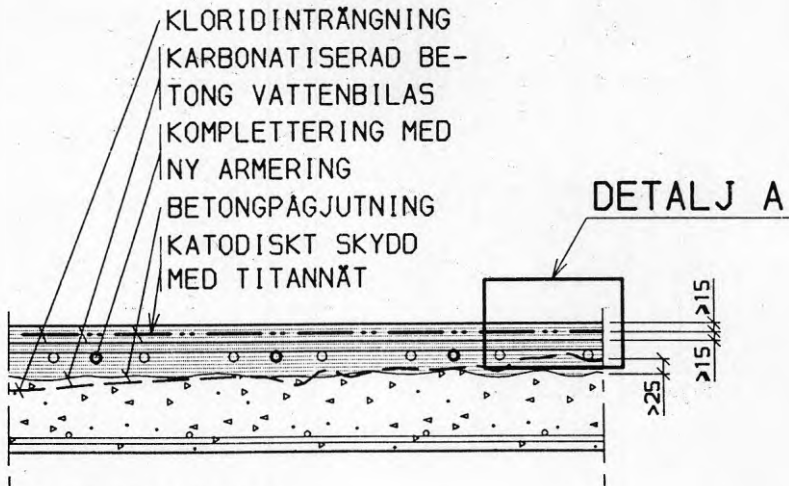
Komplettering med ny armering

Pågjutning med ny betong

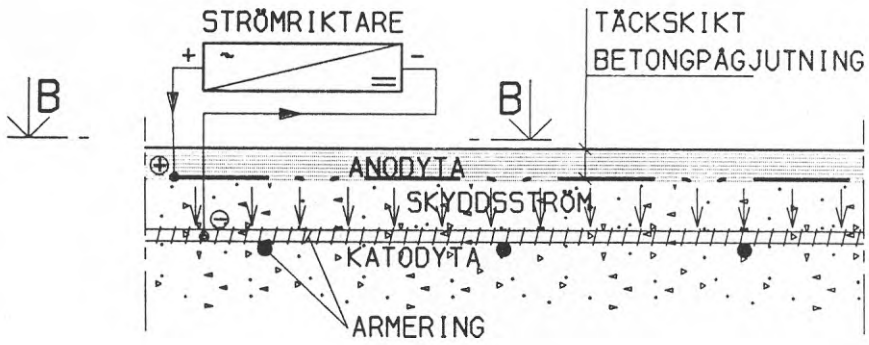
Stämpning, avskärmning, hyresförluster

Katodiskt skydd med titannät

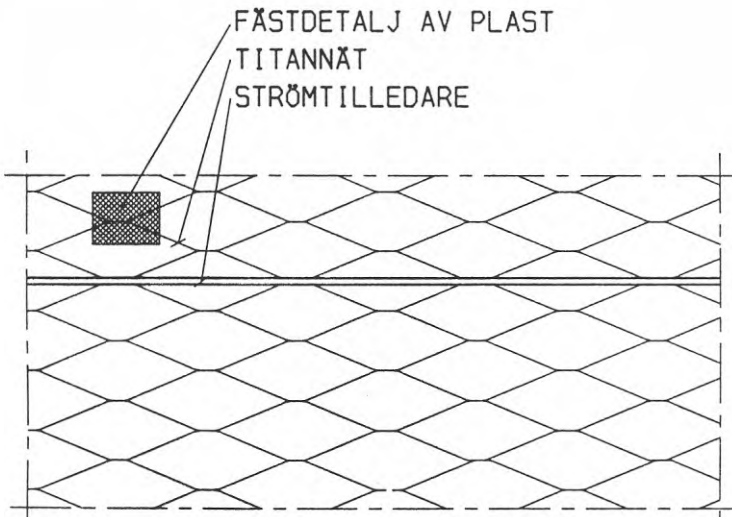
1.900 SEK/m²



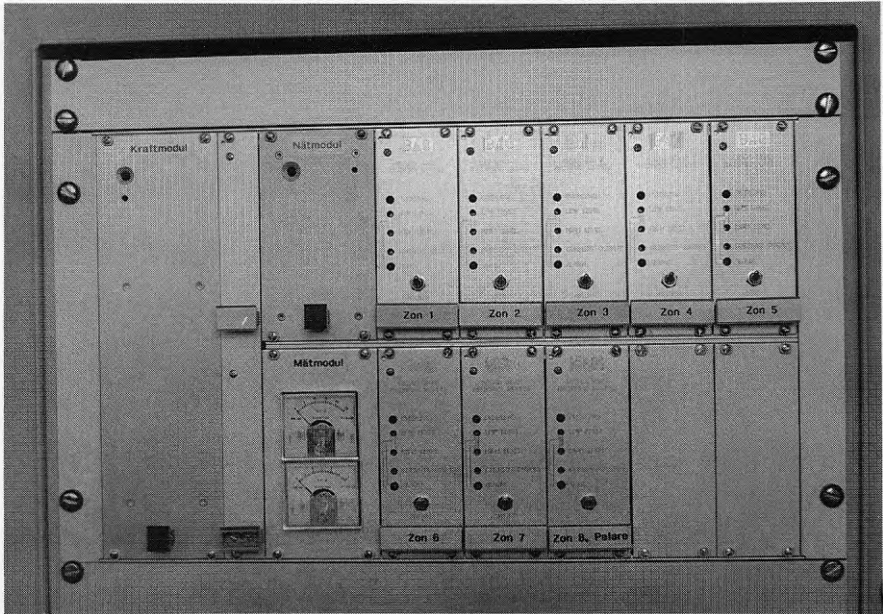
Figur 2.2 Katodiskt skydd



Figur 2.3 Detalj A



Figur 2.4 Sektion B-B

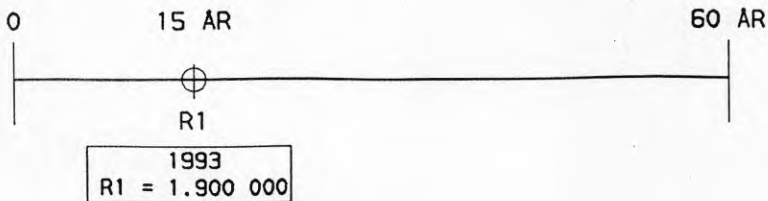


Figur 2.5 Strömriktare REBAC-MARS. Varje modul kan leverera en konstant ström av 0-2A/max 24V.

Det katodiska skyddet bedöms ha en livslängd som är längre än 45 år, varför reparationen klarar konstruktionen under den återstående livslängden.

Jämförelsekostnaden vid 1000 m² reparationsyta fås till 1.900.000 SEK.

Nuvärdesberäkning



I det fall kloridinträngningen ej nämnvärt skadat armeringen kan katodskyddet utföras enligt nedanstående arbetsbeskrivning.

Arbetsbeskrivning

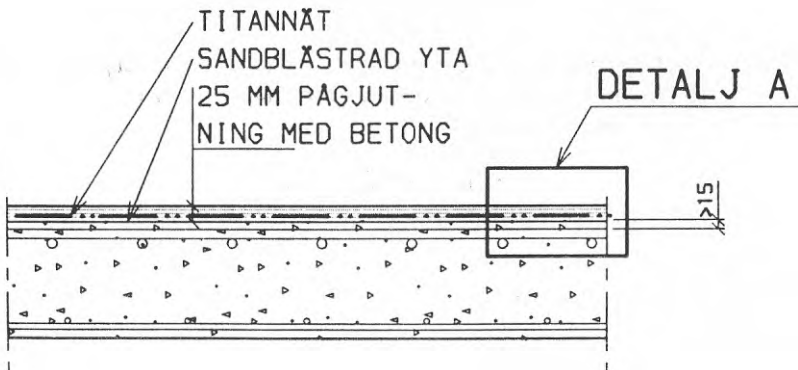
Kostnad

Sandblästring

Katodiskt skydd med titannät utlagt ovanpå betongplattan

25 mm pågjutning med betong

1.300 SEK/m²



Figur 2.6

Motsvarande jämförelsekostnad fås i detta fall till 1.300.000 SEK. Det är således lönsamt att utföra reparationen innan rostsprängningen förstört vidhäftningen mot betongen i sådan omfattning att armeringen måste bytas ut.

Armeringens begynnande korrosion kan övervakas med hjälp av potentialkartering. Metoden beskrivs i "Katodiskt korrosionsskydd" utgiven av Korrosionsinstitutet.

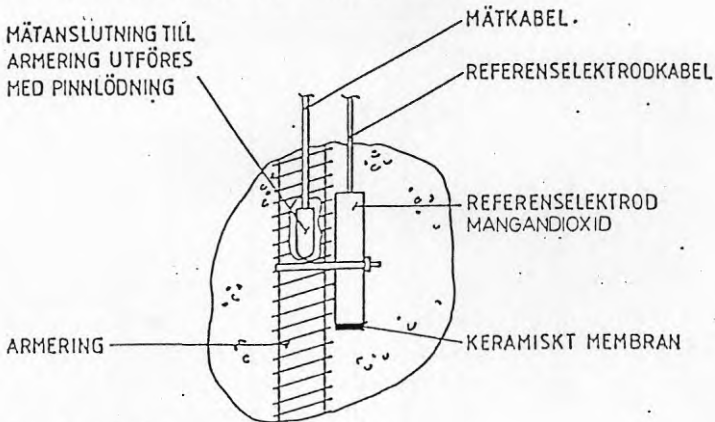
Mätningen sker i ett stort antal punkter. Mätresultatet redovisas grafiskt i form av en potentialkarta. Mätningarna kan sedan göras om med några års mellanrum. Man kan därav bedöma armeringens korrosionstillstånd. Alternativt kan korrosionen övervakas med hjälp av referenselektroder. Se fig. 2.6, 2.7 samt 2.8. Man väljer då ut de områden som enligt den första potentialkarteringen uppvisar de sämsta mätvärdena. Inom varje sådan zon insättes sedan en referenselektrod. Därvid uppblas en liten ursparing i betongen vari referenselektroden samt mätanslutning till armeringen monteras, se detalj nedan. Efter igengjutning övervakas med regelbundna mätningar om korrosion av armeringen startat. Nya metoder där den direkta korrosionshastigheten på armeringen kan bestämmas är under utprovning på CBI och KI i Stockholm. Dessa metoder ger till skillnad från potentialkartering, som är en metod att bestämma sannolikheten för pågående korrosion, en direkt avspiegling av armeringens korrosionstillstånd. Investering i ett katodiskt skydd kan då göras vid rätt tidpunkt.

Intressant är också att värdera huruvida det är ekonomiskt att installera det katodiska skyddet redan från början.

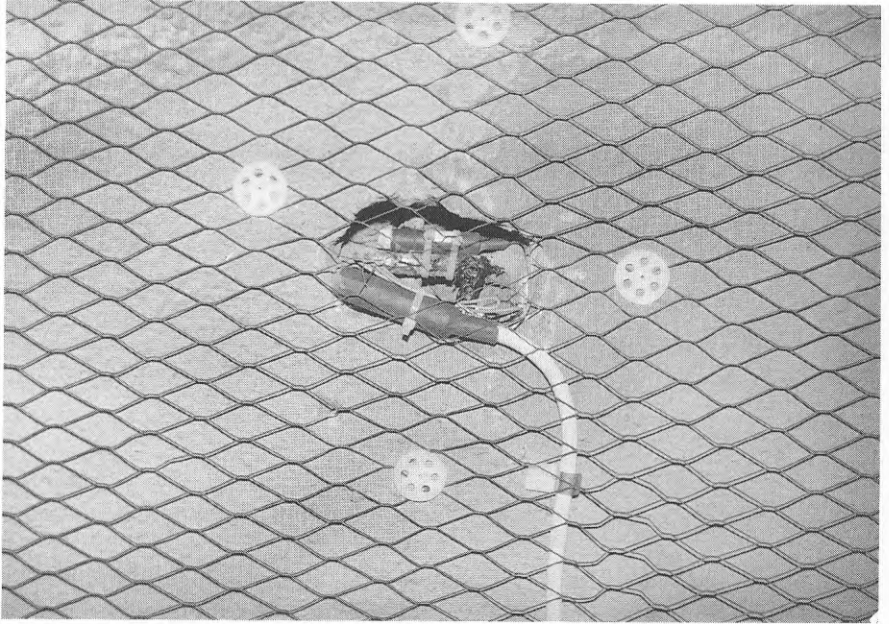
Kostnad för titannät med tillhörande utrustning inklusive arbetskostnad är 800–1000 SEK/m² i 1993 års kostnadsläge. Detta skall då jämföras med tidigare framräknade kostnader 1.300.000 SEK.

$$K = \frac{900.000 \cdot 1.1235^{15}}{1,07^{15}} = \frac{900.000 \cdot 5.735}{2,759} = 1.870.000$$

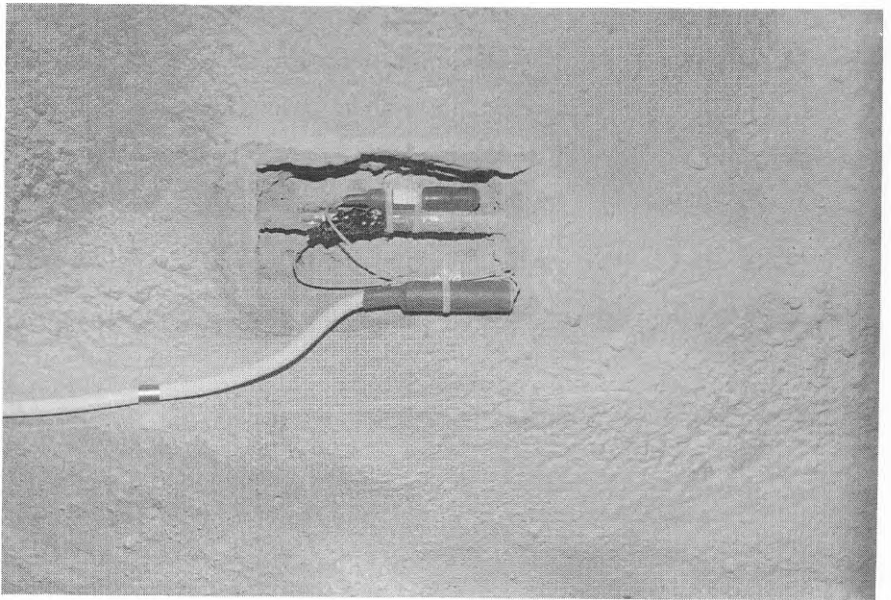
Den tidigarelagda investeringen är således ej lönsam. Detta förutsätter dock att korrosionen övervakas med referenselektroder så att den dyrare reparationen med vattenbilning och utbyte av armering undviks.



Figur 2.7 Referenselektrod



Figur 2.8 Referenselektrod av typ MnO_2 monterad under anodnät. Referenselektroden är fäst vid armeringen med plaststrips. Längre ned i bild syns kabelskarven.

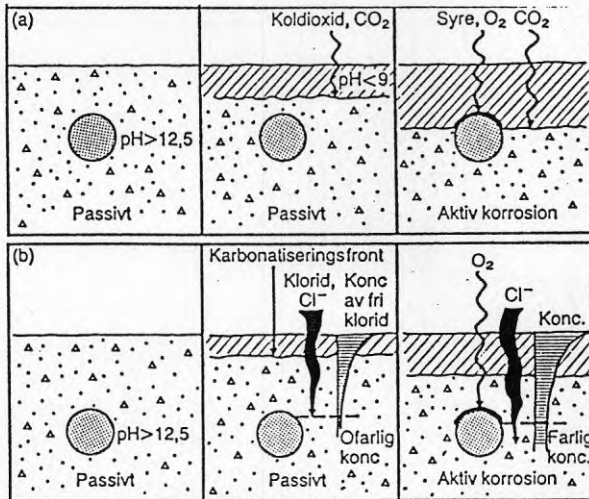


Figur 2.9 Referenselektrod monterad vid armeringsjärn. Här syns även katodanslutningen på armeringsjärnet. Anslutningen är utförd med pinnlödning.

2.2.4 Kloridutdrivning

Principen för elektrokemisk kloridutdrivning finns beskriven i Electro-Chemical Desalination of Concrete, NCT International Seminar 1990. Metoden kan tillämpas för de fall där armeringen inte är så allvarligt skadad att den måste bytas ut. Detta innebär att korrosionsangrepp av mindre omfattning, d v s punktvisa angrepp om några mm diameter, kan godkännas.

Ström påkopplas mellan armeringsjärnen och ett titannät. Utdragningen av klorider sker med ström påkopplad i 14-dagars perioder. När kloridhalten är mindre än 0,4%/cementvikten avbrytes utdrivningen. (Vanligen efter 3 till 4 tvåveckorsperioder). Totalt tar denna typ av reparation 2-3 månader. Det är viktigt att kloridkoncentrationen mätes på ett riktigt sätt. Då kloridutdrivningen är effektivast intill armeringen bör proverna tas dels mitt emellan stängerna där således högre saltkoncentration kvarstår och dels invid stängerna. Mätningen bör dessutom utföras på olika nivåer under betongytan. Medelvärdet av de två kloridprofilerna utgör sedan ett mått på det totala kloridinnehållet jämnt fördelat över ytan. Man måste således se till att inte höga salthalter kvarlämnas, som senare strävar efter att utjämnas så att man på nytt får risk för korrosion vid armeringen. Viktigt är också att man mäter summan av fria och bundna kloridjoner.



Figur 2.10 Olika stadier av korrosionsprocessen
 (a) korrosion föranledd av karbonatisering
 (b) korrosion föranledd av klorider. (Fagerlund, Bygghandboken, Reparation).

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Tätning av sprickor m m

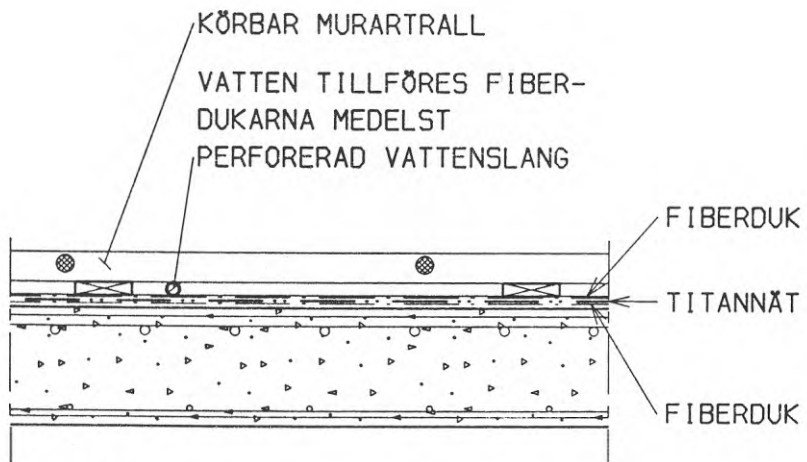
Utläggning av körbar trätrall

Kloridutdrivning

800 SEK/m²

Utöver kostnaden för själva kloridutdrivningen tillkommer vissa kringkostnader.

Innan kloridutdrivningen påbörjas tätas sprickor där läckage vid vattenbegjutningen kan åstadkomma olägenheter. Alternativt kan hängrännor eller plastpresenningar användas för att ta hand om genomsippande vatten. Övriga förberedande arbeten kan vara tätning mot väggar, tätning av vissa brunnar för att minska vattenförbrukningen, överskottsvatten som samlas i lågpunkter tas om hand mm. En fördel med denna reparationsmetod är att parkeringsdäcket kan vara i drift under hela reparations tiden. Detta kan åstadkommas genom utläggning av körbar trätrall ovanpå titannätet. Vissa frågeställningar beträffande metodens bieffekter på lång och på kort sikt belyses i den del av denna rapport som redovisar försök och provtagningar utförda vid avdelningen för byggmaterial vid Chalmers.

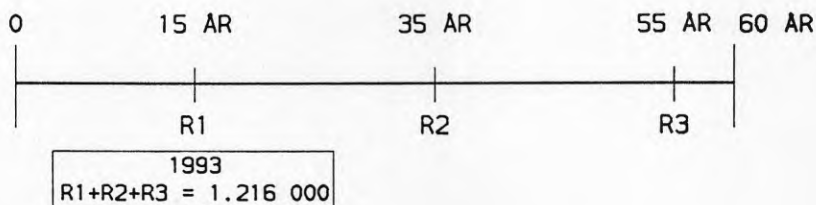


Figur 2.11 Kloridutdrivning

Nuvärdesberäkning

De parkeringsdäck, som nu repareras, är 20 - 25 år gamla. Korrosionen har där i många fall gått så långt, att armeringen skadats i sådan omfattning, att den måste bytas ut. Återställning med kloridutdrivning borde, för dessa parkeringsdäck, utförts i ett tidigare skede. Därför väljs vid nuvärdesberäkningen 15 år för bedömning av tidpunkt för första reparationstillfället.

För närvarande diskuteras huruvida mikrosprickor och en något porösare betong i ytskiktet gör att uppsaltningen kommer att gå snabbare andra gången efter den elektrokemiska kloridutdrivningen. Kloridjonernas diffusivitet har studerats vid de försök som utförts vid CTH och som redovisas i del B av denna rapport. Därvid undersöktes diffusiviteten för kloridjoner före och efter den elektrokemiska behandlingen. Av försöken framgår att diffusiviteten minskade. Det gick i försöken således något långsammare för kloriderna att på nytt tränga in i betongen. Detta kan emellertid sammanhånga med den pågående hydratationen i den förhållandevis unga betongen. Återställning med kloridutdrivning bedöms ha en livslängd av 20 - 25 år. (Den tid varefter behandlingen måste göras om på nytt).



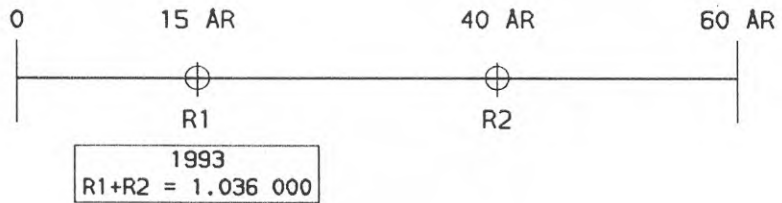
$$R1 = \quad = \quad 800.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{800.000}{1,05^{20}} = \quad 302.000 \text{ "}$$

$$R3 = \frac{800.000}{1,05^{40}} = \quad 114.000 \text{ "}$$

$$\text{Nuvärde 1993} = \quad 1.216.000 \text{ SEK}$$

Väljes istället 25 år som reparationens livslängd fås nuvärdet:



$$R1 = 800.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{800.000}{1,05^{25}} = 236.000 \text{ "}$$

$$\text{Nuvärde 1993} = 1.036.000 \text{ SEK}$$

2.2.5 Kloridutdrivning kompletterad med membranisolering

Arbetsbeskrivning	Kostnad
-------------------	---------

Tätning av sprickor mm	
------------------------	--

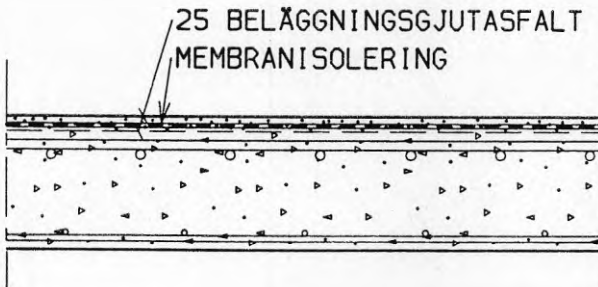
Utläggning av körbar trätrall	
-------------------------------	--

Kloridutdrivning	
------------------	--

Membranisolering	
------------------	--

Beläggningsgjutasfalt	
-----------------------	--

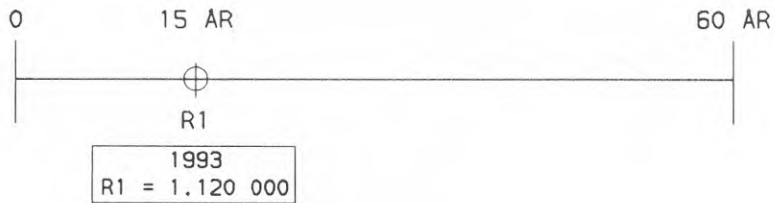
1.120 SEK/m²



Figur 2.12 Kloridutdrivning kompletterad med membranisolering

Vid komplettering med membranisolering förutsättes att inga nya klorider från tölsalter tränger ned till betongen. Samtidigt förutsättes att stor möda läggs ned på att utföra en korrekt kontrollmätning av kloridkoncentrationen. För att säkert nå ett värde under 0,4% även efter det att kloridhalten utjämnats i betongen, vore det önskvärt att kloridutdrivningen avslutades vid 0,2%/cementvikten. Då detta värde av praktiska skäl är svårt att nå väljs vanligen genomsnittsvärdet 0,4%/cementvikten. Därvid förutsättes att reparationen uppfyller kraven för en återstående livslängd om 45 år.

Nuvärdesberäkning



Nuvärde 1993

R1 = 1.120.000 SEK.

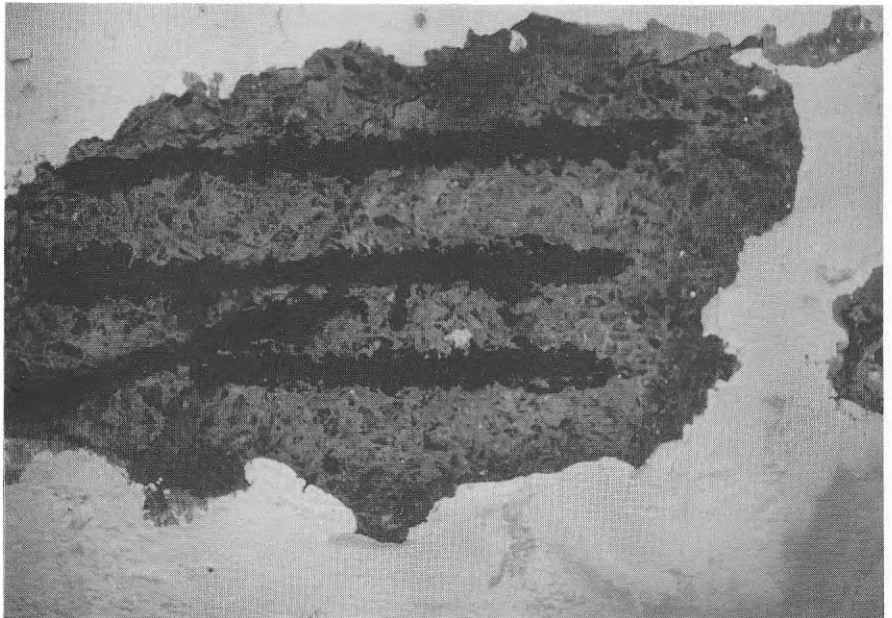
2.2.6 Sammanställning av nuvärdeskostnader för reparationsmetoder golv.

REPARATIONSMETODER	LIVSLÄNGD ÅR	NUVÄRDE 1993 SEK
2.2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong	15	1.712.000
	25	1.295.000
2.2.2 Reparation enligt 1.1 kompletterad med membranisolering samt slitlager av 25 mm gjutasfalt	15	1.391.000
2.2.3a Katodiskt skydd. Vattenbilning och komplettering med ny armering	45	1.900.000
2.2.3b Katodiskt skydd. 25 mm pågjutning.	45	1.300.000
2.2.3c Katodiskt skydd installerat vid nybyggnation	60	1.870.000
2.2.4 Kloridutdrivning	20	1.216.000
	25	1.036.000
2.2.5 Kloridutdrivning kompletterad med membranisolering	45	1.120.000

3. REPARATION AV BJÄLKLAGS UNDERSIDA I PARKERINGSDÄCK

3.1 Skadeorsaker

På bjälklagens undersida kan korrosionsskador åstadkomma utspjälkning och avflagnig av det täckande betongskiktet. Dessa skador härrör ofta från läckage i samband med genomgående sprickor. Även läckage vid eldosor, rörgenomföringar vid brunnar m m kan åstadkomma liknande skador. Mindre rostskador kan orsakas av kattfötter samt s k monteringsarmering som i vissa fall ligger i täcksiktet. Även armeringsskador som uppkommit på grund av betongens karbonatisering blir allt vanligare. Karbonatiseringsdjupet varierar fläckvis, och då även täcksiktets tjocklek varierar, ger sig skadorna först tillkänna inom mindre ytor. Det är då viktigt att karbonatiseringsdjupet hålls under uppsikt via mätningar så att reparationsåtgärder kan sättas in innan armeringskorrosionen startar. Reparationer kan då utföras med hjälp av ej förstörande reparationsmetoder. Armeringskorrosion förorsakad av karbonatisering beskrivs i Betonghandboken, Reparation, kapitel 2.3.



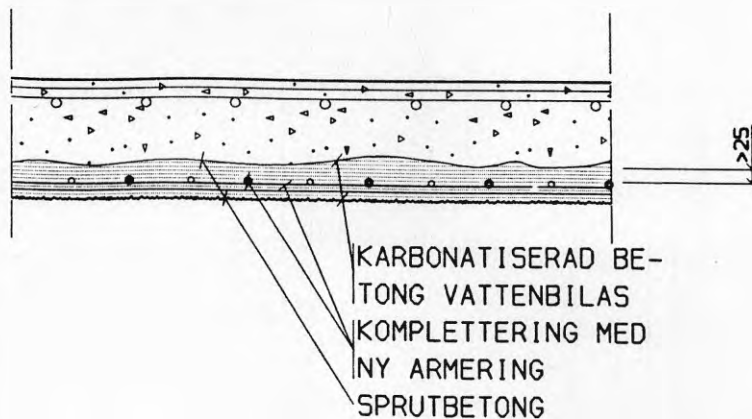
Figur 3.1 Utspjälkning av det täckande betongskiktet.

3.2 Reparationsmetoder för bjälklagets undersida

3.2.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong

Utförandet av reparationsarbetet beskrivs i Betonghandboken, Reparation, kapitel 4.5. Karbonatiserad betong avlägsnas med vattenbilning. Korrosionsskadad armering byts ut och sprutbetong påföres. Figur 3.3 – 3.6 visar de olika arbetsmomenten.

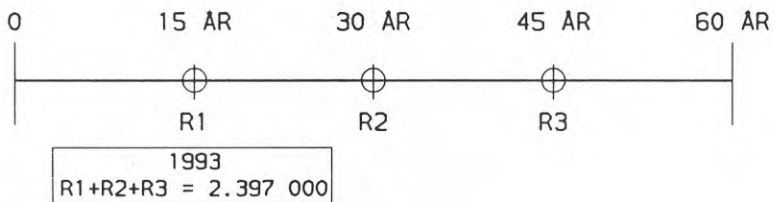
Arbetsbeskrivning	Kostnad
Stämning	
Intäckning av arbetsområdet	
Vattenbilning	
Komplettering med ny armering	
Sprutbetong	1.400 SEK/m ²



Figur 3.2 Reparation med hjälp av vattenbilning och ersättning med ny betong

Nuvärdesberäkning

För beräkning av jämförelsekostnader görs samma antagande som tidigare vid reparation av golv. Första reparation efter 15 år efter nyproduktion, livslängd 60 år, parkeringsdäckets totala yta 1000 m², reparerad yta 1000 m², real kalkylränta 5%, reparationer upprepas med 15 års mellanrum.



$$R1 = 1400 \times 1000 = 1.400.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{1.400.000}{1,05^{15}} = 673.000 \text{ "}$$

$$R3 = \frac{1.400.000}{1,05^{30}} = 324.000 \text{ "}$$

$$\text{Nuvärde} \qquad \qquad \qquad \underline{\underline{2.397.000 \text{ SEK}}}$$

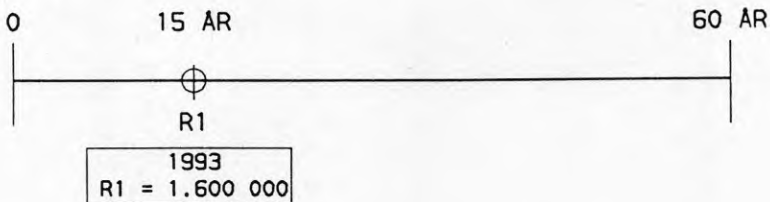
En bedömning av karbonatiseringshastigheten kan utföras med hjälp av livslängdsdiagram i kapitel 2.3.4 i Betonghandboken, Reparation.

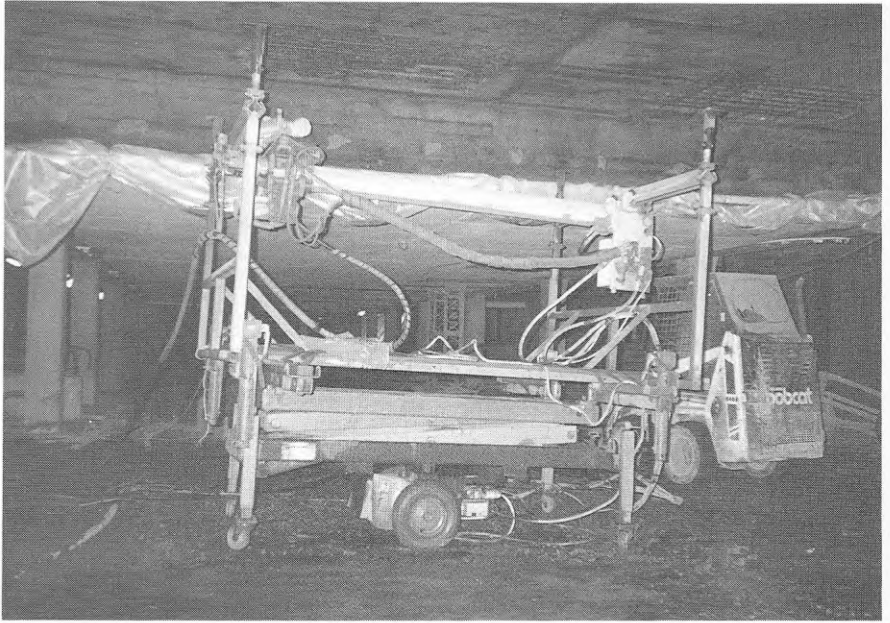
Initieringstiden, d v s den tid det tar för karbonatiseringsfronten att nå armeringen, kan förlängas genom olika åtgärder. Täcksiktet väljes enligt beständiga betongkonstruktioner med hänsyn till livslängdsklass och armeringsaggressiv miljö. Därvid ökas täcksiktets tjocklek jämfört med utförandet enligt de äldre betongbestämmelser, som gällde då de nu skadade parkeringsdäcken byggdes. Högre betongkvalitet, med större mängd karbonatiserbar kalk, ger en långsammare karbonatisering. CO_2 -diffusionen och därmed karbonatiseringshastigheten minskar ju tätare betongen är. Detta åstadkommes genom att arbeta med lågt vct d v s vct = 0,4 eller lägre.

Reparation med sprutbetong utföres enligt arbetsföreskrifter i Bronorm 88, kapitel 74.4 samt i Betonghandboken, Reparation, kapitel 4.5. Rätt utförd, med uppökad täcksikt och vct $\leq 0,4$ enligt ovan, bedöms livslängden till mer än 45 år. Det något tjockare täcksiktet kostar ca 200 SEK/m². Reparationskostnaden blir då 1600 SEK/m². Jämförelsekostnaden för reparation av 1000 m² fås då till 1.600.000 SEK.

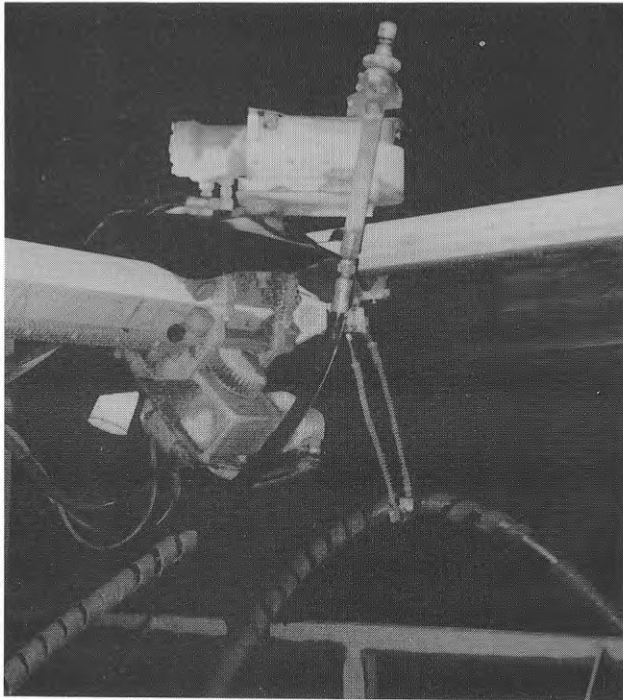
Nuvärdesberäkning

Alternativ med tjockare täcksikt





Figur 3.3 Rigg med utrustning för vattenbilning.



Figur 3.4 Detalj av bilningsmunstycke.



Figur 3.5 Handbilning

Vattenbilad betong måste ibland kompletteras med handbilning för att jämna till håligheter. Detta för att undvika luftfickor vid betongsprutningen.



Figur 3.6 Applicering av sprutbetong

3.2.2 Reparation enligt 2.1 kompletterad med karbonatiseringsbroms

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Stämning

Intäckning av arbetsområdet

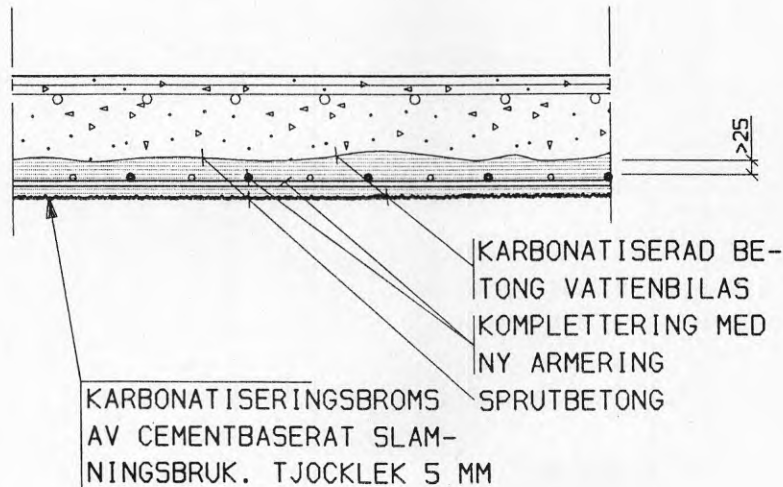
Vattenbilning

Komplettering med ny armering

Sprutbetong

Karbonatiseringsbroms av cementbaserat slammingsbruk

1.350 SEK/m²



Figur 3.7 Reparation enligt 2.1 kompletterad med karbonatiseringsbroms

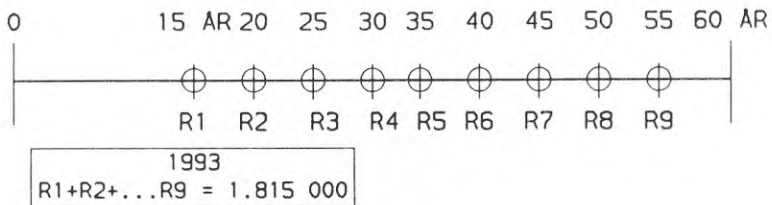
Karbonatiseringsbromsen fördröjer ny karbonatisering. 5 mm påslag bedöms ha en livslängd av ca 5 år d v s innan karbonatiseringsfronten gått igenom och nytt slammingsskikt behöver appliceras. Vid val av fabrikat kontrolleras att produkten testats beträffande frostbeständighet. Produkten bör inte användas där stora krav ställs på slitstyrka. Detta gäller exempelvis tvättning med högtrycksspolning.

Nuvärdesberäkning

R1 =	1350 x 1000	=1350.000 SEK
R2 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^5}$	= 118.000 "
R3 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{10}}$	= 92.000 "
R4 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{15}}$	= 72.000 "
R5 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{20}}$	= 56.000 "
R6 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{25}}$	= 44.000 "
R7 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{30}}$	= 35.000 "
R8 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{35}}$	= 27.000 "
R9 =	$\frac{150 \times 1000}{1.05^{40}}$	= 21.000 "

Nuvärde 1993

1.815.000 SEK



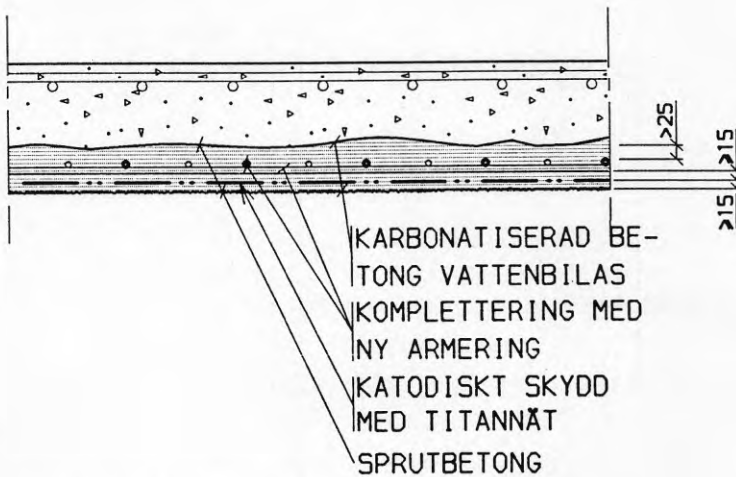
Karbonatiseringsskyddande färger

CO₂-täta ytskikt bör sättas in innan karbonatiseringsfronten nått armeringen. Konstruktionens återstående livslängd kan då beräknas enligt Betonghandboken, reparation kap. 2.4.7. För det fall, som här studeras, med helt genomkarbonatiserat täckskikt är effekten av målningen svår att utvärdera och har därmed inte medtagits vid vår kostnadsjämförelse.

3.2.3 Katodiskt skydd

På samma sätt som vid reparation av golv särskiljes två fall. Om armeringen bedöms vara så rostangripen att den måste bytas ut, utföres arbetet enligt nedanstående arbetsbeskrivning.

Arbetsbeskrivning	Kostnad
Stämpning	
Intäckning av arbetsområde	
Vattenbilning	
Komplettering med ny armering	
Katodiskt skydd med titannät	
Sprutbetong	<u>2.300 SEK/m²</u>

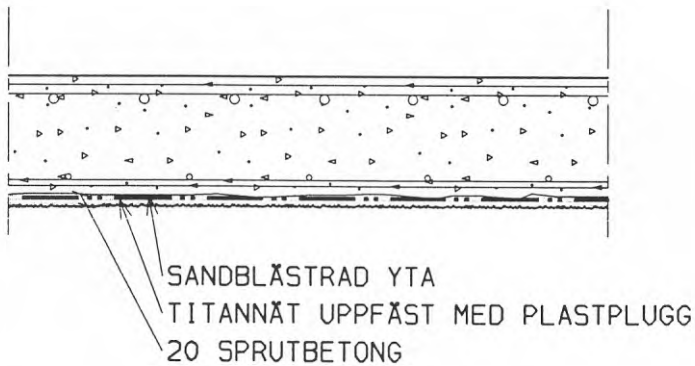


Figur 3.8 Katodiskt skydd

Nuvärdet för reparation av 1000 m² blir då 2.300.000 kr. Därvid förutsattes att det katodiska skyddet klarar konstruktionens återstående livslängd utan ytterligare reparationer.

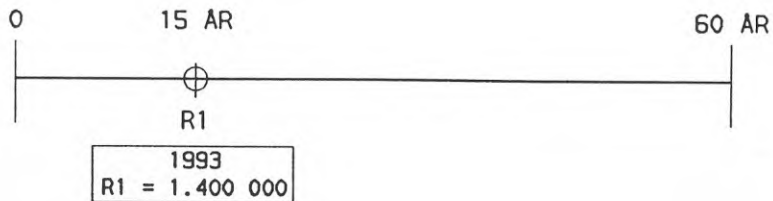
En betydligt gynnsammare situation erhålles om det katodiska skyddet sätts in innan dess att armeringen skadats i sådan omfattning att den måste bytas ut. Figur 3.10 visar exempel på monterat titannät.

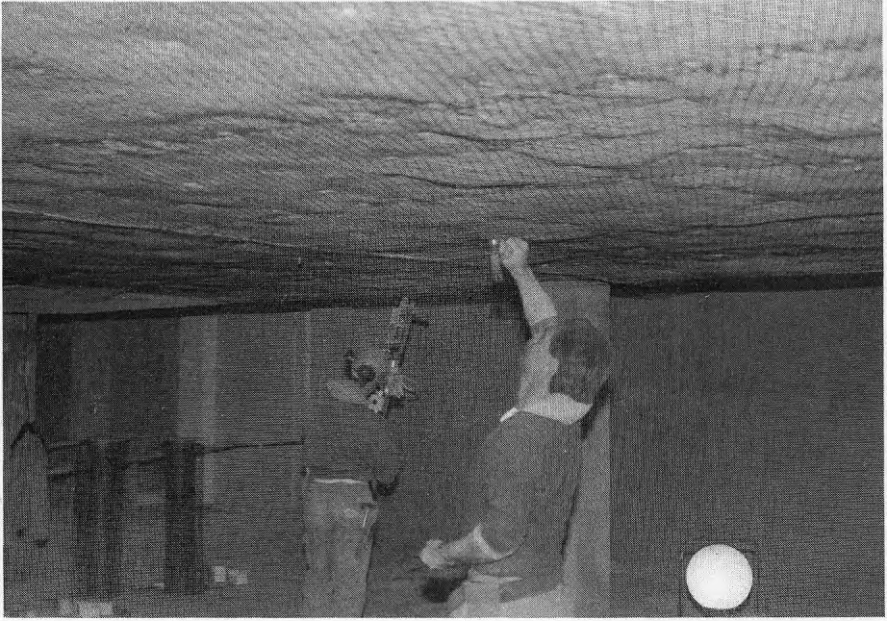
Arbetsbeskrivning	Kostnad
Sandblästring	
Katodiskt skydd med titannät	
Sprutbetong	
	1.400 SEK/m ²



Figur 3.9

Nuvärdet för reparation av 1000 m² blir då
1.400.000 SEK.





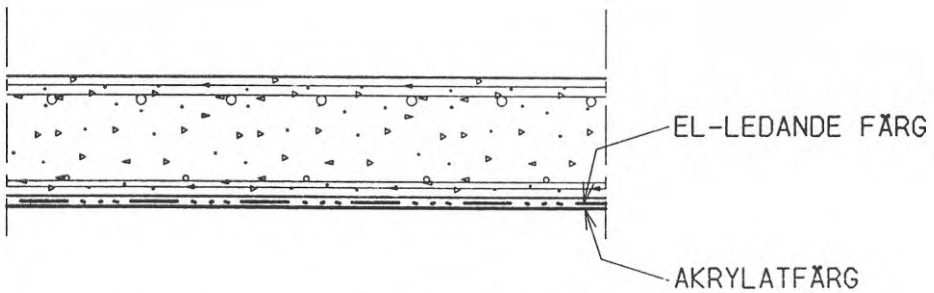
Figur 3.10 Anodnät monterat på undersidan av parkeringsdäck.

3.2.4 Katodiskt skydd med elledande färg

Metoden finns beskriven i "Katodiskt korrosionsskydd av stålarmring i betongkonstruktioner" utgiven av Korrosionsinstitutet. System för katodiskt skydd framgår av figur 3.12. En fördel med denna metod är att armaturer, rör, elstegar m m inte behöver monteras ned innan den elledande färgen appliceras. Dock måste sandblästring göras om betongytan tidigare är målningsbehandlad.

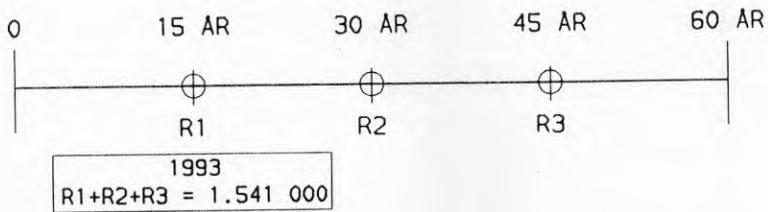
Den elledande färgen bedöms ha en livslängd av ca 15 år.

Arbetsbeskrivning	Kostnad
Katodiskt skydd med elledande färg	
Täckbeläggning med akrylatfärg	
	900 SEK/m ²

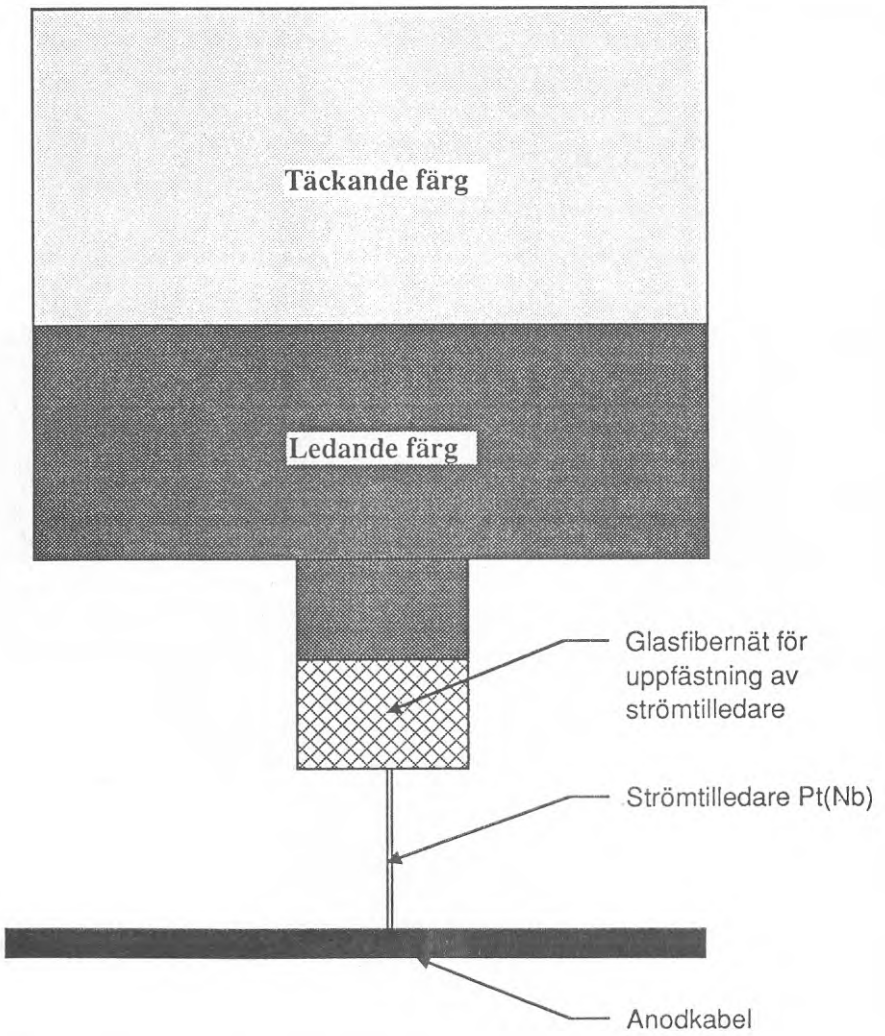


Figur 3.11 Katodiskt skydd med elledande färg

Nuvärdesberäkning



R1 =		900.000 SEK
R2 =	$\frac{900.000}{1.05^{15}}$	433.000 "
R3 =	$\frac{900.000}{1.05^{30}}$	<u>208.000 "</u>
Nuvärde 1993		1.541.000 SEK



Figur 3.12 System för katodiskt skydd av armeringsstål i betong.

3.2.5 Realkalisering

Principen för elektrokemisk realkalisering finns beskriven i Electro-Chemical Re-Alkalisiation NCT International Seminar 1990.

Pappersmassa, innehållande en alkalisk lösning, sprutas på undersidan av betongplattan. Därefter pålägges en elektrisk spänning mellan det yttre armeringsnätet och den befintliga armeringen. Sodalösningen vandrar då in i betongen. Man har därvid med denna metod åstadkommit en återalkalisering av betongens porvätska.

Före realkaliseringen borttages befintlig färg. Efter behandlingen som tar 3-4 dagar tvättas pappersmassan bort. Nät och läkt demonteras.

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Borttagning av befintlig färg

Realkalisering

Målning med karbonatiseringsbromsande akrylatfärg, två gånger strykning

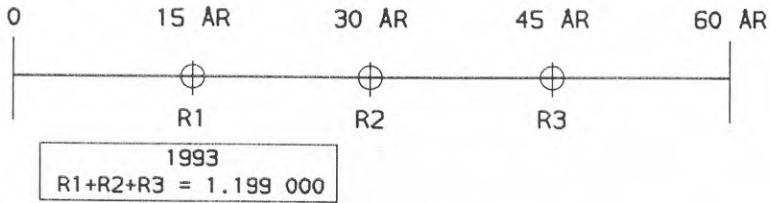
700 SEK/m²



Figur 3.13 Realkalisering

Det finns för närvarande inte tillräcklig erfarenhet av metodens varaktighet. Dock tyder nuvarande accelererade provningsförsök på att reparationsbehandlingen har lång varaktighet. I nedanstående kostnadsjämförelse räknas med livslängderna 15 respektive 30 år.

Nuvärdesberäkning



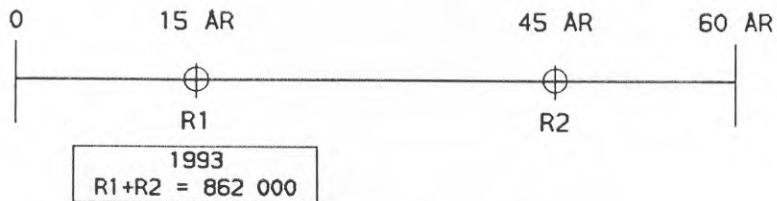
$$R1 = 700.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{700.000}{1,05^{15}} = 337.000 \text{ "}$$

$$R3 = \frac{700.000}{1,05^{30}} = 162.000 \text{ "}$$

$$\text{Nuvärde 1993} = 1.199.000 \text{ SEK}$$

För antagen livslängd 30 år fås:



$$R1 = 700.000 \text{ SEK}$$

$$R2 = \frac{700.000}{1,05^{30}} = 162.000 \text{ "}$$

$$\text{Nuvärde 1993} = 862.000 \text{ SEK}$$

3.2.6 Uttorkning av betongplattan

Betongplattan torkas ut genom att torr luft inblåses mellan undertak och betongplatta. Där så är möjligt används frånluft från befintlig ventilationsanläggning. Genom att sänka relativa fuktigheten i betongplattan till under 70% förhindras armeringen från att rosta. Innehåller betongen även klorider bör relativa fuktigheten inte vara högre än 60%.

En förutsättning för metodens användning är att betongplattan är skyddad mot vatten (tösalter) på ovansidan.

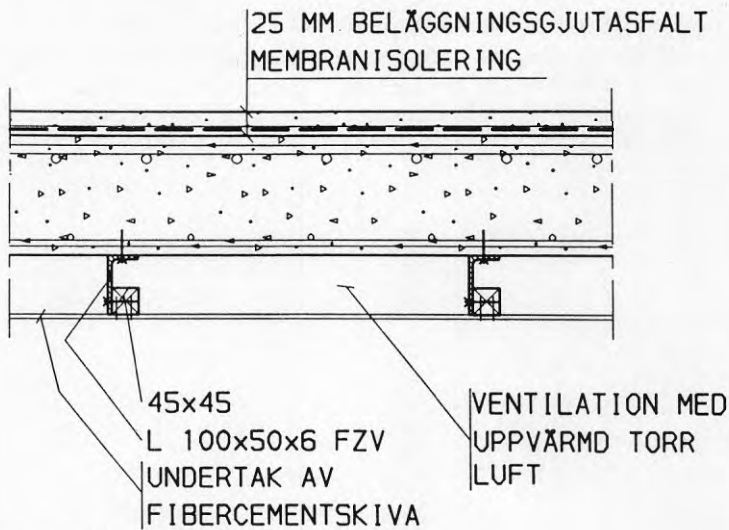
Arbetsbeskrivning

Kostnad

Undertak

Fläktar anslutningskanaler m m

250 SEK/m²



Figur 3.14

Nuvärdesberäkning



4. REPARATION AV UNDERLIGGANDE BALKAR

4.1 Skadeorsaker

Rostskador på armeringen kan ha uppkommit på grund av stark sprickbildning förorsakad av feldimensionering, urlakning av betongen på grund av felaktigt arbetsutförande, rostsprängning föranledd av för tunna täcksikt, närvaro av sk monteringsjärn i täcksiktet, frostsprängning, karbonatiserad betong samt av klorider som tillförts via smältvatten.

4.2 Kostnadsjämförelse

Framtagna kostnader avser underliggande balkar med bredden 400 mm samt total höjd 500 mm. Plattjockleken är vald till 200 mm. Balkreparationen görs ofta i samband med reparation av bjälklaget. Valet av reparationsmetod för balkarna styrs därmed av den metod, som valts för reparation av bjälklagsplattan. För balkreparationen har därför inte någon separat nuvärdesberäkning genomförts. Beräkningen kan enkelt utföras för det aktuella parkeringsdäcket enligt samma principer som tidigare angivits.

4.3 Reparationsmetoder för underliggande balkar

4.3.1 Reparation med hjälp av vattenbilning och igjutning med ny betong

Figurerna 4.2 – 4.5 visar stämpling, vattenbilning, formsättning samt gjutning vid reparation av fasadbalkar i parkeringsdäck.

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Stämpling

Intäckning av arbetsområdet

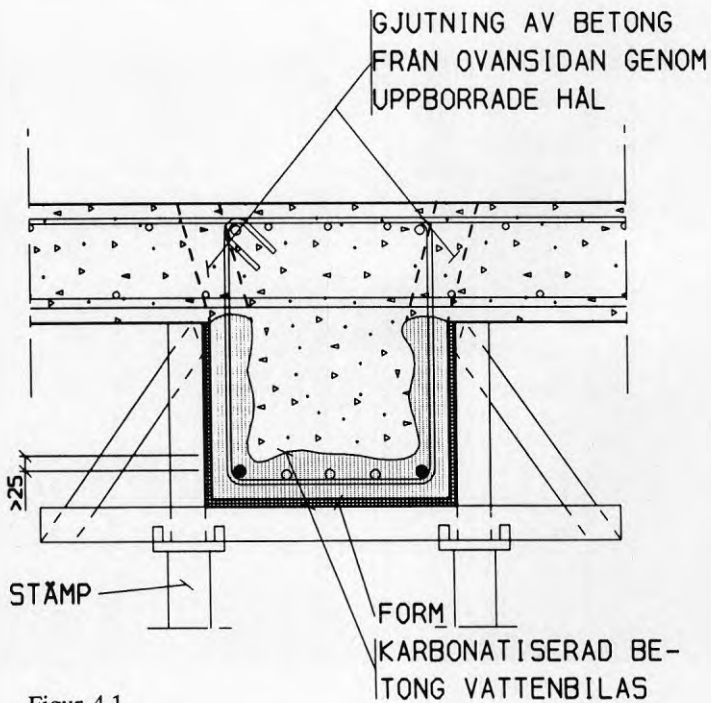
Vattenbilning

Komplettering med ny armering

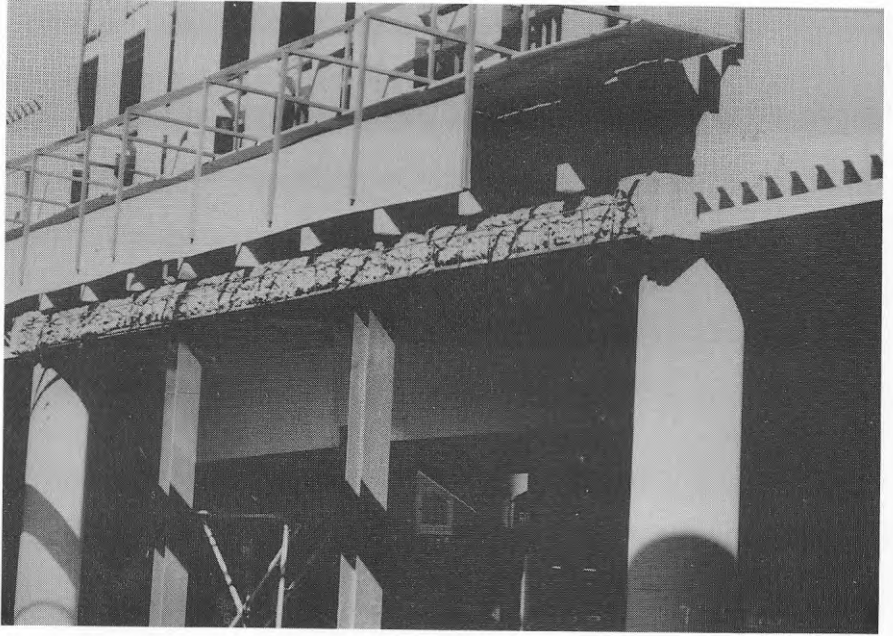
Formsättning

Igjutning med ny betong

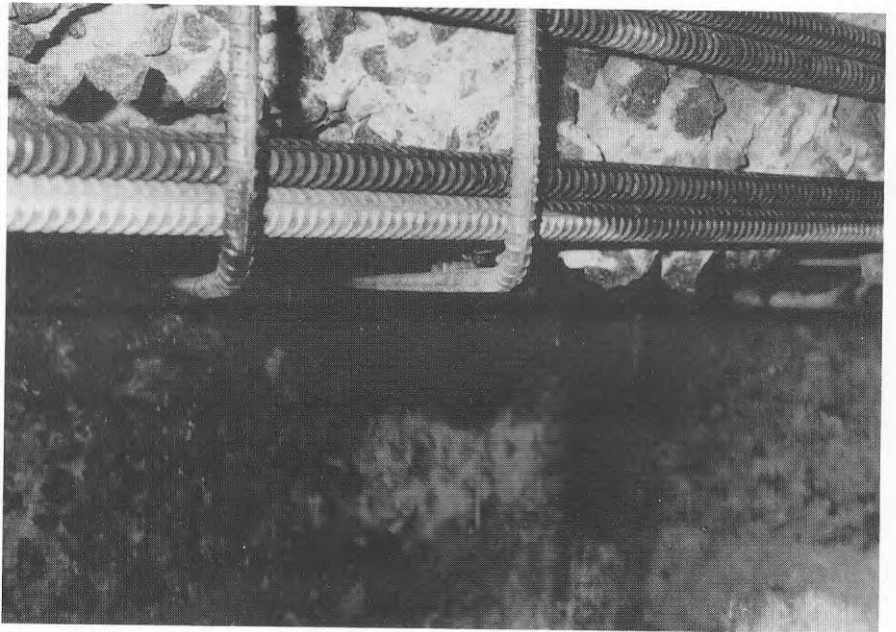
2.600 SEK/m



Figur 4.1



Figur 4.2 Stämpning



Figur 4.3 Frilagd armering med hjälp av vattenbilning.



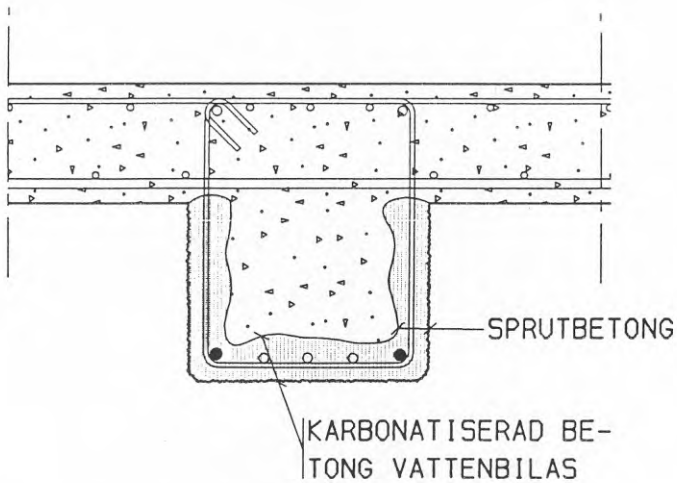
Figur 4.4 Formsättning



Figur 4.5 Gjutning

4.3.2 Reparation med hjälp av vattenbilning och pågjutning med sprutbetong

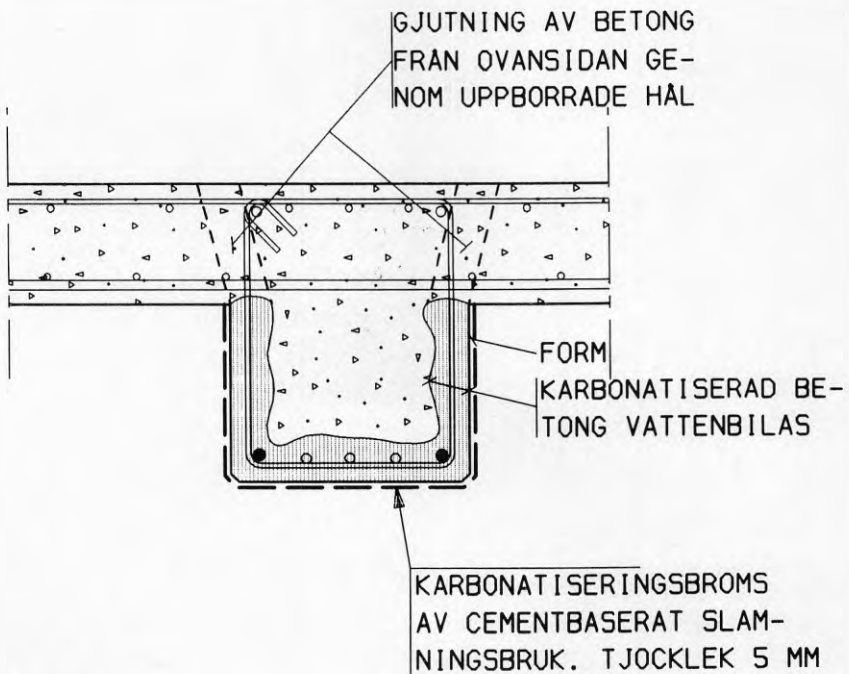
Arbetsbeskrivning	Kostnad
Stämpning	
Intäckning av arbetsområdet	
Vattenbilning	
Komplettering med ny armering	
Formsättning	
Igjutning med ny betong	<u>2100 SEK/m</u>



Figur 4.6

4.3.3 Reparation enligt 4.3.1 kompletterad med karbonatiseringsbroms

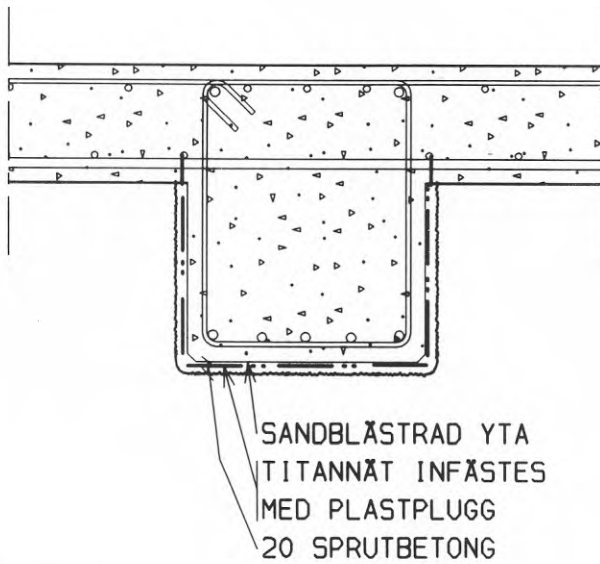
Arbetsbeskrivning	Kostnad
Stämpning	
Intäckning av arbetsområdet	
Vattenbilning	
Komplettering med ny armering	
Formsättning	
Igjutning med ny betong	
Karbonatiseringsbroms	2.750 SEK/m



Figur 4.7

4.3.4 Katodiskt skydd

Arbetsbeskrivning	Kostnad
Sandblästring	
Titannät	
Sprutbetong	<u>1.400 SEK/m</u>



Figur 4.8

4.3.5 Katodiskt skydd med elledande färg

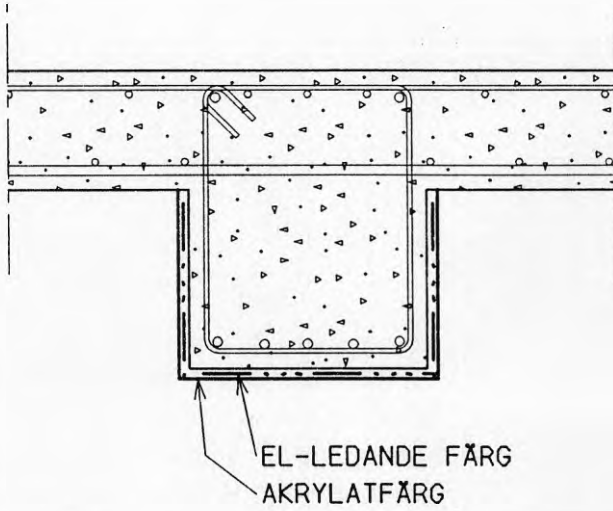
Arbetsbeskrivning

Kostnad

Sandblästring

Elledande färg

Täckmålning med akrylatfärg

900 SEK/m

Figur 4.9

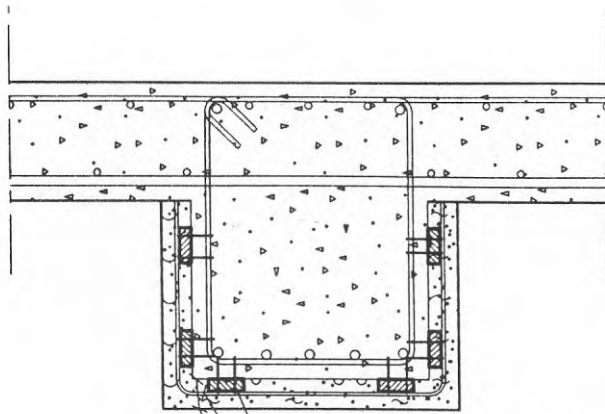
4.3.6 Realkalisering

Arbetsbeskrivning	Kostnad
-------------------	---------

Borttagning av befintlig färg	
-------------------------------	--

Realkalisering	
----------------	--

Målning med karbonatiserings- bromsande färg två gånger strykning	700 SEK/m
--	-----------



LÄKT FASTSKJUTES
 ARMERINGSNÄT INFÄSTES TILL LÄKTEN
 PAPPERSMASSA MED ALKALISK LÖSNING
 (SODALÖSNING) SPRUTAS PÅ

Figur 4.10

5. REPARATION AV PELARE

5.1 Skadeorsaker

Framräknade kostnader avser pelare, som skadats av kloridinträngning, som påverkat pelarna inom stänkzonen upp till 0,5 m över golv.

5.2 Kostnadsjämförelse

Framtagna kostnader avser pelare med tvärsektionen 300x300 mm.

Bedömning av reparationernas livslängd och nuvärde görs för det aktuella parkeringsdäcket efter samma principer som tidigare angivits.



Figur 5.1 Reparation av pelare enligt 5.3.1.

5.3.1 Reparation genom vattenbilning och pågjutning med ny betong

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Uppstämning

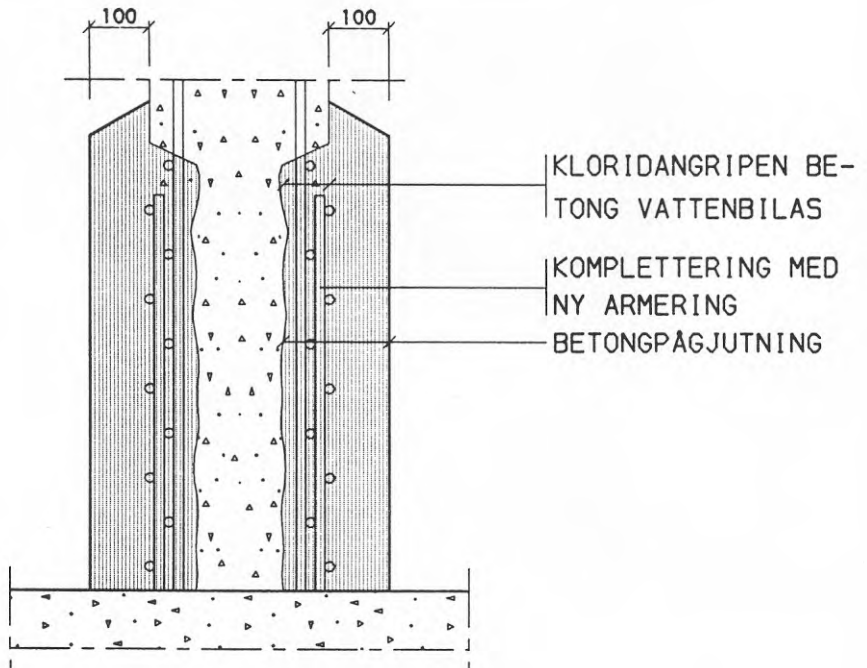
Intäckning av arbetsområde

Vattenbilning

Komplettering med ny armering

Pågjutning med ny betong

6.500 SEK/pel



Figur 5.2

5.3.2 Reparation med hjälp av vattenbilning och pågjutning med sprutbetong

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Uppstämning

Intäckning av arbetsområde

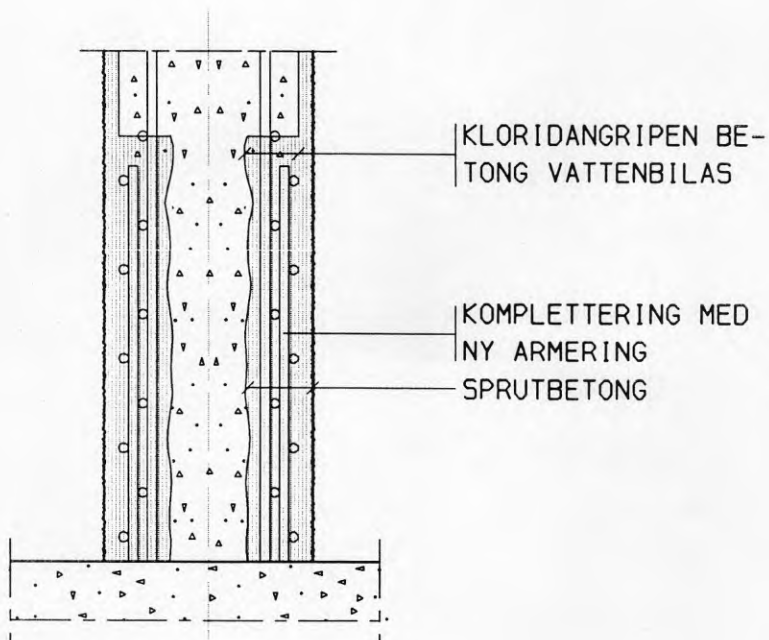
Vattenbilning

Komplettering med ny armering

Sprutbetong

Impregnering med siloxan

6.700 SEK/pe



Figur 5.3

5.3.3 Katodiskt skydd

Arbetsbeskrivning

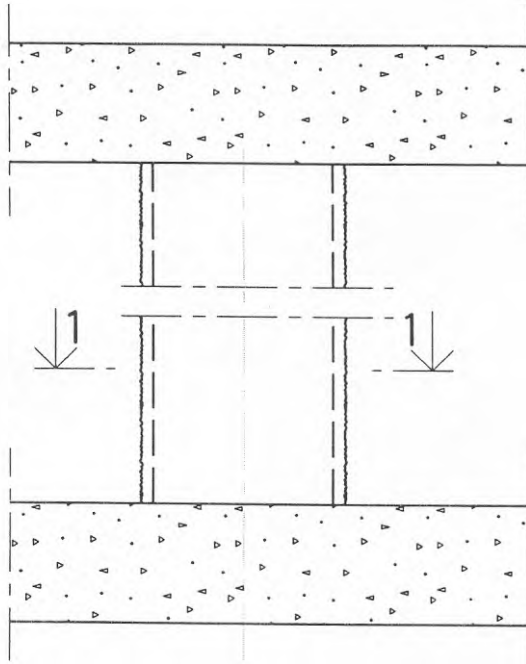
Kostnad

Sandblästring

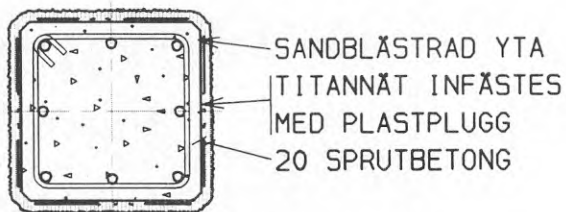
Katodiskt skydd med titannät

Sprutbetong

6.700 SEK/pe



Figur 5.4



Figur 5.5 Sektion 1-1

5.3.4 Katodiskt skydd med elledande färg

Arbetsbeskrivning

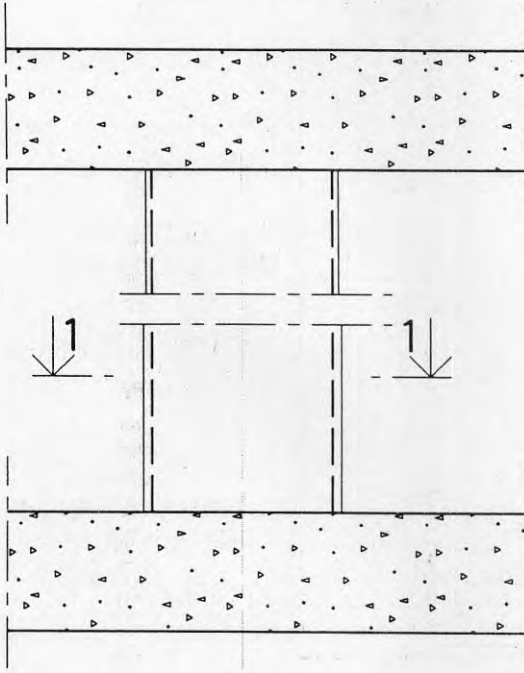
Kostnad

Sandblästring

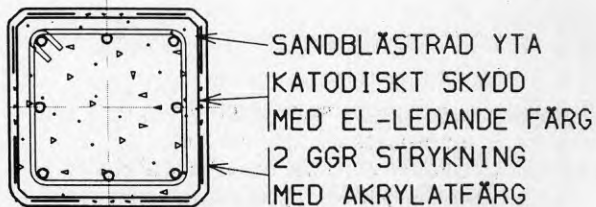
Katodiskt skydd med elledande färg

Täckmålning med akrylatfärg

3.000 SEK/pel



Figur 5.6



Figur 5.7 Sektion 1-1

5.3.5 Kloridutdrivning

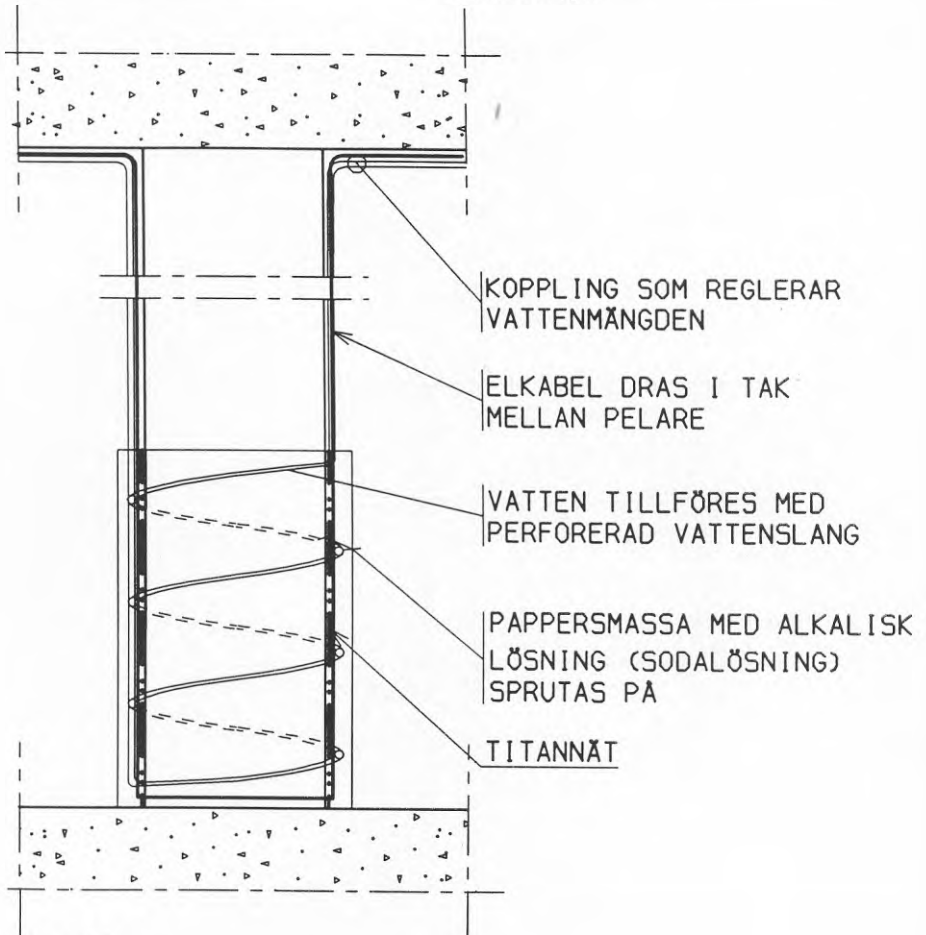
Arbetsbeskrivning

Kostnad

Kloridutdrivning

Behandling med siloxan

6.500 SEK/pel



Figur 5.8

Efter kloridutdrivning avlägsnas pappersmassan genom högtrycksspolning. Pelarna behandlas till full höjd med karbonatiseringsbroms av cementbaserat slammingsbruk till ca 3 mm tjocklek. Pelarnas nedre del behandlas med siloxan för att hindra ny kloridinträngning.

5.3.6 Ersättning med ny pelare

Arbetsbeskrivning

Kostnad

Stämpning

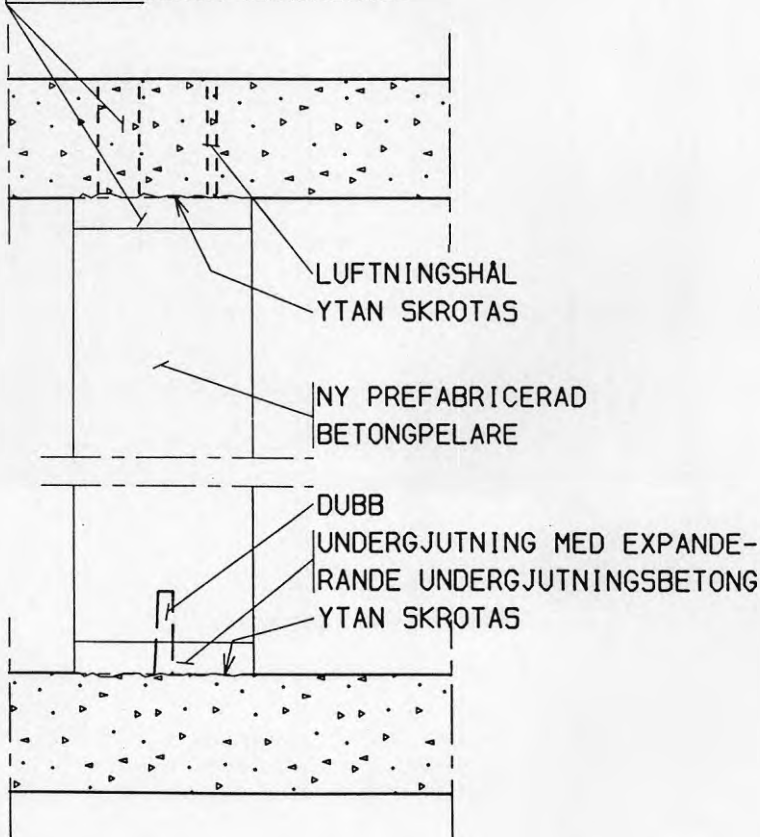
Befintlig pelare rives

Ny prefabricerad betongpelare
monteras

Undergjutning med Betec

5.500 SEK/pel

UNDERGJUTNING MED EXPANDERANDE
UNDERGJUTNINGSBETONG GENOM HÅL
BORRADE GENOM BJÄLKLAGET



Figur 5.9



Figur 5.10 Reparation enligt 5.3.6.
Anslutning till balk vid tak.
Undergjutning med expanderande
undergjutningsbetong.

6. SLUTKOMMENTAR

De reparationsarbeten, som här har studerats, gäller i första hand för de fall där skadorna på betongkonstruktionen gett sig tillkänna såsom spjälkningskador orsakade av rostangrepp på armeringen. Dessa kan då vara så omfattande att armeringen måste bytas ut. Är rostangreppen av mindre omfattning kan flera "ej förstörande" reparationsmetoder användas. Reparationen (återställningen) kan då utföras till lägre kostnad.

En gynnsammare situation, som resulterar i betydligt lägre reparationskostnader, uppstår om undersökning av skadeprocessen i betongen utföres i ett tidigt skede. Reparationsarbeten och skadeförebyggande åtgärder kan då planeras och sättas in vid rätt tidpunkt. Tillståndsbedömningar av betongkonstruktionen bör omfatta uppmätning av karbonatiseringsdjup, kloridhalt, täckskikt samt kartläggning av sprickor, urlakningskador och frysskador. Eventuella rostangrepp på armeringen kontrolleras med hjälp av potentialkartering eller med någon av de nyare mätmetoderna, linjär polarisationsresistans (LPR) eller elektrokemisk impedansspektroskopi (EIS).

Reparationsarbetena kan sedan tidsplaneras. Olika reparationsmetoder jämföres kostnadsmässigt enligt de principer som tidigare beskrivits. Kostnader och arbetsbeskrivningar kan då tjäna som vägledning för en preliminär kalkyl. Varje objekt har sina unika förutsättningar och det blir givetvis konkurrenssituationen mellan olika entreprenörer vid upphandlingen, vilket blir avgörande för den slutliga prisnivån.

DEL B

KLORIDUTDRIVNING PÅ ARMERADE BETONGPLATTOR LABORATORIEFÖRSÖK

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

Sammanfattning

	Sid.	
1	INLEDNING	72
2	ALLMÄNT OM KLORIDUTDRIVNING	73
3	EXPERIMENT	76
3.1	Provmaterial	76
3.2	Kloridutdrivning	78
3.3	Diffusion av kloridjoner i betong	79
3.4	Bestämning av kloridprofiler	80
3.5	Bestämning av desorptionsisotermer	81
3.6	Kapillärtransport	81
3.7	Tunnslipsanalys	81
3.8	Utdragsprov	82
3.9	Konventionell reparation	83
4	RESULTAT	84
4.1	Kloridfördelning	84
4.1.1	Inverkan av strömstyrka	
4.1.2	Inverkan av initial kloridhalt	

4.1.3	Inverkan av kloridutdrivningstiden	
4.1.4	Förändring av kloridhalterna med lagringstiden	
4.2	Kloriddiffusivitet	91
4.3	Fördelning av kalciumjoner	92
4.4	Desorptionsisotermer	93
4.5	Kapillaritet	94
4.6	Tunnslip	95
4.7	Utdragsprov	97
4.8	Kloridhalter efter konventionell reparation	99
5	SLUTSATSER	100

FÖRORD

Detta arbete är en resultatrapport över en del i projektet "Reparationsmetoder, teknik och ekonomi vid reparation av betongskador på parkeringsdäck mm". Arbetet omfattar undersökningar genomförda i samband med kloridutdrivning ur betong genom tillämpning av en elektrokemisk metod. Försöken har utförts under laboratoriebetingelser vid Chalmers tekniska högskola, Avdelningen för byggnadsmaterial, på uppdrag av FoU-Väst och under ledning av Ingvar Olofsson, Skanska Teknik AB, Göteborg.

Försöksmaterialet var 10 st för ändamålet nygjutna armerade betongplattor med en total betongvolym av nästan 7 m³. Många vid avdelningen har varit engagerade med särskilda uppgifter under projektets gång, såväl vid tillverkningen av betongplattorna som provningarna. Kloridutdrivningsprocessen genomfördes av Svante Rösman, Renoveringsentreprenader AB, på uppdrag av Avdelningen för byggnadsmaterial. Avsikten med denna uppläggning var bl a att kloridutdrivningen skulle utföras på det sätt som normalt tillämpas under fältmässiga förhållanden. För att kunna genomföra kloridutdrivning på åtta separata betongplattor samtidigt tillverkades lika många strömfördelningsaggregat, benämnda NCT-amperostater, av Norwegian Concrete Technologies.

Den största volymen betong till projektet levererades av Färdig Betong AB med Tomas Kutti som engagerad såväl vid gjutning som deltagare i arbetsgruppen för projektet. Han har även lämnat värdefulla synpunkter vid utformningen av rapporten. För en stor del av provningarna med tillhörande resultatredovisning, såsom hela den kemiska analysen för bestämning av kloridhalter, svarade Tang Luping. Många olika delarbeten i projektet utfördes av Juhan Aavik, varav kan nämnas deltagande vid gjutning av provplattorna, provtagning, bestämning av utdrags hållfasthet hos ingjutna armeringsstänger och bestämning av desorptionssisoterm. Gjutformsbyggande och armeringsarbetet utfördes av Alf Johnsson och Franciszek Calko. Ralejs Tepfers konsulterades för såväl val av provningsförfarande för utdragsprov som tolkning av resultat.

Göteborg i augusti 1993

Leif Berntsson

Sammanfattning

Rapporten beskriver ett projekt som omfattar försök att med en elektrokemisk process driva ut klorider ur armerade betongplattor. Dels har intresset koncentrerats på att studera effektiviteten hos själva processen, dels att kunna bidra till att öka kunskapen om egenskapspåverkan på såväl armering som betong. Kloridutdrivningsprocessen hade med avsikt utformats att så nära som möjligt efterlikna en fullskalemetod. Arbetet är en del i ett större projektet som omfattar reparationsmetoder för parkeringsdäck av betong och efterföljande utvärdering.

Den praktiska delen av arbetet inleddes med tillverkning av 10 armerade betongplattor med tjockleken 25 cm i betong med hållfasthetsklassen K25. Betongen i plattornas översta skikt ned förbi överkantisarmeringen hade tillsatts natriumklorid i samband med blandningen. Kloridjonhalterna var 0,2, 0,7 och 2 % räknat på cementmängden.

Efter det att betongplattorna lagrats under kontinuerlig bevattning på överytorna i minst 4 veckor, monterades utrustning för elektrokemisk kloridutdrivning. Kloridutdrivningsprocessen skedde samtidigt för åtta av de tio plattorna. Själva utdrivningsprocessen genomfördes intermittent i fyra perioder om två veckor vardera och med mellanliggande uppehåll på en vecka. Strömstyrkorna var 0,7, 1,0 och 1,3 amp/m² plattyta.

De provningar som utfördes bestod av bestämning av kloridprofiler före, under och strax efter kloridutdrivningen samt efter cirka ett års lagring. Den totala kloridhalten bestämdes enligt en metod beskriven i AASHO T260-84. För att bestämma diffusiviteten för kloridjoner i betong tillämpades en snabbmetod. Mätförfarandet baseras på icke stationära förhållanden och har utvecklats vid Avdelningen för byggnadsmaterial, Chalmers tekniska högskola.

Vidare har provningarna omfattat bestämning av desorptionsisotermer och kapillärtransportegenskaper för betong, studium av betongens struktur genom tunnslip, jämförelse av förankringskrafter för armeringsstål i betong med och utan elektrokemisk behandling.

En konventionell reparation utfördes med bortbilning av kloridhaltig betong och pågjutning med några olika typer av reparationsbetong i vilka bindemedlet var dels ren portlandscement dels slaggcementblandningar. Spridning av kvarvarande kloridjoner från underbetongen in i reparationsbetongen följdes upp i tiden.

Följande resultat erhöles:

Det har bekräftats att klorider kan drivas ut ur kloridbemängd betong på elektrokemisk väg varvid den totala kloridjonhalten har kunnat sänkas.

Den största effekten hos kloridutdrivningen visade sig inträffa i början av behandlingen vilket förklarar det praktiska förfarandet med en intermittert process.

Utdrivningen av klorider är störst intill och ovanför armeringstänger som tillhör överarmeringen. Ju större strömstyrka som är inkopplad och ju mer kloridjoner betongen innehöll från början desto mer kloridjoner drivs ut. Strömstyrkan bör minst vara $0,7 \text{ amp/m}^2$ med avseende på plattarea.

Det har inte varit möjligt att minska kloridjonhalten under $0,4 \%$ $\text{Cl}^-/\text{cement}$ intill armeringen med den största använda strömstyrkan $1,3 \text{ amp/m}^2$. Efter ett års utjämningsstid ligger kloridjonhalten på ca $0,6 \%$ $\text{Cl}^-/\text{cement}$ då kloridjonhalten var 2% $\text{Cl}^-/\text{cement}$ före kloridutdrivningen.

Kalciumhalterna tycks inte ha påverkats av kloridutdrivningen.

Bestämning av diffusivitet med avseende på kloridjoner utfördes med en nytvecklade snabbmetod. Det finns inget som tyder på att diffusiviteten ökat efter kloridutdrivningen, snarare tvärtom.

Ersättning av portlandscement med slagg minskade avsevärt diffusiviteten av kloridjoner i reparationsbetong.

Desorptionsisotermer mellan relativa fuktigheten 42 till 85% och kapillärsugningsegenskaper påvisar ingen förändring hos kapillärstrukturen till följd av kloridutdrivningen. Ej heller framgår vid studier av tunnslip att någon sprickbildning inträffat i betongen.

Förankringskraften hos kamstänger har visat på cirka 30% minskning efter kloridutdrivning. Att någon förändring har inträffat efter kloridutdrivning påvisas tydligt av det mörkfärgade avtryck som armeringsytan lämnat i kloridbemängd betong.

KLORIDUTDRIVNING PÅ ARMERADE BETONGKONSTRUKTIONER LABORATORIEFÖRSÖK

1 INLEDNING

Under senare år har intresset för elektrokemiska metoder med möjlighet att reducera mängden klorider i betong alltmer ökat över hela världen. Metoderna räknas till de sk icke-förstörande och skiljer sig markant från de konventionella. Då behandlingsförfarandena är tämligen nya återstår det en hel del klarlägganden samt utredningar kring bl a flera inverkan faktorer, se arbeten såsom Miller & Poulsen (1988), Karlsson (1990) och Manning & Pianca (1990). År 1990 påbörjade FoU-Väst med stöd av BFR och SBUF ett projekt för att utvärdera och jämföra nya och traditionella metoder för reparation av parkeringsdäck. I föreliggande rapport redovisas resultat från provningar som utförts på armerade betongplattor i samband med elektrokemisk kloridutdrivning. En central del i projektet är den frågeställning som rör materialförändringar som kan befaras uppträda till följd av det elektriska likströmsfält som påkopplas mellan befintlig armering i betongen och ett monterat anodnät utanpå betongen. Avsikten med metoden är att med elström tvinga ut kloridjoner från betongens inre. Det är emellertid uppenbart att det finns andra joner än kloridjoner som samtidigt påverkas och sätts i rörelse. Resultatet kan befaras ge negativa fysikaliska och kemiska förändringar i betong och armering som exempelvis kan yttra sig i sprickbildning eller uppluckring av bindemedelsstrukturen.

Betongens hållfasthetsklass har i försöken valts så att den kan anses vara representativ för de parkeringsdäck som är aktuella för reparationsåtgärder. Olika kloridhalter har tillförts betongen vid betongens blandning. Kloridpenetration på naturligt sätt är inte möjligt att inrymmas inom projektets tidsram, eftersom kloriddiffusion är en långsam process även vad gäller porösa betongtyper. Det är vid värderingen av de resultat som erhållits i föreliggande projekt viktigt att beakta de betingelser under vilka provningarna är utförda. På grund av provningarnas begränsade omfattning anbefalles en viss försiktighet mot att på egen hand dra generella slutsatser.

Innehåller betong intill armeringsstål fria klorider till en viss mängd kommer stål ytans passiverande oxidskikt att minska eller t o m helt förlora sin normala skyddsfunktion. Finns dessutom tillgång till elektrolyt, dvs vatten, och oxiderande ämnen, såsom syre, kan korrosion starta. Halten klorider tycks vara bestämmande för den sk kloridinitierade armeringskorrosionen.

Man brukar ofta nämna ett tröskelvärde. Detta kan definieras som det högsta kloridinhåll som inte medför risk för korrosion på ingjuten armering. Kloridinhållet brukar ofta av praktiska skäl anges som total mängd syralöslig klorid i viktprocent beräknad på den torra betongen. Förklaringen till detta är, att det är just den storlek som vanligtvis bestäms vid analys av utborrade prover för exempelvis bestämning av kloridprofiler. Det finns även andra sätt att uttrycka kloridinhållet såsom viktprocent av cementhalten eller kvoten mellan kloridjon- och hydroxidjonkoncentrationen.

Kloridtröskelvärden beror på flera olika faktorer av vilka kan nämnas pH-värdet, cementmineralen C_3A (trikalcialuminat) och C_4AF (tetrakalciumaluminatferrit), tillsatsmedel, härdningstid och karbonatisering. Många olika storlekar på kritiskt kloridvärde förekommer alltifrån 0,1 ända upp till 2 % Cl^- av cementmängden. Man skulle t o m kunna uttrycka det så att varje konstruktion har sitt eget tröskelvärde. För brokonstruktioner gäller Bronorm 88. I denna anges att betong bedöms som acceptabel om kloridhalten uttryckt i procent av cementmängden är mindre än 0,3 % (Cl^-/C) i nivå med armeringen i betong med ospänd armering.

I Norge förekommer en differentiering för att värdera kritiska kloridinhållet i betong före eventuell reparation. Värdena framgår av nedanstående tabell och gäller fuktig betong med vanlig portlandscement, dock inte i vatten.

Cl^-/C (vikt-%)	sannolikhet för korrosion
< 0,4	kan negligeras
0,4 - 1,0	möjlig
1,0 - 2,0	sannolik
> 2,0	säker

Den metod som här avses är baserad på att med hjälp av ett elektriskt likströmsfält tvinga kloridjoner ut ur betongen. Man riktar ett elektriskt fält genom betongen så att kloridjonerna som är negativt laddade vandrar från betongens inre ut genom betongytan. För att detta skall vara möjligt kopplar man en likströmskälla till den ingjutna armeringen så att den blir katod. Den andra kopplingspunkten, anoden, befinner sig i kontakt med ett platinabelagt titannät monterat på betongens utsida. Man matar således in elektroner i armeringen som då får ett överskott och hindrar att järnet övergår till järnjoner, Fe^{++} . För att säkra elektrisk koppling mellan anodnät och betongyta utnyttjas vanligt vatten som oavbrutet tillföres så länge behandlingen pågår. Under behandlingens gång kan man känna lukt av klorgas.

Storleken av pålagd spänning och strömstyrka väljs med hänsyn till ett antal påverkande faktorer. Av arbetskyddsskäl skall väljas en spänning som högst uppgår till 40 volt. Vid tidigare försök har man funnit ett lämpligt riktvärde för strömstyrkan på ca 1 amp/m² betongyta. Vidare tycks en elektrisk belastning kontinuerligt pålagd under behandlingstiden ha begränsad effekt. Kvarvarande mängd kloridjoner närmar sig ganska snart ett relativt högt asymptotvärde. Gör man däremot ett uppehåll ett fåtal gånger, kan man till slut avlägsna en markant större mängd kloridjoner. Analys av kloridinhåll utföres före, under och efter den elektrokemiska behandlingen. Efter behandlingen, som i tid totalt kräver i 7 å 8 veckor, borttas titannätet och behandlingen betraktas som avslutad. Man kan fortsätta med kompletterande skyddsåtgärder och andra reparationer av konventionell typ om det skulle vara motiverat.

En elektrokemisk behandling av den typ som här har beskrivits i mycket grova drag innebär, att såväl betong och armeringsstål utsätts för stark påverkan. Anjoner, joner med negativ laddning, och katjoner, joner med positiv laddning, tvingas att vandra i betongens kapillärsystem. Mycket höga OH-jonkoncentrationer uppstår intill den verksamma armeringen där även vätgas kan bildas osv. Det finns således betingelser för att kemiska och fysikaliska materialförändringar kan äga rum. Det är dock de nedbrytande påverkningarna som man är orolig för såsom att kloridjonvandringen skulle kunna ske snabbare efter den kemiska behandlingen, dvs att diffusionskoefficienten för kloridjoner har ökat.

Transporten av kloridjoner har visat sig avstanna innan betongen tömts på klorider. Således finns en viss kloridmängd kvar i betongen, och den mängden är bl a beroende av hur stor kloridjonkoncentrationen var från början. Även koncentrationsfördelningen är starkt

varierande beroende på lokala strömfältets täthet. Inom den kortaste vägen mellan katod och anod är borttransporten mest påtaglig för att avta i området mellan armeringsstängerna. Efter avslutad behandling kommer en ojämn koncentration av klorider att sträva mot utjämning genom diffusion. Områden där kloridjonkoncentrationen från början har varit låg, kan så småningom få ökade halter och vice versa.

Man brukar skilja på fria klorider och bundna sådana. Med lösliga klorider menar man de klorider som kan förmås lakas ut ur krossad betong då denna behandlas med destillerat vatten under bestämda förhållande. Ändras koncentrationen av klorider i porvattnet kan även de bundna kloriderna påverkas. pH-värdet i betongen har stor betydelse för bindningen av klorjoner. Karbonatisering ändrar betongens surhetsgrad. Lösligheten av dubbelsalter såsom Friedels salt ökar då pH-värdet minskas. Klorider som ingår i dessa dubbelsalter kan därför lösas i samband med karbonatisering.

Även jonutbyte med andra jonslag kan förekomma då det bland cementets hydratationsprodukter finns sådana som har jonbytaregenskaper. Det har hittills praktiskt inte lyckats att med tryck pressa ut porvatten ur betong för bestämning av mängden kloridjoner och hydroxidjoner. Däremot har man med framgång kunnat pressa ut porvatten ur cementpasta.

Det vanligaste sättet att ange kloridjonkoncentration baseras på den metod man använder för att bestämma kloridjoner. Man bestämmer nämligen den sk totala kloridjonkoncentrationen. Egentligen bör benämningen vara syralöslig klorid. (Salpetersyra som man använder vid analysen förmår lösa upp cement och hydratationsprodukter och frigöra samtliga kloridjoner.) Eftersom det är fria klorider som är verksamma vid armeringskorrosion och det inte finns ett entydig fördelning mellan halten fria och bundna klorider, bör den totala kloridhalten betraktas som en tämligen grov indikation på korrosionsrisken. För kloridhalt i samband med mängden utdrivna klorider är den totala halten ett användbart mått.

3 EXPERIMENT

En stor del av provningarna har omfattat bestämning av kloridprofiler före, under och efter kloridutdrivningen. Under projektets senare del anskaffades utrustning med vilken det var möjligt att även bestämma kalciumhalten. Såväl klorid- som kalciumjonhalt kunde bestämmas på ett och samma provmaterial.

3.1 Provmaterial

Provmaterialet utborrades ur 10 st för ändamålet gjutna betongplattor med storleken 1650 x 1640 x 250 mm. Plattornas beteckning visas i figur 3.1 där även kloridhalter i de övre skikten, använd strömstyrka mm framgår. Grundbetongen i plattorna valdes i hållfasthetsklass K25, pumpbar och utan klorid tillsats. Huvudarmeringen placerades i överkant på plattorna och bestod av korslagda armeringsstänger Ks40 med diametern 16 mm och med centrumavståndet 200 mm. I underkant placerades enbart monteringsarmering av nät.

I betongplattornas överskikt hade tillsatts olika mängder natrium-klorid för att ge kloridkoncentrationerna 0,2, 0,7 och 2 % räknat på cementmängden i betongen. De kloridinnehållande skikten hade tjockleken cirka 70 mm. Då täckande betongskikten för överarmeringen var cirka 35 mm, kom hela överarmeringen att ligga i kloridbemängd betong. Betongen i en av plattorna, P11, figur 3.1, var utan klorid. Platta P12 hade två kloridkoncentrationer i överskiktet, nämligen 0,7 och 0,2 %. Den största koncentrationen fanns i den översta halvan av skiktet. I TABELL 1 visas sammansättningen av de olika betongsammansättningarna. En oavsiktlig avvikelse i betongsammansättningen uppstod vid blandningen av betongerna med kloridhalterna 0,2 och 0,7 %.

Samtliga betongplattor tillverkades vid samma tillfälle. De kloridbemängda överskikten pågöts innan underbetongen hårdnat, dvs "vått i vått". Betong utan klorid tillsats och betong med 2 % klorid tillverkades av Färdig Betong AB, de övriga betongblandningarna tillverkades i avdelningens betonganläggning. Under betongens hela härdningstid, minst 28 dygn, fram till montering av utrustningen för kloridutdrivningen var plattorna täckta och fritt vatten fanns i överskott på betongplattornas överytor.

P11	0% Cl 1 amp/m ²	P12	(0.7+0.2)% Cl 1 amp/m ²	P13	0.7% Cl 1 amp/m ²	P14	0.2% Cl 1 amp/m ²
P21	2% Cl 1 amp/m ²	P22	2% Cl 1.3 amp/m ²	P23	2% Cl 1 amp/m ²	P24	2% Cl Ingen behandling
P31	2% Cl Ingen behandling	P32	2% Cl 0.7 amp/m ²	Utdragsprov		Utdragsprov	
Konv. rep.							

Figur 3.1 Beteckningar för betongplattor, initiala kloridhalter i de övre betongskikten, strömstyrkor under kloridutdrivningsprocessen och övrig angivelse för vissa prov.

Före montering av titannäten utborrades provkärnor med diameter 65 mm ur plattorna för bestämning av kloriddiffusivitet och kloridprofiler i opåverkat stadium. Hålen efter bormingen göts igen med tät betong.

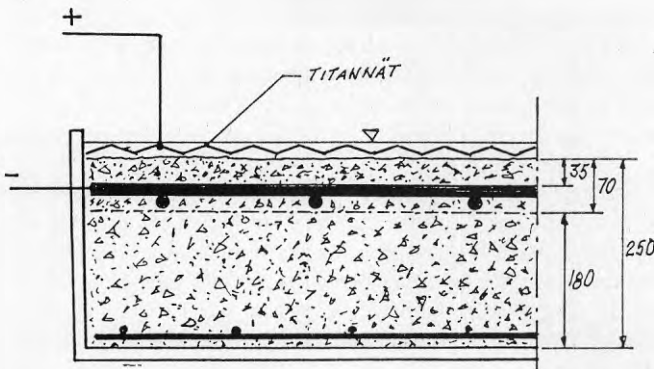
Cementet var standardportlandscement med kalciumoxidhalt (CaO) på ca 63,5 %. Ballasten innehöll ca 0,25 % syralöslig CaO. Dessa värden utnyttjades senare för bestämning av kalciumoxidhalten i den hårdnade betongen efter den kemiska analysen med den avsikten att kunna uttrycka kloridjonhalten i procent av cementmängden.

TABELL 1. Betongsammansättning

Tillsatt klorid Cl/cementmängd %	Platta	Cement (kg/m ³)	Sand (kg/m ³)	Sten (kg/m ³)	Vct	NaCl (kg/m ³)
0	P11	285	1277	569	0,72	0
0,2	P14(P12)	290	1177	752	0,57	0,96
0,7	P13(P12)	286	1155	747	0,60	3,28
2	P21, P22, P23 P24, P31, P32	285	1277	569	0,72	9,30

3.2 Kloridutdrivning

Det principiella arrangemanget för kloridutdrivningen visas i figur 3.2. Nätarmering i underkant av plattan med funktion som monteringsarmering kom även att bli elektriskt kopplad till överarmeringen. Därvid kan all armering i plattorna betraktas som en enda katod. Tre olika strömstyrkor valdes, nämligen 0,7 amp/m² (P32-2%Cl⁻/C), 1,0 amp/m² (P11-0%Cl⁻/C, P12-0,7/0,2%Cl⁻/C, P13-0,7%Cl⁻/C, P14-0,2%Cl⁻/C, P21-2%Cl⁻/C och P23-2%Cl⁻/C) och 1,3 amp/m² (P22-2%Cl⁻/C). Inom parentes anges plattornas beteckning och överbetongskiktets kloridinnehåll. Två plattor lämnades obehandlade, en platta för att kunna jämföra påverkan av elektrokemiska behandlingen på förankringskraften av armeringsjärn i betong (P24-2%Cl⁻/C) och en platta avsedd för konventionell reparation (P31-2%Cl⁻/C).



Figur 3.2. Genomsnitt av armerade betongplattor och principiellt arrangemang för elektrokemisk kloridutdrivning.

Kloridutdrivningen omfattade fyra perioder om två veckor vardera. Mellan varje behandlingsperiod infördes en sk viloperiod på en vecka. Hela processen tog således 11 veckor. Under det att strömmen var påslagen tillfördes kontinuerligt rinnande vatten över ytorna. Under vissa viloperioder utborrades cylindrar från plattorna, ett prov ovanför en överkantsstång och ett prov mitt emellan armeringsstängerna för bestämning av kloridprofilen från betongytan och nedåt i betongen. Hålen efter cylindrarna fylldes efteråt med betong. Då kloridutdrivningen avslutats uttogs dessutom borrkärnor för diffusivitetmätningar.

3.3 Diffusion av kloridjoner i betong

Fria kloridjoner som befinner sig i betongens por- och kapillärvatten, är mer eller mindre rörliga. Strömningen av kloridjoner kan beskrivas med diffusion. Den drivande kraften skapas av koncentrationsskillnaden av kloridjoner från ett ställe till ett annat. Hastigheten varmed de fria kloridjonerna rör sig bestäms av bl a strukturtätheten i cementpastan eller i betongen. Diffusionshastigheten är en långsam process. Det tar därför mycket lång tid att genom försök bestämma en betongs diffusivitet. Den uttryckes vanligtvis med en diffusionskoefficient.

Man kan emellertid med ett elektriskt fält påskynda rörelsehastigheten hos kloridjonerna i det elektriska fältets riktning och på så sätt avsevärt förkorta provningstiden. En sådan snabbmetod är föreslagen av Tang & Nilsson (1992). Metoden innebär att man lägger på 30 volt likspänning över ett betongprovstycke och driver kloridjoner från en anod på ena sidan mot en anod som placerats på den andra. Efter uppspräckning av provkroppen och besprutning av snittytorna med silvernitratlösning kan man bestämma hur långt in i betongen kloriderna har trängt. Silverjoner reagerar med kloridjoner och en färgförändring uppstår. Silverklorid är vit och mycket svårslöslig i vatten.

Många betongprov innehöll klorider redan från början, se Tabell 1. För att kunna bestämma diffusiviten för kloridjoner hos redan kloridbemängd betong med denna metod, är man tvingad att välja högt natriumklorid innehåll i provningslösningen. I detta fall användes en provningslösning som innehöll 12 viktprocent NaCl för att säkert kunna urskilja inträngningszonen från bakgrundsfärgen på snittytan. Som jämförelse kan nämnas att NaCl-halten i blandningsvattnet som tillsattes den betong som skulle innehålla 2 % Cl^-/C uppgick till cirka 4,5 vikt-%.

Diffusionskoefficienten (m^2/s) beräknades med följande samband:

$$D = \frac{RTL}{zFU} \left(\frac{x_d - \alpha x_d^\beta}{3,6 \cdot 10^6 \cdot t} \right)$$

där

R = allmänna gaskonstanten,
8,314 J/K·mol

T = temperatur, K

L = provets tjocklek, m

z = jonvalens, för kloridjoner är z = 1

F = Faradays konstant,
 $9,684 \cdot 10^4$ J/V·mol

U = potentialdifferens, V

x_d = inträngningsdjup av klorider, mm

t = tid för provning, tim

α , β är konstanter från numerisk lösning
av Ficks andra lag. Då T = 298 K,

L = 0,05 m och U = 30 volt blir

$\alpha = 1,061$ och $\beta = 0,589$

3.4 Bestämning av kloridprofiler

Provmaterialet i form av pulver erhöles genom att man svarvade bort material från utborrade provcylindrar. Svarvningen gjordes med ett speciellt diamanterverktyg i torrt tillstånd. Med denna provtagningsmetod kunde provdjupet under betongytan bestämmas med en noggrannhet på 0,5 mm när. Provmaterialet maldes och torkades omedelbart till jämvikt i 105 °C. Fortsatt förvaring skedde i exsickator ända fram till bestämningen av kloridjonhalten för att bli undvika karbonatisering. Det totala kloridjoninnehållet i varje uttaget prov bestämdes i enligt med AASHO T260-84, varvid användes potentiometrisk titrering med kloridjonselektiv elektrod och silvernitratlösning. Tang (1993) har visat att man med denna analys kan mäta totala kloridjonmängden under förutsättning att tillräcklig mängd salpetersyra användes för att lösa samtliga klorider i provmaterialet.

I många fall anges i litteraturen kloridjonhalter i förhållande till cementmängden i betong. För att kunna ange kloridjonhalterna i procent av cementmängden måste man även bestämma cementhalten i varje enskilt prov. Detta är särskilt viktigt därför att halten cement varierar från del till del genom betongen. Dessutom är mängden provmaterial som ingår i analysen av klorider liten, cirka ett gram.

För att utvärdera skillnaden mellan cementmängd från betongtillverkningen och den verkliga mängden bestämdes i vissa prov kalciumhalten. Metoden baseras på titrering med EDTA och en med avseende på kalcium jonselektiv elektrod. Analysen utfördes efter det att kloridjonhalten bestämts. Då man har tagit reda på kalciummängden i det cement som använts till betongen och mängden syralöslig kalcium i ballasten, kan cementmängden beräknas enligt följande formel:

$$\% [Cement]_{prov} = \frac{\% [CaO]_{prov} - \% [CaO]_{ballast}}{\% [CaO]_{cement} - \% [CaO]_{ballast} \cdot (1 + 0,25\alpha)}$$

där α = cementets hydratationsgrad.

3.5 Bestämning av desorptionsisotermer

Desorptionsisotermer har bestämts för betong med 2 % initial kloridjonkoncentration, dvs överbetong behandlad med 1 amp/m², P21, resp. betong utan elektrokemisk behandling med klorider samt grundbetong utan klorider, båda betongerna tillhörde platta P24. Fukthalten i betongproven bestämdes efter jämvikt i lagringsklimat med temperatur +20 °C och relativa fuktigheterna 42, 59, 75 och 85 %.

3.6 Kapillärtransport

Kapillära egenskaperna hos betongen bestämdes på cylinderprovkroppar med diametern 43 mm och höjden cirka 30 mm. Provkropparna hade före provningen konditionerats i cirka 50 % relativ luftfuktighet. Vattenuppsugningen bestämdes genom vägning vid vissa tidpunkter. Från diagram som uttrycker uppsuget vatten i kg/m² som funktion av roten ur tiden i sekunder beräknades såväl motståndstalet (s/m²) som kapillaritetstalet (kg/m²√s). Metoden finns beskriven bl a i Betonghandboken, Material.

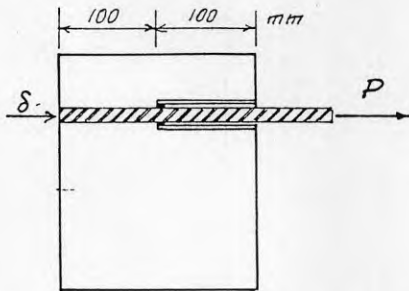
3.7 Tunnslipsanalys

Tunnslip är ett mycket tunnt skikt av betong uttaget längs ett snitt genom ett utvalt betongprovstycke. Snittarean brukar vara ca 5 cm². Tillverkningen av tunnslipet börjar med att provet torkas och impregneras med tunnflytande epoxy under vakuumbehandling. Efter härdning sågas ett snitt genom betongprovet, ytan planslipas och på

denna klistras ett objektsglas. Betongen slipas ned och prepareringen är avslutad då tjockleken hos provet är ca 20 μm . Man kan studera detta tunna skikt exempelvis i mikroskop med genomlysning. Det är även möjligt att med olika ljus mm fotografera partier av tunnslipet under viss uppförstoring. I samband med tunnslipstudiet kan man iaktta en del egenarter i betong såsom sprickbildning, ballastreaktioner, saltutfällningar, luftporsystem och färgförändringar.

3.8 Utdragsprov

Plattorna P23 (strömstyrka 1 A/m^2) och P24 (utan elektrokemisk behandling) tillverkades så att överkantssarmeringen stack ut ungefär 700 mm från ena plattgaveln. 100 mm in i betongen från ytan räknat upphävdes vidhäftningen längs stängerna genom en tätande plasthylsa kring varje utstickande stång. Efter avslutad kloridutdrivning kapades de båda betongplattorna med ett snitt 200 mm från de båda skivornas kantsidor. Förankringslängden blev därvid 100 mm. Principiellt provningsförfarande framgår av figur 3.3. Vid provningen registrerades kontinuerligt med hjälp av en xy-skrivare kraften i armeringsstängerna och förskjutningen av den fria armeringsänden relativt betongen. Resultaten erhöles i form av kraft-deformationsdiagram från vilket avläsning av vissa värden är möjligt. Dels avlästes släppkraften, dels maximal kraft. Med släppkraft menas här den kraft då rörelsen hos den fria änden nätt och jämnt kunde registreras relativt betongytan. Glidningen av denna fria ände noterades vid maximal kraft i stängerna.



Figur 3.3. Principiellt provningsförfarande för bestämning av förankringskrafter och glidning av den fria änden hos ingjutna armeringsstänger. P är dragkraft i armeringsstång. Mothållet har anordnats mot betongytan. δ är glidningsdeformation relativt betongytan i obelastad ände.

3.9 Konventionell reparation

Platta P31 med 2 % kloridjoninnehåll i överbetongen reparerades på konventionellt sätt, dvs genom bortbilning av överbetongen förbi överarmeringen och därefter pågjutning av reparationsbetong. Detta skedde ungefär ett halvår efter det att kloridutdrivningen avslutats för de andra plattorna. Tre olika bindemedel användes i reparationsbetongen, nämligen anläggningscement (Degerhamn), 60 % slagg + 40 % standardcement och 30 % slagg + 70 % standardcement. Bindemedelsmängden var 400 kg per m³ betong och vattenbindemedelstalet var 0,40. Flytmedel av typen melaminformaldehyd tillsattes för att erhålla en lämplig konststens. En respektive sex månader efter reparationen utborrades cylindrar för bestämning av kloridjonhalter på olika avstånd från kontaktzonen mellan gammal och ny betong. Avsikten med provningen var att ta reda på hur kvarblivande klorider i den gamla betongen eventuellt sprides upp i reparationsbetongen.

Diffusiviteten med avseende på kloridjoner bestämdes för de tre reparationsbetongerna med samma metod som tidigare beskrivits i punkt 3.3. Detta skedde i samband med de övriga klorjonanalyserna.

4 RESULTAT

4.1 Kloridfördelning

4.1.1 Inverkan av strömstyrka

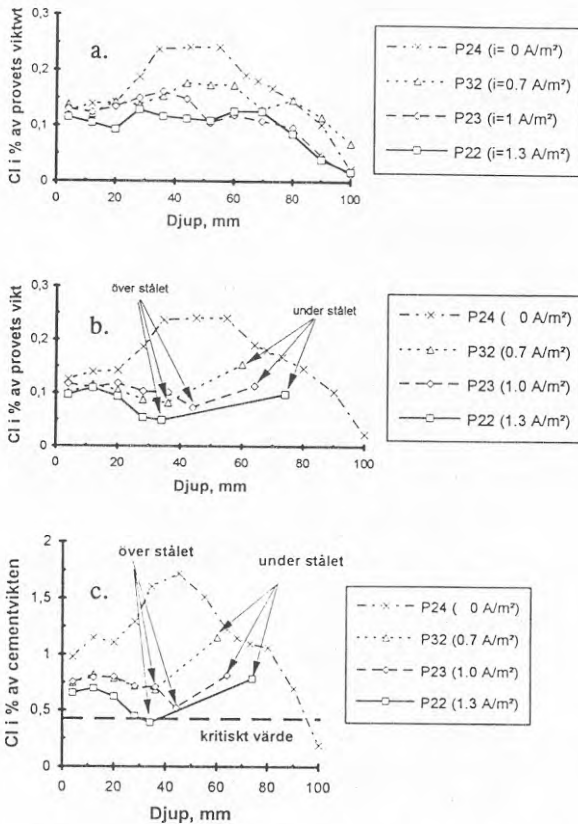
Kloridprofiler efter den elektrokemiska behandlingen visas i figur 4.1 för betong med 2 % initial kloridjonhalt. Diagram 4.1.a avser kloridjonfördelning i vertikalsnitt mellan stänger och 4.1.b i vertikalsnitt genom stänger båda i överarmeringen. En av de fyra kurvorna avser kloridjonfördelningen i den betongplatta som inte utsatts för kloridutdrivning (P24). Kloridjonhalterna har minskat efter den elektrokemiska kloridutdrivningen. I princip ökar utdrivningen av kloridjoner ju större strömstyrka har använts. Mellan armeringsstängerna (a) har kloridjonhalten minskats till ungefär hälften av begynnelsevärdet som är 0,26 % beräknat på torra betongmassan (motsvarar 2 % Cl^-/C) vid strömstyrkan 1,3 amp/m². I snitt genom armeringsstängerna är kloridjonutdrivningen större och på djupet 30 mm återstår ca 25 % av kloridhalten vid strömstyrkan 1,3 A/m², dvs 75 % av kloridjonerna har drivits ut.

Allmänt kan sägas att kloridprofilerna är varierande med djupet under betongytan och med pålagd strömstyrka. I figur 4.1 b har i några mätpunkter mer kloridjoner drivits ut vid 0,7 amp/m² än vid 1,0 amp/m². Skillnaden är dock så liten att variationen bör ligga inom en normal variation i betongen.

Underkantsarmeringen i plattorna kan anses vara elektrisk kopplade till överarmeringen genom de distansbyglar som anbringats vid montering av plattans hela armering. Även armeringsnätet i plattornas underkant blir därför en katod på samma sätt som överarmeringen. Det elektriska motståndet genom betongen blir mindre från överarmeringen till betongytan än från underarmeringen till betongytan, dvs strömmen har bl a kortare väg i det förra fallet än i det senare. Ett större motstånd ger en mindre strömstyrka. Detta bör påverka mängden utdrivna kloridjoner så att kloridjonutdrivningen blir störst invid överarmeringen.

Genom att bestämma kalciumjonhalten i samma prov som kloridjonhalten kan man uttrycka kloridjonhalterna i förhållande till cementmängden. Denna beräknas enligt tidigare beskriven formel. I figur 4.1.c har kloridjonhalterna uttryckts i vikt-% av cementmängden, förkortat skrivet Cl^-/C %. I figur c där kloridjonhalten 0,4 % markerats, är mätvärdena omräknade från de som visas i figur b. Man bör uppmärksamma att den totala kloridjonhalten efter 8 vec-

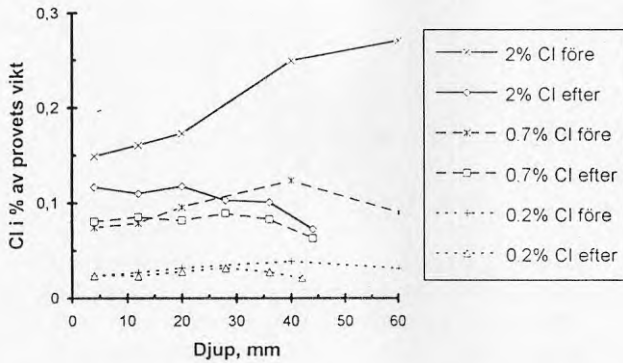
kors effektiv elektrokemisk behandling med den största använda strömstyrkan 1,3 amp/m² förmått minska kloridjonhalten till något under 0,4 % på ett begränsat område ovanför armeringsstålet. På övriga ställen och med användning av mindre strömstyrkor ligger kvarvarande kloridjonhalter högre.



Figur 4.1 Inverkan av strömstyrkan på kloridjonhalterna på olika djup under betongytan efter elektrokemisk behandling. Initial kloridhalt är 2 % av cementmängden. Kurvan för platta P24 avser kloridjonfördelning i betong som inte utsatts för kloridutdrivning.
 a. Vertikalsnitt mellan stänger i överarmeringen
 b. Vertikalsnitt genom stänger i överarmeringen
 c. Samma som b med kloridjonhalter uttryckta i Cl⁻/C

4.1.2 Inverkan av initial kloridhalt

I figur 4.2 anges hur mycket klorider som har drivits ut från betongen på olika djup i ett vertikalsnitt genom överkantsarmeringen för strömstyrkan 1 amp/m². Ju högre mängd klorider betongen innehåller från början desto mer klorider kan drivas ut. För 0,2 % Cl⁻/C initialt kan man knappast märka någon förändring av kloridjonhalterna efter kloridutdrivningen. Större förändring intill armeringen har inträffat då kloridjonhalten initialt var 0,7 %. Det är dock först vid den höga kloridhalten 2 % initialt som kloridjonhalten kunnat sänkas effektivt. I närheten av armeringen återstår ungefär halva den kloridjonhalt som fanns innan utdrivningen började.



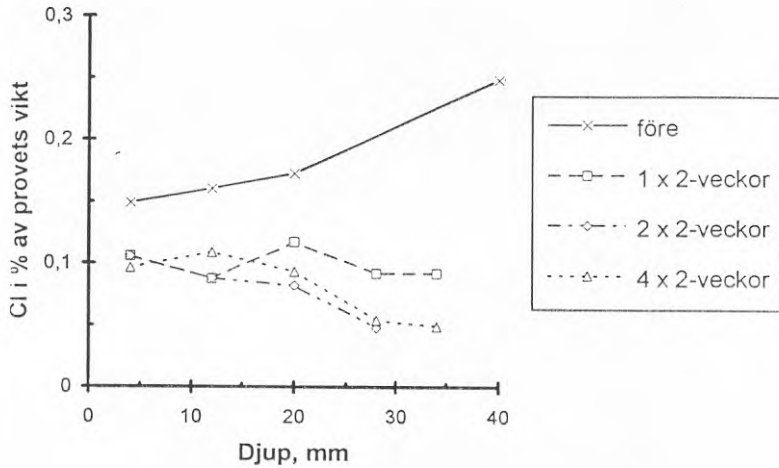
Figur 4.2. Kloridhalter på olika djup under betongytan i vertikalsnitt genom överarmeringen före och efter elektro kemisk kloridutdrivning. Initiala kloridhalter är 0,2, 0,7 och 2 % av cementmängden. Strömstyrkan är 2 amp/m².

4.1.3 Inverkan av kloridutdrivningstiden

I försöken bestämdes även kloridhalterna under de sk viloperioderna. Varje kloridutdrivningsperiod har omfattat två veckor. Därefter har följt en veckas avstängning. Resultatet visas i figur 4.3 som gäller för vertikalsnitt genom överkantsarmeringen, strömstyrkan 1,3 amp/m² och initialkloridhalten 2 % Cl⁻/C.

Den största kloridminskningen har uppstått under den första utdrivningsperioden. Under den andra utdrivningsperioden var kloridminskningen först tydlig intill armeringen. Under den sista hälften av

kloridutdrivningstiden tycks verkan ha varit obetydlig. Detta är bl a i överensstämmelse med vad Manning & Pianca (1990) har visat.



Figur 4.3. Kloridhalter på olika djup under betongytan i vertikal-snitt genom överkantsarmeringen före, under och efter elektrokemisk kloridutdrivning. Initial kloridhalt är 2 % av cementmängden. Strömstyrkan är 1,3 amp/m².

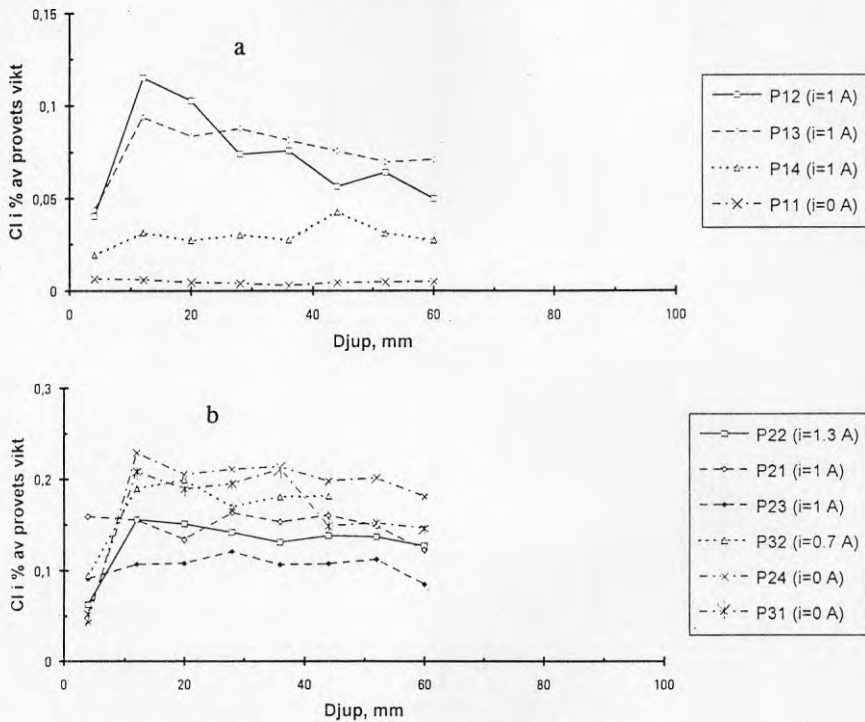
4.1.4 Förändring av kloridhalterna med lagringstiden

Någon månad efter det att kloridutdrivningen avslutats utborrades cylindrar genom hela plattjockleken ur var och en av de tio plattorna. Cylindrarnas diameter var 290 mm. Cylindrarna placerades i PVC-rör och tätning anordnades kring över- och underkanter. Rörets överkant var cirka 2 cm över betongcylinderns övre yta så att fritt vatten kunde tillföras. Vatten fanns på ytorna under uppskattningsvis minst ett halvår. Avsikten var att undvika att betongen torkade ut och ge möjlighet för utjämning av kloridjoninnehållet i betongens olika delar. På grund av vattnet på ytan inträffade en urlakning av betongen ned till ca 1 cm djup, se figurerna 4.4 och 4.5. Ungefär ett år efter det att kloridutdrivningen var avslutad utborrades provkroppar ur samtliga cylindrar och några kloridprofiler bestämdes.

Resultaten av kloridhaltsbestämningarna redovisas i figurerna 4.4 och 4.5. Figur 4.6 visar samma resultat som figur 4.5 med den skillnaden att kloridjonhalten uttryckts som $\text{Cl}^-/\text{cement}$ i stället för $\text{Cl}^-/\text{betong}$. Som tidigare nämnts fanns det möjlighet att bestämma cementhalten under senare delen av projektet.

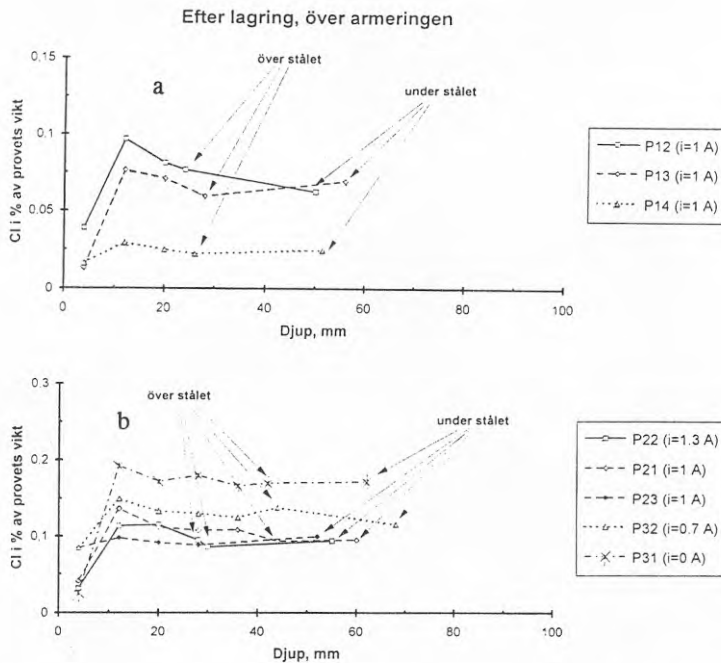
Omvandlingen från $\text{Cl}^-/\text{cement}$ (Cl^-/C) till $\text{Cl}^-/\text{betong}$ ger följande: 0,2 % $\text{Cl}^-/\text{cement}$ motsvarar 0,026 % $\text{Cl}^-/\text{betong}$, 0,7 $\text{Cl}^-/\text{cement}$ motsvarar 0,089 % $\text{Cl}^-/\text{betong}$ och 2 % $\text{Cl}^-/\text{cement}$ motsvarar 0,26 % $\text{Cl}^-/\text{betong}$.

Efter lagring, mellan armeringen



Figur 4.4. Kloridhalter för samtliga provplattor på olika djup mellan armeringsstängerna. Tidpunkten för provningen är cirka ett år efter kloridutdrivningen.
 a. Plattor P11 (0 % Cl^-/C), P12 (0,7/0,2 % Cl^-/C), P13 (0,7 % Cl^-/C) och P14 (0,2 % Cl^-/C).
 b. Plattor P21, P22, P23, P24, P31 och P32, samtliga med 2 % Cl^-/C .

Från figurerna 4.4 a och b framgår att kloridhalterna utjämnats ned i betongen. Urlakningen i överskikten är emellertid tydlig. I stort framgår det att kvarvarande kloridhalt är större ju mer klorider betongen har innehållit före kloridutdrivningen, figur 4.4 a. Profilen för platta P12, platta med två olika kloridjonkoncentrationer, visar att det kvarstår en högre kloridjonhalt överst där initialhalten varit 0,7 %. Minskningen sker successivt nedåt där kloridjonhalten från början var 0,2 % Cl^-/C . I figur 4.4 b där samtliga kloridprofiler gäller för strömstyrkan 2 amp/m^2 finns en spridning. Den kan förklaras av att profilerna är tagna från snitt mellan armeringsstålen. Profilen för strömstyrkan 1,3 amp/m^2 (P22) ligger mellan de två profilerna för 1 amp/m^2 (P21 och P23).



Figur 4.5. Kloridprofiler för snitt genom armeringsstänger i överarmeringen. Tidpunkt för provningen är cirka ett år efter kloridutdrivningen.

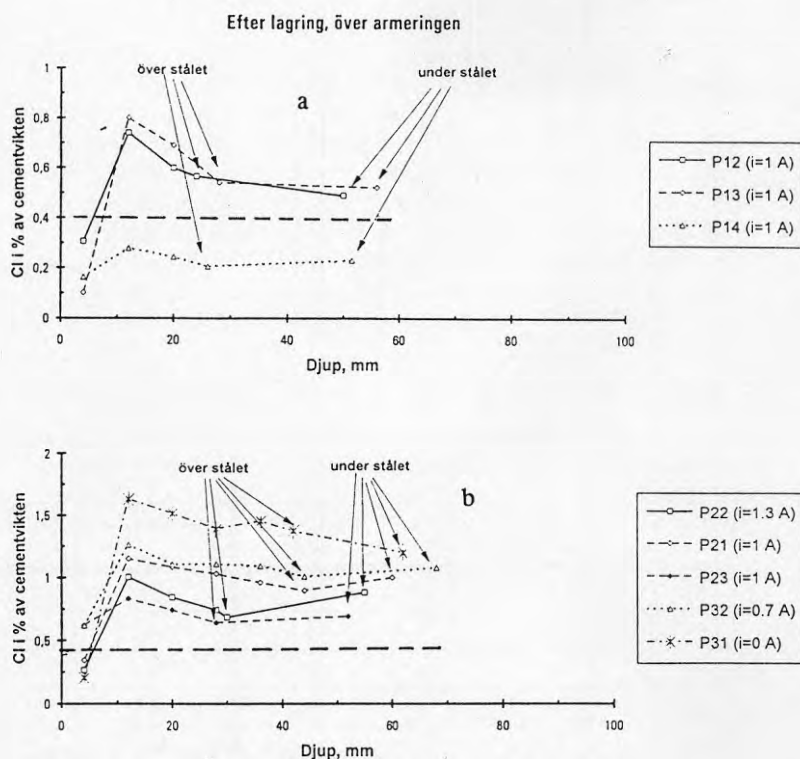
a. Plattor P12 (0,7/0,2 % Cl^-/C), P13 (0,7 % Cl^-/C) och P14 (0,2 % Cl^-/C), samtliga utsatta för strömstyrkan 1 amp/m^2 .

b. Plattor P21, P22, P23, P31 och P32, samtliga med 2 % Cl^-/C .

Kloridprofilerna i snitt genom armeringsstänger, figur 4.5 a och b, visar att mer klorid har drivits ut än vad som framgår av kloridprofiler för snitt mellan armeringstänger, figur 4.4 a och b.

Kloridprofilerna som visats i figur 4.5 har upprepats i figur 4.6 med den skillnaden att kloridjonhalterna angetts i mängd kloridjoner per mängd cement, dvs Cl^-/C . Orsaken till detta är dels som tidigare nämnts att ny analysutrustning anskaffats för bestämning av kalciumhalten i betongprov, dels att kloridjonkoncentration alltmer brukar anges i viktsprocent beräknad på cementmängden i betongen.

Det har inte lyckats att sänka kloridhalterna under 0,4 % Cl^-/C invid armeringen, då initialkloridhalten varit större än 0,7 % resp 2,0 %.



Figur 4.6. Kloridhalter på olika djup i snitt genom stång i övre armeringslagret. Kloridhalterna är angivna i Cl^-/C . Gränsen för 0,4 % Cl^-/C har markerats.

4.2 Kloriddiffusivitet

Diffusionsegenskaperna för kloridjoner före och efter den elektrokemiska klorutdrivningen sammanfattas i Tabell 2. Värdena som anger diffusiviteten är medelvärde av två prov. Principen för mätmetoden har tidigare beskrivits. Diffusiviteten avser allmänt att beskriva hur snabbt kloridjoner kan transporteras genom betongens struktur, dvs genom kapillärer och eventuella spricksystem. En viktig faktor som bestämmer diffusiviteten är vattencementtalet. Ju större vattencementtalet är desto större blir porositeten. På liknande sätt påverkas porositeten av hydratationsgraden eller betongens ålder. Volymen kapillärporer minskar med större hydratationsgrad. Vidare tycks i föreliggande försök diffusiviteten minska genom tillsats av klorider till betongen. Möjligen kan klorider ha påskyndat reaktionerna under hydratiseringen.

En uppfattning som då och då har dykt upp är att den elektrokemiska process som nyttjas för kloridutdrivning skulle öka permeabiliteten hos betongen. Detta har inte konstaterats. För 2 % initial kloridhalt är medeldiffusiviteten (P32, P21, P22 och P23) efter den elektrokemiska behandlingen $18 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, utan elektrokemisk behandling (P24) $17,9 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Innan kloridutdrivningen påbörjades var diffusiviteten $28,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, minskningen motsvarar cirka 35 procentenheter. Hos betong utan klorider, P11, var diffusiviteten efter elektrokemisk behandling nästan lika stor som före behandlingen.

TABELL 2. Diffusivitet för kloridjoner före och efter elektrokemisk behandling

Beteckning				Diffusivitet $\cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$	
Platta	Tillsatt klorid Cl/cementmängd %	Vct	Strömstyrka Amp/m ²	Före behandling	Efter behandling
P24	2	0,72	0	28,1*	17,9
P32	2	0,72	0,7	28,1*	18,0
P11	0	0,72	1,0	33,2	34,6
P14	0,2	0,57	1,0	18,9	9,7
P13	0,7	0,60	1,0	-	16,9
P21	2	0,72	1,0	28,1	19,4
P23	2	0,72	1,0	28,1*	20,3
P22	2	0,72	1,3	28,1*	14,4

* Samma betong före elektrokemisk behandling som i platta P21.

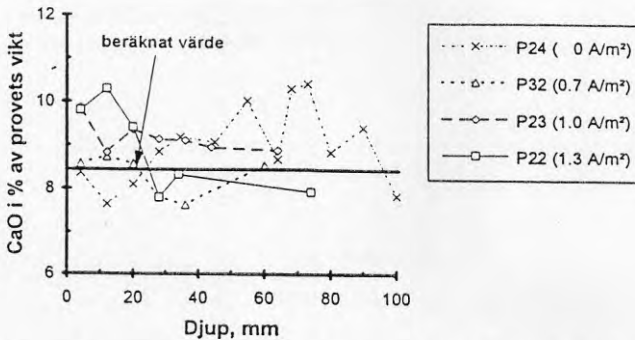
Kloridjondiffusiviteten för reparationsbetongerna har bestämts till följande värden:

Bindemedel	Kloridjondiffusivitet m^2/s
Anläggningscement	$5,8 \cdot 10^{-12}$
30 % slagg + 70 % std	$4,4 \cdot 10^{-12}$
60 % slagg + 40 % std	$1,3 \cdot 10^{-12}$

Resultaten visar att diffusionsegenskaperna för kloridjoner kraftigt påverkas av slagg tillsättningen. Ju större andel portlandscementet som utbytes mot slagg desto mindre blir diffusiviteten eller desto längre tid tar det för kloriderna att tränga in till ett visst djup i betongen. För samma vattenbindemedelstal minskar diffusiviteten 4,5 gånger när 60 % slagg ersätter standardcement i jämförelse med användning av enbart anläggningscement.

4.3 Fördelning av kalciumjoner

Kalciumhalterna på olika djup under betongytan uttryckt som kalciumoxidhalter (CaO) i procent av betongens vikt visar ingen entydig påverkan från den elektrokemiska behandlingen, se figur 4.7. Variationerna ligger kring det beräknade värde som erhålles av betongsammansättningen, cirka 8,4 %. Spridningen kan vara orsakad av materialvariationer och små provmängder vid analysen.



Figur 4.7. Kalciumoxidprofiler, CaO/betong uttryckt i vikt-% i ett vertikalt snitt genom överarmering efter elektrokemisk kloridutdrivning med varierande strömstyrkor. Initialkloridhalt är 2 % av cementvikten.

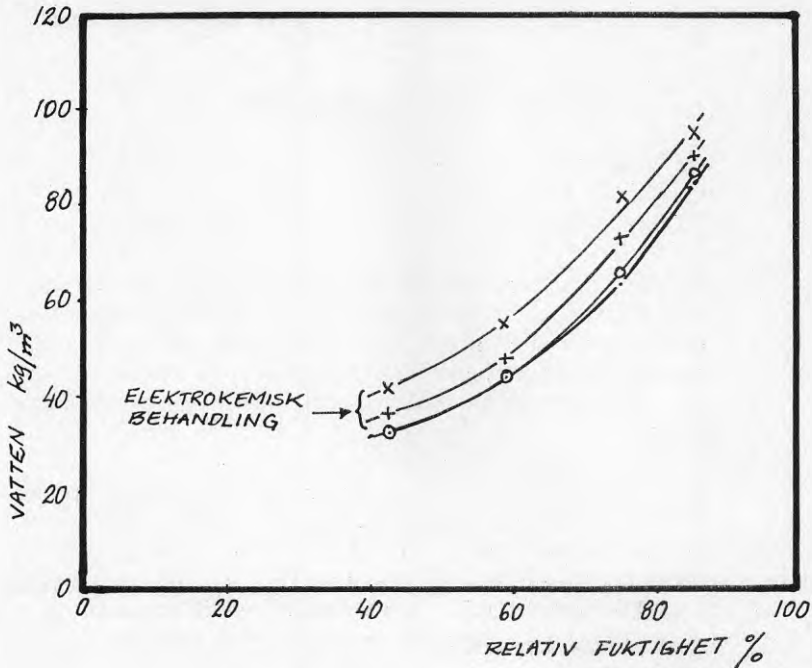
4.4 Desorptionsisotermer

Desorptionsisotermer har bestämts för betong från plattorna P21 och P24, se figur 4.8. Initial kloridhalt i det övre skiktet för båda plattorna var 2 % Cl⁻/C. P21 hade behandlats med 1 amp/m² medan P24 var elektrokemiskt obehandlad. Jämförelse av desorptionsisotermer kan göras mellan följande betongmaterial:

1. obehandlad betong utan klorid tillsättning
2. " med tillsatt 2 % Cl⁻/C
3. elektrokemiskt behandlad betong med tillsatt 2 % Cl⁻/C på två olika djup under betongens överyta

Isotermkurvorna mellan de relativa fuktigheterna 42 och 85 % löper kontinuerligt utan platåer vilket betyder att alla kapillärstorlekar finns representerade inom detta område. Räknar man om de nämnda relativa luftfuktigheterna motsvarar dessa ekvivalenta porrdiametrar för cylindriska porer på 20 Å för 42 % respektive 120 Å för 85 % relativ fuktighet. Kurvorna är ett sätt att beskriva kapillärsystemet inom dessa storlekar.

De båda kurvorna för betong som inte varit utsatt för kloridutdrivning är nästan sammanfallande. Det tycks inte vara någon skillnad på betong med och utan klorider. Den betong som utsatts för kloridutdrivning har parallellförskjutna isotermer. Detta tyder på oförändrad kapillärstruktur. Förskjutningen av övre isotermen motsvarar ett ökat vatteninnehåll på ca 10 kg/m³ och av den undre på 3 - 4 kg/m³. En sådan förskjutning kan orsakas av skillnader i cementpastavolym, strukturförändringar i cementgelen eller olikheter i hydratationsgrad. Svaret på frågan om vilken eller vilka av dessa som är förklaringen till kurvförskjutningen måste lämnas obesvarad.



Figur 4.8. Desorptionsisotermer för betong som dels varit utsatt för kloridutdrivning, P21 (1 amp/m²), dels varit opåverkad, P24. Kloridhalterna var från början 2 % i det övre betongskiktet.

- × P21 inom 0 - 30 mm från överytan
- + P21 " 30 - 60 mm "
- o P24 " 0 - 30 mm "
- P24 " 0 - 30 mm från bottenytan

4.5 Kapillaritet

I nedanstående sammanställning redovisas såväl motståndstal som kapillaritetstal för betong i vertikalsnitt genom överkantsarmeringen och 0 - 3 cm från betongens överyta för plattorna P21 och P24 med initiala kloridhalten 2 % Cl⁻/C. Proven på grundbetongen har tagits från platta P22, 0 - 3 cm från plattans undersida. Samtliga värden är medelvärde av två olika prov.

Prov	Motståndstal s/m ²	Kapillaritetstal kg/m ² √s
P21 (2 % Cl ⁻ /C, 1 amp/m ²)	46·10 ⁶	0,017
P24 (" 0 amp/m ²)	25·10 ⁶	0,027
P22 (utan klorid, 1,3 amp/m ²)	25·10 ⁶	0,025

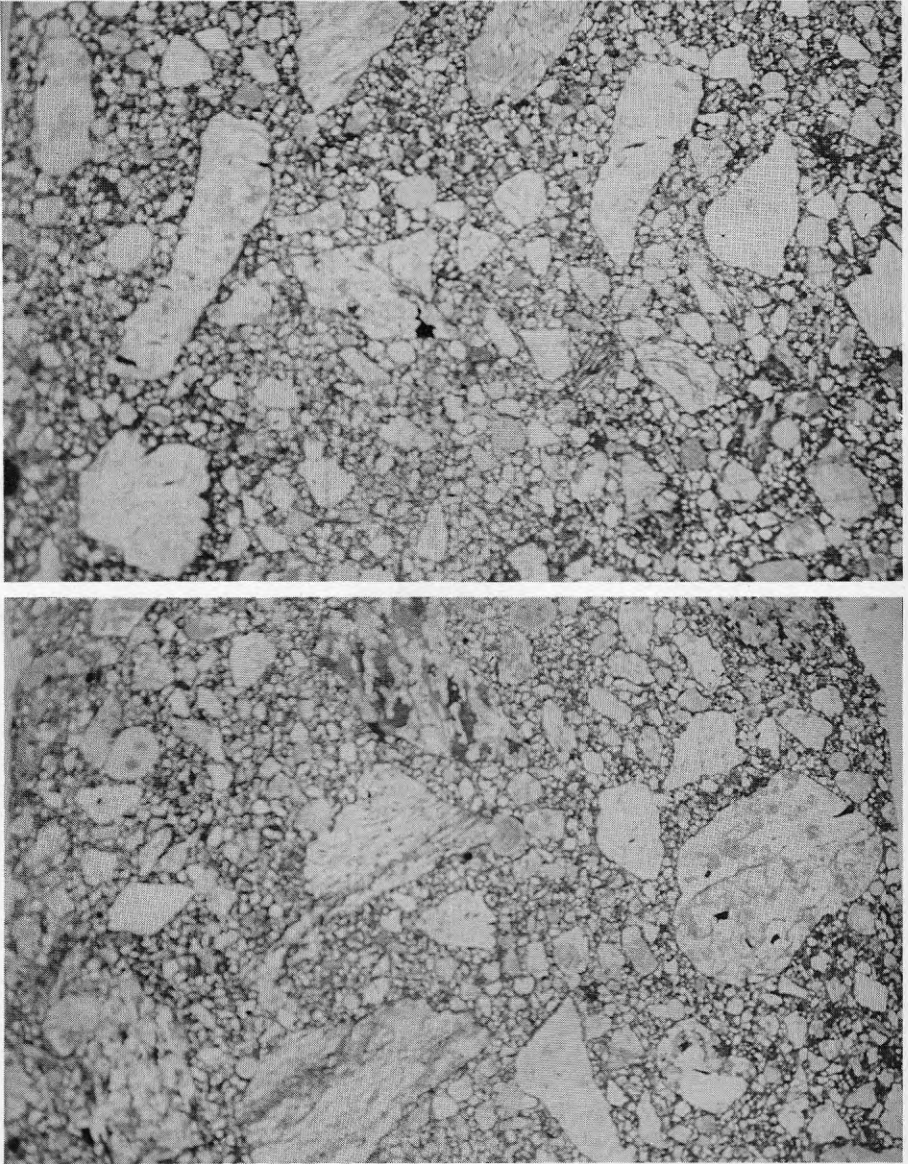
Motståndstalets storlek har samband med kapillärsystemets grovlek som i sin tur påverkas av vattencementtalet. Motståndet mot vatten-sugning ökar med minskande kapillärstorlek och därför även med minskande vattencementtal. Kapillaritetstalet är ett mått på hur snabbt vattenfronten tränger in i betongen under insugningen av vatten från ytterytan.

Både motståndstal och kapillaritetstal är lika för grundbetongen med och utan klorider även om den senare tillhört en platta som varit utsatt för kloridutdrivning. Den betong som har genomgått elektrokemisk kloridutdrivning, P21, tycks ha fått tätare struktur, dvs värdena visar att betongen utövar större motstånd mot vatteninträngning och att inträngningshastigheten för vatten blir långsammare.

Motståndstalen för de två proven från platta P21 har dock visat stor skillnad sinsemellan, 34·10⁶ respektive 57·10⁶ s/m², medelvärde 46·10⁶. Skillnaden i kapillaritetstal var inte större än för de övriga provkroppsparen, cirka 0,004 á 0,005 kg/m²√s.

4.6 Tunnslip

Tunnslip har analyserats för betong från plattorna betecknade P11 (0%Cl⁻/C-1 amp/m²), P21 (2%Cl⁻/C-1 amp/m²) och P22 (2%Cl⁻/C-1,3 amp/m²). Proven är uttagna i vertikalsnitt genom överarmeringen 0 - 3 cm från överytan. Två av tunnslipen visas i figur 4.9. En enda spricka har iakttagits. Den börjar vid betongytan och når några mm ner i betongen. Sprickan har sannolikt uppstått vid uttorkning. Någon ytterligare sprickbildning i närheten av armeringen har kunnat upptäckas.



Figur 4.9. Tunnslip på betong från platta P11 (övre bilden) utan klorider behandlad med strömstyrkan 1 amp/m^2 och betong från platta P22 (undre bilden) med initial kloridhalt $2 \% \text{ Cl}^-/\text{C}$ behandlad med strömstyrkan $1,3 \text{ amp/m}^2$. Förstoringsgraden är cirka 5 gånger. Överytan på betongplattan är till vänster i båda bilderna.

4.7 Utdragsprov

I nedanstående tabellariska uppställning visas resultat från utdragsprov på ingjutna armeringsstänger. Plattorna P23 och P24 var speciellt förberedda för provningen. Varje värde i tabellen är medelvärde av sju prov. Inom parentes anges standardavvikelser.

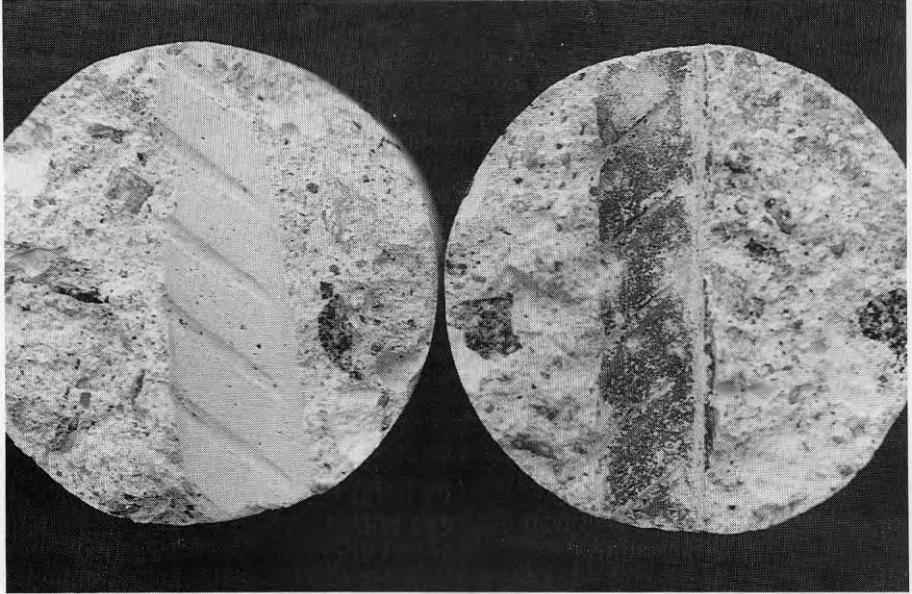
Såväl släppkraft som maximal kraft på armeringsstänger minskar efter det att elektrokemisk behandling har utförts. I detta fall har strömstyrkan 1 A/m^2 använts. Släppkraften efter kloridutdrivning är en tredjedel av släppkraften utan behandling. Den maximala förankringskraften är cirka 70 % av maximala kraften för armeringsstänger som inte genomgått elektrokemisk kloridutdrivning. Glidningen vid maximal belastning är även större efter elektrokemisk kloridutdrivning. De resultat som erhållits under de betingelser som här beskrivits visar att den elektrokemiska behandlingen på något sätt har påverkat förankringen av armeringen i betongen.

Provningsen som här har utförts avser inte att bestämma vidhäftningen mellan betong och stålyta vilket knappast är möjligt vid prov med kamstål. Det troliga deformationsförloppet börjar med ett successivt släpp mellan stålyta och betong med början från den ände där armeringen är belastad. Efter släppet pålastas kammarna och kraftöverföringen sker i en skjuvyta i höjd med överdelen på kammarna. Brottet sker till slut i betongen.

	Utan behandling (P24)	Med elektro- kemisk behand- ling (P23)
Släppkraft (kN)	38,6 (7,6)	12,7 (5,6)
Maximal kraft (kN)	63,7 (6,1)	45,7 (9,3)
Glidning mm (vid maximalkraft)	1,6 (0,15)	2,0 (0,18)

För att undersöka om armeringsstålets yta förändrats efter kloridutdrivningen utborrades cylindrar som skar tvärs genom överkantsarmeringen. Cylindrarna klövs och replikytor bildades efter armeringsstålet i betongen. I figur 4.10 framgår att det finns en tydlig skillnad på färgen hos avtrycken i betong som inte innehöll klorid (P 11), ljus avtrycksyta i vänstra bilden och betong med initial kloridhalt 2 % Cl^-/C (P22), mörk avtrycksyta i högra bilden. Båda

plattorna hade utsatts för elektrokemisk behandling. Ljus avtrycksyta bildas även i betong utan kloridutdrivning så länge inte korrosion uppstått på armeringen. Man kan således sluta sig till att något händer stål-ytan hos katoden i samband med kloridutdrivning. Minskningen av förankringskrafter och tidigare glidning av armeringsjärnen tyder på att även betongen intill katoden skulle ha påverkats.

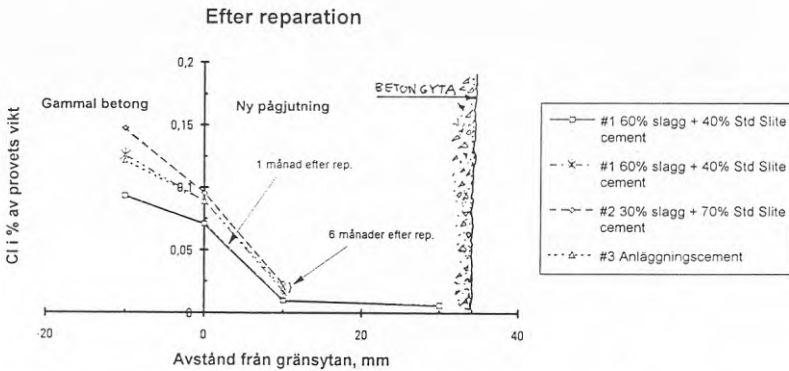


Figur 4.10. Avtryck från armeringsstål i betong med och utan kloridinnehåll. Vänstra provet är från platta P11 (0 % Cl^-/C , 1 amp/m^2) och högra provet från platta P22 (2 % Cl^-/C , 1,3 amp/m^2). Förstoringsgraden är ca 1,3 gånger.

4.8 Kloridhalter efter konventionell reparation

Vid den sk konventionella reparationsmetoden (P31), där överbetongen först bilades bort ända ned förbi det övre armeringslagret och ny reparationsbetong ersatte den bortbilade betongen, visade det sig som väntat att den kvarvarande underbetongen fortfarande innehöll kloridjoner. I figur 4.11 visas kloridprofilerna och hur kloridjonerna har vandrat in i reparationsbetongen. Läge 0 i diagrammet betecknar kontaktzonen mellan underbetong och reparationsbetong. Kloridjonhalterna mättes i snitt på 10 mm avstånd från varandra dels en månad, dels sex månader efter reparationen. Kloridjonhalten 10 mm ned i underbetongen ligger på 0,08 $\text{Cl}^-/\text{betong}$ ($\approx 0,6 \text{ Cl}^-/\text{C}$) en månad efter reparationen och 0,12 – 0,15 % $\text{Cl}^-/\text{betong}$ ($\approx 0,9 - 1,1 \text{ \% Cl}^-/\text{C}$) sex månader efter reparationen. Att kloridjonhalterna i underbetongen tycks ha ökat med tiden är knappast sannolikt. Svårigheten att bestämma läget för kontaktzonen kan förklara variationer av kloridjonkoncentrationen i underbetongen.

Av kloridprofilerna framgår att kloridjoner vandrar in i överbetongen. 10 mm in i reparationsbetongen efter sex månader var kloridhalten som störst 0,023 % $\text{Cl}^-/\text{cement}$ ($\approx 0,2 \text{ \% Cl}^-/\text{C}$). Det är knappast möjligt att här särskilja de olika bindemedlen åt med avseende på hur snabbt kloridinträngningen har skett. Skillnader har tidigare redovisats genom kloridjondiffusivitet i avsnitt 4.2.



Figur 4.11. Kloridprofiler i platta P31 efter bortbilning och pågjutning av reparationsbetong. Tre olika bindemedel användes i reparationsbetongen. Avståndet räknas från kontaktzonen mellan underbetong och reparationsbetong.

5. SLUTSATSER

Försök har bekräftat att det är möjligt att på elektrokemisk väg driva ut klorider ur betong. Därvid minskas kloridinhållet i betongen, särskilt i närheten av armering.

Vid kloridutdrivningen tillämpades ett intermittert förfarande som innebär att den elektriska strömmen avstänges med vissa mellanrum för sk viloperioder. Orsaken till detta metodval var att tidigare erfarenhet visat att kloridjonflödet som avtar med utdrivningstiden kan fås att öka på nytt efter en tids avstängning. Den avgjort största minskningen av kloridjonflödet inträffade under den första av de fyra utdrivningsperioderna på vardera två veckor. Under den senare halvan av kloridutdrivningen förblev kloridhalterna oförändrade ovanför överkantsarmeringen.

Minskningen av kloridhalten är störst närmast och mitt över armeringsjärnen i övre armeringslagret, särskilt för den största strömstyrkan 1,3 amp/m². I snitt mitt emellan armeringsstängerna är minskningen liten strax efter det att utdrivningen avslutats. Först efter ett halvårs utjämnning hade kloridjonhalterna minskat i dessa områden. Utjämnning kan ske i olika riktningar.

Tre olika storlekar på strömstyrkor användes, nämligen 0,7, 1,0 och 1,3 amp/m² beräknat på plattarean. Ju större strömstyrka som har verkat desto mindre blev kvarvarande kloridhalt såväl intill armeringsstängerna som mitt emellan dessa. I några fall har avvikelser erhållits som troligen skulle kunna förklaras med variation i såväl betongmaterial som kloridtransportbetingelser.

Utdrivningen av klorider är beroende av hur stor kloridjonhalt betongen innehöll vid starten av utdrivningen. Vid låga kloridhalter, såsom 0,2 % Cl⁻/C, registrerades knappast någon minskning av kloridhalterna. Även vid initialhalter av 0,7 % Cl⁻/C var minskningen obetydlig. Först vid 2 % initial kloridhalt blev kloridutdrivningen effektiv.

Det har inte varit möjligt att minska kloridhalterna under 0,6 % Cl⁻/C då initialhalterna varit 0,7 % Cl⁻/C och större. Endast närmast ovanför armeringen, för 2 % initial kloridhalt och strömstyrkan 1,3 amp/m², har kloridhalterna kunnat minskas till mindre än 0,4 % Cl⁻/C strax efter kloridutdrivningen.

Utjämnning av kloridjonhalterna tycks inträffa med tiden efter en kloridutdrivning. Detta utjämnning har konstaterats efter cirka ett

halvår. Hög fuktinnehåll i betongen bör underlätta utjämningen. Diffusiviteten av klorjoner i betong har bestämts med en icke stationär metod. Därigenom erhöles värden på kortare tid än vid andra metoder som kräver mycket lång tid tills konstanta förhållanden uppnåtts. I försöken finns det inget som tyder på att kloriddiffusiviteten ökat efter kloridutdrivningen, betongen har snarare blivit tätare. Då betongens ålder vid provningen var ganska ung kan en viss hydratisering fortfarande ha pågått som resulterat i tätare betong.

Diffusiviteten för betongtyper som använts som reparationsmaterial vid pågjutning och efter bortbilning av kloridbemängd betong, är avsevärt lägre än hos den ursprungliga betongen. Detta var att vänta eftersom vattencementtalet hos reparationsbetongen var 0,40 jämfört med 0,57, 0,60 och 0,72 i den gamla betongen. Ersättning av en del av portlandscementet med mald granulerad masugnsslagg har visat sig minska diffusiviteten med avseende på klorjoner. För 60 % slagginnehåll i bindemedlet var diffusiviteten endast en femtedel av diffusiviteten för ren portlandscement.

Kalciumhalterna i betongen visade sig inte entydigt ha förändrats till följd av kloridutdrivningen. Den spridning som förekom kring beräknad halt bör till stor del vara föranledd av normala variationer i betongens cementhalt.

Desorptionisotemer som bestämts i området mellan 42 och 85 % relativa luftfuktigheter visar endast parallellförskjutning efter kloridutdrivning. Denna förskjutning kan orsakas av olika cementpastavolymer, av strukturförändringar i cementgelen eller av olika hydrationsgrad. Sannolikt är det den först nämnda orsaken. Av desorptionisotermernas förlopp finns emellertid inget som tyder på förändringar i kapillärstrukturen.

Provnigen av den kapillära vattensugningen antyder att betongen snarare blivit tätare efter kloridutdrivningen än uppluckrad.

Vid studier av betongtunnslip har inte konstaterats någon sprickbildning efter kloridutdrivning, varken i betong med eller utan klorid.

Förankringshållfastheten för armeringsstänger ingjutna i betong bestämd med utdragsprov har visat skillnad mellan betong som utsatts för kloridutdrivning och obehandlad betong. Släppkraften då förskjutning av den fria armeringsänden relativt betongen kunde uppmätas var 3 gånger så stor som för obehandlad betong. Maximal utdragskraft var för betong som genomgått kloridutdrivning cirka 70 % av utdragskraften för obehandlad betong.

Avtryck av armering i kloridbemängd betong efter kloridutdrivning kvarlämnar en mörkfärgning som inte normalt uppträder i betong. Någon slags förändring har inträffat vid stållytan.

Vid bedömning av resultaten från redovisade försök bör hänsyn tas till att de genomförts under laboratorieförhållanden. Sålunda kan t ex klorider som tillförts den färska betongen tänkas uppföra sig annorlunda än de som trängt in på naturligt sätt genom yttre miljöpåverkan. Tillsatta klorider skulle eventuellt vara svårare att driva ut på elektrokemisk väg. I verkligheten har det inte varit ovanligt att kalciumklorid tillsatts den färska betongen som accelerator exempelvis vid gjutning vintertid.

Slutligen bör påpekas att betongen under försöksperioden har varit förhållandevis ung. En viss hydratisering kan möjligtvis ha pågått och försvårat rörligheten hos kloridjoner.

LITTERATUR

AASHTO, Standard Method of Sampling and Testing for Total Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials, American Association of State Highway and Transportation Officials, Designation: T260-84.

Bergström, S. Möller, G. Samuelsson, P. 1987. Betonghandbok, Reparation, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm.

Berthagen, L. 1989. Katodiskt skydd av armering i betongkonstruktioner, Nordisk betong, 5-1989.

Beständiga betongkonstruktioner, betongrapport nr 1, 1991, Svenska Betongföreningen.

Camitz, G. Pettersson, K. 1991. Katodiskt korrosionsskydd av stålarmring i betongkonstruktioner, Korrosionsinstitutet, bulletin nr 103, Stockholm.

Erlien, O. Rösman, S. 1991. Kloridutdrivning - ekonomiskt alternativ till bilning, Betong, mars 1991, p 17-19.

Fagerlund, G. Betongkonstruktioners beständighet, 1987. Cementa, Danderyd.

ForTek Seminarium, 1990. Desalinerings - Realkalisering, Elektrokemisk metod att driva ut klorider resp. höja pH-värdet i armerad betong, Göteborg.

Green, W. Treadaway, K. "Elektrochemical rehabilitation of concrete: chloride extraction and realkalisation", University of Oxford 1991.

Green, W. Pocock, D. "Practical aspects of concrete repair and cathodic protection, including quality control", University of Oxford 1991.

Gunnarsson, U. 1984. Skador på parkeringsdäck av betong, inventering, besiktning och åtgärdsprogram, Byggeforskningsrådet, R35:1984, Stockholm.

Johansson, L. Reparation och underhåll av betongkonstruktioner, 1991 Byggaren, 6 okt. 1991 p 6-9.

Karlsson, F. 1990. Kloridutdrivning ur betong, Nordisk Betong 4 - 1990, p 20-23.

Kjellser, O. Pettersson, K. 1992. Betongskador hos parkeringshus och garage – reparationsmetoder, Bygg & Teknik 7-8, 1992.

Kutti, T. Luping, T. 1990. Parkeringsdäck av betong, skadestatus och reparationsbehov, reparationsmetoder, FoU-Väst, Rapport 9104, Göteborg.

Manning, D.G. & Pianca, F., Electrochemical Removal of Chloride Ions from Reinforced Concrete: Initial Evaluation of the Pier S19 Field Trial, The Research and Development Branch, Ontario Ministry of Transportation, Documentation MAT-90-14, p 22, Dec. 1990.

Miller, J. 1990. Electro-chemical desalination of concrete, NCT International seminar 1990.

Miller, J. 1990. Electro-chemical re-alkalisation of concrete, NCT International seminar 1990.

Miller, J.B. & Poulsen, E., Electro-kemisk chloridutdrækning af beton Dansk Betong, no 3, 1988.

Murray, M. 1992. Reclamation of a failing parking garage, Concrete International, sept. 1992, p 48-51.

Nehil, T. 1991. Rehabilitating parking structures with corrosion - damaged butten-headed post-tensioning tendons, Concrete International 8/91.

Nilsson, L. O. 1990. Parkeringsdäck av betong, skadestatus och reparationsbehov, reparationsmetoder, inventering av P-husbeståndet i Göteborg, FoU-Väst, Rapport 9103, Göteborg.

Tang, L. & Nilsson, L-O., Rapid Determination of Chloride Diffusivity of Concrete by Applying an Electric Field, ACI Material Journal V. 49, No. 1, pp 49-53, Jan/Feb. 1992.

Tang, L., A Simple Method for Preparing Reference Concrete Containing Chlorides, Nordiskt miniseminarium, Kloridinträngning i betongkonstruktioner, 13 - 14 Jan 1993, Byggnadsmaterial, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.

Vidarsson, H. 1990. Katodiskt skydd - Betong, Bergsoe Anti Corrosion, Landskrona /publicerad stencil/.

Vidarsson, H. Gartz, M. 1992. Katodiskt korrosionsskydd av betongkonstruktioner, Bygg & Teknik 7-8, 1992.

FoU-VÄST

Sedan 1981 har FoU-Väst, som är ett utskott inom Byggmästareföreningen Väst, varit verksamt i ett flertal utvecklingsprojekt av olika karaktär.

Målet med gruppens verksamhet är

- att initiera och medverka i för västsvenska byggföretag angelägen FoU-verksamhet antingen gemensamt eller i enskilt företag*
- att bidra till förbättrad information om avslutad, pågående och planerad FoU*
- att med utgångspunkt från den kunskapsuppbyggande verksamhet som ovanstående ger söka nyttiggöra resultaten av verksamheten i produktion och utbildning*
- att verka främjande för landets utvecklingsverksamhet på byggområdet*
- att skapa goda kontakter och utöka samarbetet med högskolorna, främst Chalmers Tekniska Högskola*
- att med Chalmers Teknikpark som instrument verka för genomförandet av ovanstående*

Gruppens funktion som referensgrupp är värdefull såväl för det enskilda företaget som för de övriga inom gruppen som för anslagsgivaren.

Ledamöter

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Rune Augustsson, ordf.
<i>F O Peterson & Söner Byggnads AB
031/80 59 00</i> | <input type="checkbox"/> Jan-Olof Johansson
<i>Platzer Bygg AB
031/776 40 00</i> |
| <input type="checkbox"/> Kjell Axelson
<i>Stab AB
031/14 06 00</i> | <input type="checkbox"/> Ingvar Olofsson
<i>Skanska AB
031/771 10 00</i> |
| <input type="checkbox"/> Sune Almqvist
<i>Lambertssons Byggmaskiner AB
031/99 60 00</i> | <input type="checkbox"/> Nils-Olof Sandell
<i>Betongsprutnings AB BESAB
031/52 09 00</i> |
| <input type="checkbox"/> Lennart Apleberger
<i>NCC Bygg AB
031/771 50 00</i> | <input type="checkbox"/> Carl-Gustaf von Schmalensée
<i>JM Byggnads- och Fastighets AB
031/35 90 40</i> |
| <input type="checkbox"/> Bo Carlsson
<i>Färdig Betong Göteborg AB
031/18 71 10</i> | <input type="checkbox"/> Lars Enderlein
<i>Byggmästareföreningen Väst
031/20 04 60</i> |
| | <input type="checkbox"/> Pär Åhman, sekr.
<i>Byggmästareföreningen Väst
031/20 04 60</i> |

R1:1994

ISBN 91-540-5610-1
Byggeforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6814001
Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 101 kr inkl moms