

# **Betongtäcksiktets inverkan på sprickinducerad korrosion**



**Tobias Johansson, Daniel Johansson**

---

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Lund Universitet, 2008

Avdelningen för Konstruktionsteknik  
Lunds Tekniska Högskola  
Box 118  
221 00 LUND

Department of Structural Engineering  
Lund Institute of Technology  
Box 118  
S-221 00 LUND  
Sweden

## Betongtäcksiktets inverkan på sprickinducerad korrosion

Effect of concrete cover on crackinduced corrosion

Tobias Johansson  
Daniel Johansson

2008

Rapport TVBK-5165  
ISSN 0349-4969  
ISRN: LUTVDG/TVBK-08/5165+60p

Examensarbete  
Handledare: Kristian Tammo  
Juni 2008

## **Förord**

Examensarbetet, 20 poäng, har genomförts på avdelningen för konstruktionsteknik vid Lunds tekniska högskola.

Vi vill tacka vår handledare Kristian Tammo för god handledning och värdefulla synpunkter under arbetets gång. Vi vill också tacka Per-Olof Rosenkvist och Bo Johansson för all praktisk hjälp vi fått vid våra försök.

Lund Juni 2008

Tobias Johansson

Daniel Johansson



## Sammanfattning

Titel:	Betongtäcksiktets inverkan på sprickinducerad korrosion
Författare:	Daniel Johansson och Tobias Johansson.
Handledare:	Kristian Tammo, doktorand vid Lunds tekniska högskola.
Problemställning:	Nya konstruktioner är dimensionerade för livslängder på minst 50 år. För betongkonstruktioner är armeringskorrosion ett stort problem som kraftigt kan reducera livslängden. Huvudorsakerna till armeringskorrosion anses vara kloridinträngning och karbonatisering. Det enklaste och effektivaste sättet att minska korrosionsrisken är att använda stora täcksikt. Användandet av större täcksikt resulterar dock i svårigheter att klara dagens krav på maximalt tillåtna sprickvidder. Forskning tyder på att sprickvidden vid armeringsnivå är mer eller mindre konstant oavsett sprickvidden vid betongytan. Det finns därför en möjlighet att tillåta större sprickvidder vid betongens yta vid användande av stora täcksikt än vad dagens normer tillåter.
Syfte:	Examensarbetet ska ge klarhet i huruvida ett tjockare täcksikt fördröjer korrosionen i armeringsjärnen i en uppsprucken betongkonstruktion trots det faktum att sprickvidderna blir större.
Metod:	Betongbalkar med varierande täcksikt och armeringsdiameter provas. Balkarna momentbelastas så att en bestämd stålspänning uppnås. De belastade betongbalkarna exponeras därefter för klorider i form av en 10 % saltvattenlösning (NaCl). Initieringstiden, d.v.s. den tid det tar för korrosionen att sätta igång, mäts m.h.a. en halvcellsmätare för att uppskatta korrosionsrisken.
Slutsats:	Vid kloridbelastning underifrån ökar initieringstiden för korrosion med täcksiktet, trots ökande sprickvidder. Kloridbelastning ovanifrån ger en kortare initieringstid än angrepp underifrån. En stor stålspänning ger en kortare initieringstid. Armeringsdiameter har inget samband med initieringstiden.
Nyckelord:	Korrosion, betong, spricka, sprickvidd, täcksikt



## Summary

- Title:** Effect of concrete cover on crack induced corrosion
- Authors:** Daniel Johansson and Tobias Johansson
- Supervisor:** M.Sc. Kristian Tammo
- Problem:** New constructions are dimensioned for a lifespan of at least 50 years. Corrosion in the reinforcement of concrete constructions is a big problem and can reduce the lifespan significantly. Chloride ingress and carbonation are considered as two of the main reasons, which can lead to corrosion in the reinforcement. The easiest and most effective way to prevent these two phenomenon is to use large concrete covers. Large concrete covers will result in difficulties with current crack width requirements. The reason for this is that large concrete covers induce large crack widths at the concrete surface, which is considered as harmful for the durability. However, research indicates that crack widths close to the reinforcement are almost independent of the concrete cover. Therefore it can be possible to allow larger concrete covers and larger crack widths at the surface than current crack codes predict.
- Objectives:** The report shall clarify if large concrete covers will slow down or prevent corrosion in the reinforcement of a cracked concrete beam, even if the crack widths is large.
- Methods:** Concrete beams with varying concrete covers and reinforcement diameters are tested. The beams will be loaded in bending to induce cracks. The cracked beams are then exposed to 10% saltwater solution (NaCl) to induce chloride ingress and reinforcement corrosion. The initiation time, which is the time it takes before the corrosion begins, will be measured with half-cell technique to estimate the corrosion risk.
- Conclusions:** For chloride exposure from below the initiation time increases with larger concrete cover, even if the crack widths are larger. Chloride exposure from above induces shorter initiation time than chloride exposure from below. Large steel stress induces short initiation time. There is no relation between initiation time and reinforcement diameter.
- Keywords:** Corrosion, concrete, crack, crackwidth, concrete cover





## Innehållsförteckning

1 Inledning.....	1
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Syfte.....	1
1.3 Metod.....	1
1.4 Avgränsningar.....	1
1.5 Frågeställning.....	2
2 Armeringskorrosion.....	3
2.1 Armeringskorrosion på grund av karbonatisering.....	4
2.2 Armeringskorrosion på grund av kloridinträngning.....	6
2.3 Livslängd för en betongkonstruktion.....	7
3 Sprickor i betong.....	8
3.1 Mikrosprickor.....	8
3.2 Sättsprickor.....	8
3.3 Temperatursprickor.....	9
3.3 Krympsprickor.....	9
3.4 Sprickor p.g.a. armeringskorrosion.....	10
3.5 Yttre last.....	10
3.6 Sprickvidder.....	10
4 Mätteknik.....	13
4.1 Halvcell.....	13
4.2 Sprickmikroskop.....	13
4.3 Lastcell.....	13
5 Försök.....	14
5.1 Provkroppar.....	14
5.2 Tillverkning av provkroppar.....	14
5.3 Provtryckning av kuber.....	15
5.4 Tryckning av balkar.....	15
5.5 Placering i riggar.....	18
5.7 Okulär korrosionsbedömning.....	20
6 Resultat.....	21
6.1 Tryckhållfasthetsförsök.....	21
6.2 Sprickvidder.....	21
6.3 Korrosionsmätningar.....	21
6.4 Ospruckna balkar.....	29
6.5 Okulär korrosionsbedömning.....	30
7 Analys och diskussion.....	33
8 Slutsatser.....	34
9 Referenser.....	35
Appendix A – Korrosionsmätningar.....	36
Appendix B – Bilder.....	43



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Då nya betongkonstruktioner skall uppföras ställs höga krav på livslängd och kvalitet. Livslängden på en ny konstruktion förväntas vara minst 50 år. En starkt bidragande orsak till ökad livslängd är ett tjockt betongtäcksikt. Ett tjockt täcksikt skyddar armeringen från både karbonatisering och kloridinträngning, som båda är vanliga orsaker till korrosion i armeringen. Användandet av stora täcksikt leder dock oftast till stora sprickvidder på betongytan då konstruktionen belastas. Enligt dagens normer blir sprickvidden ofta den begränsande faktorn med hänsyn till korrosion, då stora sprickvidder anses öka risken för armeringskorrosion. Slutresultatet vid en projektering blir därför ofta att en stor mängd extra armering måste användas för att klara kraven på tillåten sprickvidd och att mindre täcksikt väljs. Forskning tyder dock på att sprickvidden vid armeringens nivå är mer eller mindre konstant oavsett sprickvidden vid betongytan. Det finns därför en möjlighet att tillåta större sprickvidder vid betongens yta vid användande av stora täcksikt än vad dagens normer tillåter. Ett tjockt täcksikt skulle då trots ökade sprickvidder vara gynnsamt mot korrosion och kunna leda till längre livslängder för konstruktioner.

## 1.2 Syfte

Att utreda om ett tjockare täcksikt fördröjer korrosionen av armeringsjärn i en uppsprucken betongkonstruktion trots att sprickvidderna blir större. I examensarbetet ska också inverkan av kloridbelastningens riktning studeras, d.v.s. om kloriderna angriper balken uppifrån eller nedifrån. Examensarbetet ska även ge klarhet i huruvida ett samband mellan stålspänning och korrosion existerar och om ståldiametern påverkar korrosionsrisken.

## 1.3 Metod

Ett stort antal balkar med varierande täcksikt och armeringsdiameter tillverkas. Balkarna momentbelastas så att en förbestämmd stålspänning uppnås. Sprickvidden mäts på de sprickor som uppstår. De belastade betongbalkarna exponeras därefter för klorider i form av en 10 % saltvattenlösning (NaCl). Initieringstiden, d.v.s. den tid det tar för korrosionen att sätta igång, mäts m.h.a. en halvcellsmätare. Halvcellsmätaren kopplas ihop med en voltmeter och den elektriska spänning som uppstår vid korrosion i armeringen mäts. När den elektriska spänningen överstiger givna gränsvärden kan korrosion i järnen antas med stor sannolikhet. Efter mätperioden tas järnen ut ur betongen för att kontrollera om järnen är rostskadade och i så fall i vilken omfattning.

## 1.4 Avgränsningar

Balkarna i försöken är av betongkvalité C20/25. Tre olika täcksikt används i försöken, 20 mm, 40 mm och 60 mm. Armeringen som används är B500B med diametern Ø8 eller Ø12. Balkarna momentbelastas så att stålspänningar på 250 MPa eller 380 MPa uppkommer. Balkarna kloridbelastas med en saltlösning (10 % NaCl). Åtta balkar används som referens och momentbelastas inte under kloridbelastningen. Fyra av de åtta referensbalkarna är helt ospruckna.

## **1.5 Frågeställning**

Examensarbetet skall ge större förståelse för:

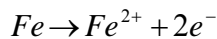
- Täcksiktets betydelse för korrosionsrisken i spruckna balkar
- Stålspanningens betydelse för armeringkorrosion i spruckna balkar
- Sprickviddens betydelse vid korrosion.
- Betydelsen av kloridbelastningens angreppspunkt, d.v.s. om kloriderna angriper ovanifrån eller underifrån.

## 2 Armeringskorrosion

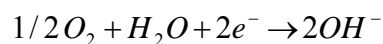
Armeringskorrosion är ett av de största problemen för betongkonstruktioner. Då armeringen börjar korrodera minskar konstruktionens funktion och hållfasthet avsevärt.

Betongkonstruktioner har dock ett bra skydd mot korrosion eftersom armeringen till en början befinner sig i en högalkalisk miljö med pH över 12,5. Den höga alkaliteten i betong beror främst på närvaron av natriumhydroxid, kaliumhydroxid och kalciumhydroxid, som är restprodukter från cementreaktionen. Vid större mängd cement erhålls en större mängd hydroxider. (Fagerlund 1992) Hydroxiderna finns i ett fritt tillstånd i porvattnet och då de reagerar med armeringsjärnet skapas ett tunt oxidskikt på järnet. Oxidskiktet bidrar till en skyddande effekt genom att förhindra att stålet kommer i kontakt med fukt, syre och klorider. Armeringen försätts därigenom i ett passivt tillstånd med ett fullgott skydd mot korrosion. Karbonatisering och kloridinträngning är två mekanismer som kan bryta det passiva tillståndet och tillåta syre att komma i kontakt med stålet och därigenom orsaka korrosion. (Burström 2001)

För att korrosion ska fortgå krävs förutom tillgång till syre två andra faktorer, en potentialskillnad och en elektrolyt. Potentialskillnad kan uppstå av olika anledningar. En till synes homogen metall kan ha naturliga potentialskillnader då metall består av korn och kristaller där de olika sammansättningarna ger skillnader. Även en variation i elektrolytens syrehalt kan skapa potentialskillnader. Porvattnet i betongen fungerar som en elektrolyt. För att erhålla en god elektrolytisk ledningsförmåga krävs därför att betongen är tillräckligt fuktig. Med alla tre faktorerna närvarande skapas en katod och en anod på järnet. (Burström 2001) Vid anoden sker följande reaktion:



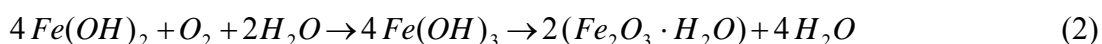
En del järnatomer blir här positivt laddade, de negativt laddade jonerna som frigörs vandrar i järnet till katoden. Vid tillgång till syre avger katoden sitt överskott av negativa elektroner till elektrolyten. Nedan visas katodreaktionen:



De negativt laddade OH-jonerna som bildas söker sig sedan via elektrolyten till anoden där följande reaktion sker:



I huvudsak finns två olika typer av rostprodukter. Svart- grönaktig som bildas i en syrefattig miljö, se (1), och röd- brunaktig som bildas från den svarta rosten om den befinner sig i syrerik miljö. Skillnaden mellan dessa är framförallt rostprodukternas volymökning. Den röda rosten ökar upp till ca fyra gånger sin ursprungsvolym vilket motsvarar två gånger den svarta. Den svarta utgör därför ett mindre hot gentemot spjälkning av betong men kan ändå anses farlig då den är svårare att upptäcka och kan leda till oförutsedda brott. (Burström 2001) Omvandling från svart till röd rost vid god syretillgång sker enligt reaktion (2) nedan:



## 2.1 Armeringskorrosion på grund av karbonatisering

Karbonatisering innebär att koldioxid från luften tränger in i betongen och reagerar med hydroxiderna. Det tidigare höga pH-värdet sjunker till strax under pH 9. Följande formel visar den kemiska reaktionen vid karbonatisering:



Produkten som bildas är kalciumkarbonat och reaktionen skapar en tämligen väldefinierad front som sakta tränger allt djupare in i betongen. När fronten når armeringsjärnet kan korrosionen starta p.g.a. att det låga pH-värdet bryter det passiva tillståndet, se inledning kapitel 2.

Korrosionshastigheten beror helt på hur snabbt syre kan tränga in i betongen. Under ogynnsamma fukt- och syreförhållanden kan hastigheten vara avsevärt större än på ett frilagt järn. Det beror på att det ingjutna järnet även erhåller en differens i pH eftersom järnet på den okarbonatiserade sidan ännu befinner sig i en miljö med högt pH. (Fagerlund 1992)

### 2.1.1 Karbonatiseringshastighet

Koldioxid tränger in i betong via diffusion. Det innebär att en tätare betong med lägre diffusionskonstant hjälper till att minska karbonatiseringshastigheten. Förhållandet mellan vatten- och cementmängd, även kallad vct, har stor betydelse för betongens täthet då en stor cementmängd ger ett finare porsystem och en tätare betong.

Fukthalten, som beror av den relativa fuktigheten, i täcksiktet har stor betydelse eftersom diffusion av gaser sker långsammare i vatten. (Nevander, Elmarsson 1994) Den maximala karbonatiseringshastigheten nås vid en relativ fuktighet mellan 50 till 60 % vilket motsvarar en normal inomhusmiljö. (Fagerlund 1992)

I cementtyper med stor mängd kalk minskar karbonatiseringshastigheten eftersom det är mer material som kan reagera med koldioxiden. Portlandcement innehåller inte mineraliska tillsatsmedel och har därför en större kalkhalt, vilket minskar karbonatiseringshastigheten.

Koldioxidhalten vid betongytan är ytterligare en avgörande faktor för karbonatiseringshastigheten då en högre halt innebär en snabbare förbrukning av hydroxiderna i betongen.

Fukthärdningen av betongen före karbonatisering är också viktigt. En alltför snabb uttorkning av täcksiktet innebär ofta en ökad permeabilitet. I värsta fall kan täcksiktet anses förlorat redan innan konstruktionen tagits i bruk. (Fagerlund 1992)

### 2.1.2 Karbonatiseringsdjup

Karbonatiseringsfronten är ofta en ojämn front där t.ex. ytsprickor kan leda till att djupare partier förekommer. På vissa ställen kan karbonatiseringsdjupet vara upp till tre gånger så djupt som medeldjupet. Små partier där karbonatiseringsdjupet är större än medel utgör oftast inga problem eftersom betongen kan återalkaliseras. Återalkalisering sker via indiffusion av alkali från intilliggande okarbonatiserad betong. Vid stora partier med djupare karbonatisering försvåras därmed återalkaliseringen. De djupare lokala partierna resulterar i att armeringskorrosionen sker lokalt. Det maximala karbonatiseringsdjupet blir därmed dimensionerande med avseende på livslängd. Om en betongkonstruktion befinner sig i en

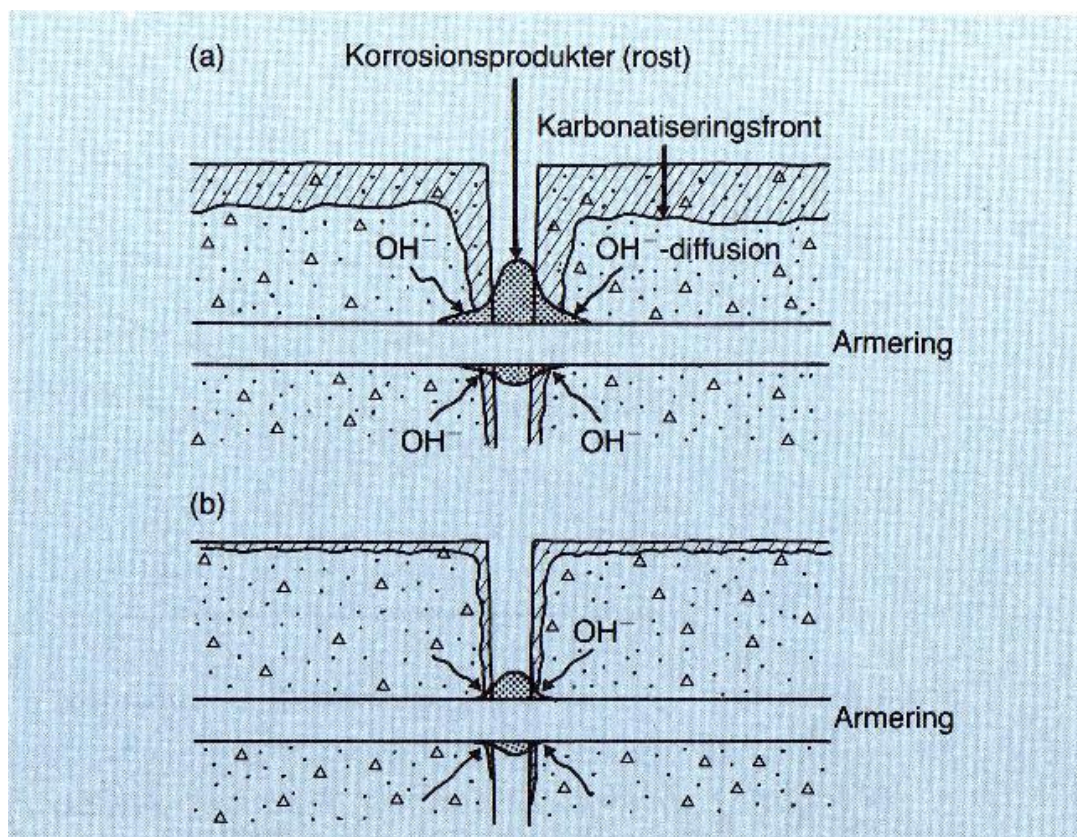
miljö där yttre omständigheter hålls mer eller mindre konstanta kan karbonatiseringsdjupet beräknas teoretiskt med hjälp av följande formel. (Fagerlund 1992)

$$x = k \cdot \sqrt{t}$$

Djupet fås av  $x$ ,  $k$  är en konstant beroende av variabler som återalkalisering och  $t$  är tiden. En begränsning för formeln är att fältstudier visat att ett asymptotiskt gränsvärde ibland inträder. Det här kan förklaras av två saker, det ena är motdiffusion av alkali från betongens inre, som skapar en balans gentemot den inträngande koldioxid. Det andra är att varje uppfuktning gör att karbonatiseringen avstannar, se kapitel 2.1.1. Desto djupare karbonatiseringsfronten har nått, ju längre tid tar det för betongen att återigen torka upp och därmed starta karbonatiseringsprocessen på nytt. I bästa fall infaller det här gränsvärdet inom täcksiktet, vilket då ger konstruktionen en väldigt lång livstid. (Fagerlund 1992)

### 2.1.3 Korrosion på grund av sprickor

Undersökningar (Schiessl 1975) visar att sprickor har föga betydelse på korrosionsgraden så länge klorider inte förekommer. I försöken uppmättes korrosionsdjupet som funktion av sprickvidden efter 10 år i en kloridfri miljö. Försöken visade att korrosionsgraden är oberoende av sprickvidden. Karbonatiseringen i sprickan gör att armeringskorrosion startar ganska omgående, men korrosionsprodukterna som bildas hjälper till att tätas sprickan och kort därefter återalkaliseras betongen. Ett lågt vct är att föredra eftersom den karbonatiserade sprickzonen blir smalare, se figur 2.1. (Fagerlund 1992)



**Figur 2.1** Korrosion i sprickor. Återalkalisering.

(a) Högt vct

(b) Lågt vct

(Fagerlund 1992)



## **2.2 Armeringskorrosion på grund av kloridinträngning**

Tiden det tar för armeringen att börja korrodera på grund av att klorider tränger in i betongen beror av tre faktorer, kloridkoncentrationen vid betongytan, betongens tröskelnivå för fria klorider och transporthastigheten av kloridjoner. (Fagerlund 1992)

### **2.2.1 Yttre kloridkoncentration**

Betongkonstruktioner i havsvatten är de mest utsatta då de konstant utsätts för klorider. Den största anrikningen återfinns vid plaskzonen, den del av konstruktionen som befinner sig just ovanför vattenytan. I plaskzonen flödar vatten både in och ut ur betongen där flödets storlek bestäms av betongens täthet.

Även tösaltning utsätter konstruktioner för kloridangrepp, men då angreppen enbart sker periodvis, vilket är en gynnsam faktor, leder det sällan till större korrosionsangrepp.

Betongkonstruktioner som inte utsätts för yttre kloridangrepp kan också utgöra problem, men då i kombination av befintliga klorider i betongen och karbonatisering. Enligt svenska betongbestämmelser får t.ex. en cementpasta maximalt innehålla 1,5 vikt-% kalciumklorid. När betongen härdar binds en stor del av kloriderna dels kemiskt av cementet och dels på porväggarna genom adsorption. Problemen uppstår när betongen börjar karbonatisera eftersom betongen då förlorar sin förmåga att binda upp kloriderna. Karbonatiseringsfronten frigör och skjuter kloriderna framför sig. Därmed ökar kloridhalten successivt ju djupare in i betongen karbonatiseringen når. En liten koncentration av klorider i täcksiktet kan därför leda till en stor koncentration djupare in i betongen. (Fagerlund 1992)

### **2.2.2 Tröskelnivå**

En betongkonstruktions tröskelnivå för att stå emot korrosion beror av hur tät betongen är och hur mycket negativa hydroxidjoner som finns i porvattnet. Korrosionen startar då tillräckligt stor halt av fria klorider finns intill armeringsjärnets yta. Kloridjoner och hydroxidjoner vill båda adsorbera på stålets yta. Så länge hydroxidjonerna klarar att tränga bort kloridjonerna kommer ingen korrosion att ske.

Enligt Hausmann (1967) kommer korrosion att initieras när förhållandet mellan kloridjoner och hydroxidjoners koncentration är lika med eller över 0,6. En hög halt hydroxidjoner höjer alltså betongens tröskelnivå.

För att höja denna halt kan en betong med lågt vct användas. Då erhålls en högre koncentration av hydroxidjoner och ett tätare porsystem som gör det svårare för kloridjonerna att nå järnet, se kapitel 2.1. Den tätare strukturen minskar också den möjliga adsorptionsytan på armeringsjärnet. Det ska dock även tilläggas att korrosion kommer att ske oberoende av hur hög hydroxidkoncentrationen är om kloridkoncentrationen överstiger 21 g/l. (Tuutti 1984)

### **2.2.3 Transporthastighet**

Klorider transporteras genom betong via diffusion. Vid hög yttre kloridbelastning kommer betongen alltid att eftersträva en balans i kloridhalt. För att ge konstruktioner längre livslängd kan diffusionshastigheten begränsas bl.a. genom att använda en tätare betong med lågt vct och rätt sorts cementtyp. Slaggcement står emot kloridinträngning bäst då det har en stor förmåga att binda upp kloriderna. Nackdelen med slaggcement är att den innehåller sulfider som främjar korrosion och bör därför inte användas i armerade konstruktioner. Den mest använda

cementtypen vid stora armerade konstruktioner är anläggningscement som också har en bra förmåga att binda klorider och därigenom minska diffusionshastigheten. (Fagerlund 1992)

### **2.3 Livslängd för en betongkonstruktion**

Livslängden på en konstruktion kan delas upp i två skeden, initieringstiden och propageringstiden. Initieringstiden är den tid det tar för bl.a. klorider och karboniseringsfronten att nå armeringen och därigenom initiera korrosionen. Propageringstiden är den efterföljande tiden då korrosion redan initierats och korrosionsskadorna utvecklas.

Dålig vidhäftning innebär att järnet redan är depassiverat från start och att konstruktionens livslängd då enbart bestäms av propageringstiden vilket ger en kortare livslängd. (Fagerlund 1992) God vidhäftning mellan armeringsjärn och betong erhålls genom att t.ex. komprimera betongen väl.

Under propageringstiden bildas korrosionsprodukter som upptar större volym än det ursprungliga järnet i betongen, se inledning kapitel 2. Korrosionshastighet och acceptabel korrosionsgrad är helt avgörande för den totala livslängden. Livslängden anses ofta vara slut när sprängning av täckskikt sker, men även en minskning av armeringsarean kan bli den avgörande faktorn. Eftersom det okulärt kan vara svårt att under propageringstiden bedöma om en konstruktion är försvagad, se inledning kapitel 2, är det ofta initieringstiden som bestämmer livslängden på en betongkonstruktion.

### 3 Sprickor i betong

Då betong har låg draghållfasthet är viss sprickbildning oundviklig. Sprickors inverkan anses endast vara av liten betydelse för konstruktionens funktion. Sprickornas storlek anses däremot behöva regleras för att säkerställa konstruktionens livslängd. Faktorer som tas i beaktning är främst bärighet och säkerhet mot armeringskorrosion.

I vissa fall önskas dock speciella egenskaper såsom vattentätthet, gastätthet och ljudisolering, vilket ställer extra krav på sprickvidden. Även de estetiska effekterna från sprickor måste beaktas där en konstruktion med stora sprickor kan ge ett osäkert intryck och skapa oro.

För korrekt dimensionerade och utförda betongkonstruktioner kommer sprickorna som uppstår således oftast vara små. Utförs konstruktionen på ett felaktigt sätt eller feldimensioneras kan dock oväntade sprickor uppkomma, som kan leda till stora problem för livslängden på konstruktionen.

#### 3.1 Mikrosprickor

Under betongens hårdnande uppstår mikrosprickor i cementpastan och i fasgränsen mellan cementpastan och ballastkornen. Sprickorna uppstår för att cementpastan har en större volymändring än ballastkornen då cementet hydratiserar. Mikrosprickor finns därför alltid i en betong, även innan någon belastning skett. Mikrosprickorna anses vara stabila och växer inte för belastningar upp till 30 % av brottslasten. Vid större belastning börjar mikrosprickorna växa i både längd, bredd och antal. Tillväxten sker långsamt och deformationen som uppstår är huvudsakligen elastisk. Vid belastning till 70-90 % av brottslasten har mikrosprickorna växt såpass mycket att ett kontinuerligt sprickmönster uppstår. Tillväxten av sprickorna är i det här spannet snabb och deformationerna mer plastiska. Belastas betongen under längre tid kan mikrosprickorna leda till brott. (Ljungkrantz et al 1994)

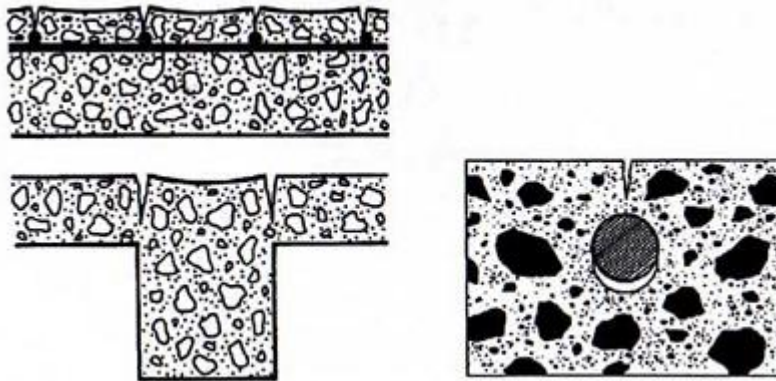


*Figur 3.1 Mikrosprickor i betong. Källa: Ljungkrantz 1994*

#### 3.2 Sättsprickor

En nygjuten betong sjunker alltid ihop, eller sätter sig, då den torkar. Det beror på vattenseparation, vilket innebär att finmaterialet i betongen inte klarar hålla kvar allt vatten. Vattnet stiger till ytan då de tyngre beståndsdelarna i betongen sjunker och därigenom pressas vattnet uppåt. (Burström 2001) Då sättning i betongen är förhindrad t.ex. vid armeringsjärn och vid sektionsovergångar kan sättsprickor uppstå. Sprickorna uppstår då betongytan har

blivit tillräckligt styv för att spaltas. Sprickdjupet för sättsprickor är normalt litet, men sprickbredden kan bli så stor som 5 mm. Sättsprickor blir mer omfattande om betongen har ett litet täcksikt. (Hellström 1974)



*Figur 3.2 Sprickor p.g.a. sättning i betong. Källa: Ljungkrantz 1994*

### **3.3 Temperatursprickor**

Temperatursprickor delas upp i två olika typer, ytsprickor och genomgående sprickor.

Ytsprickor uppstår då temperaturskillnaden mellan konstruktionens yta och mitt blir för stor. Konstruktionens yta svalnar för att uppnå en jämvikt med omgivningens temperatur. Temperaturen i mitten av konstruktionen stiger dock då cementreaktionen avger värme. Det här leder till att dragspänningar bildas vid ytan och tryckspänningar uppstår i mitten av konstruktionen. Då spänningarna överstiger betongens draghållfasthet spricker betongen. Ytsprickor uppstår huvudsakligen i grövre konstruktioner som har en tjocklek på över 0,7 m. (Ljungkrantz et al 1994) Sprickorna är oregelbundna och även relativt små, 0,01-0,1 mm och når sällan djupare än 50 mm.

Genomgående sprickor kan uppstå då temperaturförändringar i omgivningen förekommer samtidigt som betongen inte är fri att röra sig. Sprickorna kan även uppstå då betongen tillåts svalna för snabbt efter härdning. Då betongen svalnar sker en relaxation som minskar dragspänningarna som uppstår i konstruktionen p.g.a. krympning. Vid allt för snabb avsvälning hinner inte relaxationen ske i samma utsträckning och en genomgående spricka uppstår. Genomgående sprickor uppstår oftast i grova konstruktioner som t.ex. dammar, men kan i vissa fall där konstruktionen inte är fri att röra sig uppstå vid tjocklekar av 150-200 mm. (Ljungkrantz et al 1994) Sprickorna uppstår oftast vinkelrätt mot längdriktningen av konstruktionen.

### **3.3 Krympsprickor**

Krympsprickor kan uppstå då en betongkonstruktion låts torka vid en mycket låg ålder. Uttorkningen medför en plastisk krympning som i sin tur kan leda till sprickbildning. Sprickorna som uppstår kan ha varierande orientering och sprickvidden har stor variation. (Ljungkrantz et al 1994)

För att begränsa krympningen i betong hålls uttorkningshastigeten nere m.h.a. bl.a. plastfolie eller filt med hög vattenkvarhållande förmåga. En annan vanlig åtgärd är att fukthärda betongen, d.v.s. att vatten tillsätts kontinuerligt under betongens härdning.

### 3.4 Sprickor p.g.a. armeringskorrosion

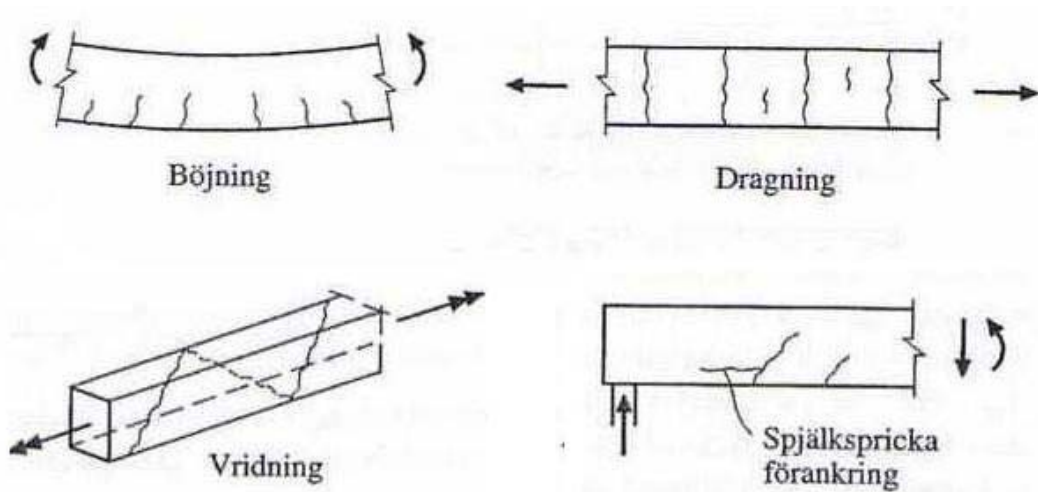
I kapitel 2.1 förklaras hur armeringskorrosion uppstår och rosten som bildas får en volymökning. Volymökningen är som tidigare nämnts ca 2-4 gånger järnets ursprungliga volym. Det här leder till att spjälkkrafter uppstår i betongen som då töjs. När tillräckligt mycket järn korroderat och töjningen i betongen överstiger gränstöjningen uppstår en spricka längs armeringen. Sprickan som uppstår växer sedan i bredd och längd och resulterar slutligen i att täcksiktet spräcks och armeringen friläggs. (Ljungkrantz et al 1994)

### 3.5 Yttre last

Eftersom betong har en låg draghållfasthet krävs det relativt små dragspänningar innan konstruktionen spricker upp. För att kompensera betongens låga draghållfasthet läggs armeringsjärn in i de delar av konstruktionen där dragspänningar uppstår. Då betongen spricker upp tar istället armeringen upp spänningen tills en jämvikt erhålls. (Engström 2005)

Vid rätt dimensionerade konstruktioner är sprickorna som uppstår p.g.a. last i regel små, oftast mindre än 0,3 mm.

Vid böjbelastade och dragna konstruktioner uppstår sprickorna vinkelrätt mot armeringen när denna är placerad i huvudriktningen. Vid vridning kan diagonala skjuvsprickor uppstå. Sprickor som uppstår parallellt med huvudarmeringen tyder på vidhäftningsproblem mellan armering och betong. (Ljungkrantz et al 1994)



Figur 3.3 Sprickor p.g.a. laster av olika slag. Källa: Engström 2005

### 3.6 Sprickvidder

I dagens dimensioneringsmetoder tas stor hänsyn till sprickvidder för skydd mot korrosion. I BBK04 avsnitt 4.5, se även 3.6.1 nedan, kan man läsa att sprickbildning skall begränsas ”om miljö- och beständighetskrav så fordrar”. Det blir då aktuellt att kontrollera sprickvidderna då betongen kan utsättas för kloridinträngningar. Sprickvidden vid betongens yta är starkt sammanhängande med konstruktionens täcksikt. Ett tjockt täcksikt leder till större sprickvidder. För att minska sprickvidden används ett mindre täcksikt och mer armering. I tidigare utförda examensarbete har sambandet mellan sprickvidder vid betongytan och sprickvidder nära armeringen utretts. Slutsatsen är att sprickvidden nära armeringsjärnen i stort sett är oberoende av täcksiktets storlek (Aronsson, Larsson 2007).

### 3.6.1 BBK 04

Sprickbreddens karakteristiska värde ( $w_k$ ), och medelvärde ( $w_m$ ) beräknas ur:

$$w_k = 1.7 \cdot w_m \quad (3.6.1a)$$

$$w_m = \frac{\sigma_s}{E_s} s_{rm} \cdot v \quad (3.6.1b)$$

$$v = 1 - \frac{\beta}{2.5\kappa_1} \cdot \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \quad (3.6.1c)$$

där

$E_s$  är armeringens elasticitetsmodul  $E_s = E_{sk} = 200$  GPa

$s_{rm}$  är sprickavståndets medelvärde enligt 3.6.1d nedan

$\beta$  är en koefficient som beaktar inverkan av långtidslast eller lastupprepning

$\beta = 1.0$  för första pålastningen

$\beta = 0.5$  för långtidslast eller mångfaldig lastupprepning

$\kappa_1$  är en koefficient som beaktar inverkan av armeringens vidhäftning

$\kappa_1 = 0.8$  för kamstänger

$\kappa_1 = 1.2$  för profilerade stänger

$\kappa_1 = 1.6$  för släta stänger

$v$  är en koefficient som beaktar medverkan av dragen betong mellan sprickor

$\sigma_s$  stålspänningen i sprickan

$\sigma_{sr}$  är värdet på  $\sigma_s$  vid beräknad spricklast, d.v.s. omedelbart efter det spricka antas ha bildats

Medelsprickavståndet i mm bestäms ur:

$$s_{rm} = 50 + \kappa_1 \kappa_2 \frac{\varnothing}{\rho_r} \quad (3.6.1d)$$

där

$A_{ef}$  är effektiv betongarea enligt figur 3.4, d.v.s. den del av dragzonen som har samma tyngdpunkt som den vidhäftande armeringen

$A_s$  är area för direkt vidhäftande dragarmering

$\kappa_2$  är en koefficient som beaktar töjningsfördelningen enligt ekvationerna 3.6.1e och 3.6.1f nedan

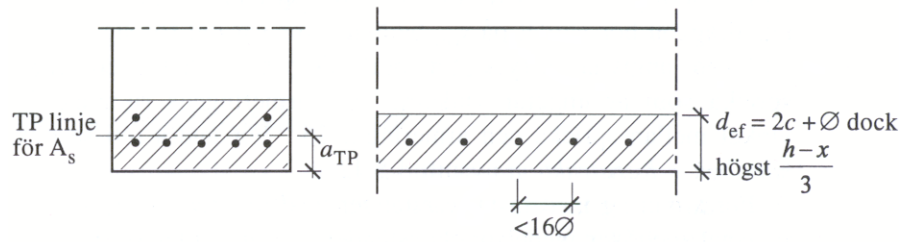
$$\kappa_2 = 0.125(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / \varepsilon_1 \quad (3.6.1e)$$

Med  $\varepsilon_1$  och  $\varepsilon_2$  enligt figur 3.5. Med beteckningen  $d_{ef}$  för höjden av effektiv betongarea  $A_{ef}$  enligt figur 3.4 och med töjningsfördelning enligt figur 3.5 kan ekvation 3.6.1e skrivas om till

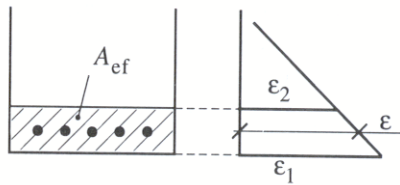
$$\kappa_2 = 0.25 - d_{ef}/(8(h - x)) \quad (3.6.1f)$$

$$\rho_r = A_s/A_{ef}$$

$\varnothing$  stångdiameter i mm



Figur 3.4. Effektiv betongarea [BBK 94 (1994)]



Figur 3.5. Töjningar  $\varepsilon_1$  och  $\varepsilon_2$  för bestämning av koefficienten  $\kappa_2$  [BBK 94 (1994)]

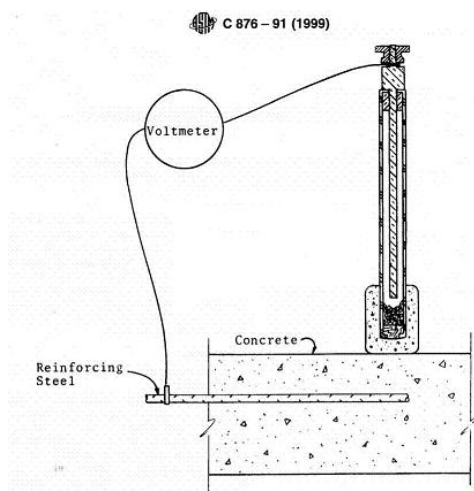
## 4 Mätteknik

### 4.1 Halvcell

I försöken uppskattas initieringstiden, d.v.s. tiden fram tills korrosionen startat. För att bestämma när korrosion förekommer i provkropparnas armeringsjärn mäts den elektriska potentialen som bildas vid korrosion med hjälp av en halvcellsmätare, se ASTM (1991). Halvcellsmätaren innehåller en konduktiv elektrod och en omgivande konduktiv elektrolyt. Kemiska reaktioner, så som korrosion, skickar elektriska laddningar mellan elektroden och elektrolyten, vilket resulterar i en potentialdifferens mellan dem.

Elektrodpotentialen hos en elektrod är svår att bestämma, därför jämförs oftast elektrodpotentialen med en s.k. referenselektrod. Referenselektroden måste då förenas med försökselektroden genom en elektrolyt, ofta en saltbrygga. Referenselektroden utgörs av en halvcell med en konstant och reproducerbar elektrodpotential. Olika referenselektroder kan användas. Vid mätningar i examensarbetet har en silver-silverkloridelektrod använts. För den är gränsvärdet för måttlig korrosionsrisk  $-0,11$  V och för stor korrosionsrisk  $-0,24$  V.

Då mätningar görs på armeringsjärn i betong krävs att betongen som järnet ligger i är såpass fuktig att en elektrisk ström kan ledas genom den. Betongen blöts därför enligt instruktioner i ASTM (2003), vilket innebar att betongen blöts 3 gånger med 5 minuters mellanrum. Då mätningen utförs fås en elektrisk spänning som ger en indikation ifall korrosion pågår i järnet eller inte.



**Figur 4.1** Halvcellsmätare. Källa: ASTM international

### 4.2 Sprickmikroskop

För att mäta sprickvidd i balkarna används ett sprickmikroskop. Med mikroskopet mäts sprickorna okulärt med en noggrannhet på  $0,05$  mm.

### 4.3 Lastcell

För att kontrollera kraften som balkarna spänns upp till i riggarna används lastceller. Lastcellerna kopplas till en dator och kalibreras innan riggarna spänns. Kraften mäts sedan med en noggrannhet på  $0,05$  %.

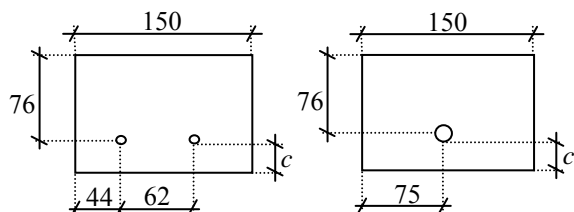


## 5 Försök

Sju olika grupper motsvarande 26 provkroppar ingick i testerna där täckskikt, armeringstjocklek och spänning i armeringen varierades.

### 5.1 Provkroppar

Provkropparna hade en längd på 1000 mm, bredden 150 mm och effektiv höjd på 76 mm. Täcksikt som testades var 20, 40 och 60 mm. Armeringsdiameter som användes var 8 mm respektive 12 mm. Placeringen på armeringsjärnen och balkarnas tvärsnitt kan ses i figur 5.1.



**Figur 5.1** Tvärsektion av testade balkar med täckskikt  $c$  på 20 mm, 40 mm och 60 mm.

### 5.2 Tillverkning av provkroppar

Formar tillverkade i trä användes vid gjutningen av provkropparna, se figur 5.2. Formarna oljades in med ett tunt lager av olja för att avformningen skulle underlättas. För att god vidhäftning skulle erhållas mellan järn och betong undveks kontakt mellan järnen och formoljan.



**Figur 5.2** Träformar för tillverkning av provkroppar.

Betongkvaliteten var C20/25 där vct var 0,77, se tabell 5.1 för mer detaljerad information. För att säkerställa betongkvaliteten gjöts även 2 kuber för varje betongsats med sidorna 150 mm. Omedelbart efter att balkarna och kuberna gjutits täcktes de med plastfolie under 24 timmar. Därefter vattenlagrades balkarna och kuberna i ytterligare 27 dagar innan testerna påbörjades. Armeringskvaliteten var B500B med den karakteristiska sträckgränsen 500 MPa.

**Tabell 5.1** *Betongrecept*

	Kg/m <sup>3</sup>
Cement	252
Sand	1263
Makadam, d<20mm	620
Vatten	194

### 5.3 *Provtryckning av kuber*

Efter 28 dygns härdning provtrycktes kuberna. Provtryckningen skedde i en kubpress, se figur 5.3. Medelvärdet av kubernas hållfasthet användes för att beräkna betongens E-modul samt kontrollera att betongen hade rätt kvalitet. Hållfasthetsvärden från respektive kuber redovisas i resultatdelen i tabell 6.1.

Nedan följer beräkningsgången för att ta fram kubhållfasthet, cylinderhållfasthet och E-modul

- (1)  $Kubhållfasthet = \frac{\text{uppmätt hållfasthet}}{A}$
- (2)  $Cylinderhållfasthet = 0.83 \cdot Kubhållfasthet$
- (3)  $E - modul = 22000 \cdot \left( \frac{Cylinderhållfasthet}{10} \right)^{0.3}$



**Figur 5.3** *Tryckning av kuber i kubpress.*

### 5.4 *Tryckning av balkar*

Balkarna i de sju grupperna utsattes efter 28 dagars härdning för böjbelastning i en MTS-maskin. För att veta med hur stor kraft balkarna skulle belastas för att uppnå önskad stålspänning beräknades varje grupp för sig enligt följande beräkningar nedan. Med stålspänningen  $\sigma_s$  som en känd variabel kunde betongspänningen  $\sigma_c$  erhållas ur (4). Betongspänningen översteg aldrig den karakteristiska tryckhållfastheten.

$$(4) \sigma_c = \frac{\sigma_s \cdot \xi}{\alpha \cdot (1 - \xi)}$$

Där  $\alpha$  är förhållandet mellan stålets och betongens E-modul och  $\xi$  ett dimensionslöst tal som erhålls ur (5).

$$(5) \xi = \frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_s}{b \cdot d} \left( \sqrt{1 + \frac{2}{\frac{E_s}{E_c} \cdot \frac{A_s}{b \cdot d}}} - 1 \right)$$

där

$A_s$  är armeringens area

$b$  är balkens bredd

$d$  är den effektiva höjden, d.v.s. avståndet mellan tryckt kant och armeringens centrum

$E_s$  är elasticitetsmodulen för stålet

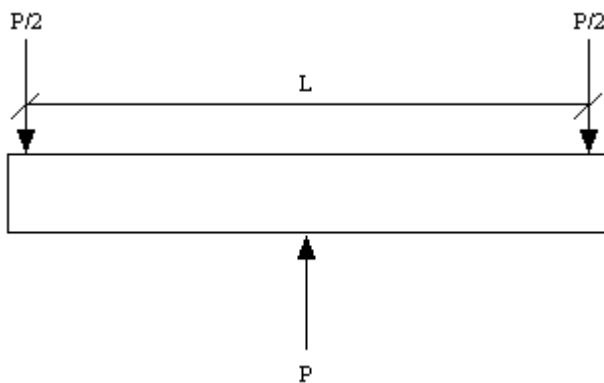
$E_c$  är elasticitetsmodulen för betongen

Momentet som balken skall belastas med räknas ut m.h.a. (6)

$$(6) M = 0,5 \cdot \sigma_c \cdot b \cdot \xi \cdot d^2 \cdot \left( 1 - \frac{\xi}{3} \right)$$

Kraften som skall verka i mitten av balkarna blir då enligt (7)

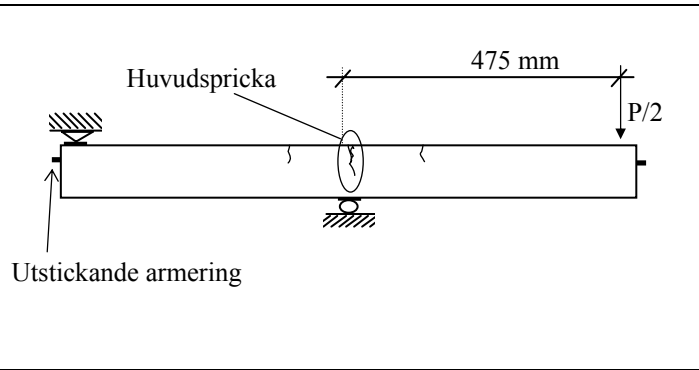
$$(7) P = \frac{4 \cdot M}{L}$$



**Figur 5.4** Kraftjämvikt för balk.



**Figur 5.5** Tryckning av balk i MTS-maskin.



**Figur 5.6** Schematiskt skiss över arrangemang i MTS-maskin. (ritad av Kristian Tammo)

Vid böjning i MTS-maskinen riggades balkarna upp enligt figur 5.5 och 5.6. För att erhålla önskad stålspänning och moment enligt (4)-(6) belastades balken med  $P/2$  i änden, se figur 5.6.

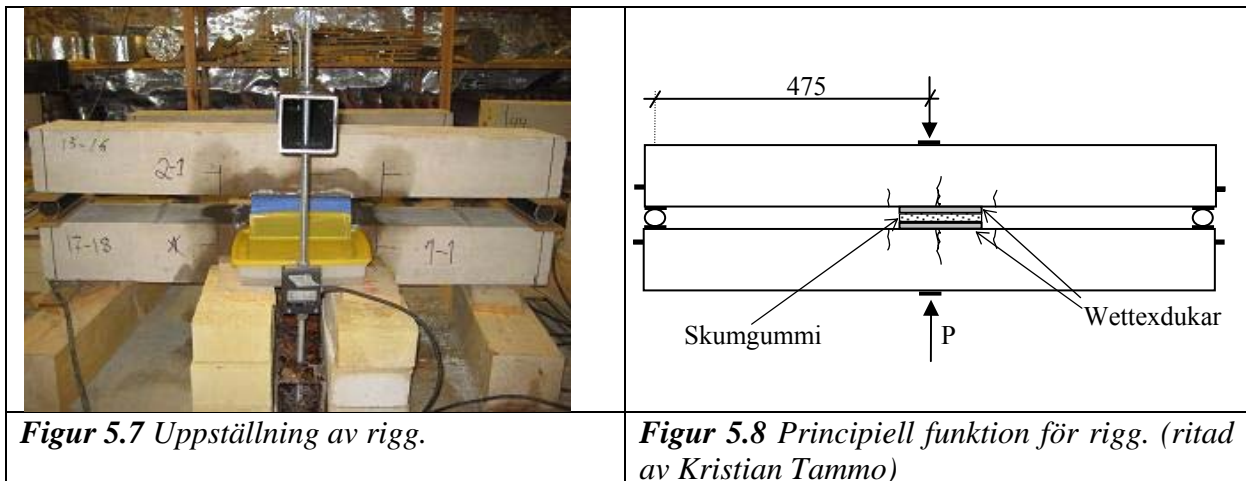
De stålspänningar som undersöktes i försöken var 380 MPa, 250 MPa och 0 MPa. För att uppnå stålspänningen 380 MPa krävdes ett böjmoment på 2,61 kNm för balken med två armeringsjärn på  $\varnothing 8$  mm och 2,92 kNm för balken med ett armeringsjärn på  $\varnothing 12$  mm. För stålspänningen 250 MPa krävdes ett böjmoment på 1,72 kNm för balken med två armeringsjärn på  $\varnothing 8$  mm respektive 1,92 kNm för balken med ett armeringsjärn på  $\varnothing 12$  mm. Balkarna belastades först med två cykler till en stålspänning på 380 MPa dvs. 2,61 kNm för balkarna med armeringsjärnen  $\varnothing 8$  mm och 2,92 kNm för balkarna med armeringsjärnet  $\varnothing 12$  mm, för att få en klar sprickbildning. Efter de två lastcyklerna mättes sprickvidderna för stålspänningarna 0 MPa, 250 MPa och 380 MPa.

Mätningen av sprickvidderna utfördes okulärt m.h.a. ett sprickmikroskop vid betongens yta. Det var den största sprickan i mitten av balken, här kallad "huvudspricka" som var av intresse, se figur 5.6. Sprickan mättes i tre punkter, i mitten och 50 mm från respektive kant. Medelsprickvidden från dessa tre mätpunkter räknades ut för varje balk och kan ses i resultatdelen i tabell 6.2. Fyra balkar belastades aldrig och var därmed ospruckna. De har använts som referensbalkar.

## 5.5 Placering i riggar

Dagen efter sprickmätningen flyttades balkarna till ett rum med ett kontrollerat klimat, där temperaturen låg på 20°C med en relativ fuktighet på 60%. I rummet placerades balkarna i riggar. Varje rigg bestod av två provkroppar vända med de uppspruckna sidorna mot varandra, se fig. 5.7 och 5.8. Två rullager användes som upplag mellan provkropparna. Arrangemanget på riggarna skapade samma förhållanden som vid belastningen i MTS-maskinen. För att spänna upp riggen till samma momentbelastning som sista lastcykeln i MTS-maskinen användes två centriskt placerade järnbalkar som skruvades ihop m.h.a. två gängade stänger, en på varje sida om balken, se figur 5.7. På dessa stänger fästes lastceller för att kontrollera kraften som riggen utsattes för. Den totala kraften som uppstod i mitten av riggen blev då summan av de två lastcellernas uppmätta värden.

Den låga betongkvaliteten och den unga åldern på balkarna resulterade i stor initiell krypning. Krypningseffekten innebar spänningsförluster vilket gjorde att regelbunden justering av riggarnas last var nödvändig. För att behålla det önskade böjmomentet spändes balkarna en gång om dagen under en veckas tid. Denna förberedelse minskade krypningseffekten kraftigt och redan efter första veckan kunde böjmomentet hållas konstant med endast tre mindre justeringar i veckan. De fyra ospruckna balkarna placerades i samma klimat som övriga balkar.

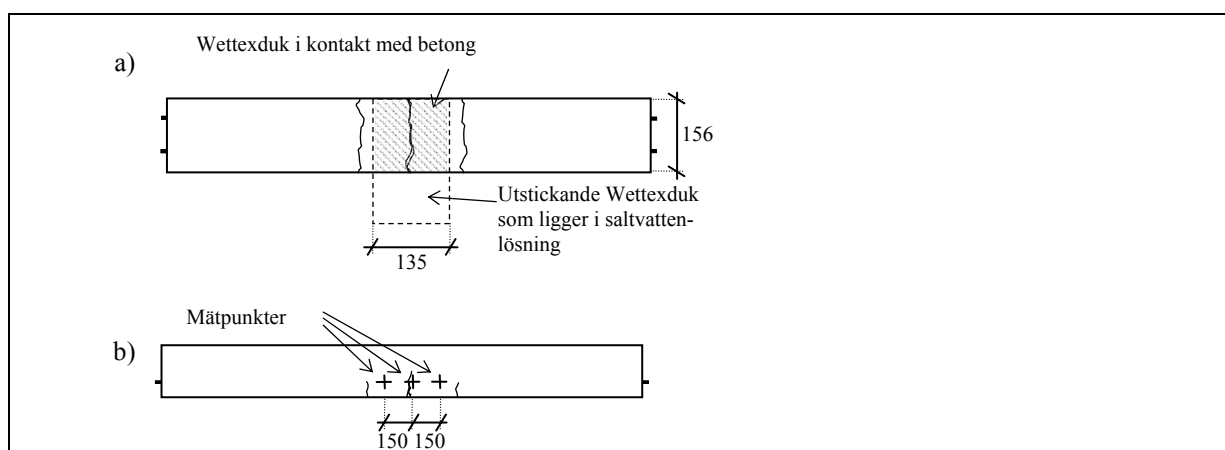


## 5.6 Kloridbelastning och korrosionsmätningar

Efter en vecka när den största krypningseffekten avtagit kloridbelastades balkarna. För att erhålla en konstant exponering av saltvatten användes Wettex-dukar av storleken 180x315 mm. Dukarna tejpdades fast över balkens mittparti och täckte en stor del av det spruckna partiet, se fig. 5.9 a. Den delen av Wettex-duken som stack ut placerades i plastbehållare fyllda med saltvatten. Dessa plastbehållare fylldes varannan dag för att bibehålla en konstant tillförsel av saltvatten. För att god kontakt skulle erhållas mellan betongytan och Wettex-dukarna placerades skumgummi mellan balkarna, se fig. 5.8.

Riggarnas arrangemang gjorde att två typer av exponering kunde testas, saltvatten ovanifrån och underifrån. Saltvattnet bestod av 10 % NaCl och 90 % tappvatten.

Eftersom sprickor i betong beror på statistiska variationer av bl.a. materialparametrar och lokala svagheter blev huvudsprickan mindre än väntat för några av balkarna. Orsaken var att flera små sprickor med små sprickavstånd bildades istället för en tydlig huvudspricka. I planeringen av examensarbetet bedömdes kloridbelastningen med saltvatten underifrån vara mindre benäget att påverkas av sprickor. För att säkerställa att resultaten blev korrekta för kloridbelastning underifrån placerades de balkar med oväntat små och oregelbundna sprickor nederst i riggarna. Balkarna överst i riggarna, som skulle kloridbelastas underifrån, fick därmed för alla fallen en jämn och typisk sprickbildning.



**Figur 5.9 a)** Bild över provkroppens spruckna yta där Wettexduken täcker huvudsprickan. (ritad av Kristian Tammo)

**b)** Provkropp sett från sidan där 3 av totalt 6 mätpunkter kan observeras. (ritad av Kristian Tammo)

Mätningar med halvcellsmätaren gjordes på sammanlagt 6 mätpunkter på respektive balk, 3 mätpunkter på vardera sida, se figur 5.9 b ovan. Inför varje mätomgång blöttes betongens yta och förbereddes enligt instruktioner i ASTM (2003), se kapitel 4.1. Första mätningen på varje balk skedde precis innan kloridbelastningen startade. Mätningar utfördes en gång om dagen under de första fem dagarna för att sedan övergå till endast 2 mätningar i veckan. För provkroppar där korrosionen startat eller där mätning pågått under längre tid utfördes mätningarna med större mellanrum, se figur 6.1-6.12.

### **5.7 Okulär korrosionsbedömning**

För att bedöma korrosionen på järnen okulärt togs betongen bort och armeringen rengjordes. Den mittersta delen av armeringen som varit utsatt för kloridbelastning fotograferades och en okulär bedömning av eventuella korrosionsangrepp gjordes. Korrosionsangreppen graderades på en skala mellan 1-3, där 1 betyder mycket små eller inga rostangrepp, 2 betyder tydliga och synliga rostangrepp och 3 betyder kraftiga rostangrepp.

## 6 Resultat

### 6.1 Tryckhållfasthetsförsök

Kubhållfastheten för varje försöksgrupp har bedömts från medelvärdet av tryckprovning av två kuber. Utifrån kubhållfastheten har cylinderhållfasthet och E-modul beräknats, se ekvation 1-3, kap 5.3.

**Tabell 6.1** Kubhållfasthet, Cylinderhållfasthet och E-modul för de olika grupperna.

Grupp	Ø [mm]	Balkar		Kubhållfasthet			Cylinder- hållfasthet [MPa]	E-modul [Gpa]
		Täckskikt [mm]	Spänning [MPa]	Kub 1 [MPa]	Kub 2 [MPa]	Medel [MPa]		
1	2Ø8	20, 40	380	28,9	30,2	29,5	24,5	28,8
2	1Ø12	20, 40	250	28,9	30,2	29,5	24,5	28,8
3	2Ø8	20, 40	250	32,4	33,1	32,8	27,2	29,7
4	2Ø8	20, 40	0	34,7	32,9	33,8	28	30
5	2Ø8	60	380	32,0	31,1	31,6	26,2	29,4
6	2Ø8	20, 40	0	32,0	31,1	31,6	26,2	29,4
7	1Ø12	20, 40	380	28,9	29,3	29,1	24,2	28,7

### 6.2 Sprickvidder

Sprickvidderna som uppmättes med sprickmikroskop vid böjbelastningen i MTS-maskinen redovisas i tabell 6.2

### 6.3 Korrosionsmätningar

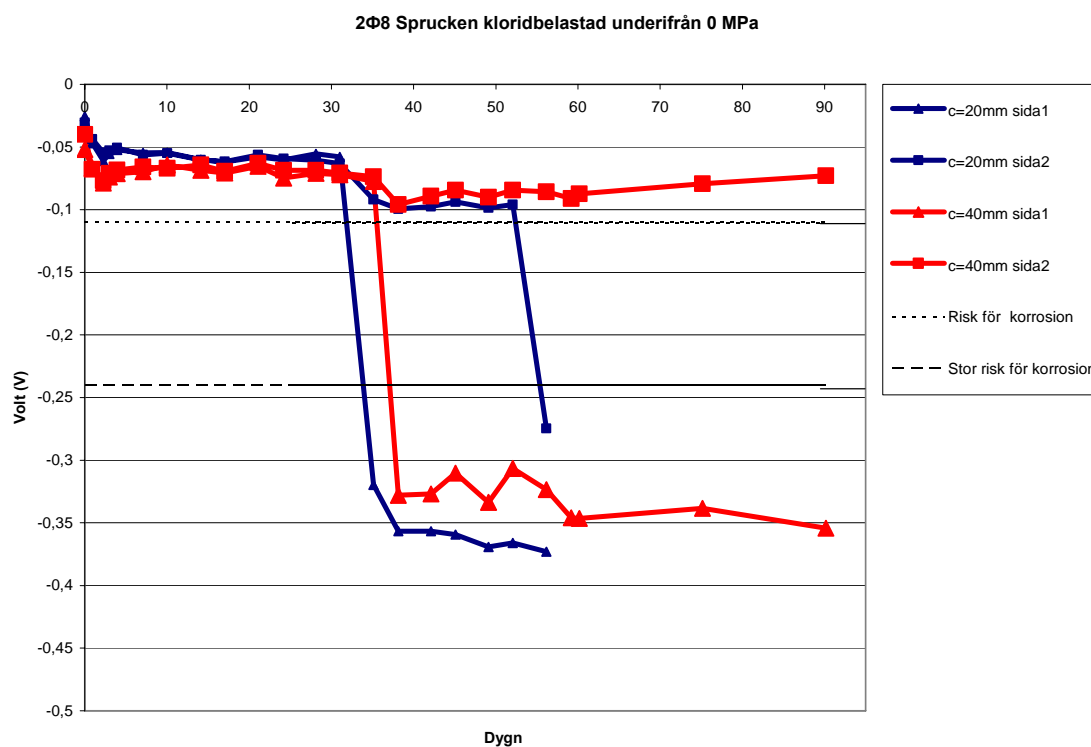
Nedan redovisas medelvärdet av den uppmätta elektriska potentialen för de tre mätpunkterna, se figur 5.9 b. I de fall två järn med diameter Ø8 använts analyseras även i vilken av stängerna som korrosionen startar tidigast. Den sida av balken som varit närmast saltvattenskålen benämns som sida 1, medans den andra benämns som sida 2. Resultaten visar ingen signifikans för att stängerna närmast kloridbelastningen skulle börjar korrodera tidigare. För balkarna innehållande ett Ø12 järn har mätresultaten varit nästan identiska för de olika sidorna av balken. Den elektriska potential som uppmättes från de tre mätpunkterna på varje sida om balken var för Ø12 alltid i samma storleksordning.

Gränsvärdena för risk för korrosion och stor risk för korrosion är utmärkta på -0,11 V resp. -0,24 V, se vidare kapitel 4.1. Täckskikt 20 mm representeras av blå linjer, 40 mm av röda linjer och 60 mm av gröna linjer. Det kan konstateras att medelvärdena på potentialen av de tre mätpunkterna ger en bra beskrivning av den totala potentialen i järnen, då potentialskillnaden är endast 0,0132 V i snitt. Trots variationer i potentialer mellan de tre mätpunkterna överskrids dock -0,24 V samtidigt i de tre punkterna, se Appendix A där de kompletta diagrammen redovisas.

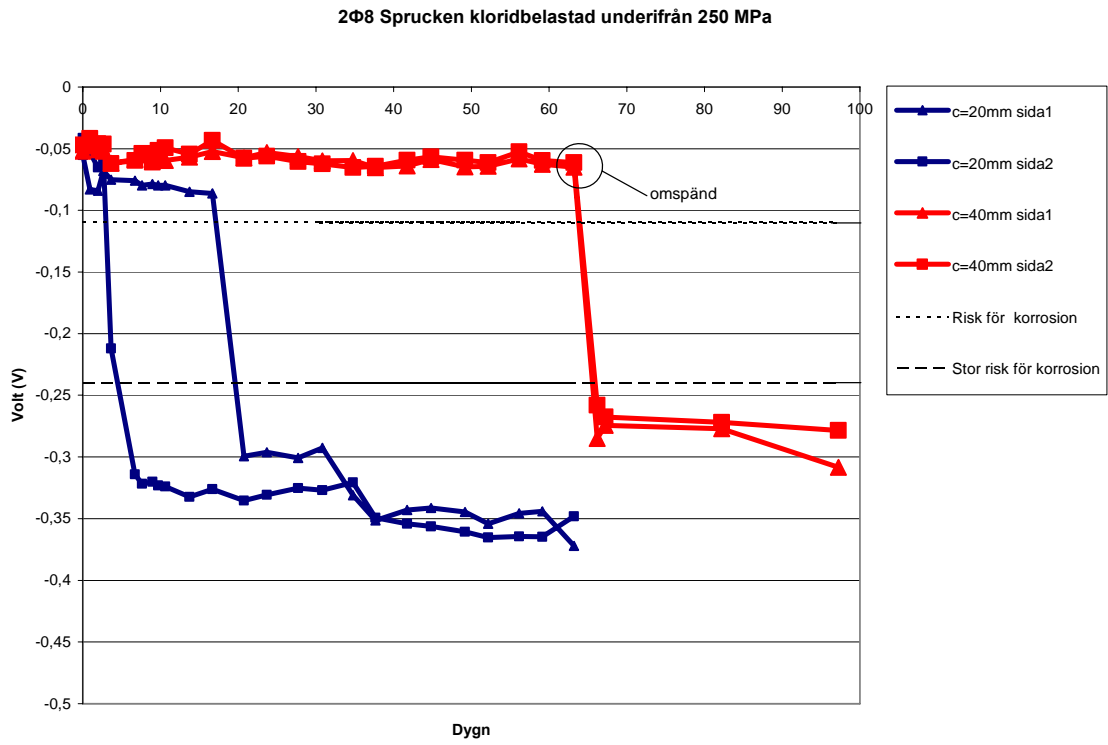


### 6.3.1 Armering 2Ø8 mm kloridbelastade underifrån

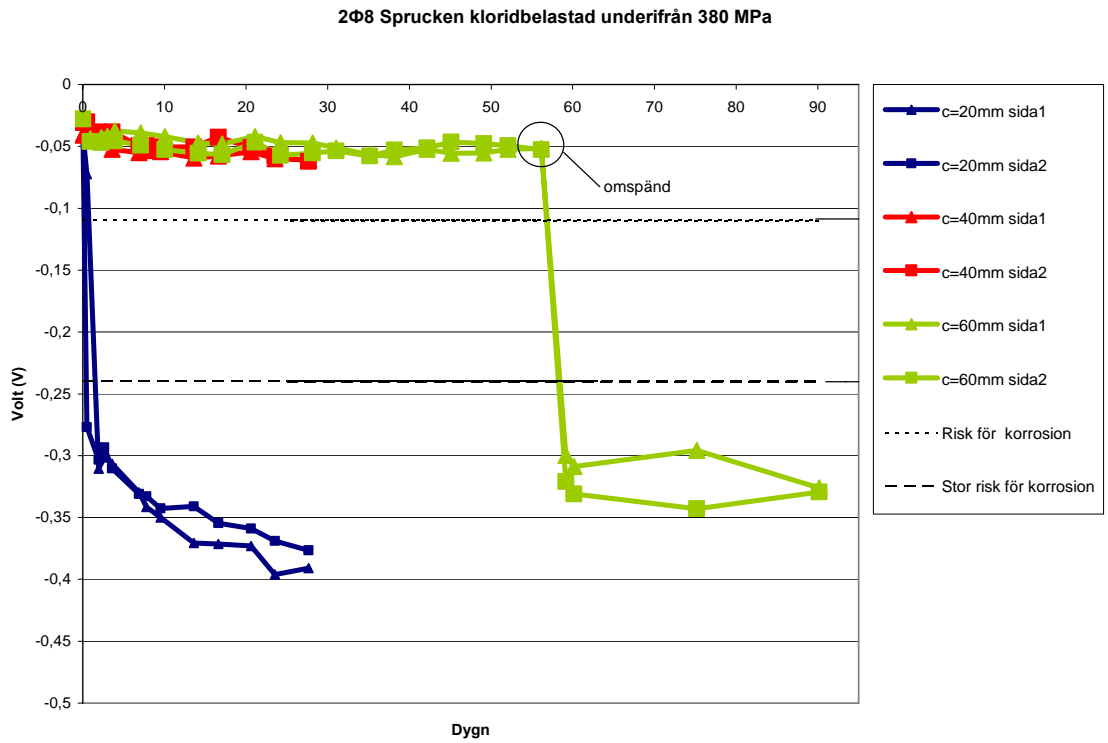
Resultat för spruckna balkar med två Ø8 armeringsjärn som kloridbelastats underifrån kan ses i figur 6.1-6.3. Ett tydligt samband mellan initieringstiden och täcksjiktet kan iakttagas där ett tjockare täcksjikt fördröjer starten av korrosionsprocessen, trots att större sprickvidder uppstår vid betongens yta. För balkarna med det mindre täcksjiktet 20 mm verkar en större stålspänning minska initieringstiden markant. För balkarna med 40 mm resp. 60 mm täcksjikt uppmäts ingen korrosion under försökstiden med undantag för balken med 0 MPa i stålspänning där ett järn börjar korrodera efter ungefär 30 dygn, se figur 6.1. Ingen slutsats för samband mellan initieringstid och stålspänning kan därför dras utifrån resultaten för balkarna med 40 mm respektive 60 mm täckande betongskikt. För balkarna med 250 resp. 380 MPa spänning i armeringen och täcksjiktet 40 mm och 60 mm skedde en omspanning, se figur 6.2 och 6.3. Omspanningen gjordes för att de balkar där korrosion redan startat skulle kunna analyseras genom att undersöka korrosionsangreppet på armeringsjärnen okulärt, samtidigt som de balkar där korrosionen inte startat skulle kunna fortsätta kloridbelastas. Balken som togs bort ur riggen ersattes med en järnbalk, sedan spändes riggen åter upp och korrosionsmätningarna fortsatte. Innan omspanningen genomfördes mättes potentialen i balkarna. Efter omspanningen startade korrosionen mycket snart i båda balkarna och potentialen understeg -0.24 V då nästa mätning utfördes.



**Figur 6.1** Elektrisk potential uppmätt i balk 1 och 2, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksjikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



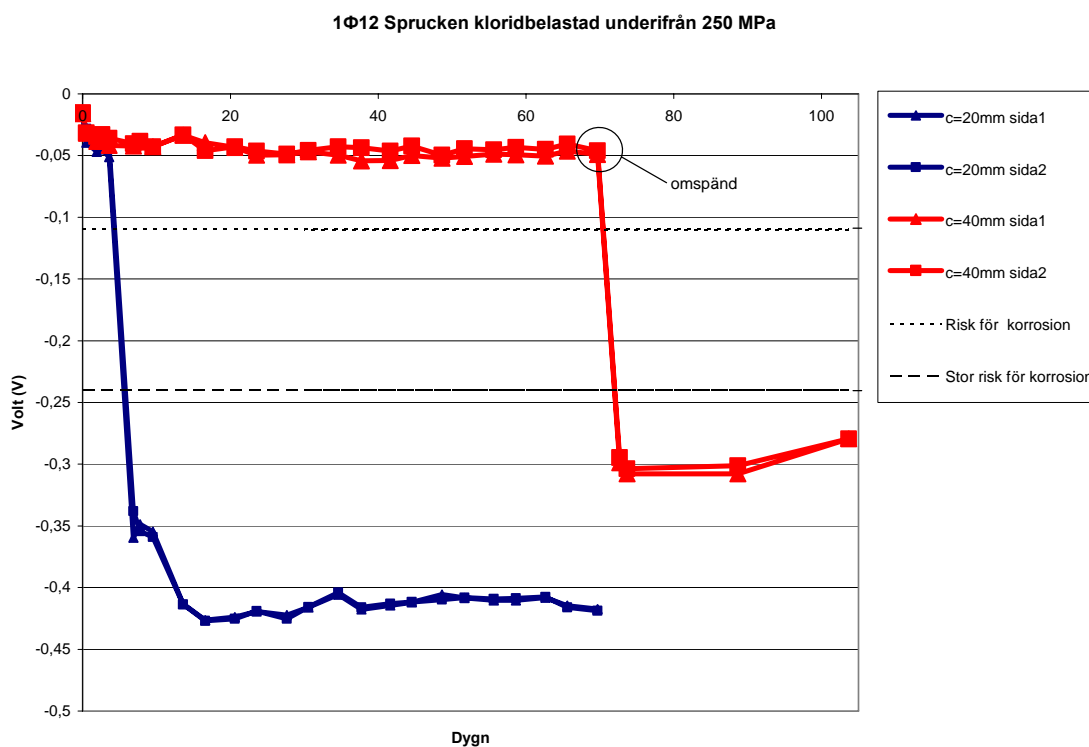
**Figur 6.2** Elektrisk potential uppmätt i balk 3 och 4, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



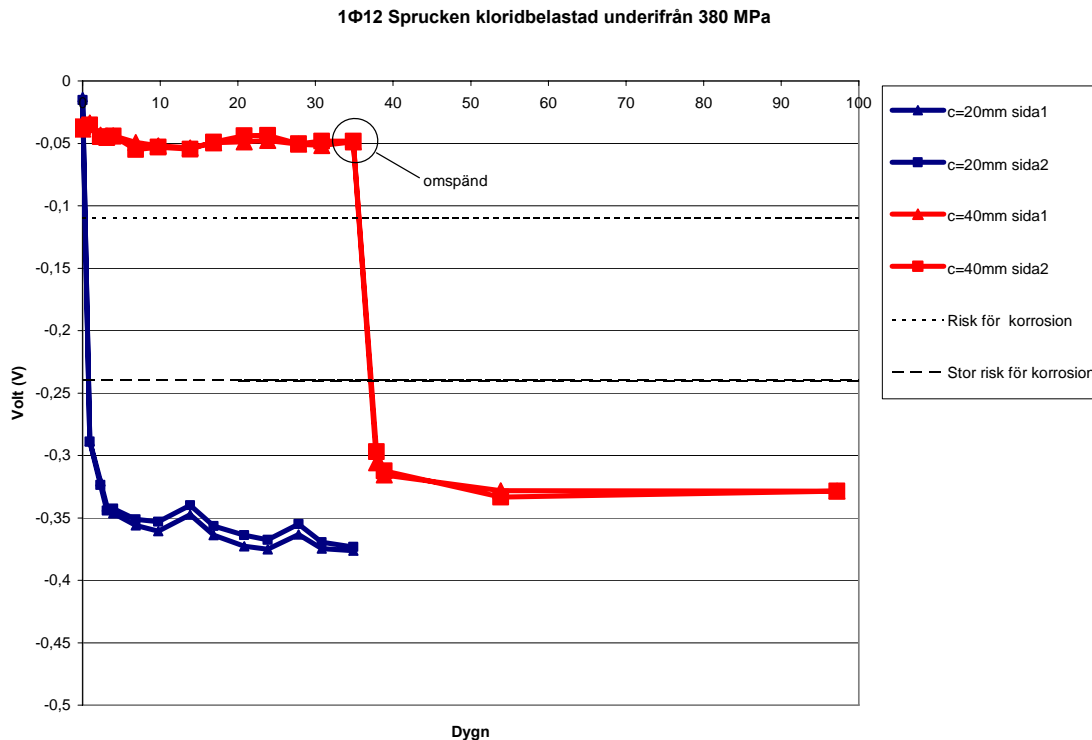
**Figur 6.3** Elektrisk potential uppmätt i balk 5, 6 och 7, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa täcksikt c 20 mm, 40 mm och 60 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.

### 6.3.2 Armering 1Ø12 mm kloridbelastade underifrån

Resultat för spruckna balkar med ett Ø12 armeringsjärn som kloridbelastats underifrån kan ses i figur 6.4-6.5. Resultaten är även här tydliga och visar att ett tjockare täckskikt ökar initieringstiden trots att sprickvidden ökar. Balkarna med 20 mm täckskikt påvisar än en gång att korrosion startar tidigare då armeringsjärnen utsätts för en högre stålspänning. Även här skedde en omspänning för provkropparna med 40 mm täckskikt som ledde till en potentialhöjning vid nästa mätning, se figur 6.4 och 6.5.



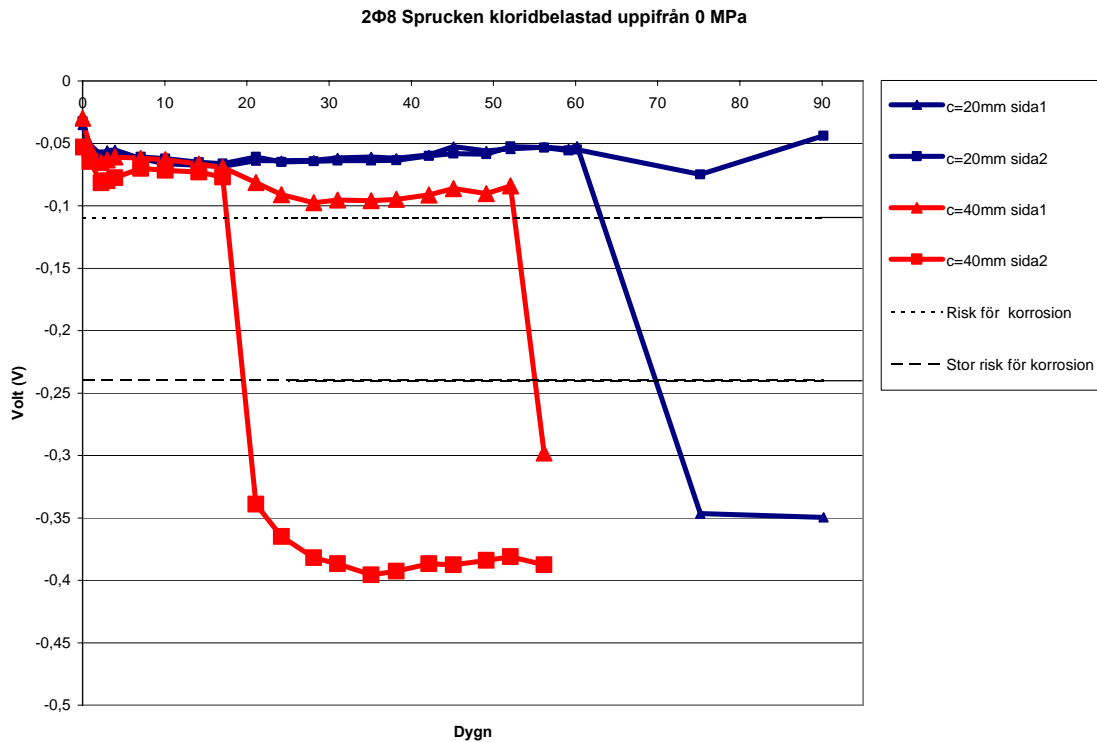
**Figur 6.4** Elektrisk potential uppmätt i balk 8 & 9, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa täckskikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



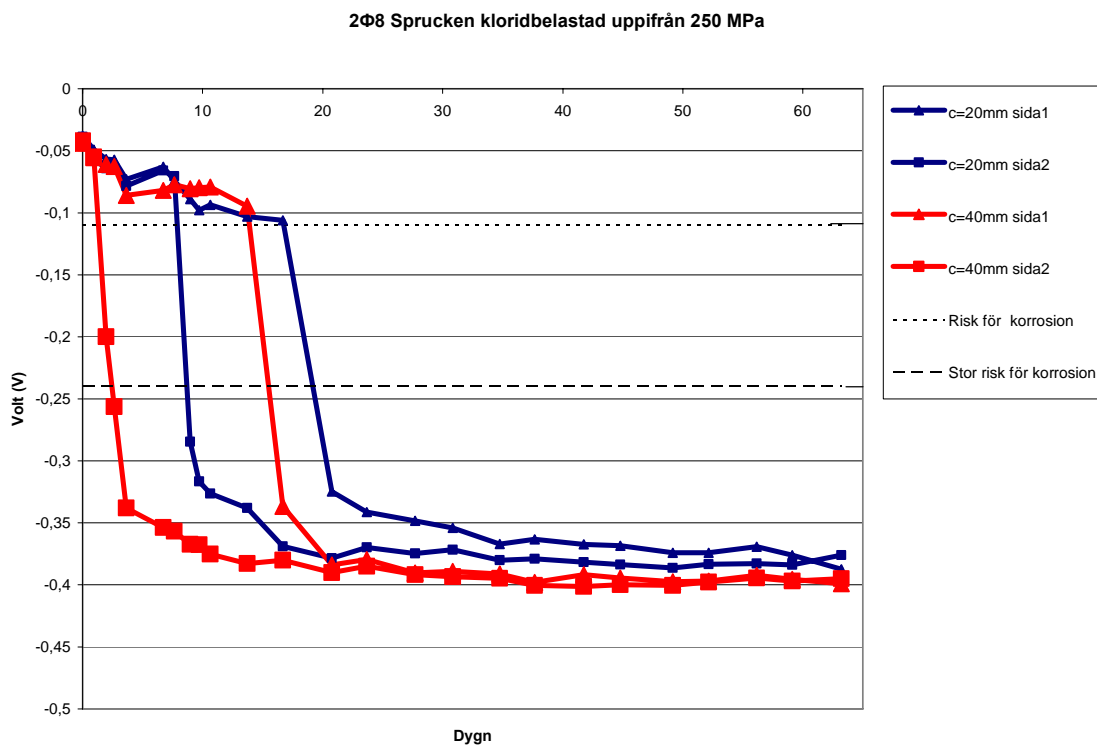
**Figur 6.5** Elektrisk potential uppmätt i balk 10 och 11, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 380 MPa täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.

### 6.3.3 Armering 2Ø8 mm kloridbelastade ovanifrån

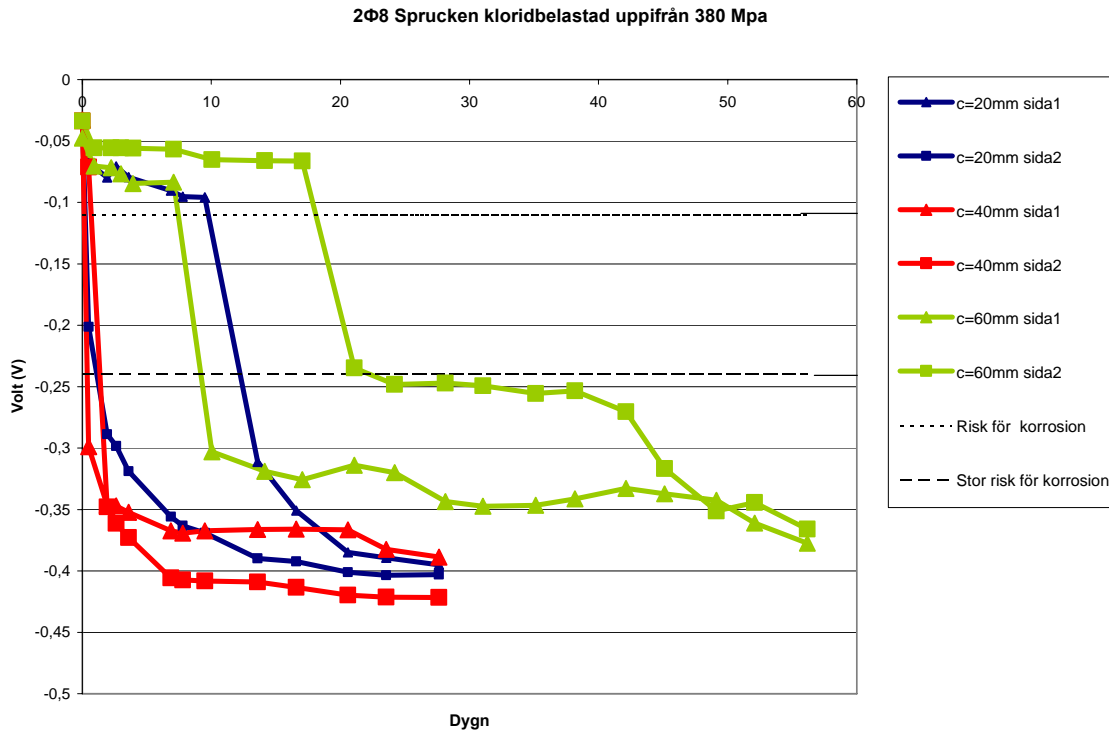
Resultat för spruckna balkar med två Ø8 armeringsjärn som kloridbelastats ovanifrån kan ses i figur 6.6-6.8. Då balkarna kloridbelastats ovanifrån är beteendet annorlunda och en kortare initieringstid för balkarna med täcksikt 40 mm erhålls jämfört med täcksikt 20 mm. Stora sprickvidder ger enligt försöken en ökad risk för korrosion. Balkarna med 60 mm täcksikt har dock en längre initieringstid än båda de andra balktyperna, vilket kan tyda på att sambandet mellan initieringstiden och täckande betongskikt vid kloridbelastning ovanifrån ger en kortare initieringstid upp till en viss tjocklek av täcksiktet för att sedan åter öka. Skillnaden på initieringstiden för de olika täcksiktarna är inte lika stor för kloridbelastning ovanifrån som underifrån. Stora stålspänningar ger en kortare initieringstid för både 20 mm och 40 mm täcksikt.



**Figur 6.6** Elektrisk potential uppmätt i balk 12 och 13, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



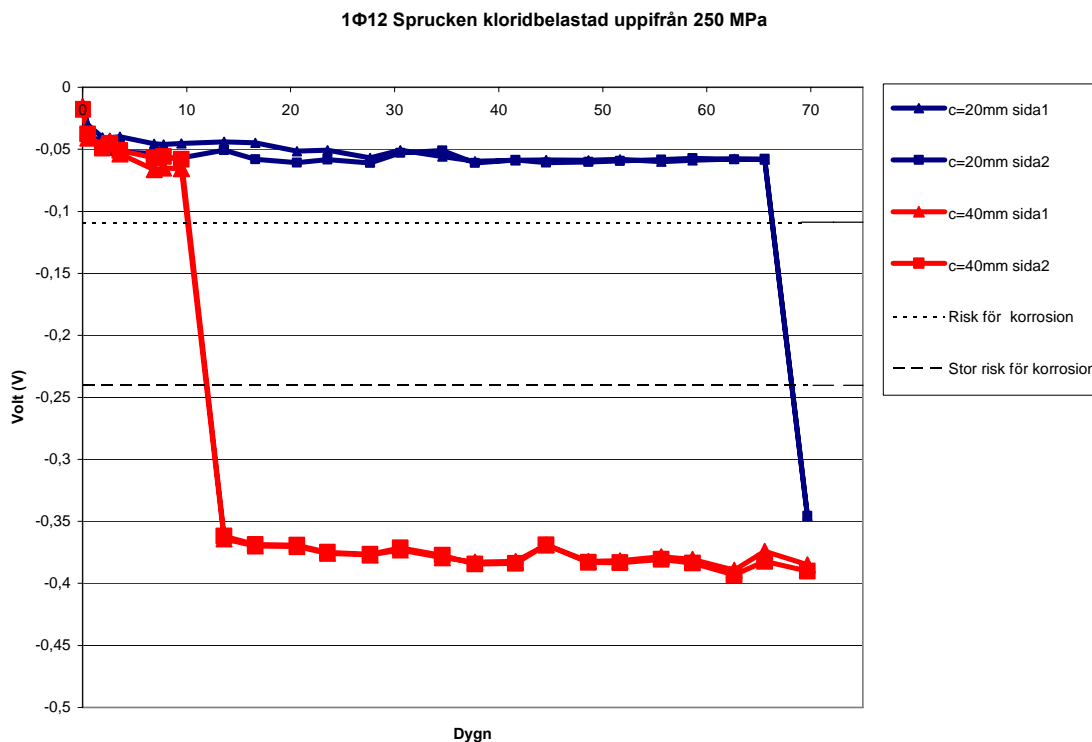
**Figur 6.7** Elektrisk potential uppmätt i balk 14 och 15, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



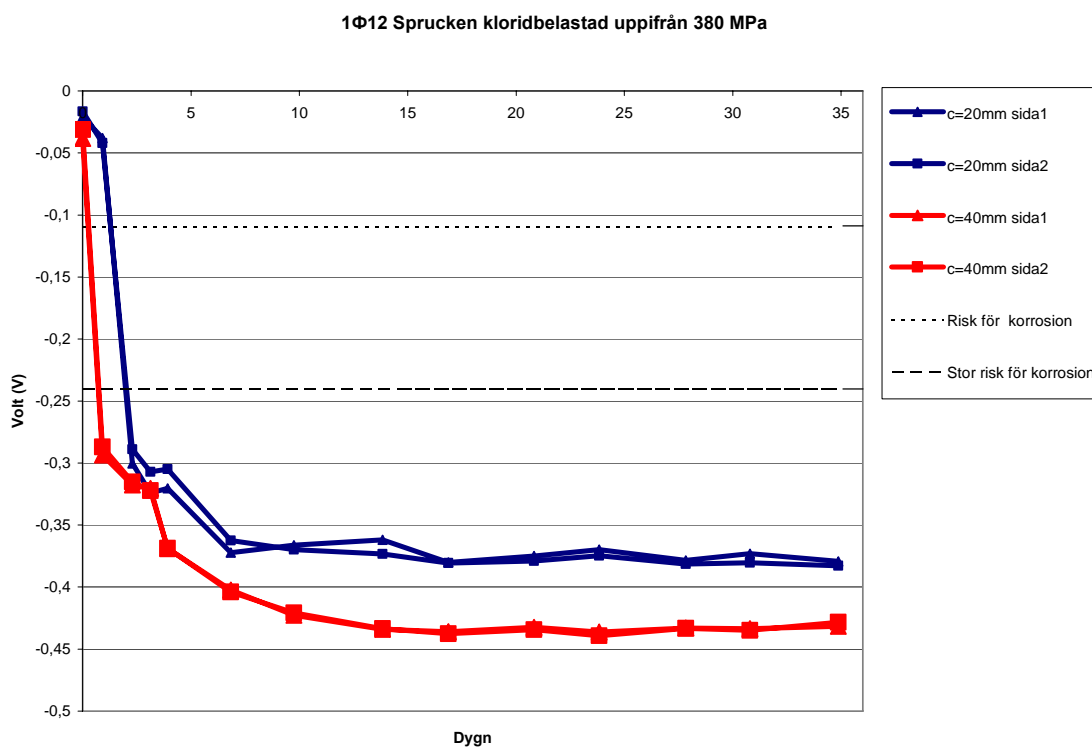
**Figur 6.8** Elektrisk potential uppmätt i balk 16, 17 och 18, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 380 MPa, täckskikt c 20 mm, 40 mm och 60 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.

### 6.3.4 Armering 1Ø12 mm kloridbelastade uppifrån

Resultat för spruckna balkar med ett Ø12 armeringsjärn som kloridbelastats ovanifrån kan ses i figur 6.9-6.10. Resultaten bekräftar tidigare observationer från balkarna med två Ø8 järn. 40 mm täckskikt ger en kortare initieringstid än 20 mm då balkarna kloridbelastas ovanifrån. Att skillnaden skulle vara så stor som figur 6.9 visar är dock tveksamt och beror antagligen på att en mycket liten, ca 0,087 mm, spricka uppstod för balken med 20 mm täckskikt. Sprickmönstret var här inte typiskt med en större spricka i mitten, utan flera jämnstora sprickor, med ett ungefärligt sprickavstånd på 20 mm, uppstod över balkens mitt. Initieringstiden minskar även här med ökande stålspänning precis som för tidigare försök.



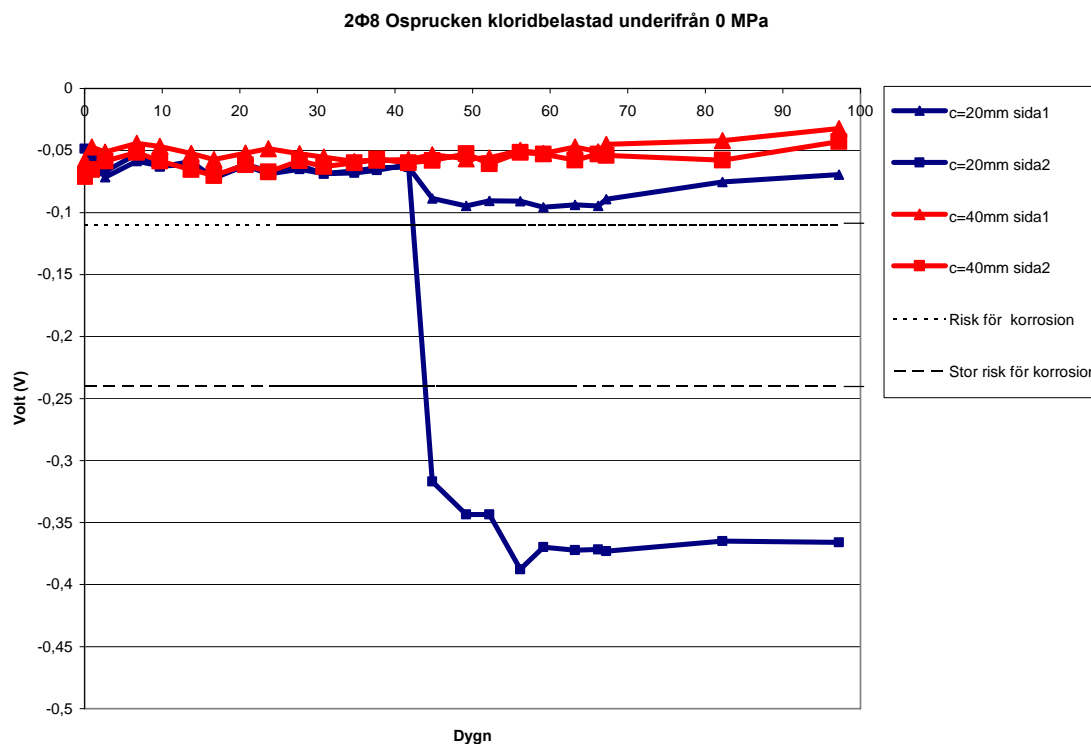
**Figur 6.9** Elektrisk potential uppmätt i balk19 och 20, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.



**Figur 6.10** Elektrisk potential uppmätt i balk 21 och 22, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 380 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.

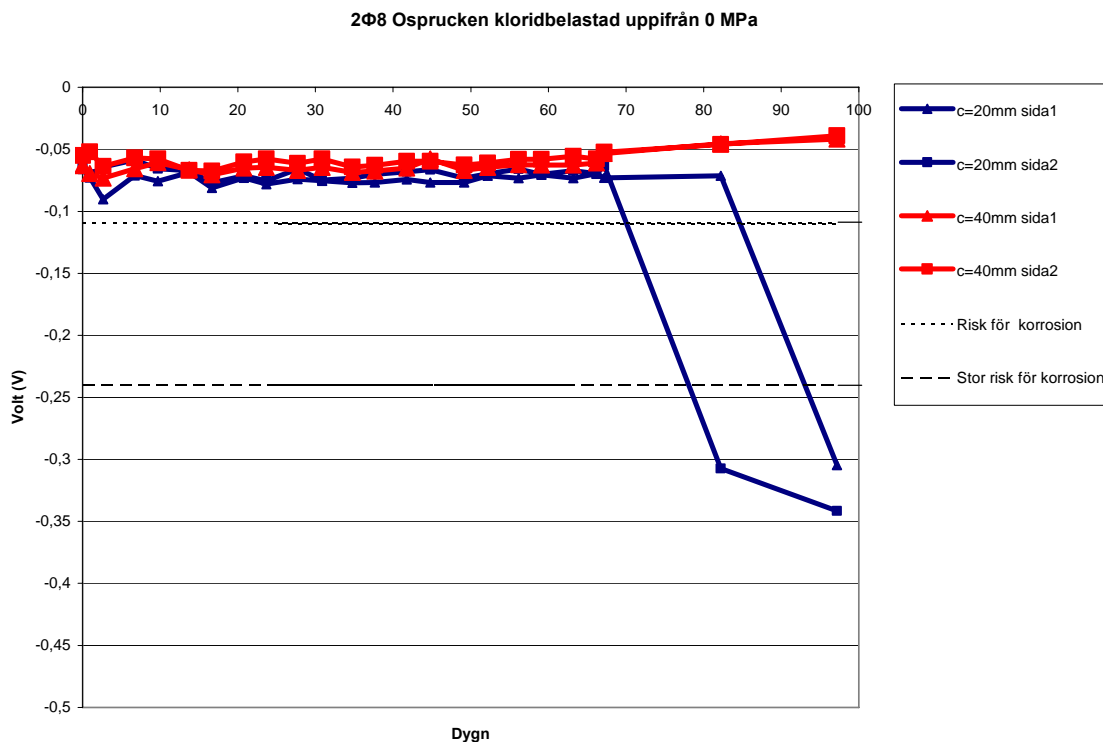
## 6.4 Ospruckna balkar

Resultat från försöken med ospruckna balkar kan ses i figur 6.11-6.12. De har oberoende av täcksikt en längre initieringstid än de spruckna balkarna. Järnet närmast kloridlösningen för balken med 20 mm täcksikt som kloridbelastats underifrån startar dock korrosionsprocessen tidigare än förväntat, vilket kan bero på lokala variationer i betongens täthet.



**Figur 6.11** Elektrisk potential uppmätt i balk 23 och 24, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.





**Figur 6.12** Elektrisk potential uppmätt i balk 25 och 26, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm resp. 40 mm. Medelvärdena för de tre mätpunkterna på varje sida av varje balk redovisas.

## 6.5 Okulär korrosionsbedömning

I tabell 6.2 nedan redovisas den okulära bedömningen av korrosionen tillsammans med initieringstiderna och sprickvidderna för alla balkar i försöken. I de flesta fallen stämmer den okulära bedömningen väl överens med initieringstiden, där kort initieringstid och korrosion under längre tid ger kraftigt rostangrepp i sprickområdet. T.ex. kan man för balk 5 med täcksikt 20, diameter  $\varnothing 8$  mm och kloridbelastning underifrån, där initieringstiden var mycket kort, se kraftiga rostangrepp på järnen, se figur 6.13 och 6.14.



**Figur 6.13** Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 5 med täcksikt c=20 mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm kloridbelastning underifrån, gradering 3.



**Figur 6.14** Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 5 med täcksikt c 20 mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm kloridbelastning underifrån, gradering 2.

Rostangreppen består av s.k. frätgropar vilka är klassiska tecken på korrosionsangrepp orsakade av klorider. Korrosionsangreppen på armeringen här har graderats till 2 (figur 6.14) respektive 3 (figur 6.13). Ett exempel på ett järn där potential mätningen inte påvisat någon korrosionsstart alls är balk 6 med täcksikt 40 mm, diameter  $\text{Ø}8$  mm och kloridbelastning underifrån, se figur 6.15. Här finns endast en mycket liten antydning till rostangrepp i form av millimeter små frätgropar på kammarna. Korrosionsangreppet har därför graderats till 1. Bilder på övrig armering finns i appendix B.



**Figur 6.15** Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 6 med täcksikt 40 mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm kloridbelastning underifrån, gradering 1.

**Tabell 6.2** Sammanfattning för resultat från korrosionsmätningar på samtliga balkar. I kolumnen för initieringstid betyder ”>” att korrosionen aldrig startade under mätningarna och initieringstiden således är större än den senast uppmätta tiden. Initieringstid följt av \* betyder att korrosionen startade direkt efter omlastning skett. Järn 1 är närmst saltvattenskålen och järn 2 längst ifrån. I den okulära bedömningen graderas korrosionen mellan 1-3 där 1 är ingen eller mycket liten korrosion, 2 är en tydlig korrosion och 3 är kraftiga korrosionsangrepp.

Balk nr	Betong täckskikt (mm)	Stål diameter (mm)	Stål-spänning (MPa)	Klorid Angrep p	Spric kvidd (mm)	Initieringstid		Okulär bedömning	
						Järn 1 (dagar)	Järn 2 (dagar)	Järn 1 (1-3)	Järn 2 (1-3)
1	20	2Ø8	0	Under	0	56	35	1	3
2	40	2Ø8	0	Under	0	>90	37	1	2
3	20	2Ø8	250	Under	0,167	5	18	2	2
4	40	2Ø8	250	Under	0,317	63*	63*	2	2
5	20	2Ø8	380	Under	0,217	<1	2	3	2
6	40	2Ø8	380	Under	0,497	>28	>28	1	1
7	60	2Ø8	380	Under	0,517	59*	59*	2	2
8	20	1Ø12	250	Under	0,250	6	-	2	-
9	40	1Ø12	250	Under	0,433	71*	-	2	-
10	20	1Ø12	380	Under	0,183	1	-	3	-
11	40	1Ø12	380	Under	0,400	36*	-	2	-
12	20	2Ø8	0	Över	0	75	>90	2	1
13	40	2Ø8	0	Över	0	56	19	1	2
14	20	2Ø8	250	Över	0,090	20	9	2	2
15	40	2Ø8	250	Över	0,250	15	2	2	3
16	20	2Ø8	380	Över	0,183	2	11	2	2
17	40	2Ø8	380	Över	0,217	<1	2	2	2
18	60	2Ø8	380	Över	0,433	10	18	2	2
19	20	1Ø12	250	Över	0,087	68	-	1	-
20	40	1Ø12	250	Över	0,483	11	-	2	-
21	20	1Ø12	380	Över	0,177	2	-	2	-
22	40	1Ø12	380	Över	0,350	1	-	2	-
23	20	2Ø8	0	Under	-	44	>98	2	1
24	40	2Ø8	0	Under	-	>98	>98	1	1
25	20	2Ø8	0	Över	-	67	82	2	1
26	40	2Ø8	0	Över	-	>98	>98	1	1

## 7 Analys och diskussion

I försöken har en låg betongkvalité använts för att säkerställa att korrosionsprocessen skulle starta under den begränsade tiden försöken gjordes. Resultaten kan således inte direkt användas för verkliga moderna betongkonstruktioner, men ger en bra jämförelse för hur de olika parametrar som varierats, såsom täcksikt, stålspänning och varifrån kloridbelastningen sker, inverkar på korrosionsprocessen.

Den stora variationen i sprickvidder leder till viss osäkerhet för hur stålspänningen påverkar sprickvidden vid betongens yta. Variationen i sprickvidder beror på att varje sprickmätning är utförd på en separat balk med ett unikt sprickmönster. En stor stålspänning ger dock intrycket av att, åtminstone till viss del, ge en totalt större sprickvidd.

Kloridhalten i det saltvatten som används i försöken är mycket hög, Saltvatten med 10 % NaCl förekommer mycket sällan i den miljö betongkonstruktioner befinner sig. Exempelvis överstiger salthalten i havsvatten 4 %. I plaskzoner kan dock salthalten stiga mycket högt då vattnet dunstar och saltet anrikas i zonen. Även vid användandet av tösalt kan mycket höga salthalter, liknande den i försöket, uppkomma. Däremot sker inte den kloridbelastningen lika regelbundet som i försöken. Korrosionsförloppet kan därför utöver den låga betongkvaliteten även anses vara accelererad av den höga kloridhalten.

I de försök där kloridangreppen skett underifrån var initieringstiden signifikant längre för tjockare täcksikt trots att större sprickvidder uppstått för de balkarna. Det beror antagligen på att den största delen av saltvattnet som når järnen gör det p.g.a. kapillära krafter, d.v.s. vattnet ”sugs” upp i sprickorna. Den kapillära kraften blir större i smalare sprickor, alltså ger ett tjockt täcksikt bättre skydd både genom att sänka den kapillära stighöjden och genom att vattnet måste färdas en längre sträcka för att nå järnen.

I de försök där kloridangreppen skett ovanifrån observeras ett annat resultat där stora sprickor orsakade av ökade täcksikt leder till en minskad initieringstid. Anledningen till det kan vara att större sprickvidder vid betongens yta gör att vattnet lättare samlas upp i sprickan och en större mängd saltvatten når armeringsjärnen. Sprickan fungerar som en ”tratt” och samlar upp vattnet på betongens yta. En stor ytspricka vid kloridbelastning ovanifrån ökar uppsamlingen av saltvattnet och är således ofördelaktig med hänsyn till korrosion än mindre ytsprickor. Skillnaden är dock betydligt mindre än för fallet med kloridbelastning underifrån. Kloridbelastning uppifrån ger dessutom en mycket kortare initieringstid än kloridbelastning underifrån. Eftersom skillnaden är mycket liten mellan sprickvidderna och initieringstiden relativt kort för kloridbelastning uppifrån är det möjligt att betongtäcksiktets tjocklek är mindre viktigt för det fallet. Det totala skyddet mot korrosion från stora täcksikt kan därför ändå vara bra.

Stålspänningen i järnen har ett tydligt samband med initieringstiden. En större stålspänning leder till en kortare initieringstid. Det gäller även de fall där sprickvidden p.g.a. variabilitet varit något mindre för stora stålspänningar. Några samband mellan armeringsarea och initieringstid identifierats har däremot inte kunnat dras.

I de fall där balkarna flyttades mellan två riggar och spändes upp på nytt startade korrosion i alla fallen. Det visar att en stor variation i last ökar korrosionsrisken väsentligt. Anledningen till det är att då konstruktionen har en konstant last är sprickvidden mer eller mindre oförändrad. En självläkningsprocess kan då ske genom att rost, cementrester och salter lagras i sprickorna vilket hindrar saltvattnet att nå in till armeringen. Då lasten varierar kraftigt

brister det material som tätar sprickan och ger fri väg för vatten och syre att nå järnen. Den låga betongkvaliteten i försöken kan anses försämra självläkningsprocessen. Trots att betongkvaliteten är lägre än i de flesta moderna betongkonstruktioner påvisar dock resultaten att då lasten varierar kraftigt ökar risken för korrosion och för att en korrosion som tidigare avtagit återupptas.

Den okulära undersökningen som utfördes visade att uppmätta värden stämmer bra överens med verkligheten. De järn som enligt mätningarna börjat korrodera tidigt har klara rostangrepp där järn rostat bort. De järnen har graderats med 2 (tydliga och synliga rostangrepp) eller 3 (kraftiga rostangrepp). De järn som inte visat någon förändring av potentialen hade få eller inga tecken på rost och graderades med 1 (små eller inga rostangrepp).

## 8 Slutsatser

- Vid kloridbelastning underifrån ökar initieringstiden för korrosion med täcksiktet, trots att det leder till större sprickvidder vid betongens yta
- Vid kloridbelastning ovanifrån minskar initieringstiden något för stora sprickvidder
- Kloridbelastning ovanifrån ger en kortare initieringstid än angrepp underifrån
- En stor stålspänning ger en kortare initieringstid
- Armeringsdiameter har inget påvisat samband med initieringstiden

## 9 Referenser

Fagerlund, Göran (1992), *Betongkonstruktioners Beständighet*. AW Grafiska, Uppsala Tredje upplagan ISBN 91-87334-00-3

Nevander, Lars Erik, Elmarsson, Bengt (1994), *Fukthandboken*. Svenskt tryck AB, Stockholm Andra upplagan ISBN 91-7332-716-6

Burström, Per Gunnar (2001), *Byggnadsmaterial*. Studentlitteratur, Lund 2001 ISBN 91-44-01176-8

Engström, Björn (2005), *Beräkning av konstruktioner*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg

Ljungkrantz, C, Möller, G, Petersons, N (1994), *Betonghandbok Material*, AB Svensk byggtjänst, Stockholm ISBN 9-7332-799-9

Hellström, Bo (1974), *Sprickbildning i nygjuten betong*, Cementa AB, Malmö

ASTM (1991), Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, American Society for testing and Materials Standards, Designation: C 876-91, 1991.

ASTM (2003), Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens, American Society for testing and Materials Standards, Designation: G1-03, 2003.

Tuutti, K (1984), *Risk för kloridinitierad korrosion*. Cementa CM Rapport T 84062, 1984

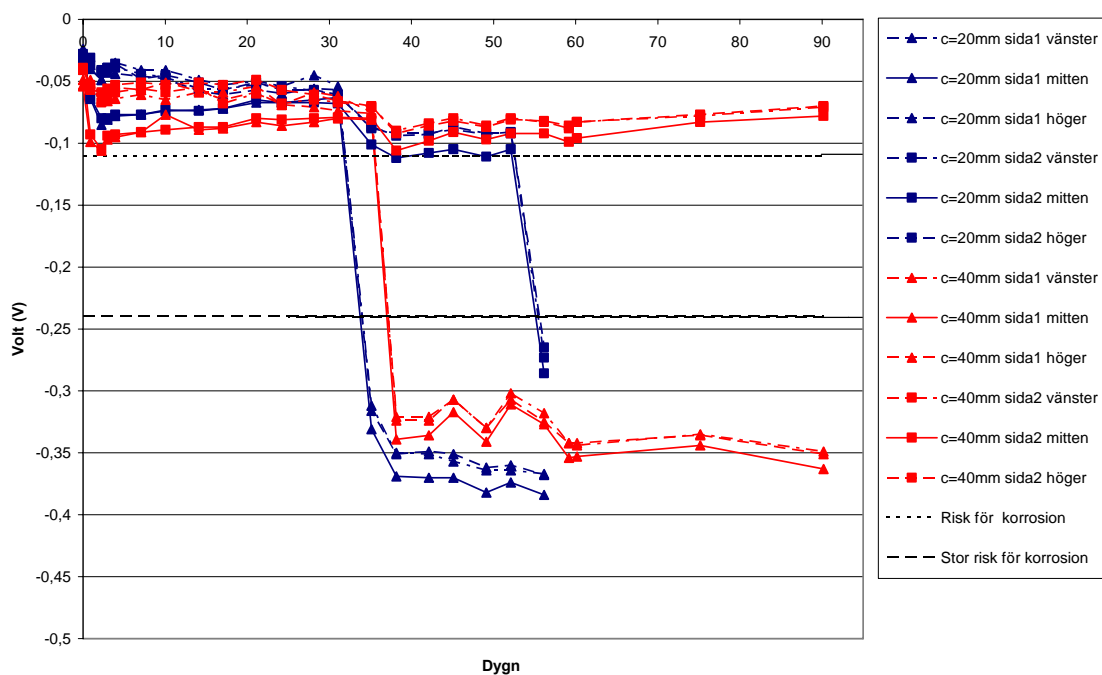
Hausmann, D A (1967) *Steel corrosion in concrete. Materials protection*, Nov 1967

Aronsson, F, Larsson, O (2007), *Sprickvidd nära armeringsjärn i betongbalkar*, Rapport TVBK-5149, ISSN: 0349-4969

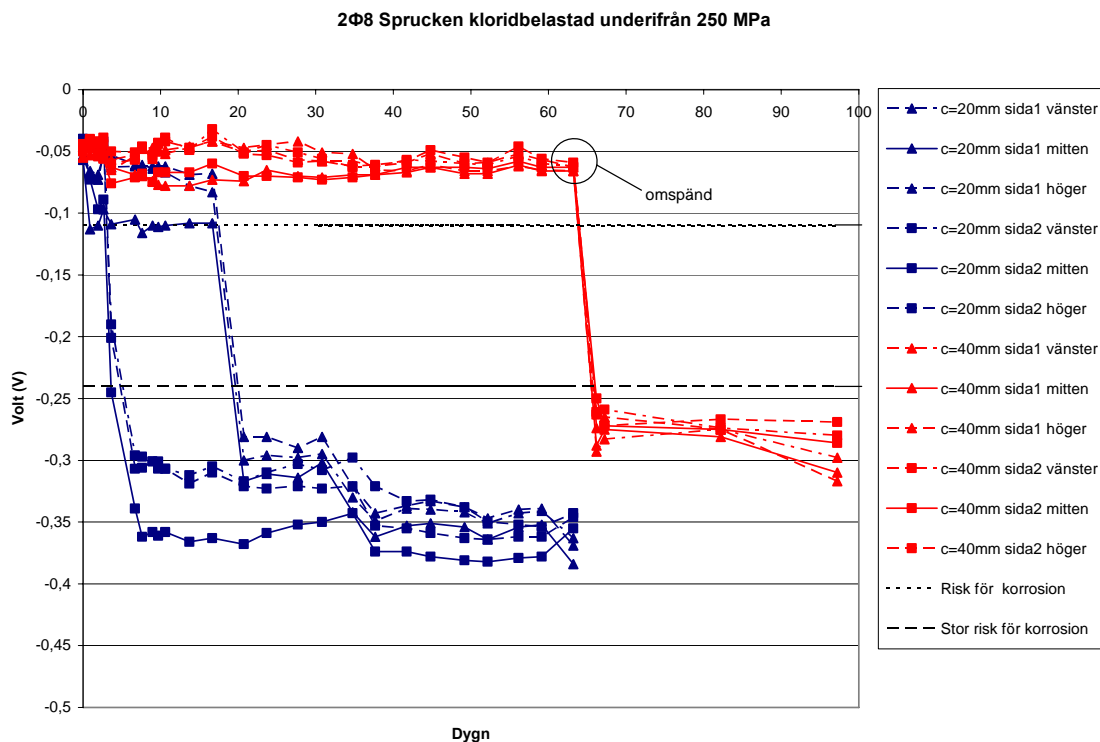
Schiessl, P (1975), *Zur Frage der zulässigen Rissbreite und Korrosionsabtragung an der Bewehrung*. Betonwerk und Fertigteil- Technik Nr.2 Wiesbaden 1975

## Appendix A – Korrosionsmätningar

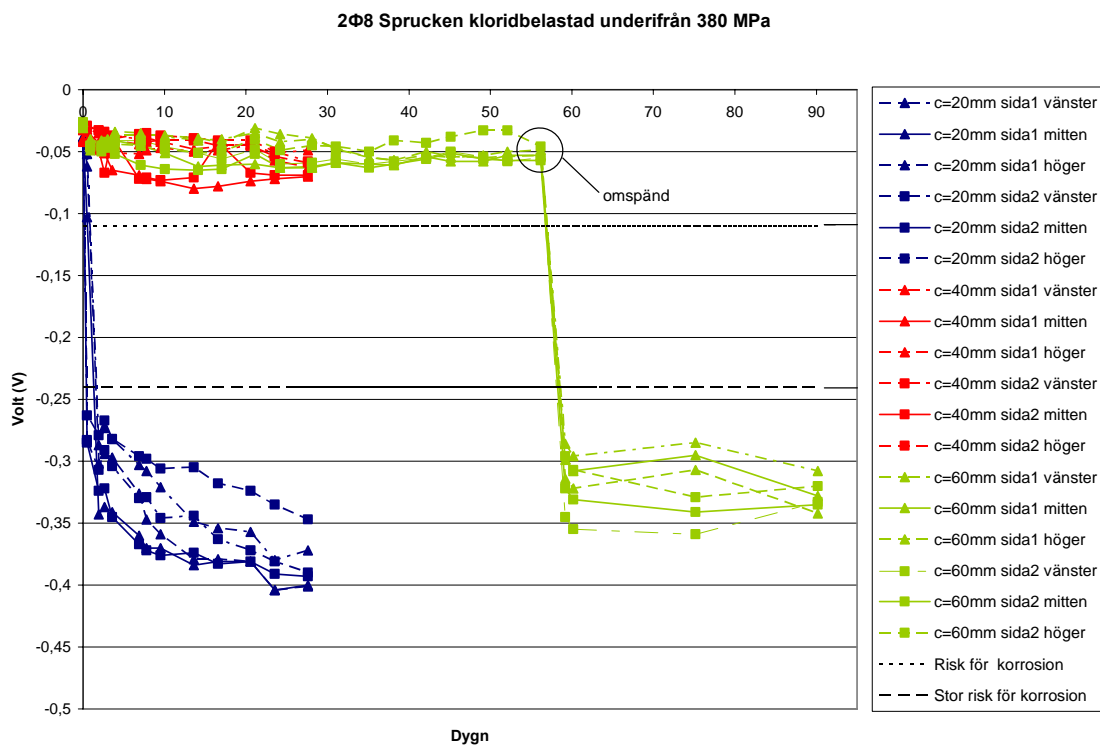
2Φ8 Sprucken kloridbelastad underifrån 0 MPa



**Figur 6.1** Elektrisk potential uppmätt i balk 1 och 2, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.

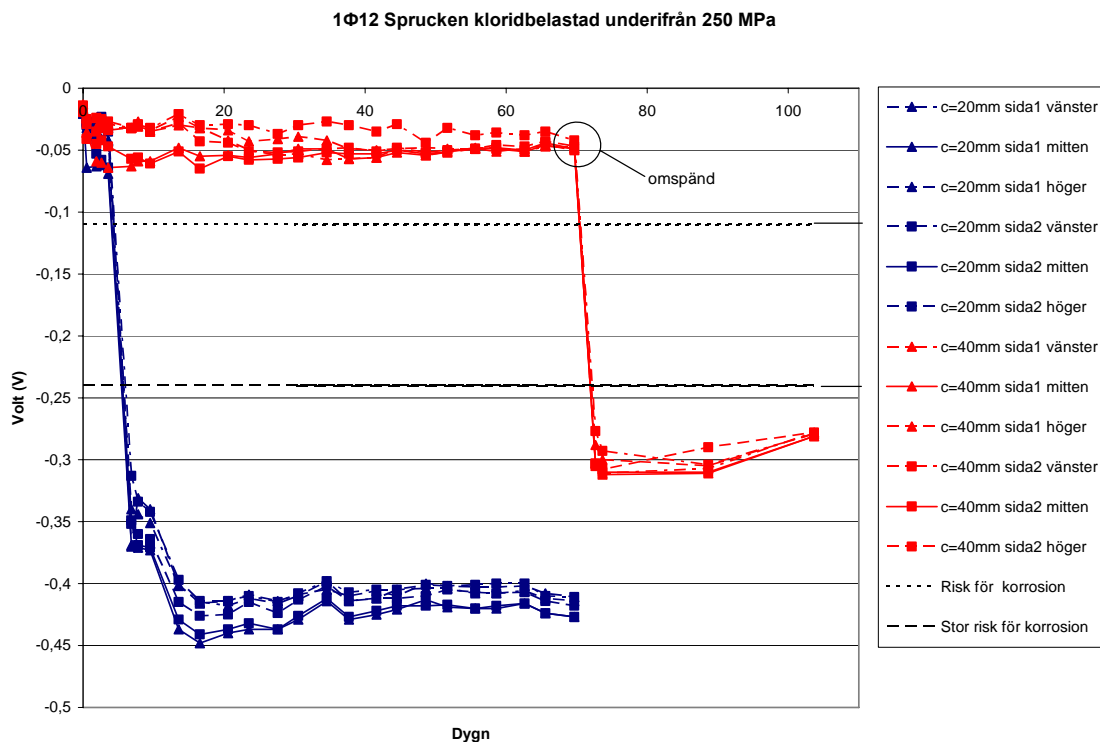


**Figur 6.2** Elektrisk potential uppmätt i balk 3 och 4, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.

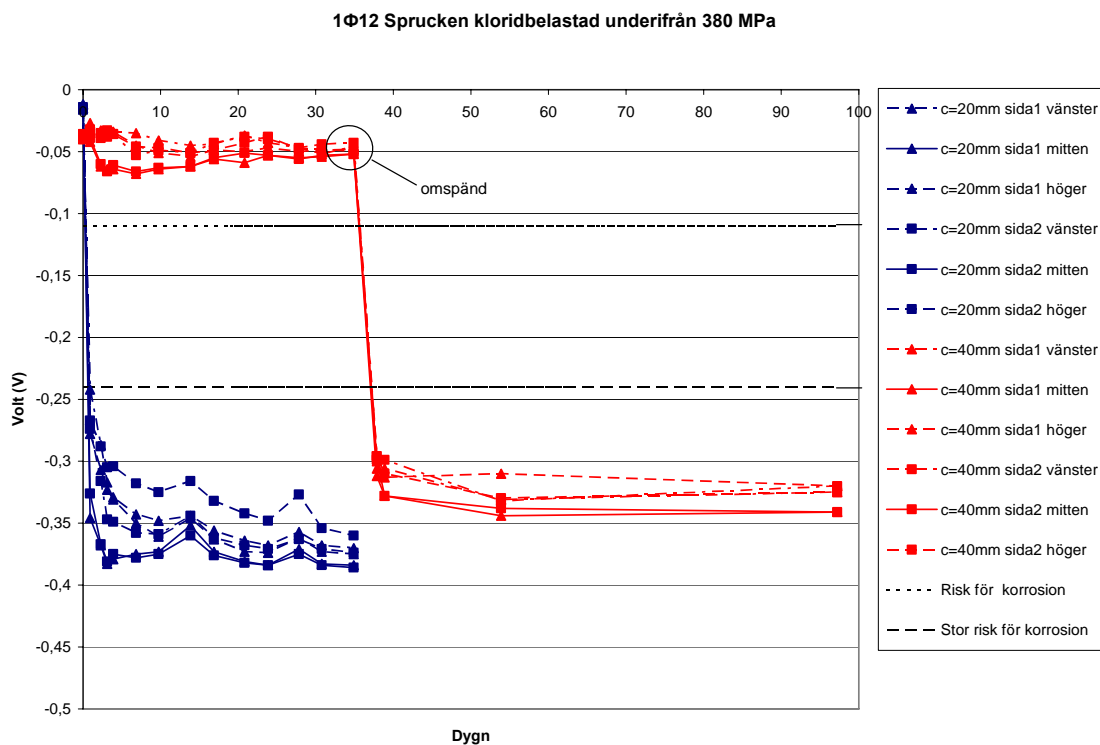


**Figur 6.3** Elektrisk potential uppmätt i balk 5, 6 och 7, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa täcksikt c 20 mm, 40 mm och 60 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.

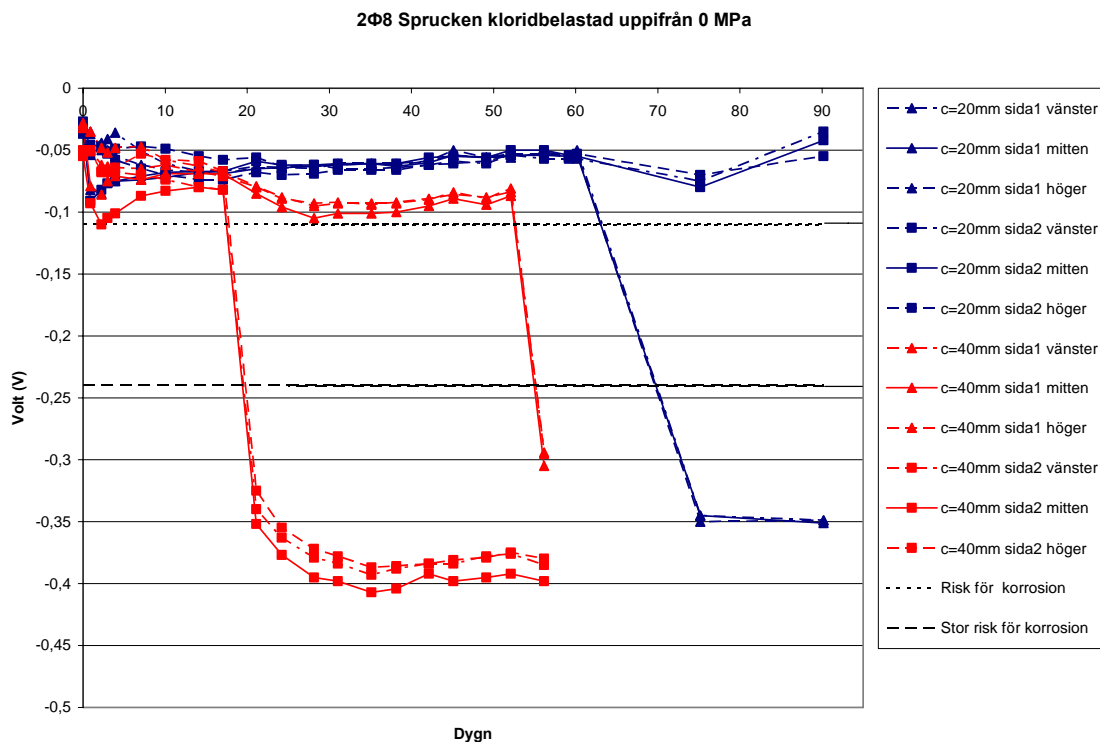




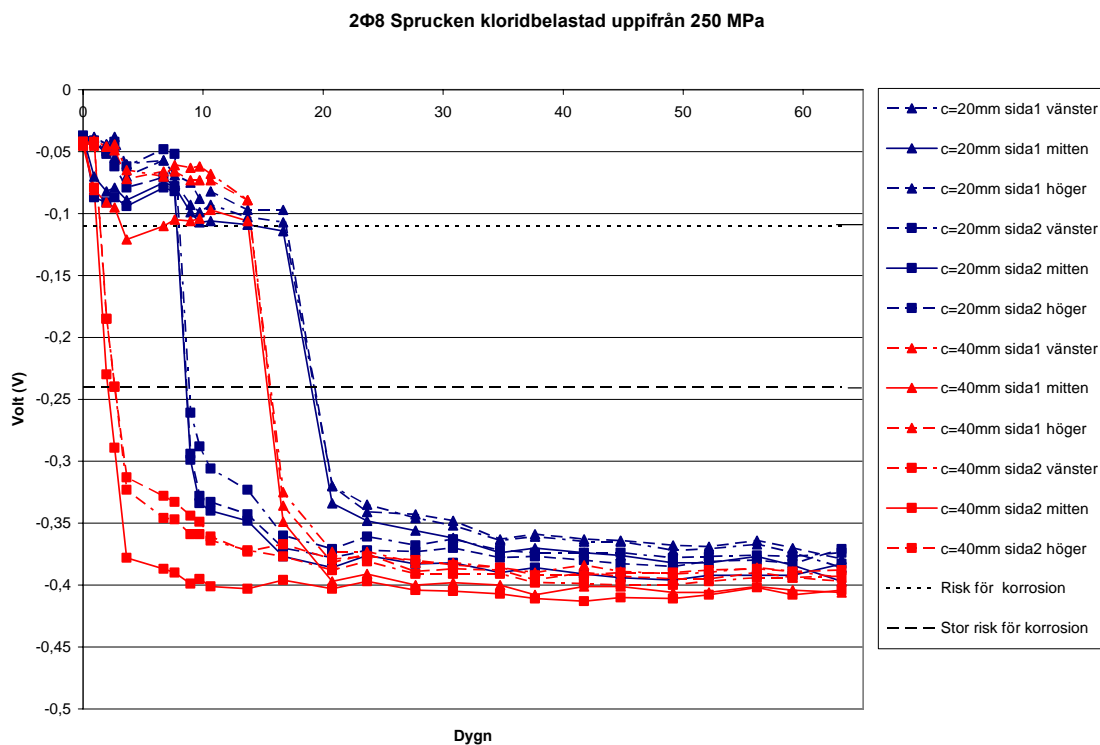
**Figur 6.4** Elektrisk potential uppmätt i balk 8 & 9, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 250 MPa täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



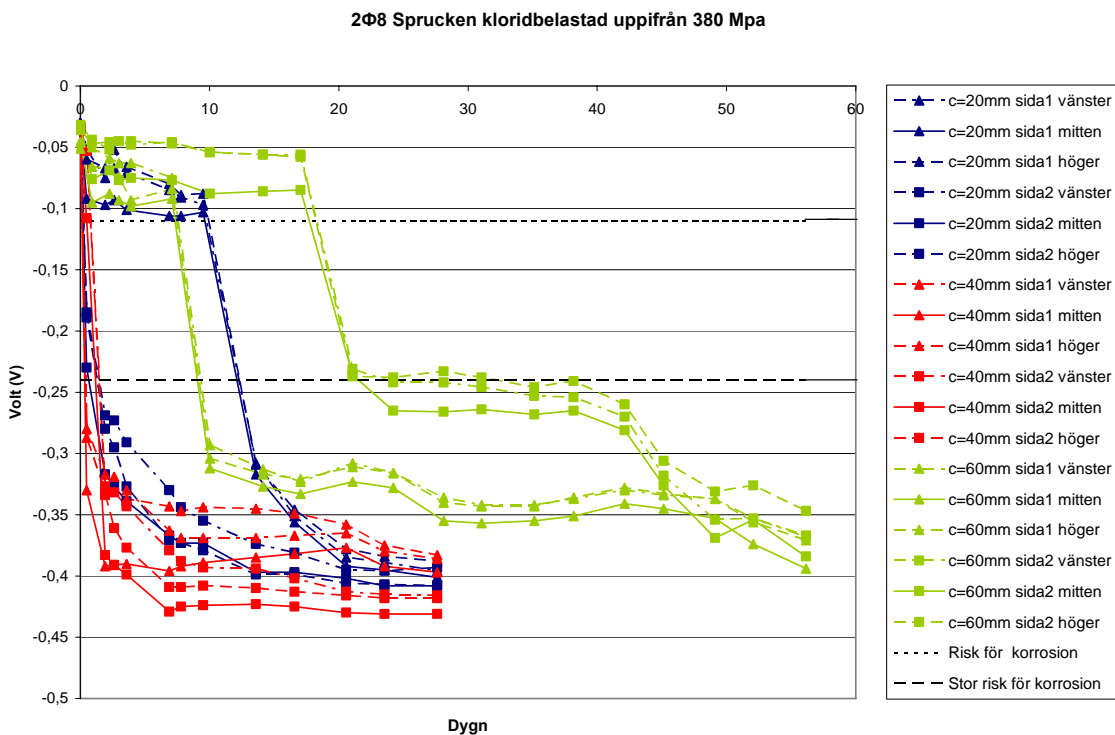
**Figur 6.5** Elektrisk potential uppmätt i balk 10 och 11, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 380 MPa täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



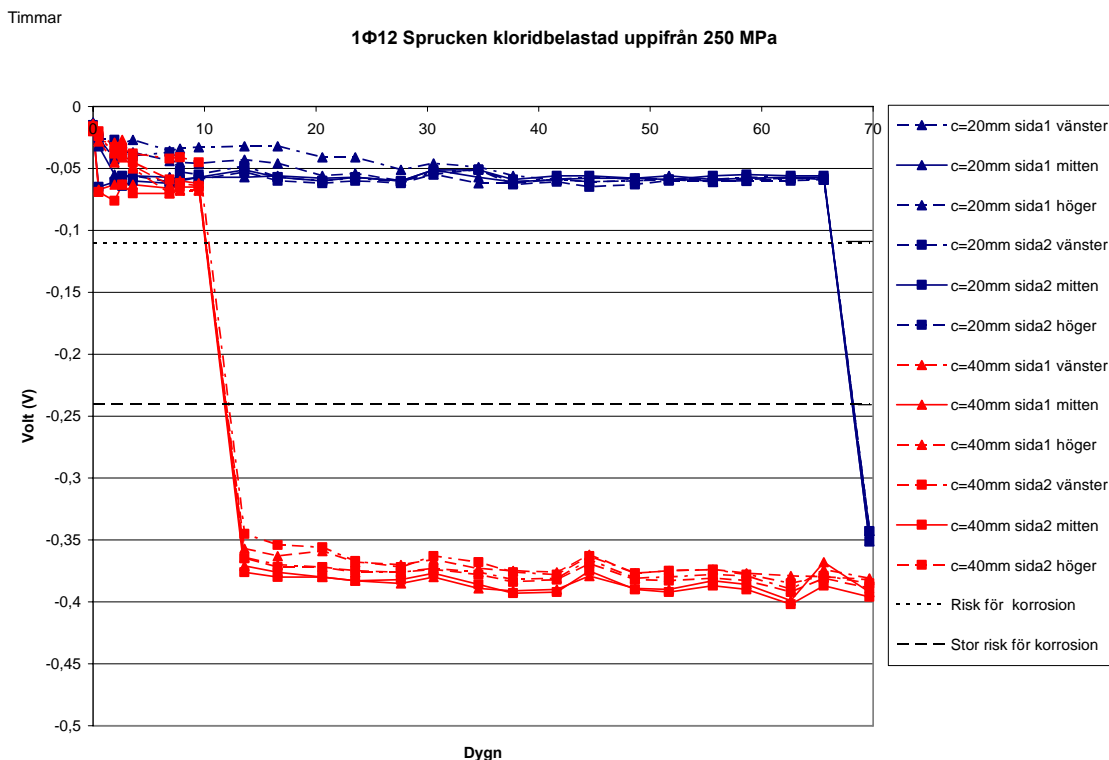
**Figur 6.6** Elektrisk potential uppmätt i balk 12 och 13, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



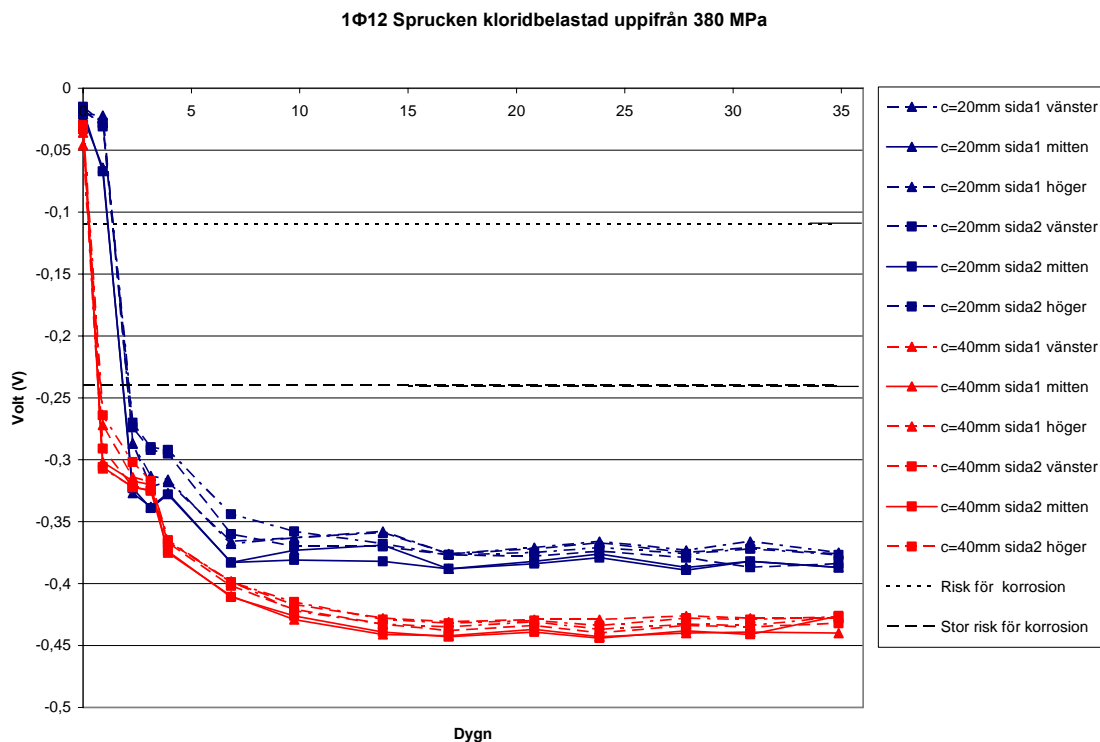
**Figur 6.7** Elektrisk potential uppmätt i balk 14 och 15, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



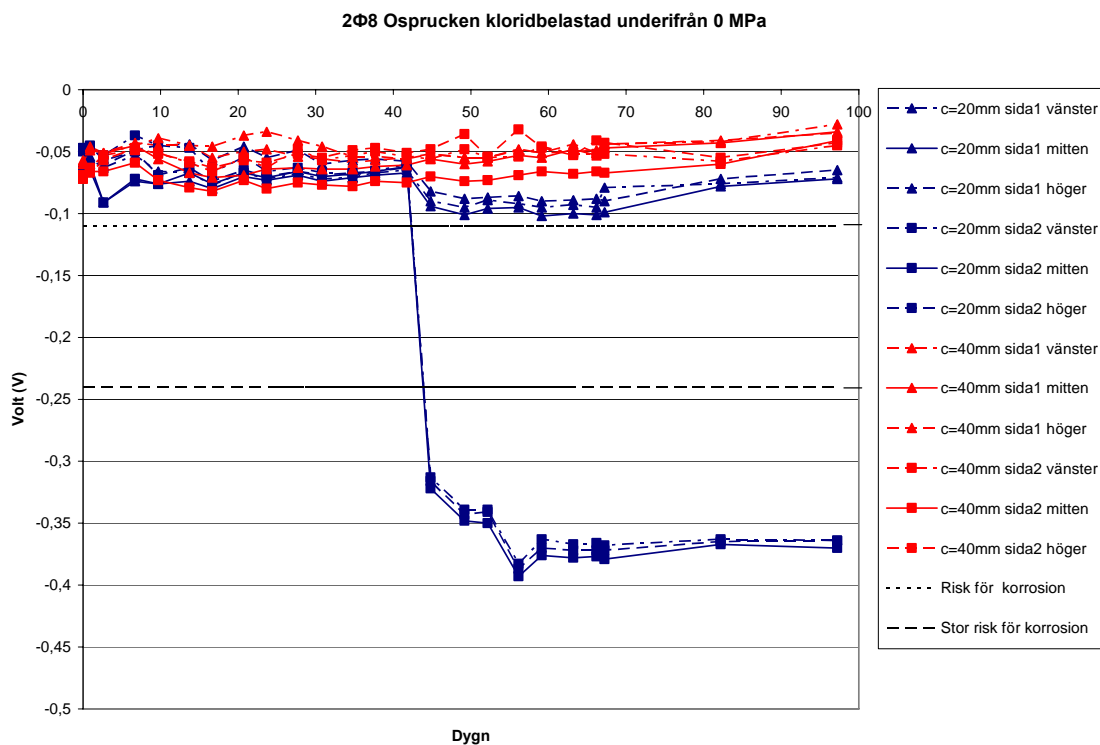
**Figur 6.8** Elektrisk potential uppmätt i balk 16, 17 och 18, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 380 MPa, täcksjikt c 20 mm, 40 mm och 60 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



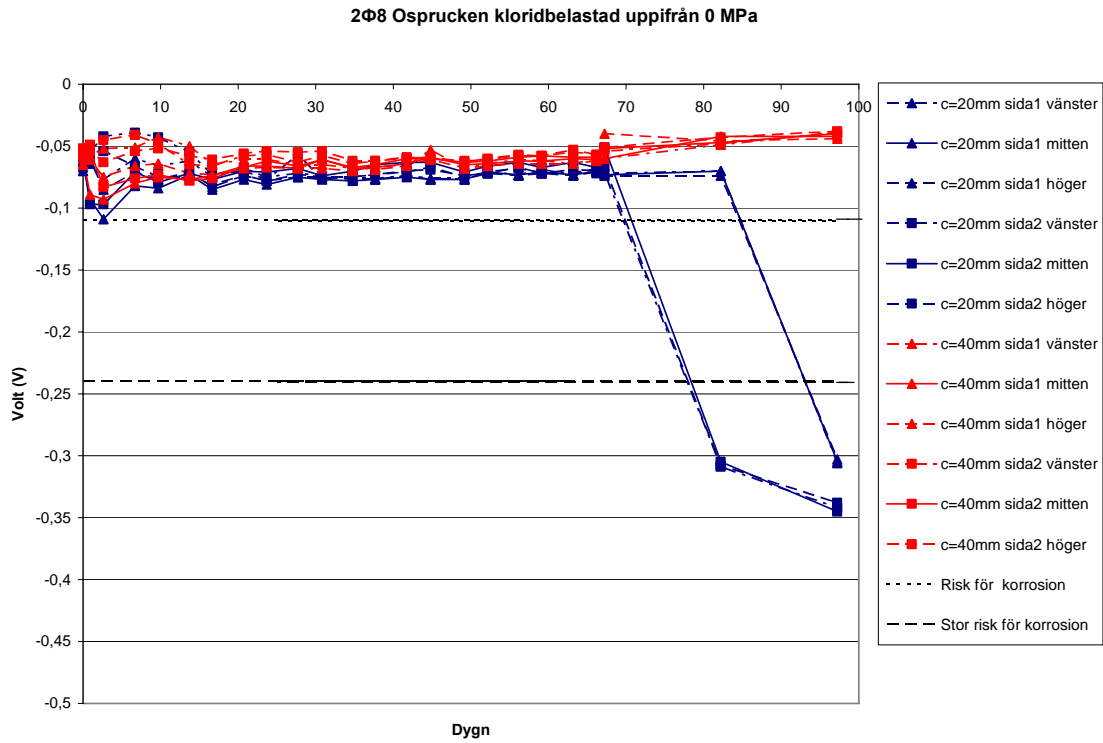
**Figur 6.9** Elektrisk potential uppmätt i balk 19 och 20, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 250 MPa, täcksjikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



**Figur 6.10** Elektrisk potential uppmätt i balk 21 och 22, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 380 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.









**Figur 6.11** Elektrisk potential uppmätt i balk 23 och 24, kloridbelastade underifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm och 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.



**Figur 6.12** Elektrisk potential uppmätt i balk 25 och 26, kloridbelastade uppifrån, spänning i järn 0 MPa, täcksikt c 20 mm resp. 40 mm. Diagrammet redovisar mätvärdena från de 3 mätpunkterna på respektive sida av balken.








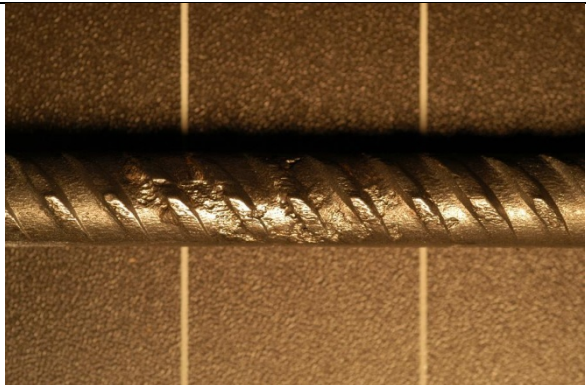
## Appendix B – Bilder

	
<p>1-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 1 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålsättning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>	<p>1-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 1 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålsättning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 3.</p>
	
<p>2-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 2 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålsättning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>	<p>2-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 2 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålsättning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>
	
<p>3-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 3 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålsättning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>	<p>3-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 3 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålsättning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>






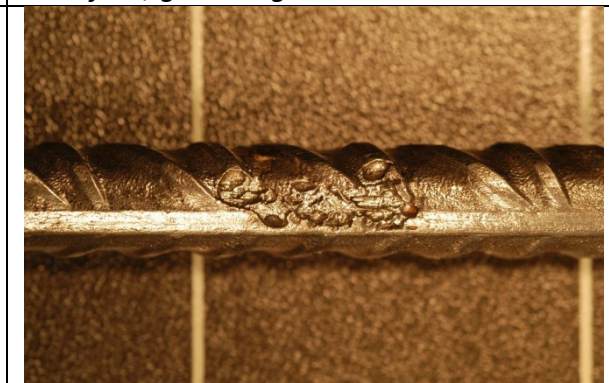


	
<p>4-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 4 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>	<p>4-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 4 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>
	
<p>5-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 5 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 3.</p>	<p>Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 5 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>
	
<p>6-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 6 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>	<p>6-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 6 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>






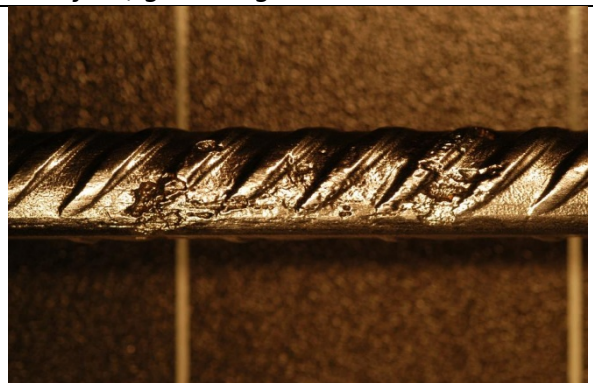


	
<p>7-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 7 med täckskikt <math>c=60</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>	<p>7-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 7 med täckskikt <math>c=60</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>
	
<p>8-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 8 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>	<p>9-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 9 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>
	
<p>10-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 10 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 3.</p>	<p>11-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 11 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>









	
<p>12-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 12 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>12-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 12 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.</p>
	
<p>13-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 13 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.</p>	<p>13-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 13 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>
	
<p>14-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 14 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>14-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 14 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>



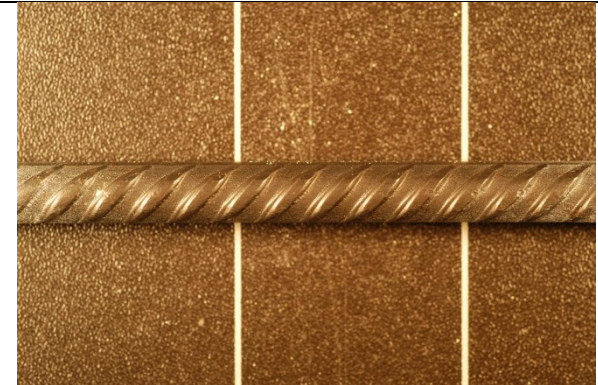

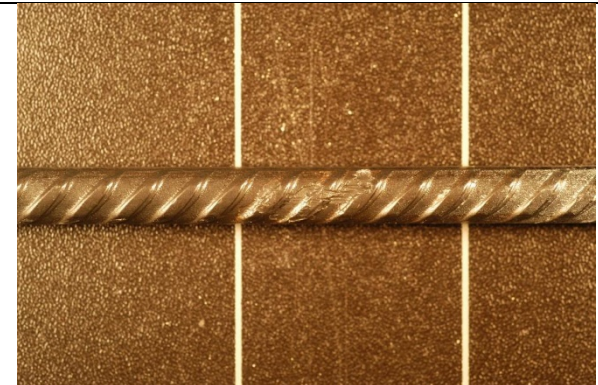
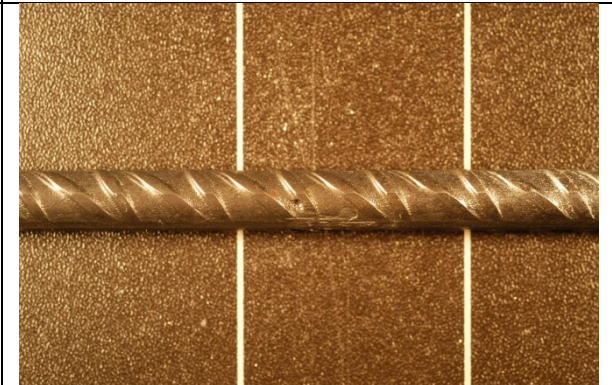


	
<p>15-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 15 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>15-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 15 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 3.</p>
	
<p>16-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 16 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>16-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 16 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>
	
<p>17-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 17 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>17-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 17 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>



	
<p>18-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 18 med täcksikt <math>c=60</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>18-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 18 med täcksikt <math>c=60</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>
	
<p>19-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 19 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.</p>	<p>20-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 20 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 250 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>
	
<p>21-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 21 med täcksikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 12 mm kloridbelastning ovanifrån, gradering 2..</p>	<p>22-1 Korrosionsangrepp på järn i balk 22 med täcksikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 380 MPa och diameter 12 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>



	
<p>23-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 23 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 2.</p>	<p>23-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 23 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>
	
<p>24-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 24 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>	<p>24-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 24 med täckskikt <math>c=40</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning underifrån, gradering 1.</p>
	
<p>25-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 25 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 2.</p>	<p>25-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 25 med täckskikt <math>c=20</math> mm, stålspänning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.</p>



26-1 Korrosionsangrepp på järn 1 i balk 26 med täcksikt  $c=40$  mm, stålspanning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.



26-2 Korrosionsangrepp på järn 2 i balk 26 med täcksikt  $c=40$  mm, stålspanning 0 MPa och diameter 8 mm, kloridbelastning ovanifrån, gradering 1.

