

CHALMERS



Inventering av skador och nedbrytningsmekanismer hos betongbroar i vägmiljö

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör*

LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2014
Examensarbete 2014:130

EXAMENSARBETE 2014:130

Inventering av skador och nedbrytningsmekanismer hos betongbroar i vägmiljö

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, 2014

Inventering av skador och nedbrytningsmekanismer hos betongbroar i vägmiljö
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER

© LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER 2014

Examensarbete / Institutionen för bygg- och miljöteknik,
Chalmers tekniska högskola 2014:130

Institutionen för bygg och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:
Källösundsbron (bro 14-497-1) en av broarna som ingick i undersökningen.

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Göteborg 2014

Inventering av skador och nedbrytningsmekanismer hos betongbroar i vägmiljö
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER

Institutionen för bygg- och miljöteknik
Avdelningen för konstruktionsteknik
Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Anläggningskonstruktioner utsätts för en aggressiv exponeringsmiljö, frostangrepp och tösalter, samtidigt som dessa förväntas ha en lång livslängd. Detta ställer höga krav på betongens beständighet. Syftet med projektet är att undersöka vad som begränsar livslängden hos armerade betongkonstruktioner i vägmiljö. Projektet inleds med en litteraturstudie där nedbrytningsmekanismer samt regelverk undersöks. Därefter har en undersökning gjorts där 43 utvalda konstruktioner har studerats. Undersökningen har utförts med hjälp av Trafikverkets broförvaltningssystem BaTMan där skador och åtgärder har inventerats för att sedan ligga till grund för en sammanställning som har för avsikt att ge en bättre uppfattning av vad som begränsar livslängden hos vägkonstruktioner. Skador och åtgärder anknutna till betongbeständigheten är de som studerats. Arbetet är avgränsat till motorvägsbroar i Västsverige projekterade under tidsperioden 1949 till 1979 då dessa konstruktioner börjat uppvisa beständighetsskador samt att intressanta förändringar i regelverket har gjorts under tidsperioden. Denna sammanställning har sedan använts för att dra slutsatser om skadeutvecklingen genom åren samt hur den hänger ihop med betongbeständigheten.

De viktigaste slutsatserna från undersökningen är att den främsta orsaken till skador på de undersökta konstruktionerna är kloridinitierad armeringskorrosion. Den konstruktionsdel som är mest utsatt och har flest allvarliga skador är kantbalkarna. Utformningen av detaljerna har visat sig vara mycket viktigt för en utsatt vägkonstruktions beständighet och minst lika viktigt som betongens kvalitet. Framför allt grund- och ytavlopp studerades då de visade sig vara problematiska. Frostskador var inte speciellt vanligt förekommande på de undersökta konstruktionerna.

Nyckelord: Armeringskorrosion, BaTMan, beständighet, betong, broar, detaljer, frost, grundavlopp, kantbalk, klorider, livslängd, Trafikverket, vägmiljö

Inventory of damages and degradation mechanisms on concrete bridges in road environment

Diploma Thesis in the Engineering Programme

Building and Civil Engineering

LEO LINDEGÅRD, DAVID MARKUNGER

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Structural Engineering

Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Constructions along roads are subjected to an aggressive environment, frost attack and de-icing chemicals, while they are expected to last a very long time. This requires concrete with high durability. This project aims to investigate the underlying causes of degradation on reinforced concrete structures in the road environment. The project begins with a literature study in which the mechanisms behind degradation as well as construction regulations are examined. Subsequently, a study has been conducted in which 43 selected structures have been studied. The study was conducted using BaTMan which is an administration tool developed by the Swedish Transport Administration. From BaTMan information about damages and repairs on structures has been inventoried. This information has then been compiled and analyzed to give a better idea of what limits the lifetime of road constructions. The study focus on damages and repairs related to durability of concrete. The project is limited to highway bridges in south western Sweden planned and designed over the period 1949-1979. This time period was chosen as these structures have begun to show signs of degradation and also interesting changes in regulations have been made during this period. The study has then been used to draw conclusions about degradation and how it relates to concrete durability.

The main conclusions from the study comprises that the main cause of damage to the investigated structures is chloride initiated reinforcement corrosion. Edge beams are the most vulnerable element of the structure and has the most serious damages. The design of details has proved to be very important for the durability of road constructions. Especially the drainage system turned out to be problematic. Frost damages were not very common among the investigated structures.

Key words: Reinforcement corrosion, BaTMan, durability, concrete, bridges, details, frost, drainage system, edge beam, chlorides, life expectancy, Swedish Transport Administration, road environment

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
DIPLOMA THESIS IN THE ENGINEERING PROGRAMME	II
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	1
1.3 Avgränsning	1
1.4 Metod	1
2 BETONGKONSTRUKTIONERS BESTÄNDIGHET SAMT LIVSLÄNGD	3
2.1 Nedbrytningsmekanismer	4
2.2 Armeringskorrosion	5
2.2.1 Initiering genom kloridinträngning	6
2.2.2 Initiering genom karbonatisering	8
2.2.3 Propagering av armeringskorrosion	9
2.3 Frostangrepp	10
2.3.1 Frysning utan vattentransport	12
2.3.2 Frysning med hydrauliskt tryck	13
2.3.3 Frysning med iskristalltillväxt	13
2.3.4 Exempel på frostbeständighet hos befintliga konstruktioner	14
2.4 Övriga nedbrytningsmekanismer	15
2.5 Reparation av betongkonstruktioner	16
2.6 Dimensionering för beständighet	17
3 REGELVERK GENOM TIDERNA	19
3.1 Allmänna svenska regler	19
3.1.1 Sammanfattning av regelutvecklingen	19
3.1.2 Genomgång av gällande regelverk under olika tidsperioder	23
3.2 Trafik- och vägverkets bestämmelser	26
3.3 Kort summering av dagens regelverk	27
4 INVENTERING AV VÄGKONSTRUKTIONER	29
5 RESULTAT AV INVENTERING	32
5.1 Nuvarande skador på konstruktionerna	32
5.1.1 Introduktion	32

5.1.2	Olika skador representerade på respektive konstruktionsdel	33
5.1.3	Tillståndsklassen för de olika konstruktionsdelarna	38
5.1.4	Tillståndsklassen för de olika skadetyperna	40
5.2	Reparationer utförda på konstruktionerna	42
5.2.1	Introduktion	42
5.2.2	Olika reparationsåtgärder utförda på respektive konstruktionsdel	43
5.3	Informationssökning i Trafikverkets arkiv	47
6	DISKUSSION OCH ANALYS	50
6.1	Vad är det som är avgörande för beständigheten hos en vägkonstruktion?	50
6.2	Skadebilden samt reparationsåtgärder på respektive konstruktionsdel	51
6.2.1	Kantbalk	51
6.2.2	Pelare	51
6.2.3	Brobanaplatta	52
6.2.4	Grund- och ytavlopp	52
6.2.5	Frontmur och vingmur	53
6.2.6	Bottenplatta	53
6.3	Skade- och reparationsåtgärdsutvecklingen i förhållande till regelverksutvecklingen	53
6.4	Beständighet som kan väntas från dagens konstruktioner	54
6.5	Osäkerheter och tolkningar	54
7	SLUTSATSER OCH SAMMANFATTANDE KOMMENTARER	56
7.1	Slutsatser	56
7.2	Sammanfattande kommentarer	56
8	FÖRSLAG PÅ FORTSATT STUDIER	58
8.1	Fördjupande studie	58
8.2	Undersök hur detaljutformningen utvecklats	58
8.3	Undersök problemen med ”vittring”	59
9	REFERENSER	60

Bilaga A: Sammanfattning av genomförda Intervjuer

Bilaga B: Sammanställning av undersökta vägkonstruktioner

Förord

Detta examensarbete är genomfört på Thomas Concrete Group AB i samarbete med Trafikverket.

Ett stort tack riktas till vår handledare Anders Lindvall på TCG AB som assisterat oss under hela projektet och vår examinator Ingemar Löfgren som kom med värdefulla synpunkter.

Vi vill vidare tacka Per Thunstedt, projektledare förvaltning på Trafikverket, som bidragit med värdefull information.

Tack till Jens Olevik och Torbjörn Johansson broinspektörer på Scanakos AB som gav oss nyttig information om inspektionsprocessen samt hur de använder sig av BaTMan.

Trafikverkets arkiv som har hjälpt oss att få fram information till undersökningen vill vi även tacka.

Sist men inte minst vill vi tacka övrig personal på TCG AB som bidragit till arbetet.

Göteborg juni 2014

Leo Lindegård

David Markunger

1 Inledning

Anläggningskonstruktioner är ofta avsedda att få mycket långa livslängder, i många fall över 100 år. Så långa livslängder kräver en god beständighet med avseende på de nedbrytningsmekanismer som förekommer i de miljöer konstruktionerna uppförs. En god beständighet förutsätter att val av ingående material och utformning av konstruktionerna görs på lämpliga sätt. Sådana val förutsätter i sin tur kunskaper om exponeringsmiljön kring konstruktionerna och hur denna påverkar olika nedbrytningsmekanismer. Olika nedbrytningsmekanismer har också olika konsekvenser på konstruktionens funktion, där vissa nedbrytningsmekanismer resulterar i att konstruktionens bärförmåga reduceras, t.ex. armeringskorrosion (främst initierad av kloridinträngning) medan andra mekanismer huvudsakligen resulterar i problem av estetisk karaktär, t.ex. saltfrostangrepp (åtminstone initiiellt).

1.1 Bakgrund

För att få en mer klar bild över vad som påverkar utsatta vägkonstruktioners beständighet med avseende på de vanligaste nedbrytningsmekanismerna har denna undersökning gjorts. Undersökningen består av en sammanställning av de olika nedbrytningsmekanismer som förekommer i tuff vägmiljö. En undersökning av ett urval konstruktioner har sedan gjorts för att se hur dessa påverkats. Detta för att sedan undersöka vilka nedbrytningsmekanismer som har medfört de största konsekvenserna.

1.2 Syfte

Projektet syftar till att undersöka vad som begränsar livslängden hos armerade betongkonstruktioner i vägmiljö. Resultaten från projektet kommer att medföra bättre kunskaper om vilka som är de allvarligaste nedbrytningsmekanismer som förekommer på konstruktionerna och vilka konsekvenser de har på konstruktionernas funktion, till exempel bärförmåga. Avsikten är att detta material ska ligga till grund för att utarbeta en mer realistisk beskrivning av vägmiljön.

1.3 Avgränsning

I projektet har tillståndet hos 43 utvalda betongkonstruktioner i sträng vägmiljö studerats och analyserats. Arbetet har avgränsats till brokonstruktioner på minst 300 m². Projektet har även avgränsats till att studera sådana konstruktioner som Trafikverket förvaltar. Urvalet av konstruktioner har gjorts på konstruktioner längs motorvägar främst i sydvästra Sverige och på ett sådant sätt att dessa skall vara representativa för beståndet.

1.4 Metod

Projektet inleds med en litteraturstudie. I litteraturstudien studerades huvudsakligen de aktuella nedbrytningsmekanismerna samt de gällande regelverken som behandlat betongbeständighetsfrågor. Huvuddelen i projektet består av en undersökning, där en inventering av vilka nedbrytningsmekanismer som förekommer på betongkonstruktioner i vägmiljö har gjorts. Inventeringen har gjorts på 43

konstruktioner som har valts ut. Dessa konstruktioner delas in i två huvudsakliga tidsspann, de projekterade mellan 1949 till 1965 samt 1965 till 1979. Valet av äldre konstruktioner grundar sig i att dessa konstruktioner kan ha börjat påvisa beständighetsproblem. I undersökningen har information hämtats från Trafikverkets broförvaltningssystem, BaTMan (Bridge and Tunnel Management). Den information som är av intresse för undersökningen innefattar åtgärder som gjorts på konstruktionerna samt aktuella skador. Detta har sedan använts som indikatorer för att utvärdera beständigheten. För kompletterande information om konstruktionerna har Trafikverkets arkiv inventerats. Intervjuer med en broförvaltare samt en broinspektör har också genomförts.

2 Betongkonstruktioners beständighet samt livslängd

När en betongkonstruktion byggs är det viktigt att vara medveten om de nedbrytningsmekanismer som finns samt hur de kommer påverka konstruktionen i framtiden. Vad det är för typ av konstruktion och i vilken miljö den befinner sig är avgörande. Vägkonstruktioner längs hårt trafikerade vägar så som motorvägar får utstå en väldigt tuff miljöpåverkan. Detta eftersom vägarna tösaltas vintertid vilket medför en kloridhaltig miljö vilket inte är gynnsamt främst med avseende på initiering av armeringskorrosion. Konstruktionerna får även utså en hel del vatten samt temperaturvariationer från plus till minusgrader vilket inte är gynnsamt med avseende på frostsador.

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

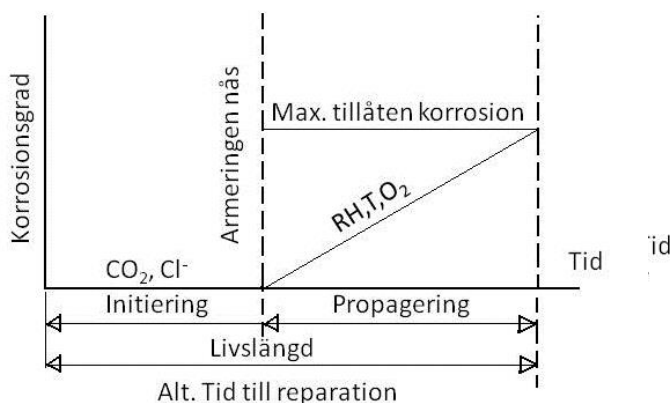
Alla betongkonstruktioners livslängder är begränsade eftersom de förr eller senare bryts ner av miljön. Hur fort detta går beror på hur aggressiv den omgivande miljön är. Det finns olika typer av nedbrytningsmekanismer. Det flesta betongkonstruktioner är förstärkta med stålarmering för att öka bärförmågan. Detta gör att konstruktionen blir extra känslig för miljöpåverkan då stålet lätt kan korrodera om inte hänsyn tagits vid dimensioneringen. Armeringskorrosionen beror främst på kloridinitiering. Andra exempel på nedbrytningsmekanismer är frostnedbrytning eller kemiska ämnen som bryter ned betongen.

Miljön kan i vissa fall påverka betongen positivt. Detta har observerats vid ett antal provningar som gjorts där betongen provtryckts näst intill brott, sedan har betongen lagrats i fuktig miljö under en tid för att sedan provtryckas igen. Hållfastheten har då inte märkbart ändras. Detta beror på att sprickor och liknande i betong har en tendens att självläka, Dhir m.fl. (1973). Förklaringen till detta är att då en betongkonstruktion spricker upp kommer nya oreagerade cementkorn i kontakt med luften vilket gör att de då reagerar med fukt i luften och sluter till sprickorna. Alla cementkorn i betongen reagerar inte heller direkt vid härdningen utan strukturutvecklingen i betongen fortsätter under en lång tid. Detta gör att äldre betong oftast har avsevärt högre hållfasthet än vad som var kravet vid byggnationen. I nya konstruktioner har dock betongen mer finmald cement som gör att denna effekt inte blir fullt lika stor som i äldre konstruktioner.

De viktigaste faktorerna som påverkar livslängden samt beständigheten hos en betongkonstruktion är följande:

- Betongmaterialets täthet, vilket främst bestäms av vattenbindemedelstalet, bindemedelstypen, komprimeringen och härdningssättet.
- Cementpastans kemiska sammansättning, som avgörs av bindemedlets typ och av vattenbindemedelstalet.
- Ballastens mineralogiska sammansättning
- Luftporstrukturen

I Figur 1 presenteras en konceptuell Livslängdsmodell, som i första hand beskriver förloppet vid armeringskorrosion men är också användbar till andra nedbrytningsmekanismer. I modellen delas livslängden in i en initieringsfas samt en propageringsfas. Under initieringsfasen tränger de skadliga ämnena in i betongen men nedbrytningen har ännu inte börjat. Sedan under propageringsfasen börjar materialet brytas ned. Hur lång tid respektive fas tar beror på den omgivande miljön och koncentrationen av skadliga ämnen. När nedbrytningen har nått den maximalt tillåtna gränsen anses att konstruktionens livslängd är nådd och alternativ åtgärd som reparation eller rivning behöver göras.



Figur 1 Livslängdsmodell enligt Tuutti (1982).

En annan sak som påverkar beständigheten är uppkomst av sprickor. Sprickor i betong kan uppstå under tillstyvnandet samt när betongen har hårdnat. Sprickor orsakas av töjningar i betongen som i sin tur kan vara orsakade av en rad mekanismer, så som rörelser genererade av betongen själv, expansion av inneslutande material samt yttre tvång och laster. Gränser finns uttryckta för vilken töjning olika konstruktioner klarar av. Om inte hänsyn tas till detta och för stora sprickor uppstår kan det begränsa konstruktionens livslängd, exempelvis då klorider kan tränga in genom sprickorna till armeringen och orsaka korrosion. Det är därför viktigt att vara medveten om vad som orsakat nedbrytningen då detta inte har någonting att göra med betongens beständighet.

2.1 Nedbrytningsmekanismer

Beroende på den omgivande miljön så finns det olika nedbrytningsmekanismer som verkar på armerade betongkonstruktioner.

Exempel på några olika angrepp betongkonstruktioner utsätts för:

- Armeringskorrosion
- Frostangrepp
- Sulfatangrepp
- Havsvattenangrepp
- Saltangrepp

- Urlakning
- Cement-ballastreaktioner

I svensk vägmiljö är armeringskorrosion orsakad av kloridinträngning den vanligaste och skadligaste nedbrytningsmekanismen hos betongkonstruktioner men även frostsador sägs ha varit ett stort problem. I andra länder kan det vara helt andra angrepp som är avgörande för konstruktionerna livslängd.

2.2 Armeringskorrosion

Följande text är huvudsakligen baserad på Byfors & Tuutti, (1994):

Armeringskorrosion initieras av huvudsakligen två angreppsmekanismer, kloridinträngning samt karbonatisering. Detta är ett problem som främst uppstår i aggressiva miljöer men kan med rätt betongsammansättning samt ett korrekt utförande minimeras och en god beständighet kan uppnås. Det är huvudsakligen två negativa effekter som armeringskorrosion medför. Den första är en reducering av armeringens tvärsnittsarea, vilket minskar konstruktionens lastupptagningsförmåga. Den andra innebär att korrosionsprodukterna upptar en större volym än det ursprungliga stålet vilket kan leda till att täcksiktet spjälkas loss. I Figur 2 visas en korroderad kantbalk där korrosionsskadan har uppstått på grund av ett läckande grundavlopp. Grundavloppet är även av koppar vilket kan ha förvärrat processen.



Figur 2 Korrosionsskada.

Armeringskorrosionen startar oftast på de ställen där kloridhalten är hög samt där täcksiktet är tunt. Utsatta konstruktionsdelar är då framförallt kantbalkar som får ta emot kloridhaltigt avrinningsvatten från vägen. Främst utsatt är den äldre typen av nedsänkta kantbalkar som innebär att kantbalken ligger i samma nivå som vägen och att avrinningen sker ut över balken. På nyare konstruktioner finns oftast upphöjda

kantbalkar där avrinningen sker genom grund- och ytavlopp. Genom stänk från bilar kommer dock kantbalken ändå i kontakt med klorider. Andra ställen där korrosionsskador skulle kunna uppstå är på pelarna om det går en väg under bron jämte pelarna. Även här är det stänk från bilarna som exponerar pelarna för klorider.

Armeringsstålet som är ingjutet i betongkonstruktionen klarar sig till en början mycket bra mot korrosion, på grund av betongens höga pH-värde. Denna basiska miljö gör att svårslösliga korrosionsprodukter bildas på stålets yta. Detta skyddar i sin tur stålet från korrosion, dvs. stålet befinner sig i ett passivt tillstånd, men om miljön vid armeringen förändras kan korrosion uppstå. Detta kan ske antingen genom att betongen karbonatiserar, dvs. en front av koldioxid tränger in och reagerar kemiskt och sänker pH-värdet vid stålet, eller att klorider tränger in. Kloriderna kan tränga igenom oxidfilmen på stålet, orsaka en lokal sänkning av pH, och starta korrosionsprocessen. Det som är viktigt att veta vid en livslängdsdimensionering är då den tid det tar för kloriderna alternativt karbonatiseringen att tränga igenom konstruktionens tätskikt.

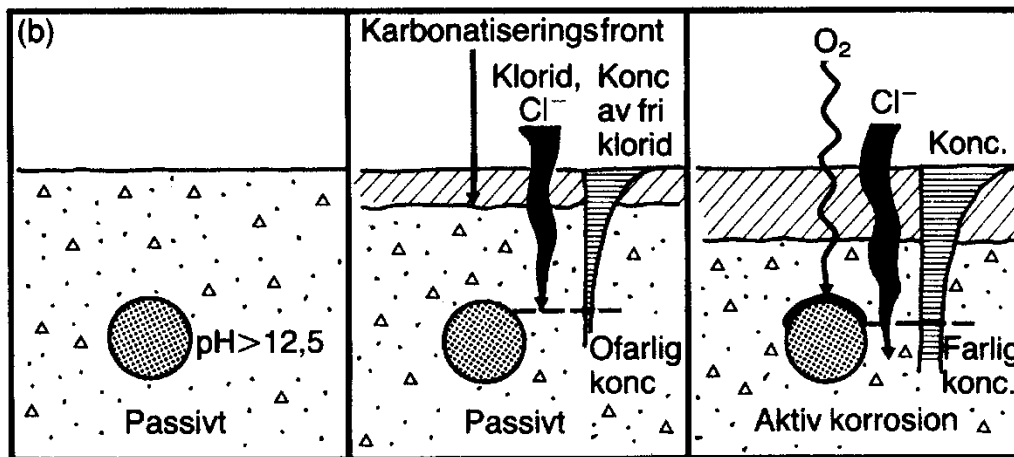
2.2.1 Initiering genom kloridinträngning

Följande text är huvudsakligen baserad på Byfors & Tuutti, (1994):

Kloridinträngning som initiering till korrosion är en av de vanligast förekommande skademekanismerna i Sverige. Kloridinträngning gör att den alkaliska miljön som skyddar armeringen genomgår en förändring, denna förändring i miljön möjliggör en korrosionsprocess att starta.

Klorider kan hamna i betongen på olika sätt, den kan tillföras i blandningen då cement, ballast, tillsatsmedel eller blandningsvatten kan innehålla klorider alternativt tränga in i betongen från externa källor. Då det finns ställda krav maximal kloridhalten på den betong som tillverkas idag så är detta inget problem.

Kloridinträngning innebär att kloridjoner tränger igenom det täckande betongskiktet in till armeringen och när kloridhalten når det så kallade kloridtröskelvärdet så initieras korrosionen vilket visas i Figur 3. Konstruktioner som främst har problem med kloridinträngning är konstruktioner som utsätts för tösalt och havsvatten.



Figur 3 Korrosion initierad genom kloridinträngning Fagerlund (1990).

Kloridinträngningen genom betong kan ske på olika sätt, då det gäller fuktig betong sker detta huvudsakligen via diffusion, medan kapillärtransport kan vara avgörande för betong som tidvis får torka ut. Det bör noteras att för klorider skall kunna tränga in i betong krävs en viss mängd fukt, eftersom kloriderna är lösta i vatten. Initieringstiden fram till dess att korrosionsprocessen påbörjas är beroende av:

- Omgivningens kloridkoncentration.
- Inträngningshastigheten för klorider.
- Betongens förmåga att binda klorider.
- Kloridtröskelvärde, dvs. den kritiska kloridhalten vid stålet då korrosion initieras
- Täcksiktets tjocklek.

Kloridinträngning genom diffusion är en process som sker då klorider lösta i vatten tränger in i betongen. Hastigheten med vilken kloridinträngningen sker beskrivs med en diffusionskoefficient. En låg diffusionskoefficient innebär att transporten av klorider genom betongen sker långsamt och viceversa. Olika inverkan faktorer som påverkar varaktigheten på initieringsfasen är:

- Vattencementtalet, har en betydande inverkan på diffusionskoefficienten med avseende på klorid, låga *vct* rekommenderas i kloridhaltiga miljöer.
- Bindemedel, som för olika blandningar ger olika diffusionskoefficienter. Olika bindemedelsblandningar påverkar även kloridtröskelvärde.
- Härdning, där dålig härdning, t.ex. utebliven fukthärdning, ger en ökad diffusionskoefficient. Detta betyder i sin tur att inträngning av klorider sker snabbare.
- Täcksiktets tjocklek, som är en avgörande faktor i initieringsprocessen. Konstruktioner som utsätts för en varierad fuktbelastning bör därför ha ett tillräckligt tjockt täcksikt som förhindrar fuktvariation vid armeringen. Byfors & Tuutti, (1994)

Kloridinträngning genom kapillärsugning är den process som sker då en torr betongyta utsätts för en kloridlösning. Kapillärsugning uppstår på grund av en tryckskillnad och kan vara avgörande då betong tidvis får torka ut. För att undvika kloridinträngning genom kapillärsugning bör tät betong med lång uttorkningstid användas, en lång uttorkningstid medför att endast några millimeter av ytskiktet utsätts för fuktvariationer. För att erhålla en tät betong bör ett lågt *vct* användas.

Kloridtröskelvärde är inte ett fast värde eftersom gränsen för kloridhalten då korrosion startar påverkas av en rad faktorer. Undersökningar har dock visat att ett ungefärligt värde är 1-2 % Cl av cementvikten förutsatt att armeringen ligger i en relativt konstant fuktmiljö. Då konstruktioner med små täcksikt utsätts för växelvis fuktning och uttorkning sjunker kloridtröskelvärdet till 0,1-0,3 % Cl av cementvikten Lambert m.fl. (1991), Tuutti (1991), Pettersson (1992).

Åtgärder finns att vidta både då man misstänker att ett korrosionsangrepp är på väg att starta men även då angreppet redan är påbörjat. För att reparera skador samt potentiella skador är den vanligast förekommande metoden att avlägsna kloridhaltig betong runt armeringen och efter rengöring gjuta ny betong.

För en ny konstruktion finns en rad åtgärder att vidta för att undvika kloridinitierad armeringskorrosion:

- Användandet av lågt *vct*
- Ett tjockt tätskikt
- Använda sig av ytbeläggningar på betongen. Detta kan både vara helt täta beläggningar, t.ex. bitumenbaserade mattor, eller beläggningar som är mer eller mindre öppna, t.ex. impregneringar.
- Beläggningar på armeringen, t.ex. zinkbeläggningar.
- Katodiskt skydd kan installeras
- Användande av rostfritt stål

Dessa åtgärder går och kan med fördel kombineras men det är framför allt lågt *vct* och tjockt tätskikt som är de enklaste och mest använda metoderna för att få en lång initieringsfas.

2.2.2 Initiering genom karbonatisering

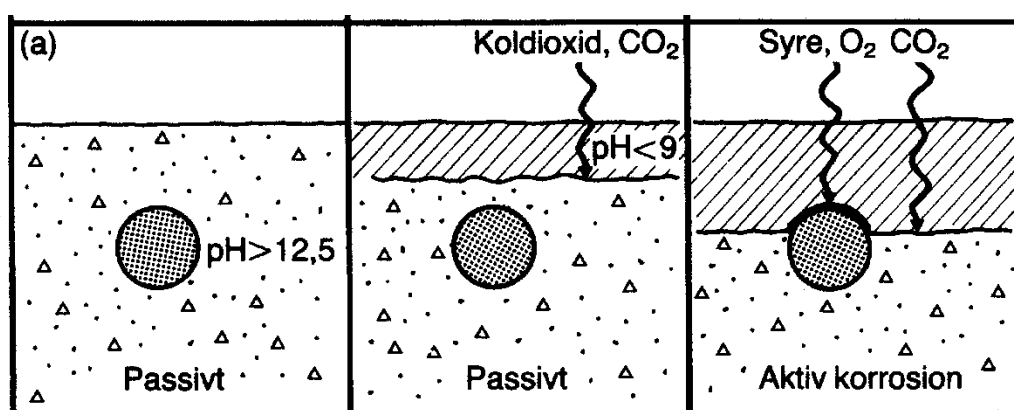
Följande text är huvudsakligen baserad på Byfors & Tuutti, (1994):

Armeringskorrosion initierad av karbonatisering är vanligt men oftast inte dimensionerande för vägkonstruktioner. Detta eftersom vägkonstruktioner normalt är byggda med betong av hög kvalitet dvs. lågt *vct* (*vct* under ca 0,55). Processen beskrivs kortfattat: En betongkonstruktion utomhus kommer så småningom att karbonatisera och detta sker genom att en front av koldioxid tränger in genom betongen och reagerar med hydroxyljonerna, vilket ger en sänkning av det annars

höga pH-värdet. När pH-värdet har blivit tillräckligt lågt kan armeringen börja korrodera. Denna process startar så fort karbonatiseringsfronten har nått in till stålet och beskrivs i Figur 4. Utformningen av konstruktionen samt sprickor och andra skador gör att karbonatiseringen inte tvunget angriper hela konstruktionen samtidigt utan kan uppkomma på vissa ställen tidigare än andra. Karbonatiseringshastigheten bestäms av:

- Diffusionshastigheten för CO_2
- Betongens förmåga att binda CO_2
- Omgivningens CO_2 -koncentration

Inträngningstiden för karbonatiseringsfronten bestäms därför av betongens täcksiktstjocklek men även av täcksiktets fukthalt samt av betongens *vct*. Ju fuktigare betongen är, desto längre tid tar det för koldioxiden att diffundera vilket saktar ned karbonatiseringsprocessen.



Figur 4 Korrosion initierad genom karbonatisering Fagerlund (1990).

2.2.3 Propagering av armeringskorrosion

Själva korrosionsprocessen är en elektrokemisk process och uppstår på grund av att laddningar transporteras mellan en anod och en katod. Denna elektronvandring möjliggörs av en potentialskillnad som medför att positivt laddade metalljoner frigörs vid anodytan, samtidigt som elektronerna via stålet transporteras till katoden. Där uppstår en reaktion mellan elektroner, syre och vatten under bildning av hydroxyljoner. Byfors & Tuutti (1994)

Följande är huvudsakligen baserat på Schiessl & Schwartzkopf (1986):

När armeringskorrosion har initierats börjar aktiv korrosion att propagera. Det som sker då är att armeringsstålet börjar brytas ned genom korrosion. Hur fort detta sker beror av miljön runt betongen, där både temperaturen samt tillgången på fukt och syre påverkar. Betongsammansättningen påverkar också korrosionshastigheten, där speciellt *vct* har stor inverkan. Vid en sänkning av *vct* så minskar även korrosionshastigheten eftersom betongens resistivitet ökar.

En viktig faktor för hur snabbt korrosion sker är betongens fukttillstånd. Det krävs en viss mängd fukt i betongen för att korrosion skall kunna fortgå. Om betongen är torr kan ingen korrosion ske eftersom betongens resistivitet är mycket hög samt att det behövs vatten för korrosionsprocessen ska starta. I en mycket fuktig betong sker också korrosion långsamt då det även behövs tillgång till syre.

Korrosion initierad av karbonatisering är mindre skadlig än korrosion orsakad av kloridinträngning eftersom själva korrosionsprocessen går långsammare vid karbonatisering. Detta gör att det oftast är armeringskorrosion initierad av kloridinträngning som är dimensionerande vid vägkonstruktioner. Fuktiga salthaltiga miljöer är väldigt ogynnsamma när det kommer till korrosion, vilket också oftast är fallet för de flesta vägkonstruktioner i Sverige. Det är därför viktigt att krav ställs på materialet och utförandet för att uppnå en god beständighet. En tät betong med ett tjockt täcksikt är att föredra för att minimera korrosion eftersom både initieringstiden samt korrosionsprocessen förlängs då.

2.3 Frostangrepp

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

Frostangrepp kan delas upp i två olika fall:

- Frysning som sker med *rent vatten* utanför konstruktionen, benämns *frostangrepp*. Angreppet sker oftast i betongens inre delar, medan ytorna ofta är intakta. Angreppet kan relativt lätt bemästras genom en något förhöjd lufthalt och användning av vattentät betong.
- Frysning som sker i närvaro av *salthaltigt vatten* eller vatten som är förorenat på annat sätt, benämns *saltfrostangrepp*. Angreppet är nästan alltid ett ytangrepp. Det kan enbart bemästras genom att luftporer med bestämd beskaffenhet införs i betongen, samtidigt som vattenbindemedelstalet görs mycket lågt.

Frostangrepp som har en relativt långsam nedbrytningshastighet på betongen kan ge upphov till att betongen spricker upp och att armeringen i konstruktionen kommer i kontakt med den omgivande miljön och börjar korrodera. Detta gör att nedbrytningshastigheten för konstruktionen ökar markant vilket bör tänkas på vid dimensionering.

Betongmassan har normalt en porositet mellan cirka 12-20 %. Denna porositet utgörs till största delen av gelporer samt kapillärporer. När betongen befinner sig i fuktig miljö eller när de regnar så sugts vatten upp och dessa porer vattenfylls. Om det sedan blir kallt utan att vattnet hunnit torka ut fryser det i porerna i betongen. De spänningar som då uppstår kan göra så att betongen spricker och i värsta fall spjälka upp betongen så att armeringen blottas. Vatten som innehåller svaga saltlösningar är extra aggressiva. Betong som befinner sig i extra fuktiga miljöer, till exempel brokonstruktioner vid havet eller vägkonstruktioner i övrigt är väldigt utsatta. Betong som saknar luftinblandning löper större risk att drabbas av frostsador. Hur kallt det är under fryscykeln spelar också roll. Ju kallare det är desto större risk är det för

frostskador. En betong som är beständig vid -10°C kanske inte klarar av -15°C . Fagerlund (1992)

Frostskadorna orsakade av saltfrostangrepp är lätt att identifiera genom de avflagningar som uppstår på konstruktionens yta vilket visas i Figur 5. Detta gör att betongen då får en skrovlig yta. Vid mer omfattande angrepp kan större bitar lossna och armeringen i konstruktionen kan komma att friläggas. Vid de allvarligare ytangreppen är nästan alltid salter inblandade och vid vägkonstruktioner är detta vanligt då vägarna tösaltas på vintrarna. De konstruktionsdelar som ofta är utsatta är de där vattnet står kvar en längre tid utan att avdunsta. Detta kan t.ex. vara i fogar där vatten kan samlas eller vid kantbalkar eller runt dräneringsrör. Bro och kajkonstruktioner vid havet är också extra utsatta. Oftast är frostskadorna bara ytliga eftersom fukthalten oftast är högst där men i vissa fall kan även frostskador inne i konstruktionerna uppstå. Om även ytliga skador föreligger kan de invändiga skadorna vara svåra att upptäcka. Förekommer enbart invändiga frostskador visar sig dessa genom att betongen ofta får många sammanhängande sprickor som går kors och tvärs. Dessa skador kan uppkomma i konstruktioner som står i vatten eller konstruktioner som är grundlagda under grundvattennivån så att de hela tider suger upp vatten kapillärt. Vattnet i konstruktionsdelarnas ytor dunstar då varför ytliga skador inte uppkommer. I vissa fall vid användning av porös ballast med stor vattenabsorptionsförmåga kan även inre frostskador uppkomma.



Figur 5 Saltfrostavskalning $0,5\text{kg}/\text{m}^2$.

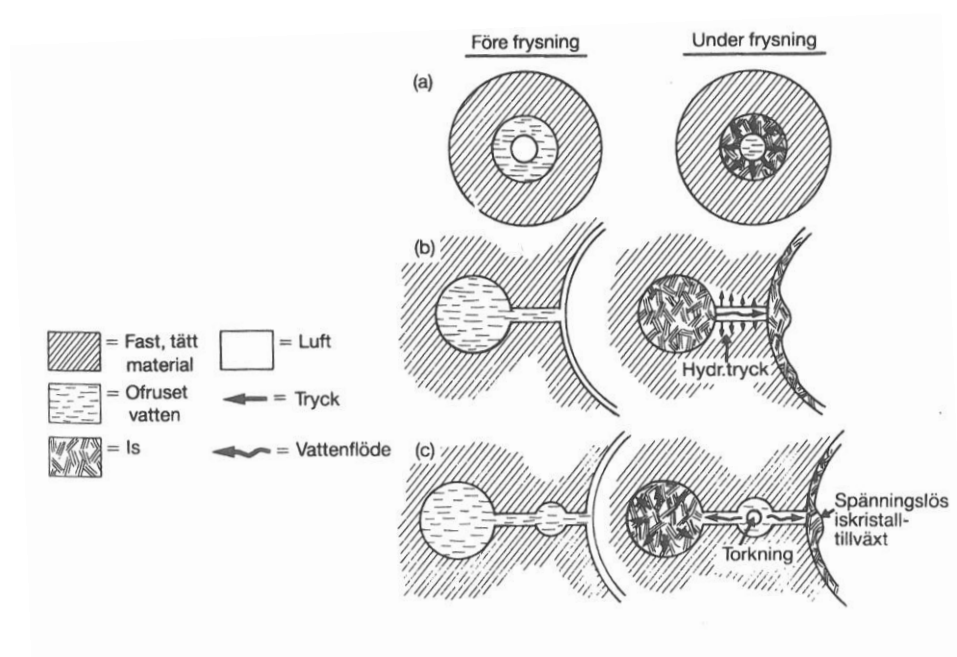
I betongen finns alltid en viss mängd vatten som är mer eller mindre hårt bunden. Detta gör att allt vatten i betongen aldrig är helt frysbart. Vattnet lagras i de finare porerna i betongen men vid lång tids kontakt med vatten alternativt hög fukthalt så kan även de grövre porerna samt luftinblandningsporerna fyllas med vatten. Porernas storlek har stor betydelse för vattnets fryspunkt. Ju större porerna är som innehåller vatten, desto tidigare fryser det. Det som även påverkar mängden frysbart vatten i

betongen är *vct*. Vid lågt *vct* minskar mängden frysbart vatten i betongen eftersom luftporstrukturen då blir finare vilket sänker frystemperaturen. Det är också viktigt att veta då detta påverkar mängden frysbart vatten i betongen är om betongen har utsatts för uttorkning.

Enligt Fagerlund (1994) finns det tre olika förstörelsemekanismer vid frysning som visas i Figur 6:

- Frysning utan vattentransport (a)
- Hydrauliskt tryck (b)
- Iskristalltillväxt (c)

Dessa mekanismer förklaras i följande stycken.



Figur 6 Beskrivning av de olika frysmekanismerna Fagerlund (1994).

2.3.1 Frysning utan vattentransport

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

Den första mekanismen, frysning utan vattentransport, innebär att vattnet fryser i ett slutet utrymme. Detta innebär att vattnets volymökning som är cirka 9 % vid frysning måste rymmas i utrymmet. Om så inte är fallet så kommer en spänning att uppstå vilket gör att betongen spricker upp. För att förhindra betongen från att spricka behövs en luftfylld volym i betongen finnas tillgänglig i närheten av frysporen så att vattnet kan expandera till denna. Luftvolymen behöver därför minst motsvara den frysbara mängden vattens volymökning.

Vid mycket liten mängd frysbart vatten i betongen så kan volymökningen tas om hand genom uttjörning. Detta kräver då att betongen har mycket lågt *vct*. Betongens

volymtöjningsförmåga är dock bara cirka 0,4 ‰ vilket medför att betong utan luftinblandning inte är att rekommendera.

Vid användning av en porös ballast kan även frysmekanismen uppstå. Ballasten kan då innehålla en viss mängd vatten som också måste ta vägen någon stans när det fryser. Men eftersom ballasten är ingjuten i betongen så kan vattnet inte transporteras ut till omgivande betongpasta. Detta gör att porös ballast som innehåller en hög fukthalt inte är användbar i frostbeständig betong.

Om vattnet är salthaltigt kan det till skillnad från ytangrepp förmildra frostskadorna vid frysning utan vattentransport. Detta eftersom den totala mängden frysbart vatten minskar vid saltinblandning.

2.3.2 Frysning med hydrauliskt tryck

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

När vattnet fryser i betongen och utvidgas behöver det transporteras till omgivande lufttrum. Transporten mellan porerna gör att ett vattentryck, så kallat hydrauliskt tryck, uppstår. Detta gör i sin tur att betongen oftast behöver en större mängd luftinblandningen än den som minst krävs vid frysning utan vattentransport. De faktorer som avgör det hydrauliska trycket är:

- Luftporavståndet
- Isbildningshastigheten
- Permeabiliteten

Permeabiliteten beror på betongens *vct*. Ju lägre permeabiliteten är i betongen desto högre blir det hydrauliska trycket. Likaså om temperaturen sjunker fort så isbildningshastigheten blir hög ökar det hydrauliska trycket. Luftporavståndet spelar också stor roll. Ju större luftporsavståndet är i betongen desto högre blir trycket. Detta gör att det finns en så kallad högsta kritiska avståndsfaktor för varje betongkvalité.

Även för denna mekanism kan salthaltigt vatten minska trycket till viss del på grund av att den frysbara vattenmängden minskar. Detta förutsatt att betongen har samma fukthinnehåll som vid rent vatten.

2.3.3 Frysning med iskristalltillväxt

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

Frysning med iskristalltillväxt är den tredje nedbrytningsmekanismen. Vid en viss temperatur kan de större kapillärporerna samt luftporerna innehålla en viss mängd is medan de mindre gel- och kapillärporerna innehåller underkyllt vatten. Underkyllt vatten har ett högre energiinnehåll än is vid samma temperatur och därför kommer vattnet att dra sig till iskristallerna för att kompensera för detta. Detta gör att iskristallerna kan växa till sig och på så vis bygga upp ett tryck utan att temperaturen minskar. Detta fortgår ända tills isens energiinnehåll ökat samt att vattnets fria

energiinnehåll har minskat så pass att jämvikt uppstått. Vid mindre luftporsavstånd minskar vattnets transportväg varvid även trycket minskar. Ett högsta tillåtna kritiska luftporsavstånd finns alltså även för denna frysmechanism.

Iskristalltillväxten uppkommer lättare hos betong med lågt *vct* då mängden icke frysbart vatten är störst där. Vid iskristalltillväxt har det påvisats att salthaltigt vatten försämrar beständigheten. Anledningen tros vara på grund av att saltet koncentreras hos det icke frusna vattnet varvid diffusion av saltjoner sker långsammare än diffusion av vatten. Detta skapar då ett osmotiskt tryck.

2.3.4 Exempel på frostbeständighet hos befintliga konstruktioner

Olika prover och tester har under en lång tid gjorts på befintliga vägkonstruktioner. Detta är intressant för att se hur stor inverkan betongsammansättningen har haft på konstruktionernas frostbeständighet. Förr var provningsmetoderna väldigt enkla och bestod enbart av tryckhållfasthet samt okulärgranskning av utborrade cylindrar. Ingen av metoderna gav någon bra bedömning av risken för frostsador och frostsadegraden om skador redan uppstått. Provning av frostbeständighet i laboratorium introducerades 1979, med en metod som påminner om den metod som används idag. Innan denna metod introducerades noterades eventuell frostnedbrytningen enbart okulärt på betongens yta eller utborrade cylindrar. En viktigt inverkan faktor för uppkomsten av frostsador har visat sig vara exponeringen för klorider. Vid studier på konstruktioner med frostsador har det noterats att kloridhalten ofta varit hög vid de skadade konstruktionsdelarna. Fagerlund (1990)

Cement- och betonginstitutet har gjort några provningar av frostbeständighet på utborrade cylindrar på ett antal vägkonstruktioner, Steorn (1982). De metoder man använde vid frysprovning är enligt Svensk Standards SS 13 72 25. Det innebär att provet utsätts för kloridhaltigt vatten under 24-timmars cykler varvid 16 tim är nedfruset vid -20°C och 8 tim är upptinat vid $+20^{\circ}\text{C}$. De konstruktioner som provades var projekterade mellan 1910-talet och fram till 1980-talet. Det som kan konstateras är att enligt provningsmetoderna så är frostbeständigheten genomgående rätt så dålig på samtliga konstruktioner innan lufttillsats i betongen fanns med. Dock hade enstaka broar från 1910-talet uppvisat riktigt bra frostbeständighet trots avsaknad av luftinblandning. Även några senare konstruktioner med luftinblandning visade sig ha dålig frostbeständighet. Dessa resultat indikerar att det inte enbart är luftinblandningen som styr frostbeständigheten. Några exempel på detta ges nedan:

Ett exempel är bro 2-453-2 över Kilsviken där frostbeständigheten visade sig dålig enligt provningsmetoderna trots luftinblandning. Bron byggdes 1978 och är projekterad enligt 1968 års bestämmelser för brokonstruktioner där enbart krav på lufttillsats samt tryckhållfasthet ställdes. Betongens *vct* kan antas ligga runt 0,54 och att det skulle kunna vara en bidragande faktor till sämre frostbeständighet. Efter undersökning av bron i Trafikverkets förvaltningsprogram, BaTMan, kan man dock konstatera att inga direkta skador eller åtgärder relaterade till frostbeständighet har

påvisats på konstruktionen trots att den vid laboratorieprovning uppvisat dålig beständighet.

Malmström (1996) har gjort en fältinventering på ett antal betongkonstruktioner. Ett exempel är bro 6-633-1 samt 6-633-2 över Röttleån som båda är byggd 1963 med betongkravet K350 utan lufttillsats. Enligt utborrade prover uppvisade betongen god beständighet med 300 g/m² avflagnig. Enligt BaTMan var brons kantbalkar i relativt dåligt skick varvid en kantbalk har bytts. Detta har dock antagligen berott på armeringskorrosion orsakad av kloridinträngning då betongens täthet troligen inte varit så god samt att täcksiktet endast varit 15 mm. Korrosionen har uppträtt främst vid droppnåsan på kantbalkarna.

Ytterligare en bro 6-18-1 på E4 över Huskvarnaån har studerats av Malmström (1996). Bron är byggd 1968 och betongen som används hade hållfastheten K300-K350 med en cementmängd mellan 300-360 kg/m³ samt med lufttillsättning. Enligt utborrade prov uppvisade betongen väldigt dålig frostbeständighet vid laboratorieprovning. Trots luftinblandning så översteg avflagningen hela 25 kg/m² för sågad yta samt 1 kg/m² för osågad yta. Trots denna dåliga frostbeständighet har inga skador med avseende på frost rapporterats i BaTMan. Kantbalkarna har däremot en del korrosionsskador som troligen är orsakade av kloridinträngning. Båda vid droppnåsan samt vid överkanten på några ställen. Kantbalkarna är av nedsänkt modell vilket har förvärrat kloridinitieringen.

Dock skall informationen tillägnas viss kritik då några uppenbara fel visade sig i Malmström (1996) när några av de studerade broarna jämfördes med information från BaTMan.

De konstruktioner som undersökts av Malmström (1996) och uppvisat dålig frostbeständighet enligt laboratorieprovning uppvisar dock i konstruktion inga allvarliga frostsador. Äldre konstruktioner med dålig frostbeständighet i laboratorieprovning har oftast även en betong med högt *vct* och små täckande betongskikt vilket leder till att armeringskorrosion initierad av klorider oftast blir den avgörande nedbrytningsfaktorn.

2.4 Övriga nedbrytningsmekanismer

De övriga nedbrytningsmekanismerna består främst av kemiska angrepp. Det finns många olika typer av kemiska angrepp och hur de påverkar betongen beror också på betongens uppbyggnad.

Exempel på kemiska angrepp:

- Kalkurlakning
- Sura angrepp
- Saltangrepp
- Havsvattenangrepp

- Ballastreaktioner
- Biologiska angrepp

De mekanismer som ligger bakom de olika angreppstyperna är inte alltid fullt ut klarlagda. Möjligheten att analysera vilka skador som kan uppkomma är därför begränsad. Men de parametrar som främst styr beständigheten hos betongen är dess kemiska uppbyggnad och permeabiliteten.

2.5 Reparation av betongkonstruktioner

I den aktuella undersökningen har reparationer som rapporterats delvis använts som en indikator på att någon form av nedbrytning har skett på konstruktionen och i sin tur föranlett reparationen. Därför är det viktigt att veta hur och varför reparationer är utförda på konstruktionerna.

Följande om reparationsåtgärder är hämtat från Fagerlund (2014):

Rätt utförda reparationer och underhåll av konstruktioner är viktigt för brons framtida beständighet. Förenklat går det till på följande vis. Om en skada upptäckts vid besiktning så analyseras först skadeorsaken och en analys om skadans omfattning görs. Därefter utreds om reparationsbehov föreligger, utifrån livslängdsbedömningar, säkerhetsbedömningar samt ekonomiska bedömningar. Om ett reparationsbehov föreligger så utreds de alternativa reparationsmetoderna som skulle kunna utföras. Slutligen väljs en metod och reparationen utförs. Viktigt är dock att inga oönskade konsekvenser uppkommer i samband med reparationen. Efter reparation av skadan är det viktigt att dokumentera vad som gjorts för att underlätta vid framtida besiktningar och utvärderingar.

För att kunna göra en bra reparationsanalys är det viktigt att ha god kunskap om samtliga nedbrytningsfaktorer samt hur de påverkar konstruktionerna. Denna kunskap behövs för att bestämma om en reparation är nödvändig eller om den kan avvakta. De mest frekventa skadorna både idag och förr är armeringskorrosion samt frostsador. Dessa skador hänger väl samman med konstruktionens fuktillstånd. Det är därför av stor vikt att känna till betongens fukttegenskaper samt det fuktmekaniska samspelet mellan det valda reparationsmaterialet och den tidigare konstruktionen.

Kunskapen om reparationer på betongkonstruktioner var väldigt dålig förr i tiden och är fortfarande under utveckling. På 1970-talet och tidigare var kunskapen inte speciellt bra då de flesta betongkonstruktioner inom vägmiljö fortfarande var relativt unga. Motorvägarna började byggas på 1950-talet och det tog minst ett par decennier innan skadorna började uppträda. Tösaltning av vägarna gjordes heller inte på 1950-talet vilket gjorde att armeringskorrosion initierad av kloridinträngning som är en av de mest frekventa och allvarligaste skadeorsakerna idag inte så ofta förekom. Betong med höga *vct* användes ofta vilket tillät en relativt snabb inträngningshastighet för klorider när tösalter väl började användas. Skador som då uppkom reparerades ofta med för tunna täckslicks och för dålig betong eftersom kunskapen var dålig. Följden blev då att skadorna snabbt uppkom igen.

Viktigt att notera är att det inte alltid är pga. bristande bärförmåga som reparationer behöver genomföras. Reparationer utförs ibland av exempelvis trafiksäkerhetssynpunkt, t.ex. byten av broräcken, Thunstedt (2014).

2.6 Dimensionering för beständighet

Följande text är huvudsakligen baserad på Fagerlund (1994):

När en betongkonstruktion ska byggas bestäms betongsammansättningen av olika standarder och regler. Förr i tiden var reglerna kortfattade och i princip fanns endast krav på en lägsta tryckhållfasthet. Med tiden har dock fler regler uppkommit och i dagens regelverk indelas miljön i olika exponeringsklasser. Beroende på vilken exponeringsklass konstruktionen hamnar i finns olika krav på vattenbindemedelstalet, lägsta cementhalt, typ av cement, tillsatsmedel och frysprovningsskrav osv. Vid dimensionering används dessa regler och en specifik kvantifierad livslängdsanalys för konstruktionen görs i princip aldrig.

I dagsläget så dimensioneras alla konstruktioner med avseende på beständighet beroende på i vilken exponeringsklass de hamnar. Krav på lägsta betongkvalité och minsta täckande betongskikt finns i SS 13 70 03 och SS 13 70 10. Livslängden blir normalt tillräckligt lång men det finns inga uppgifter på exakt hur lång den blir.

Det finns metoder för att verkligen beräkna livslängden, så kallad livslängdsdimensionering. För att kunna göra en sådan dimensionering bör följande information finnas tillgänglig:

- Kvantifierade funktionskrav
- Kvantifierade miljöegenskaper
- Kunskap om nedbrytningsmekanismen, dvs. om sambandet mellan material- och miljöegenskaper, inkluderande alla tänkbara samverkande synergistiska mekanismer.
- Mätmetoder eller beräkningsmetoder med vars hjälp kunskap enligt punkterna ovan kan omsättas i en livslängdsförutsägelse.

För att kunna göra en tillförlitlig livslängdsanalys behövs därför materialdata och samtliga nedbrytningsmekanismer behöver vara kända och kvantifierade.

Många gånger används provningar i laboratorium för att undersöka beständigheten hos betong. Laboratorieprovningar kan vara accelererade eller naturliga. Accelererade provningar innebär att betongen utsätts för mycket aggressivare miljö än den verkliga för att skynda på processen. Till exempel kan det vara stora temperaturändringar eller väldigt hög koncentration av det skadliga ämnet. Risken med detta är att man då kan få en förändring av mekanismerna som inte stämmer överrens med verkligheten. Vid naturliga provningar är provningsmetoden utformade så att den verkliga miljön så gott

det går återskapas. Dessa provningar har ofta lång varaktighet, men återspeglar den verkliga miljön bättre.

3 Regelverk genom tiderna

3.1 Allmänna svenska regler

Regelverkets utveckling är viktigt för att en jämförelse mellan olika konstruktioner skall vara möjlig. Vilken typ av betong som används samt vilket utförande som tillämpats är viktigt att ha som bakgrund då förekomst av eventuella skador skall jämföras. Regelverket för betongkonstruktioner i Sverige har utvecklats med tiden vilket speglas i de konstruktioner som finns idag. En sammanfattning av regelverken och dess utveckling presenteras i detta kapitel med fokus på beständighet. Reglerna som presenteras i detta kapitel är ett urval av relevanta regler för den här rapporten från 1926 till 1994. Fakta om regelverken har tagits från en sammanställning i Fagerlund (2010). För den aktuella undersökningen är också regler utgivna av Trafikverket, tidigare utgivna av Vägverket av stor relevans och avvikelserna kommer att behandlas i kap. 3.2. Reglerna har med åren gått in på en mer detaljerad nivå och regelverken som behandlas har huvudsakligen omarbetats vid årtalen:

- 1926
- 1934
- 1949
- 1965
- 1979
- 1988
- 1994

3.1.1 Sammanfattning av regelutvecklingen

3.1.1.1 Indelning i miljöklasser

Regelverket är kopplat till olika klassificeringar av exponeringsmiljön, i och med att regelverket har gått in på en mer detaljerad nivå med tiden har antalet klasser utökats. Huvudfokus i den här sammanfattningen ligger på regler för aggressiva frost- och korrosionsmiljöer, de konstruktioner som undersöks är i huvudsak motorvägskonstruktioner som i regel klassas som en aggressiv miljö. Före 1979 gjordes ingen skillnad på frost- och korrosionsmiljöer utan särskild hänsyn togs endast till frostmiljöer.

Period	Antal miljötyper kopplade till betongkrav			Antal miljötyper kopplade till täckskiktsskrav
	Totalt	m.a.p frost	m.a.p. korrosion	
1926-1934	0	0	0	2
1934-1949	6	1	0	4
1949-1965	4	1	0	3
1965-1979	6	3	0	3
1979-1994	6	3	3	3

3.1.1.2 Krav på högsta *vct* i de mest aggressiva miljöklasserna

År 1979 började det ställas krav på högsta *vct*, tidigare hade det ansetts tillräckligt med krav på lägsta tryckhållfasthet. Kravet på *vct* har med tiden blivit strängare med anledning av att tidigare krav visat sig vara otillräckliga i första hand med avseende på armeringskorrosion.

Period	<i>vct</i> (max)			
	Frostmiljö		Korrosionsmiljö	
	Måttlig aggr.	Mycket aggr.	Måttlig aggr.	Mycket aggr.
1926-1979	-	-	-	-
1979-1988	0,60	0,50	0,70	0,50
1988-1994	0,60	0,45	0,60	0,45

3.1.1.3 Krav på luftinblandning i betong

År 1965 så infördes krav på viss lufthalt i betong som befinner sig i frostmiljö, tidigare så fanns endast krav på en lägsta hållfasthet eller cementhalt.

Period	Lägsta lufthalt (%) vid 32 mm sten		Krav på frysprovning	
	Måttligt aggr.	Mycket aggr.	Måttligt aggr.	Mycket aggr.
1926-1965	-	-	-	-
1965-1979	Min 3,5	Min 4,5	-	-
1979-1988	Min 4,5 ¹⁾	Min 4,5 ¹⁾	-	-
1988-1994	Medel 5,0	Medel 6,0	-	-
	Min 3,5	Min 5,0		

1) Minst 13,5% av volymen cement+vatten+luft.

3.1.1.4 Krav på lägsta tillåtna cementhalt i betong med trögflytande och lösare konsistens

Mellan åren 1926 och 1979 fanns krav på att betong skulle innehålla en cementhalt som överskred ett bestämt värde. I och med detta krav så begränsades *vct* av en lägsta nivå som kunde uppnås. År 1979 så övergavs cementhaltskravet och beständigheten garanterades med hjälp av andra regler främst ett högsta krav på *vct*.

Period	Krav på cementhalt i betong med trögflytande och lösare konsistens för frost och korrosionsmiljöer (kg/m ³)
1926-1934	Min 250 Max 400
1934-1949	350
1949-1965	Beror på betonghållfasthet, konsistens och ballasttyp, 360-380 för K35
1965-1979	Beror på betonghållfasthet, konsistens och ballasttyp, 355-380 för K35
1979-1994	Inga krav

1) Reduktion med max 60 kg/m³ tilläts i utförandeklass I.
 2) Ekvivalent cementhalt dvs. mineraliska tillsatser inräknas med sina effektivitetsfaktorer. Värdet är inte direkt relaterat till beständighet utan till krav på tillräcklig täthet.

3.1.1.5 Krav på lägsta tillåtna tryckhållfasthet hos betong i aggressiv miljö

Mellan åren 1926 och 1979 så ställdes endast krav på lägsta tryckhållfasthet, perioden mellan 1979 och 1988 så fanns både krav på *vct* och tryckhållfasthet. Efter 1988 så övergavs tryckhållfasthetskravet som ersattes med krav på *vct*.

Krav på lägsta tillåtna tryckhållfasthet hos betong i aggressiv miljö (MPa)				
Period	Frostmiljö		Korrosionsmiljö	
	Måttligt aggr.	Mycket aggr.	Måttligt aggr.	Mycket aggr.
1926-1934	Inget krav			
1934-1949	K35			
1949-1965	K35			
1965-1979	K30	K40	Inget krav	
1979-1988	K30	K40	K25	K40
1988-	Inget krav			

3.1.1.6 Tillåtna cementtyper i tösaltnings- och havsmiljöer

Fram till 1982 så var portlandcement i princip den enda cementtyp som användes för vägkonstruktioner i Sverige. Från och med mitten av 1980-talet så är Cementa Anläggningscementet, betecknat CEM I LA/SR/BV, den cementtyp som näst intill uteslutande används i betongkonstruktioner i aggressiv miljö, detta sammanfaller med att frysprovning infördes som krav. Betong blandad med denna cementtyp har visat sig få bättre frostbeständighet i jämförelse med betong blandad med andra svenska cement.

3.1.1.7 Täcksikt

I reglerna gällande täcksikt finns två olika definitioner. Den första avser det absolut minsta täcksiktet som krävs för att korrosion inte skall starta inom önskad livslängd. Den andra avser minsta basmått som skall anges på ritning och som konstruktören använder vid dimensionering. Basmåttet är lika med minimimåttet adderat med den tolerans som tillkommer vid inläggning av armeringsjärn. Täcksiktets variationer över tid är svåra att jämföra då det fram till 1979 inte åtskildes minsta mått och basmått.

Krav på minsta täcksikt i korrosionsmiljö (mm), värdena gäller platsgjutna konstruktioner.				
Period	Minsta täcksikt	Antagen normal tolerans	Minsta basmått	Max <i>vct</i>
1926-1934	20 platta, valv 30 balk 40 pelare 1)	Inte angiven	Antagligen Samma som minsta täcksikt	Ej reglerat men ca 0,55-0,70
1934-1949	30 platta, valv 40 pelare 1)			Ej reglerat men ca 0,50-0,65
1949-1968	30 massiv platta, ram, vägg 40 pelare, valv 1)			Ej reglerat men ca 0,55-0,65
1968-1979	30 platta, vägg 45 annat 1)			Ej reglerat men ca 0,50-0,60
1979-1994	10 i karb.-miljö 20 i måttligt aggr. kloridmiljö 30 i mycket aggr. kloridmiljö +10 vid spännarmering			5
<p>1) Alla värden gäller för konstruktioner i eller närmast över vatten, vilket är den mest aggressiva miljön enligt normen.</p> <p>2) Värden inom parentes gäller perioden 1988-1994.</p> <p>3) Det antas att värdet är detsamma som under perioden före dvs. ca 0,50 till 0,60.</p> <p>Täckskikten som presenteras i tabellen antas gälla för 100 års livslängd.</p>				

3.1.2 Genomgång av gällande regelverk under olika tidsperioder

I detta kapitel görs en genomgång av regelverken utifrån ett tidsperspektiv där betydande förändringar kommenteras.

3.1.2.1 Perioden 1926-1934

Gällande regelverk är:

Normalbestämmelser för leverans och provning av cement (Cementbestämmelser) samt Byggnadsverk av betong och armerad betong (Betongbestämmelser), fastställd år 1926.

Regelverket som omfattar cement, delmaterial, betongmassa samt konstruktionsregler avhandlas på 44 sidor.

I kraven som angavs i cementbestämmelserna så var cementtyperna som uppfyllde normkraven: Portlandcement med högst 3 % ”andra, för särskilda ändamål gjorda tillsatser” samt Slaggportlandcement vilket dock användes i en begränsad utsträckning.

I de krav som ställs på betongsammansättning finns ett antal kommentarer som är intressanta att ta upp. Då vibreringstekniken inte var känd formuleras kraven på betongkonsistens så att manuell packning av betongen var möjlig. För konsistensmätning fanns sättkonen som hjälpmedel men var ännu inte introducerad som standard vilket medförde att konsistensklasserna är beskrivs på ett mera ”handfast” sätt. Det finns inga formulerade krav på högsta v_{ct} men genom att utgå ifrån de krav som finns formulerade för konsistens går det att beräkna ett ungefärligt v_{ct} vilket hamnar mellan 0,54 och 0,71.

Det ställs inga krav på frostbeständighet i den mening att det inte fanns krav på luftinblandning då inverkan av luftinblandning inte var känd. Likaså ställs inte några krav på frysprovning.

Det finns inga formulerade krav på den maximala sprickvidd som accepteras på betongkonstruktioner.

Krav som finns för täckskikt är svårtolkade, för de värden som finns är det inte angivet huruvida de avser minimimåttet eller basmåttet.

I regelverket görs ingen skillnad på olika miljötyper exempelvis så beaktades korrosion i havsvatten på samma sätt som korrosion orsakad av karbonatisering.

3.1.2.2 Perioden 1934-1949

Gällande regelverk är:

Statliga cement- och betongbestämmelser av år 1934 samt statliga cementbestämmelser av år 1943.

Kraven på cement enligt cementbestämmelserna är huvudsakligen samma som i 1926 års bestämmelser. Hållfasthetskraven för Portlandcement är dock något förhöjt jämfört med tidigare års bestämmelser.

1943 reviderades bestämmelserna och Portlandcementet delades in i tre olika typer som beror av tiden som krävs för att cementet skall hårdna:

- Snabbt hårdnande Portlandcement
- Standardportlandcement (motsvarar det tidigare Portlandcement klass A)
- Långsamt hårdnande Portlandcement

Under denna period införs regler för minsta cementhalt hos betong i olika miljötyper vilket medför att en viss minsta beständighetsnivå kan förväntas.

I de krav som ställs på betongsammansättning finns inget formulerat krav på högsta *vct*. De krav som ställs på lägsta cementhalt begränsar dock ett högsta *vct* beroende på betongsammansättningens konsistensklass. För de mest utsatta konstruktionerna så hamnar *vct* mellan 0,50 och 0,56.

Det förekommer inget krav på total kloridhalt i en betongsammansättning.

3.1.2.3 Perioden 1949-1965

Gällande regelverk är:

Statliga betongbestämmelser, del 1 materialdelen fastställd år 1949. Statliga cementbestämmelser 1934 samt statliga cementbestämmelser B1, 1960.

Enligt gällande cementbestämmelser så tillåts det samma cementtyper som enligt 1934 års regler. 1960 tillkom dock ett antal förändringar i förhållande till tidigare bestämmelser i de nya cementbestämmelserna B1. Bestämmelserna B1 ställer bland annat krav på högsta tillåtna kloridhalt.

Krav ställs här på minsta cementhalt i olika miljötyper. Något krav på *vct* införs dock inte. Utifrån kraven som ställs på cementhalt ligger *vct* för svåraste miljön mellan ca 0,53 och 0,56.

För första gången införs krav på frostbeständighet. Provning av frostbeständighet införs nu som en möjlighet, dock inte som ett krav. Provtagning används då det råder tveksamheter gällande ballastmaterialets lämplighet.

I 1949 års normer införs tre betongklasser, Klass I, Klass II samt Klass III för första gången. Där Klass I betong måste proportioneras genom förprovning, Klass II- och III-betong får proportioneras enligt fastställda tabeller.

3.1.2.4 Perioden 1965-1979

Gällande regelverk är:

B5, bestämmelser för betongkonstruktioner, material och utförande, betong, fastställd år 1965, reviderad år 1973 samt 1978 (Utgåva 2). B6, bestämmelser för betongkonstruktioner, material och utförande, armering, fastställd år 1968. B1, statliga cementbestämmelser, fastställd år 1960.

Cementbestämmelserna är samma som 1960 års bestämmelser.

Något krav på *vct* införs inte. Utifrån kraven som ställs på cementhalt ligger *vct* mellan ca 0,50 och 0,60.

Frostbeständigheten tas i beaktande och en minsta lufthalt införs för konstruktioner i frostmiljö, 4,5% för konstruktioner i fuktig och salthaltig miljö.

I kraven för betongsammansättning införs krav på vattentäthet.

Liten skärpning i täckskiktskraven i 1968 års tillägg, där konstruktionsdelar i eller närmast vattenytan har fått ett tillägg.

3.1.2.5 Perioden 1979-1988

Gällande regelverk är:

BBK 79, bestämmelser för betongkonstruktioner, Band 1, konstruktion, fastställd 1979. BBK 79, bestämmelser för betongkonstruktioner, Band 2, material, utförande, kontroll, fastställd år 1979. B1, statliga cementbestämmelser, fastställd år 1960. B1, statliga cementbestämmelser, utgåva 2, fastställd år 1982.

De cementbestämmelser som gäller är samma som under tidigare period det vill säga B1. 1982 tillkom dock en Utgåva 2. Där ställs hårdare krav på högsta tillåtna kloridhalt i betong vilket bland annat utesluter användandet av havsvatten vid betongtillverkning.

Ett krav på högsta *vct* införs för de mest aggressiva miljöklasserna, där *vct* 0,50 införs för mycket aggressiv miljö.

I kraven för täcksikt införs för första gången begreppet ”basmått”.

3.1.2.6 Perioden 1988-1994

Gällande regelverk är:

BBK 79, bestämmelser för betongkonstruktioner, Band 1, konstruktion, utgåva 2, fastställd år 1988. BBK 79, bestämmelser för betongkonstruktioner, Band 2, material, utförande, kontroll, utgåva 2, fastställd år 1988. B1, statliga cementbestämmelser, utgåva 2, fastställd år 1982.

Kravet på minsta tillåtna hållfasthetsklass tas bort och *vct* kravet skärps, i de mest aggressiva miljöerna skärps kravet från 0,50 till 0,45.

Krav på maximal kloridhalt skärps samt krav på kloridhalt i enskilda delmaterial ställs.

Lufthaltskravet skärps i förhållande till tidigare period, vilket innebär en ökning av lufthalten i betongen.

3.2 Trafik- och vägverkets bestämmelser

Utöver de allmänna svenska reglerna finns även tillägg utgivna av olika statliga verk. Regelverket som är beskrivet ovan är inte det regelverk som fastställer vilka betongkvaliteter som i slutändan används vid utformningen av de konstruktioner som undersökts i denna rapport. Regelverk som utformas av Vägverket numera Trafikverket är de regler som i första hand gäller vid utformandet av denna typ av konstruktioner. Detta innebär att det tillkommer ett antal tillägg även om det i stor utsträckning går att se till de allmänna reglerna.

Bronormer som utgivits under en betydande tidsperiod med avseende på denna rapport samt en kort kommentar med avseende på påverkande krav redovisas i tabellen under.

År	Norm	Påverkande krav
1969	VV Bronormer 1969	-
1976	VV Bronormer 1976	Krav för att förhindra skadlig sprickbildning. Införande av dagens trafiklastsystem.
1988	Bronorm 88	Högre krav på beständighet med avseende på sprickberedd och materialkvalitet. Nya regler för utmattningsdimensionering av betong och armering.
1994	BRO 94 Allmän teknisk beskrivning för broar	Nya krav angående sprickriskberäkning samt åtgärder för att förhindra sprickbildning.

Utöver de regelverk som beskrivs i tabellen ovan har även tillägg gjorts.

1983 utgavs ett tillägg till VV Bronormer 1976 där Portlandcement baserad betong specificeras vid vägkonstruktioner av den typ som undersöks i denna rapport. Även före 1983 så har dock Portlandcement i princip uteslutande använts enligt Harryson (2014).

3.3 Kort summering av dagens regelverk

Regelverken som presenterats i rapporten har valts ut med motivering att beskriva vilken typ av betong samt utförande som använts vid projektering av de konstruktioner som jämförts dvs. fram till 1979. För att kunna göra en bedömning av beständigheten hos dagens konstruktioner görs en kort genomgång av dagens regelverk. Regelutvecklingen har varit sådan att kraven har skärpts vad gäller betongsammansättning samt täckande betongskikt. I dagens regelverk är inverkan av exponeringsmiljön beskriven i 18 olika exponeringsklasser, här tas endast de mest aggressiva exponeringsklasser upp (XD 3 och XF 4, vilket innebär att konstruktionen utsätts för tösaltning och växlande fukt).

Regelverket gällande beständighet för dagens vägkonstruktioner (2014) är:

EN 1990 samt EN 1992 med det nationella tillämpningsdokumentet EKS 9. Europeiska betongstandarden EN 206-1 med det nationella tillämpningsdokument SS 13 70 03. Europeiska cementstandarden EN 197-1. TRVK bro, AMA Anläggning och TRVAMA Anläggning.

Regelverket delas upp i tre olika underkategorier som är de mest relevanta:

- Cement (regleras i AMA Anläggning och TRVAMA Anläggning)

Cementet skall uppfylla kraven för CEM I-SR3 i EN 197-1, dvs. ett rent Portlandcement. Dessutom skall cementet uppfylla krav på moderat värmeutveckling (MH) och vara lågalkaliskt (LA).

- Betong (regleras i SS 13 70 03 och AMA Anläggning)

Kravet gällande w/c är begränsat med ett högsta värde 0,40 (XD 3) och 0,45 (XF 4), enligt SS 13 70 03. Det finns inget krav formulerat på lägsta tryckhållfasthet.

De krav som finns formulerande med avseende på frost, är att god frostbeständighet skall uppvisas vid frostprovning, enligt SS 13 72 44.

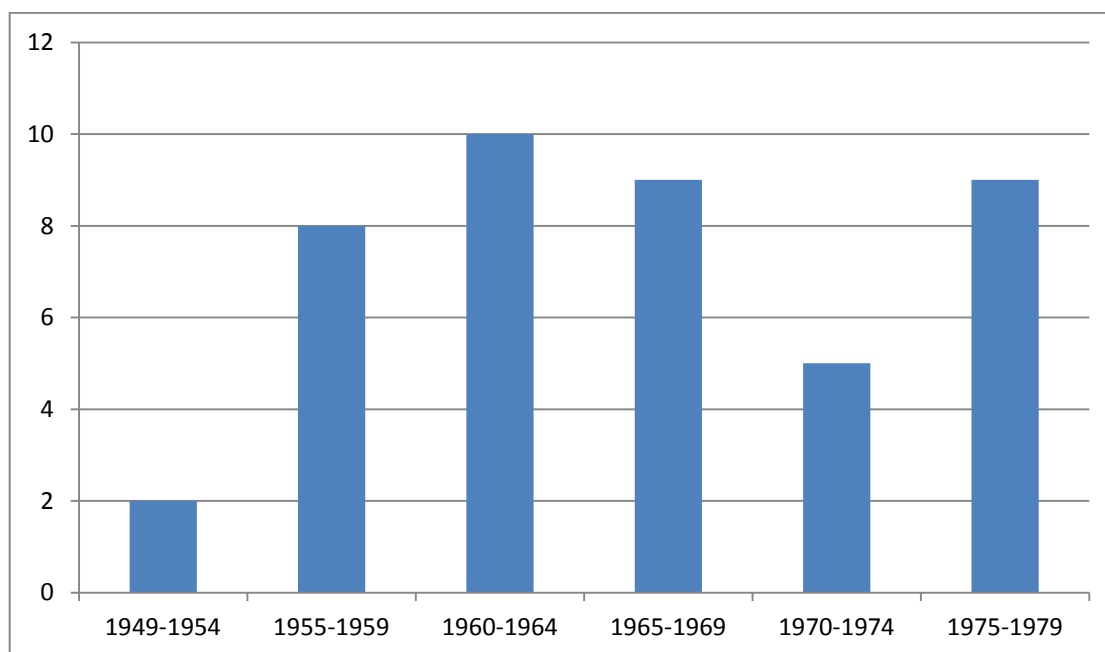
- Täckande betongskikt (regleras i TRVK Bro)

En korrosionskänslig armering i en konstruktionsdel i vägmiljö ska ha ett minsta täckande betongskikt av 65 mm. I en vägbro ska en korrosionskänslig armering i brobaneplattans översida ha ett minsta täckande betongskikt av 45 mm.

4 Inventering av vägkonstruktioner

I den aktuella undersökningen har 43 vägkonstruktioner valts ut längs motorvägarna i Västsverige som sedan har undersökt i Trafikverkets förvaltningssystem BaTMan. Konstruktionerna har delats in i två huvudgrupper, de som är projekterade mellan 1949-1965 samt 1965-1979. Valet att se till projekterings i stället för byggnadsår år grundar sig i att det är projekterings årets regler som gäller. År 1965 skedde även en viktig förändring i regelverket då bland annat krav på lufthalt i betongen infördes. Nyare konstruktioner har inte inkluderats i undersökningen då beständighetsproblem inte bedöms ha hunnit uppstå i någon större omfattning.

Åldersfördelningen med hänsyn till projekterings år på de konstruktioner som är inkluderade i undersökningen redovisas i Figur 7. En komplett lista med inkluderade vägkonstruktioner finns i bilaga.



Figur 7 Åldersfördelning med hänsyn till projekterings år på de konstruktioner som är inkluderade i undersökningen (antal konstruktioner under respektive period).

Trafikverket använder sig av ett förvaltningssystem kallat BaTMan (Bridge and Tunnel Management). Det är ett datoriserat system utvecklat för att enkelt kunna överskåda de konstruktioner de förfogar över. I programmet finns information om i princip alla Trafikverkets konstruktioner. Exempel på information som hittas där av intresse för denna undersökning är resultat från tillståndsbedömning (aktuella skador) och information om reparationer som är utförda på konstruktionerna. Dessa tillståndsbedömningar läggs in i BaTMan efter att en inspektion har gjorts.

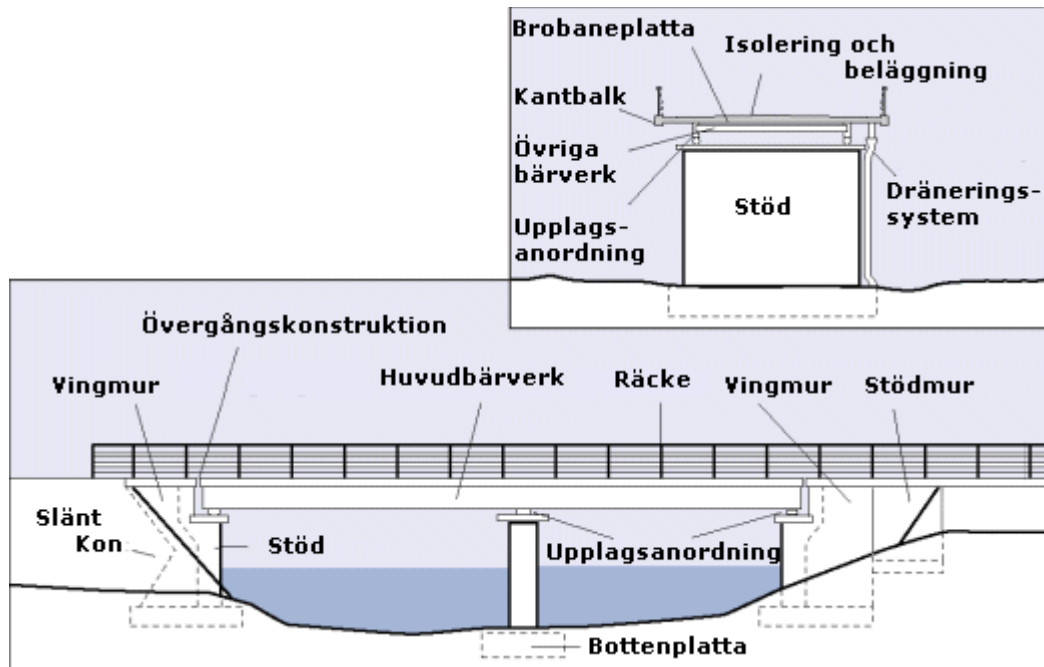
Om skador förekommer på en konstruktion beskrivs de med fyra olika tillståndsklasser (förkortat TK), beroende på hur allvarlig skadan är. Följande tillståndsklasser används i BaTMan:

- TK 3. Bristfällig funktion vid inspektionstillfället. Detta betyder att skadan är mer allvarlig och att reparation bör göras snarast.
- TK 2. Bristfällig funktion inom 3 år.
- TK 1. Bristfällig funktion inom 10 år.
- TK 0. Bristfällig funktion bortom 10 år (skadefri vid inspektionstillfället). Detta betyder att skadan är noterad men inte allvarlig och att en reparation antagligen inte behöver göra på några år.
(BaTMan handbok, 2014)

Förutom tillståndsklass för en skada, beskrivs också vilken nedbrytningsprocesser som förorsakat skadan, åtminstone vid allvarligare skador (främst TK 2 och TK 3). Hur allvarlig en skada är beror på vilken konstruktionsdel den hör samman med, speciellt för TK 2 och TK 3. Ett grundavlopp som har TK 3 kan t.ex. betyda att det helt har korroderat sönder eller att de läcker. Det har inte någon direkt inverkan på bärförmågan hos bron men kan skada konstruktionen på längre sikt. En kantbalk eller pelare som har TK 3 och kan påverka bärförmågan hos bron. Detta betyder att skador på kantbalkar eller pelare är mer allvarliga än grundavlopp och kräver oftast mer omfattande och dyrare åtgärder.

Då BaTMan är relativt nytt är inte alltid alla äldre reparationer inskrivna. Reparationer gjorda på 1980-talet och tidigare finns oftast inte rapporterade i programmet. Resultat är därför främst baserat på de skador och reparationer som är gjorda från slutet av 1980-talet och framåt. Omfattningen av skador och reparationer har även varit svårtolkade i vissa fall vilket har lett till att en del skador samt åtgärder generaliserats. Tillvägagångssättet som använts för undersökningen bygger på att varje enskild konstruktion har analyserats utifrån de rapporter som registrerats i BaTMan vid inspektion samt vid utförd åtgärd.

Skador samt åtgärder rörande betongbeständighet på relevanta konstruktionsdelar har hämtats från BaTMan för att sedan presenterats i diagram. Denna sammanställning har sedan använts för att dra slutsatser om skadeutvecklingen genom åren samt hur den hänger ihop med betongbeständigheten. För att klargöra de begrepp som används i kapitel 5 görs i Figur 8 ett förtydligande av de olika konstruktionsdelarna.



Figur 8 Beskrivning av konstruktionsdelar BaTMan (2014).

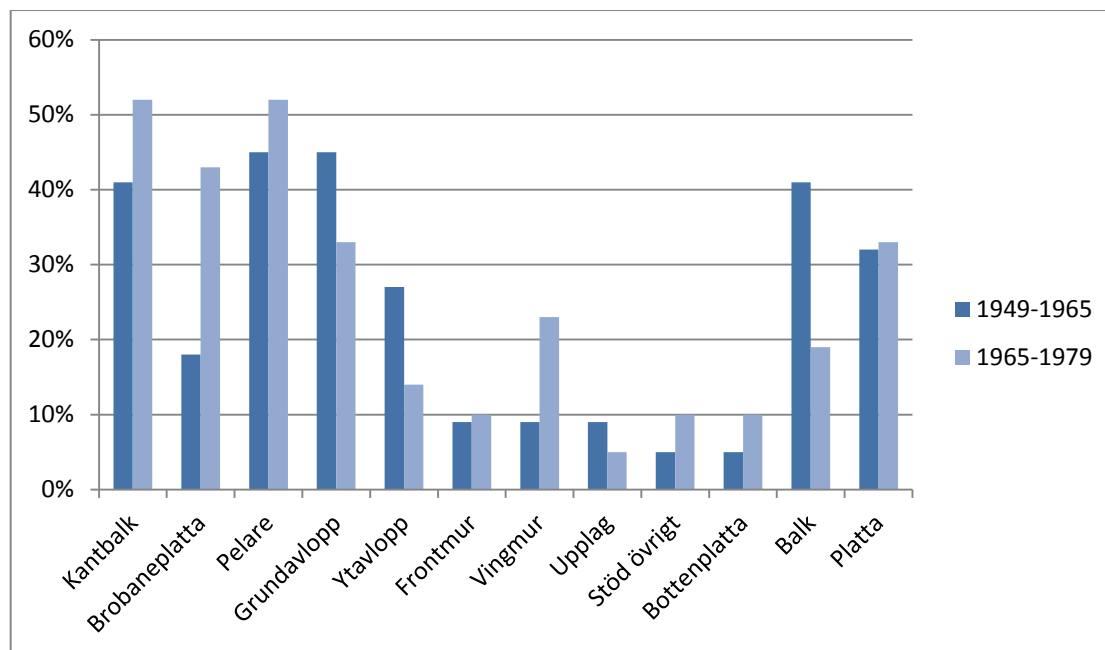
5 Resultat av inventering

Fokus i undersökningen ligger på beständighetsrelaterade skador med avseende på betongen. Detta innefattar då till exempel korrosion och vittringsskador på kantbalkar, brobaneplattan och pelare med mera. Utöver detta har även problem med dräneringen, det vill säga grundavlopp samt ytavlopp, behandlats eftersom detta uppfattades som ett väldigt frekvent och återkommande problem.

5.1 Nuvarande skador på konstruktionerna

5.1.1 Introduktion

För att ge en överskådlig bild så redovisas i detta kapitel diagram över de aktuella skadorna som rapporterats på konstruktionerna. Diagrammet i Figur 9 visar de olika konstruktionsdelarna i fokuserats samt hur stor andel i procent av broarna som hade någon skada på respektive konstruktionsdel uppdelat i de två tidsperioderna. Detta avser alla tillståndsklasser dvs. även TK 0.



Figur 9 Andel av de undersökta broarna där det finns skador på respektive konstruktionsdel.

Som utläses ur Figur 9 så är kantbalk och pelare konstruktionsdelar där nästan hälften av broarna har någon skada. Detta beror på att dessa konstruktionsdelar är väldigt utsatta för exponering för skadliga ämnen. I BaTMan finns både benämningarna brobaneplatta, bottenplatta och bara platta. Med platta så avses antagligen oftast brobaneplatta och då denna utgör större delen av bron är den också utsatt för en hel del skador. Även skador på grundavlopp och ytavlopp är relativt vanligt förekommande både på de äldre och nyare konstruktionerna. Detta är något som antagligen har med utformningen att göra och som kan medföra en hel del skador om de inte fungerar som de ska.

Det bör noteras att ingen hänsyn har tagits till hur allvarliga skadorna är utan endast om en konstruktionsdel har en rapporterad skada. I följande kapitel beskrivs de olika förekommande skadorna mer ingående.

5.1.2 Olika skador representerade på respektive konstruktionsdel

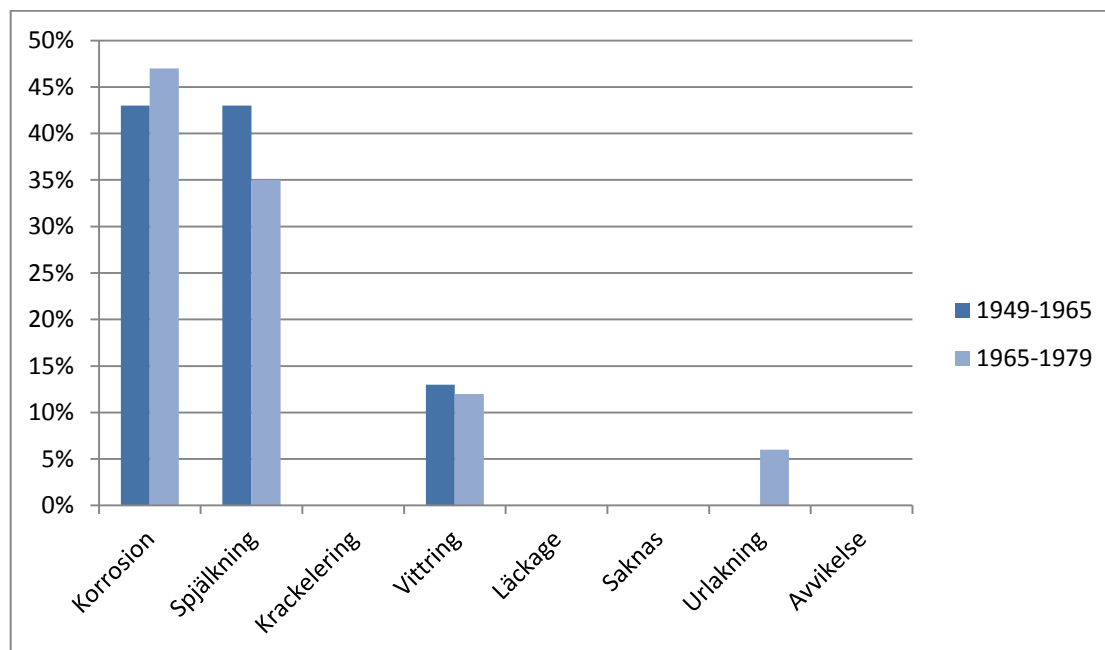
Diagram över de olika skadetyperna rörande betongbeständighet som är rapporterade på utvalda konstruktionsdelarna redovisas i detta kapitel. Benämningar är tagna från BaTMan med motiveringen att jämförelsen av konstruktionerna skall bygga på ett enhetligt underlag. Då vissa benämningar är otydliga eller generella förtydligas här vad begreppen innefattar:

- Korrosion innebär oftast att armeringsstålet i en konstruktionsdel börjat korrodera. Detta beror oftast på kloridinträngning men kan även bero på karbonatisering. Korrosion kan också betyda att till exempel ett räcke, lager eller grundavlopp börjat korrodera.
- Spjälkning är när betongen har spjälkats loss in till armeringen så att större bitar av betong ramlat bort. Även spjälkning är oftast orsakat av korrosion.
- Krackelering betyder att flera sprickor som går kors och tvärs hittats på konstruktionsdelen.
- Vittring innebär att betong på konstruktionsdelens yta har fallit bort och om det gått långt kan de större ballastkornen vara blottade och i värre fall kan de ha lossnat. Detta kan bero på frostsador som sprängt bort betongen.
- Läckage påträffas i de flesta fall vid grundavloppen intill tätningen på brobaneplattans ovansida. Detta kan bero på en dålig utformning eller ett felaktigt utförande.
- Posten ”saknas” påträffas även den oftast i samband med grundavlopp och kan betyda att man glömt sätta in grundavlopp vid gjutningen eller att grundavloppsrören har rostet sönder.
- Urlakning sker oftast på konstruktionsdelar som står i vatten exempelvis pelare och innebär att vatten runnit förbi och urlakat betong runt pelaren.
- Avvikelse kan betyda att en konstruktionsdel är felaktigt utformad.

De bakomliggande orsakerna bakom skadorna står sällan beskrivna eller är endast benämnda ”miljöpåverkan”. Detta eftersom skador ofta bara noteras vid en inspektion, dvs. tillståndsklasserna är 0 eller 1. Då reparationsbehov föreligger, dvs.

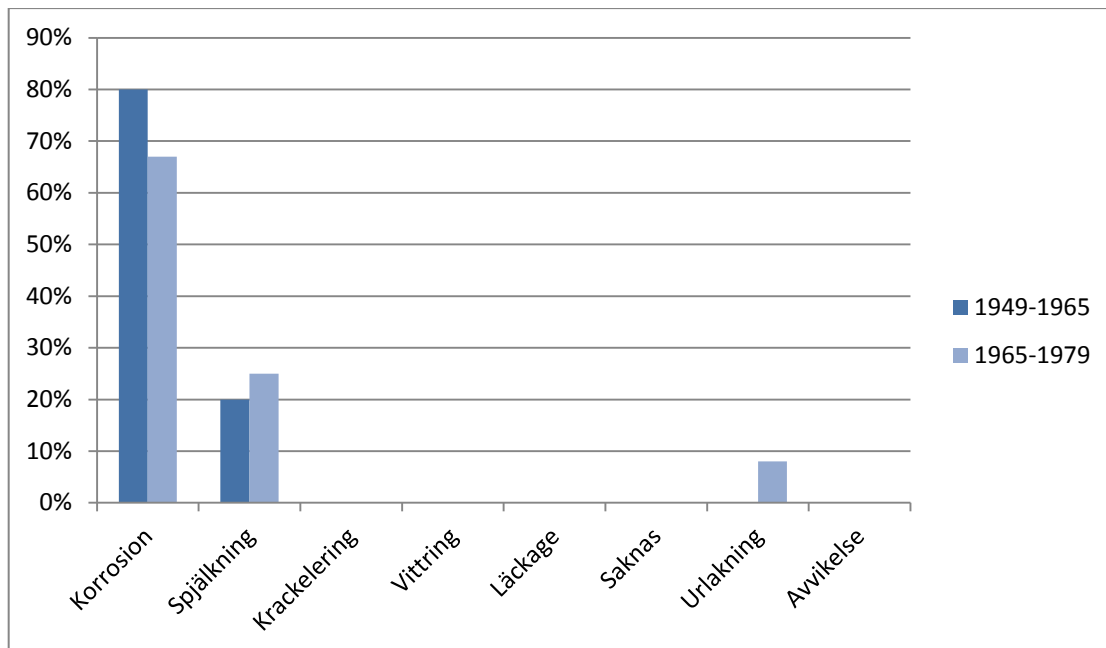
om tillståndsklasserna är 2 eller 3, utreds däremot skadeorsaken mer ingående Olevik (2014). Detta är en osäkerhet som behöver tas hänsyn till.

I följande figurer presenteras skador på respektive konstruktionsdel: Kantbalkar (Figur 10), brobaneplatta (Figur 11), pelare (Figur 12), grundavlopp (Figur 13), frontmur (Figur 14) samt bottenplatta (Figur 15).



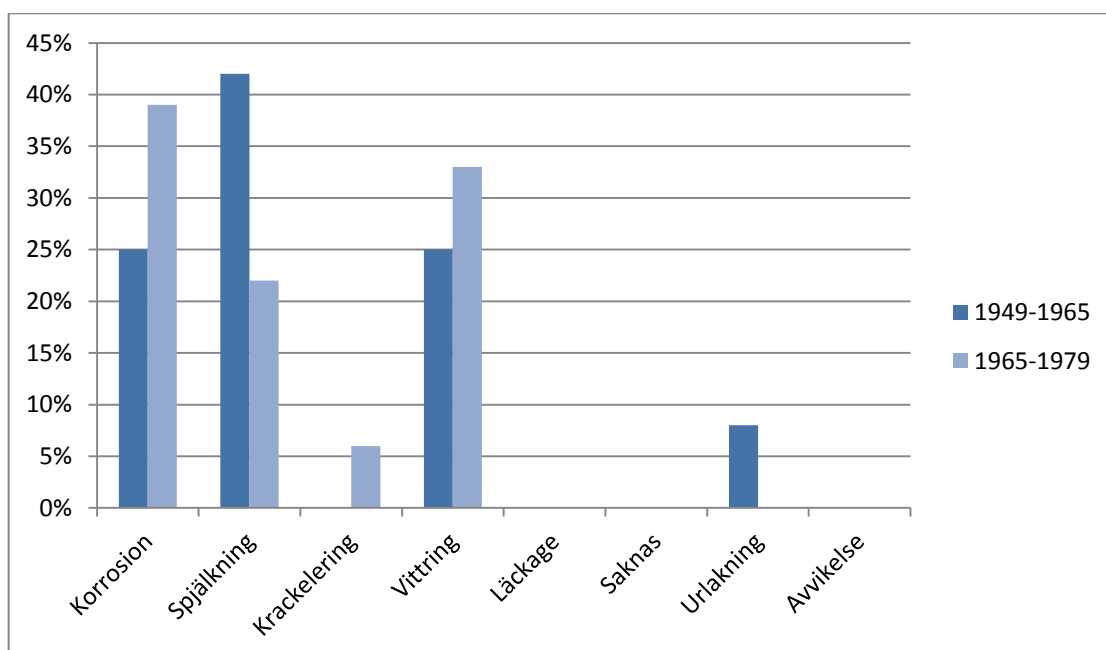
Figur 10 Skador på kantbalkar.

Som syns i Figur 10 är de mest förekommande skadorna på kantbalkar korrosion och spjälkning. Spjälkningsskadorna beror antagligen även dem på korroderad armering. I fallet för kantbalkarna kan det antas att klorider har initierat korrosionen. Skadorna ser relativt lika ut för både de äldre och de nyare konstruktionerna.



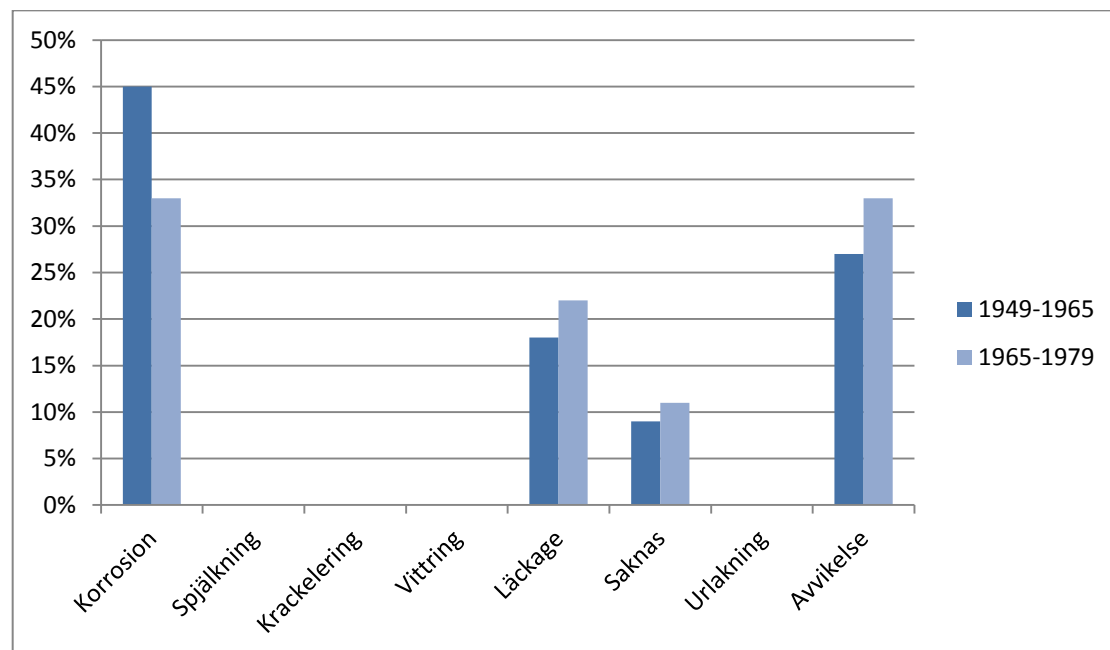
Figur 11 Skador på brobaneplatta.

För brobaneplattor, Figur 11, ser skadebilden liknande ut som för kantbalken. Däremot kan en del korrosionsskador antagligen bero på karbonatisering då plattan inte är lika utsatt som kantbalken för klorider. Detta gäller speciellt underkanten av plattan. Även här ser skadorna relativt lika ut för båda tidsintervallerna. Ungefär desamma gäller för skador på platta.



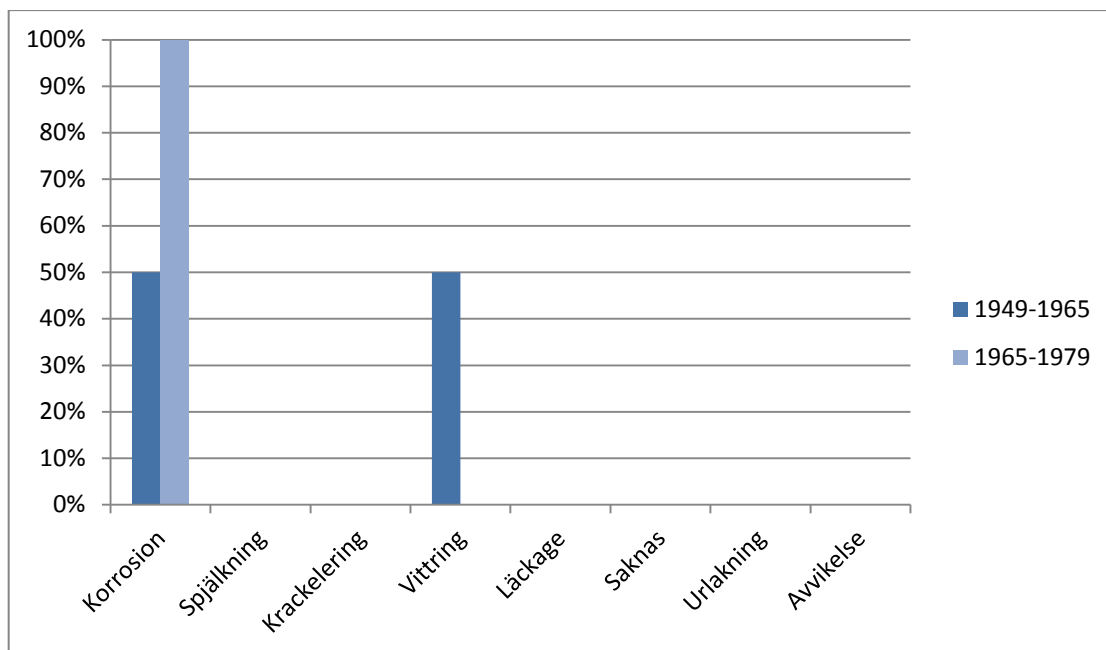
Figur 12 Skador på pelare.

För pelare, Figur 12, framgår att även vittring är vanligt förekommande och skulle kunna bero på frostsador. Skadetyperna ser även här liknande ut för de olika tidsintervallen då spjälkning och korrosion hänger ihop ganska mycket.



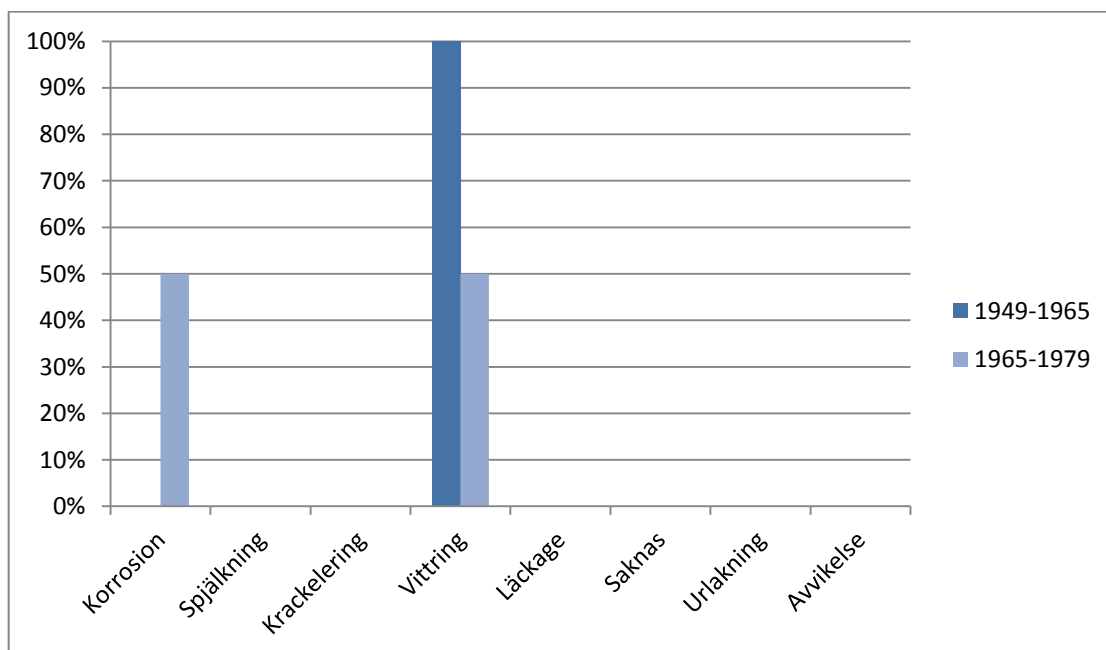
Figur 13 Skador på grundavlopp

För grundavlopp, Figur 13, ser skadebilden lite annorlunda ut. Det är vanligt med avvikelser i form av att grundavloppen inte sticker ut tillräckligt långt på brobaneplattans underkant utan slutar jäms med plattan så att ingen droppkant finns. Detta gör i sin tur att kloridhaltigt vattnet rinner ut längs plattans undersida och kan orsaka korrosion på undersidan av brobaneplattan. Läckande avlopp är också vanligt förekommande och då oftast runt avloppets tätning på ovansidan av plattan. Andra problem kan vara att grundavloppen saknas. Korrosion är även vanligt på de konstruktioner där vanligt stål använts. När det gäller ytavlopp så ser skadebilden liknande ut med korrosion som den vanligaste skadeorsaken. Korrosionen har minskat något på de nyare konstruktionerna och kan bero på att andra material använts.



Figur 14 Skador på frontmur.

Korrosion är den vanligaste skadan på frontmurar, se Figur 14, men även vittring förekommer på de äldre konstruktionerna. Även på vingmurar ser skadebilden liknande ut då dessa konstruktionsdelar hänger ihop.



Figur 15 Skador på bottenplatta

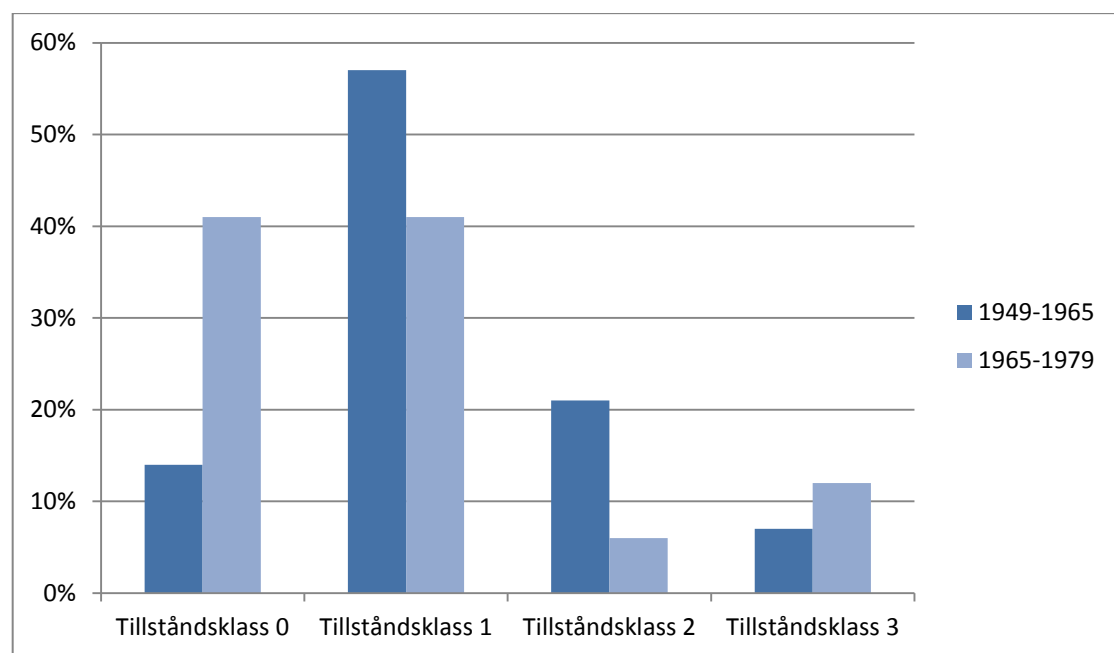
För bottenplattor, Figur 15, framgår att vittring är mest förekommande. Detta beror antagligen på att bottenplattorna står i fuktig mark vilket kan medföra frostsador

eller att de står i vatten. De äldre konstruktionerna har mer vittringsskador vilket antagligen beror på sämre betong.

5.1.3 Tillståndsklassen för de olika konstruktionsdelarna

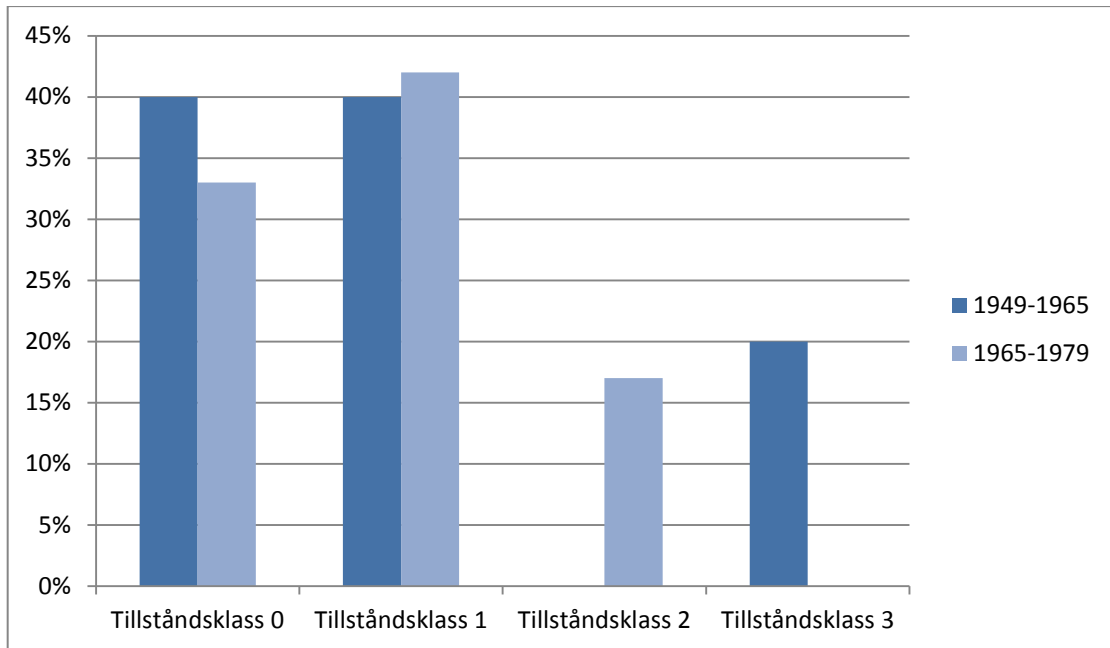
Tillståndsklasserna för de olika konstruktionsdelarna redovisas i detta kapitel.

I följande figurer presenteras tillståndsklassfördelningen för respektive skador: kantbalk (Figur 16), brobaneplatta (Figur 17), pelare (Figur 18), grundavlopp (Figur 19), korrosionsskador (Figur 20), spjälkningsskador (Figur 21) samt vittringsskador (Figur 22).



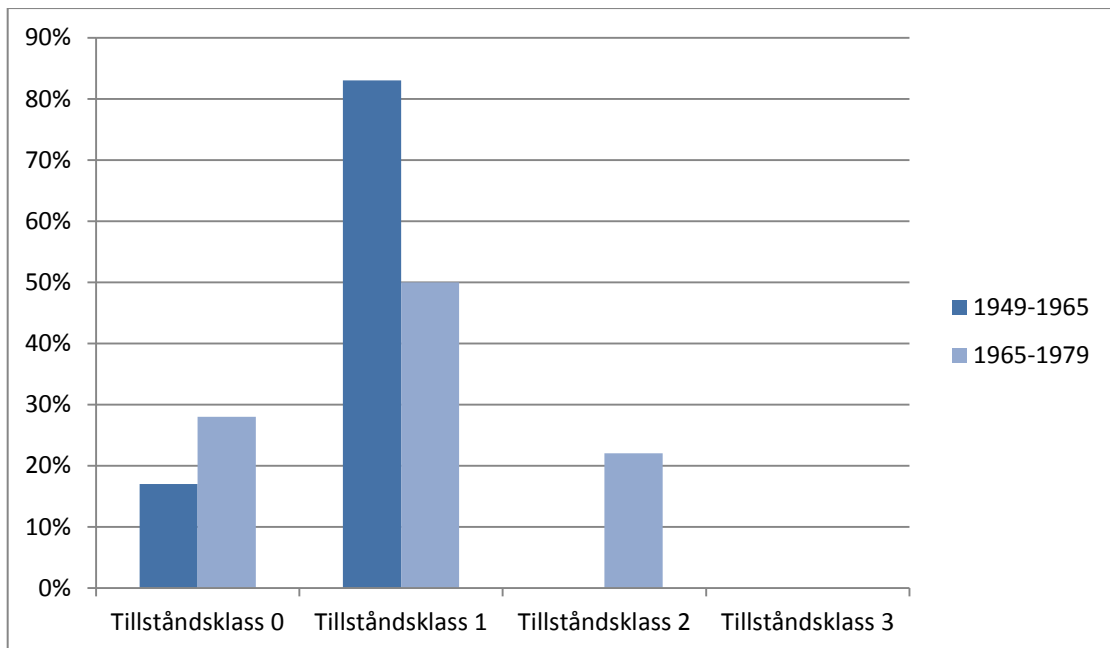
Figur 16 Tillståndsklasser på kantbalk.

För kantbalkar, Figur 16, syns det att många av skadorna har tillståndsklass 0 eller 1. Detta kan även bero på att skador med tillståndsklass 2 eller 3 ofta blir reparerade och därmed elimineras.



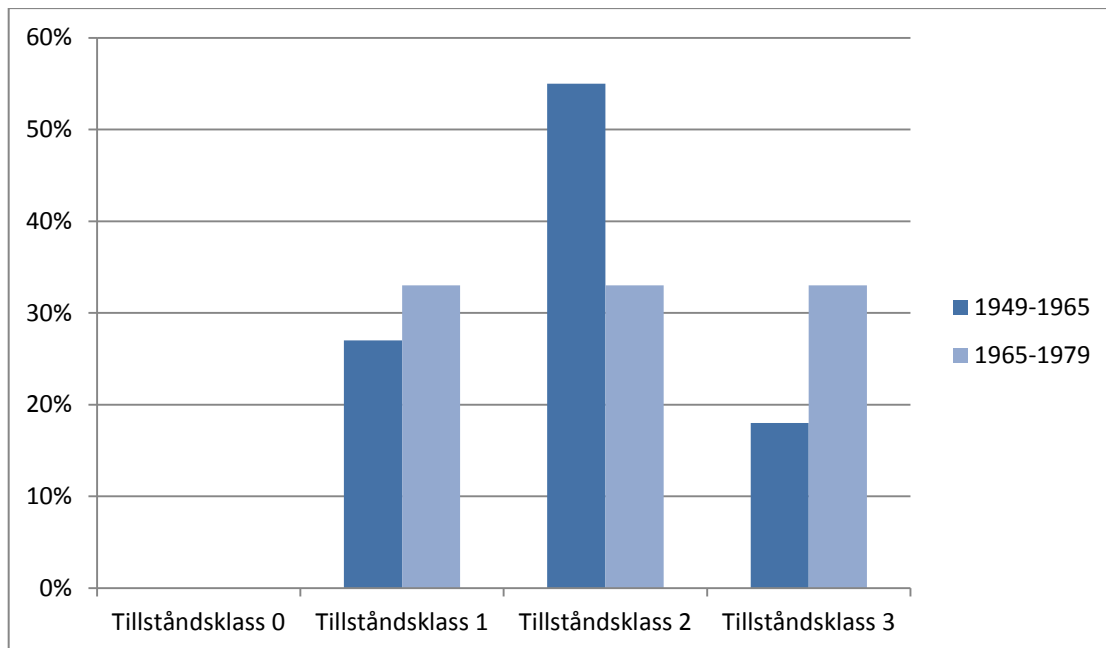
Figur 17 Tillståndsklasser på brobaneplatta.

Även på brobaneplattorna, Figur 17, så är tillståndsklasserna relativt låga.



Figur 18 Tillståndsklasser på pelare.

För pelarna, Figur 18, är tillståndsklass 1 den vanligast förekommande.

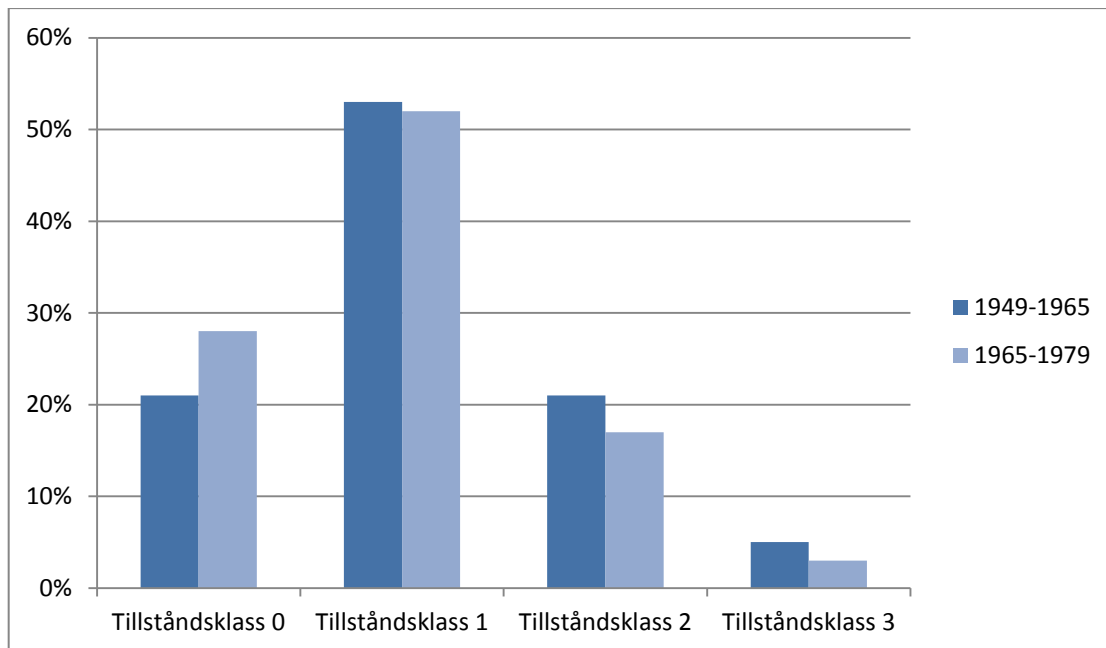


Figur 19 Tillståndsklasser på grundavlopp.

För grundavloppen, Figur 19, ser dock fördelningen annorlunda ut. Här finns betydligt fler tillståndsklass 2 och 3 vilket visar att grundavloppen oftast är skadade. Det samma gäller även för ytavloppen. En orsak till att avloppen oftast får hög tillståndsklass är eftersom de antingen fungerar eller så fungerar de inte, dvs. det finns inget mellanläge. Ett avlopp som läcker får till exempel oftast en hög tillståndsklass utan att det är direkt skadligt för bronns bärförmåga och blir därför oftast inte prioriterat att reparera. Olevik (2014)

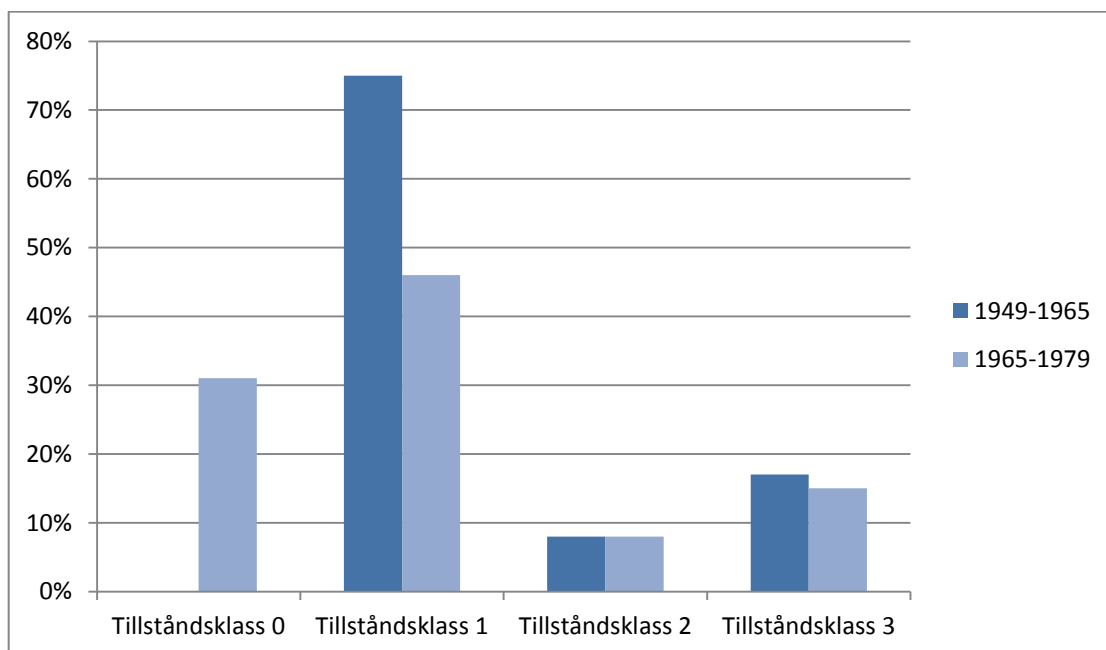
5.1.4 Tillståndsklassen för de olika skadetyperna

Tillståndsklasser beskrivs även för de olika skadetyperna och redovisas i detta kapitel. Detta för att se vilka typer av skador som hänger ihop med de allvarligare tillståndsklasserna. Värt att notera är dock att det kan finnas olika bakomliggande orsaker till de olika skadorna.



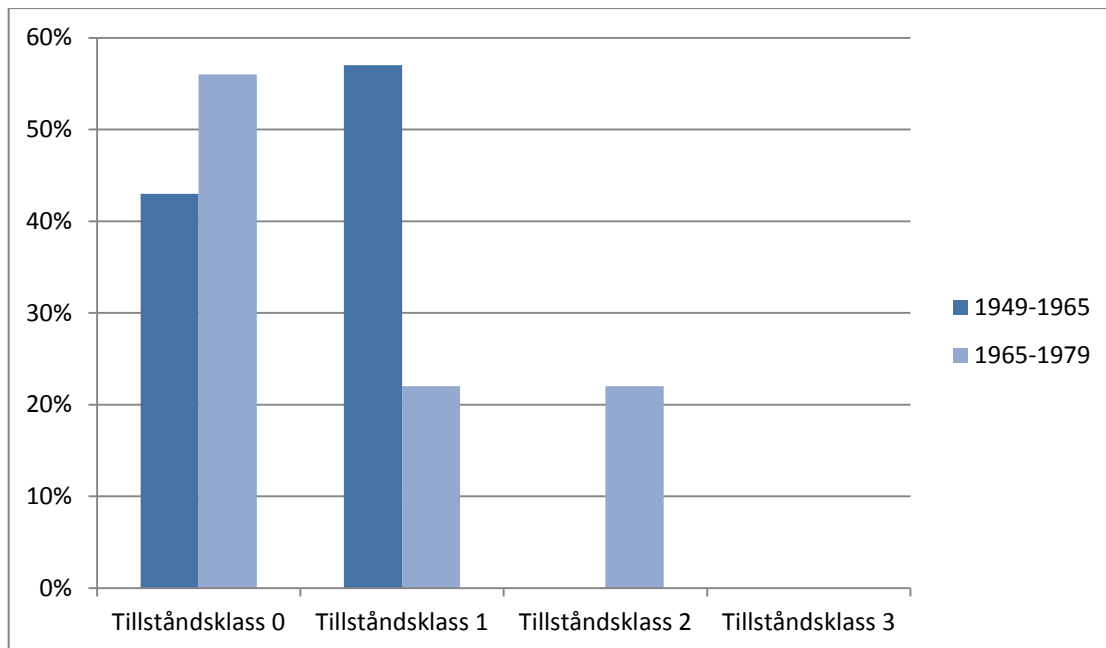
Figur 20 Tillståndsklasser på korrosionsskador.

Korrosionsskador, Figur 20, ligger främst fördelat mellan tillståndsklass 0 och 2. Anledningen till få skador med tillståndsklass 3 är antagligen att de har blivit åtgärdade.



Figur 21 Tillståndsklasser på spjälkningsskador.

Spjälkningsskadorna, Figur 21, har aningen fler skador med tillståndsklass 3 vilket hänger ihop med att spjälkning oftast uppstår vid större korrosionsskador.



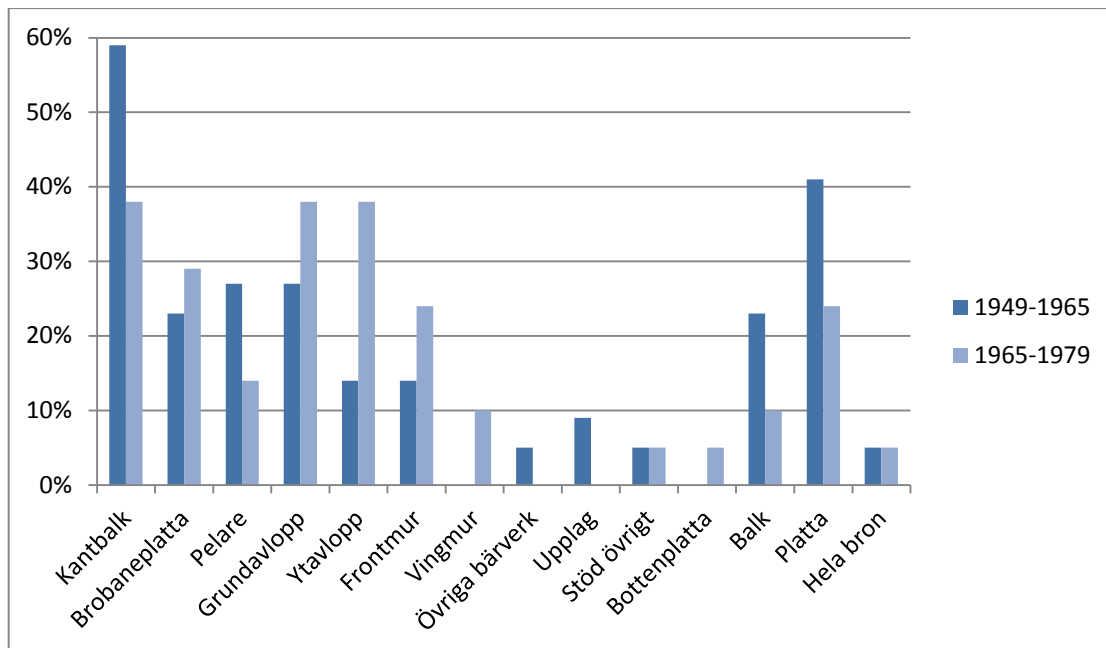
Figur 22 Tillståndsklasser på vittringsskador

Vittringsskadorna, Figur 22, är de skador med lägst tillståndsklasser.

5.2 Reparationer utförda på konstruktionerna

5.2.1 Introduktion

För att ge en överskådlig bild så redovisas diagram över de reparationer som är gjorda på konstruktionerna i följande kapitel. Figur 23 visar de konstruktionsdelarna i fokus samt hur stor andel i procent av broarna som hade någon reparation gjord på respektive konstruktionsdel uppdelat i de olika tidsintervallen.



Figur 23 Andel av de undersökta broarna som hade någon reparation utförd på respektive konstruktionsdel.

Som kan utläsas ur Figur 23 så har ungefär hälften av konstruktionerna någon reparation gjord på kantbalken. Dock minskar antalet reparationer något på de broar som är byggda senare. Detta beror antagligen delvis på att de konstruktionerna är yngre och därför har eventuella skador inte kunnat propagera. Övriga konstruktionsdelar där reparationer ofta påträffas innefattar brobane- och bottenplattor, pelare, front- och vingmurar samt på balkar. Något som även kan ses är att reparationer gjorda på antingen grund- eller ytavlopp är väldigt vanligt har ökat.

5.2.2 Olika reparationsåtgärder utförda på respektive konstruktionsdel

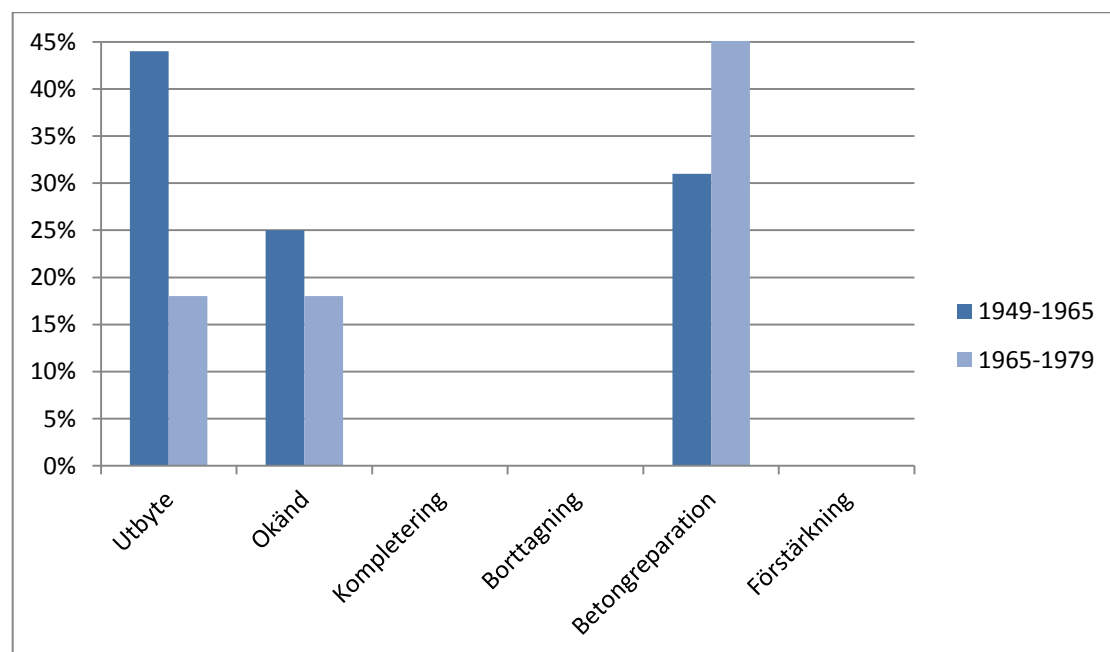
Diagram över de vanligaste åtgärderna som är gjorda på utvalda konstruktionsdelar redovisas i detta kapitel. Benämningar är tagna från BaTMan med motiveringen att jämförelsen av konstruktionerna skall bygga på ett enhetligt underlag. Då vissa benämningar är otydliga eller generella förtydligas här vad begreppen innefattar:

- Utbyte av en konstruktionsdel betyder att hela eller en del av konstruktionsdelen är bytt. Vid utbyte av exempelvis en kantbalk kan det innebära att hela kantbalken eller endast de delar av den som varit mest skadade blivit bytt. Vid utbyte av grundavlopp eller ytavlopp innebär det oftast att endast ett antal av dessa som varit mest skadade blivit utbytta. Att inte hela kantbalken byts samtidigt eller alla grundavlopp beror antagligen på den ekonomiska aspekten.
- Komplettering kan betyda att någon form tillbyggnad är gjord. Exempelvis har räcke eller betongbarriärer monterats alternativt har dräneringen kompletterats genom att stuprör monterats på ytavloppen.

- Borttagning förekommer t.ex. vid problem med dräneringen och kan betyda att felaktigt konstruerade grundavlopp tagits bort.
- Betongreparation görs oftast då betongen är kontaminerad av exempelvis klorider och armeringskorrosion har initierats. Kontaminerad betong bilas då bort varefter ny betong gjuts på eller sprutbetong appliceras.
- Förstärkning betyder att en konstruktionsdel t.ex. brobaneplattan förstärkts för att öka bärförmågan.
- Åtgärden ”okänd” är oftast representerad på de äldre reparationerna där ytterligare information saknas.

Då omfattningen inte alltid står beskriven kan det bli svårt att jämföra de olika åtgärderna från fall till fall så detta är en osäkerhet som behöver beaktas.

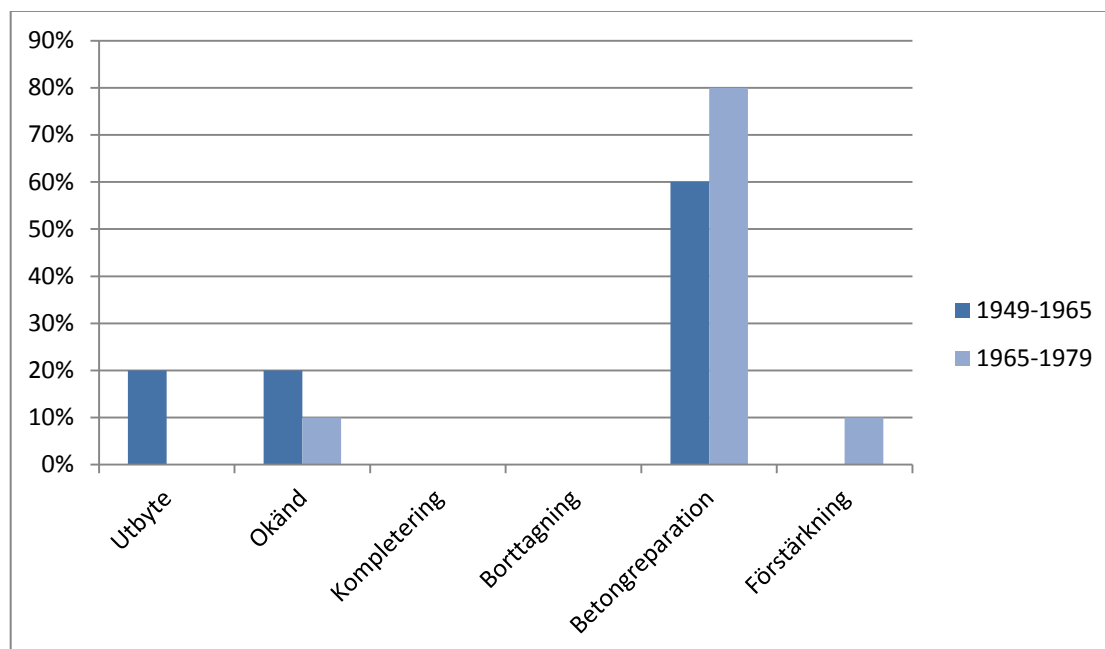
I följande figurer presenteras reparationsåtgärder på respektive konstruktionsdel: kantbalk (Figur 24), brobaneplatta (Figur 25), pelare (Figur 26), grundavlopp (Figur 27) samt ytavlopp (Figur 28).



Figur 24 Reparationsåtgärder på kantbalk.

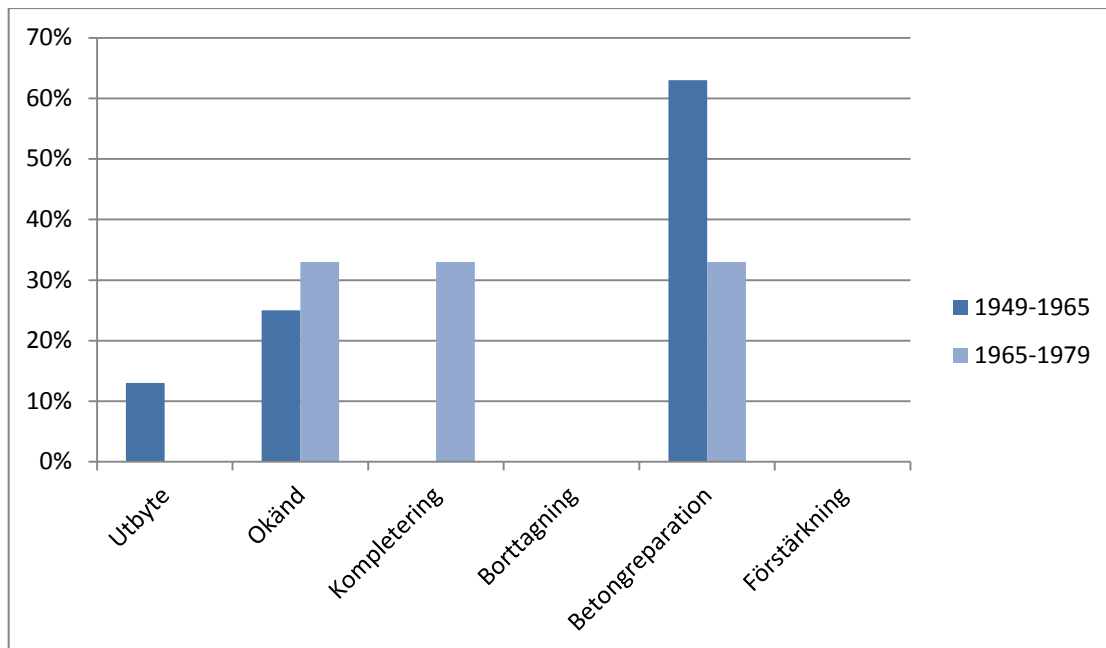
Som det går att utläsa ur Figur 24 så är betongreparation en vanlig åtgär på skadade kantbalkar. Men utbyte är också en relativt vanlig åtgärd framför allt på de äldre

konstruktionerna då nära hälften av kantbalksreparationerna innebär utbyte där Detta beror antagligen delvis på att de konstruktionerna är yngre och därför har eventuella skador inte kunnat propagera. Då ett ytbyte kan vara relativt kostsamt och kantbalken är den mest skadadedrabbade konstruktionsdelen så är utformningen och beständigheten av den viktig.



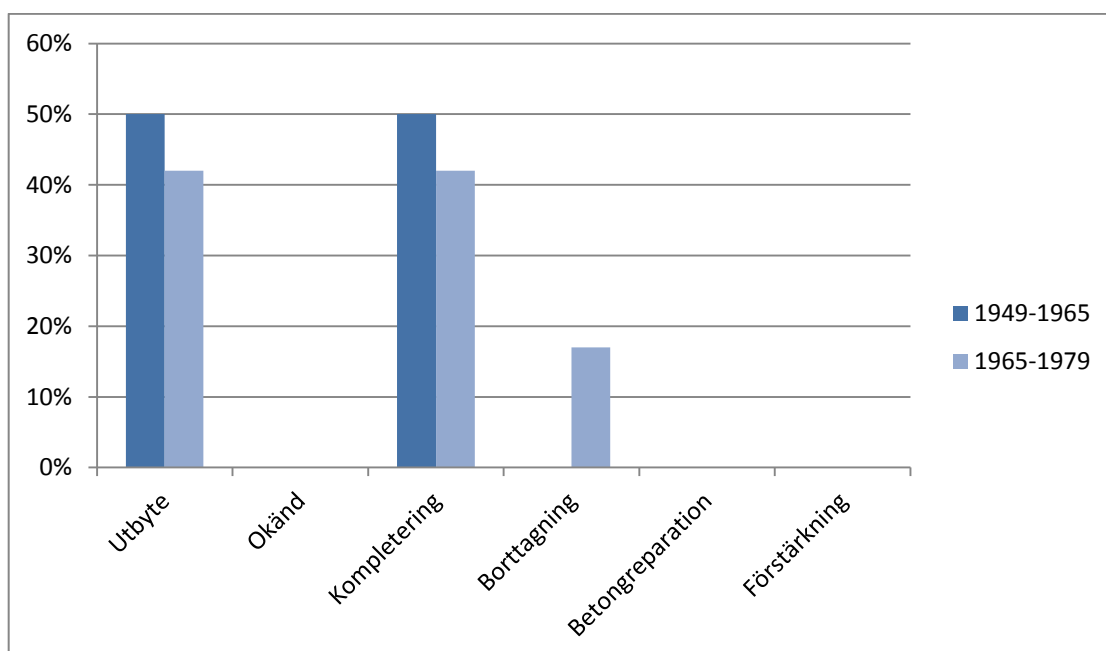
Figur 25 Reparationsåtgärder på brobanaplatta.

Som det går att se i Figur 25 så är betongreparation i princip den enda åtgärden på skadade brobanepplattor. Detta beror antagligen på att brobanepplattan är väldigt svår och dyr att byta varvid betongreparation i många fall blir det lönsammare alternativet.

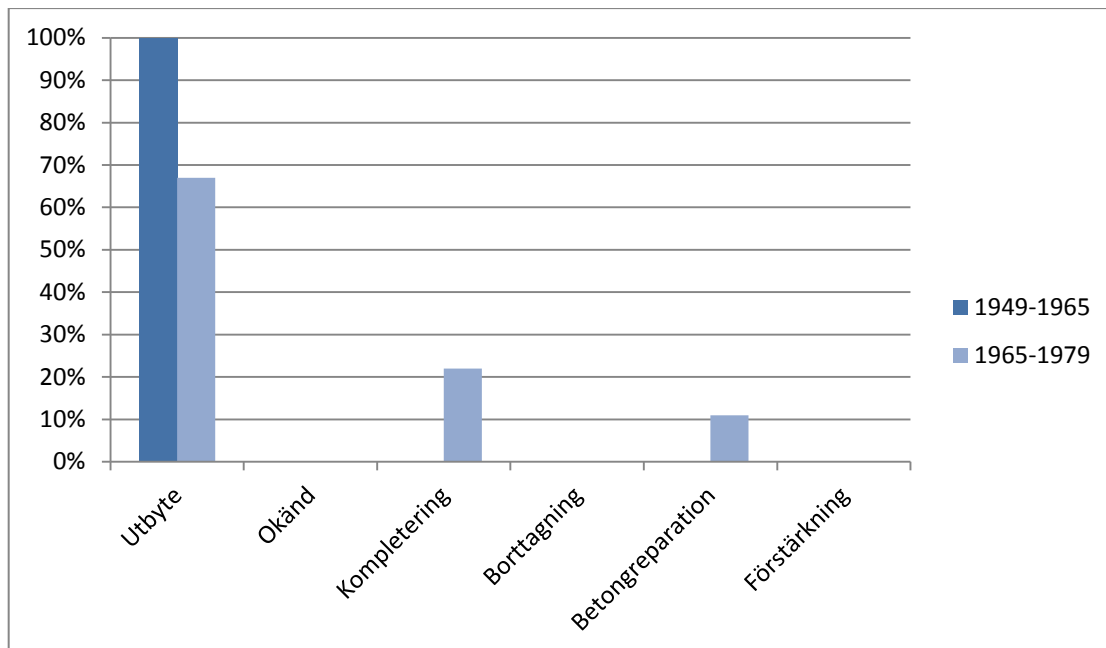


Figur 26 Reparationsåtgärder på pelare.

Även för pelarna, Figur 26, är betongreparation vanligast med samma förklaring som för brobaneplattorna.



Figur 27 Reparationsåtgärder på grundavlopp.



Figur 28 Reparationsåtgärder på ytavlopp.

För både grundavlopp, Figur 27, och ytavlopp, Figur 28, kan utläsas att utbyte och komplettering är de vanligaste åtgärderna både på de äldre och nyare konstruktionerna. Då skador på grund- och ytavlopp är så pass vanligt och utbyte medför en hel del jobb och är kostsamt så bör detta tittas närmare på.

På de övriga konstruktionsdelarna så som frontmur, vingmur, balk, bottenplatta med mera är betongreparation den genomgående vanligaste åtgärden. Betongreparationer innebär oftast att kontaminerad betong avlägsnats varefter ny betong gjuts på.

5.3 Informationssökning i Trafikverkets arkiv

Då informationen inte var helt utförlig i BaTMan utfördes även en fördjupad undersökning i Trafikverkets arkiv för att se om ytterligare information gick att hitta där. Arkivet innehåller dokumentation från alla konstruktioner som trafikverket förvaltar, med allt ifrån ritningar till telefax

Det som främst söktes var information från besiktningar, provtagningar samt slutsatser om varför reparationsåtgärder utförts. 10 representativa konstruktioner valdes ut där viss nyttig information hittades. De konstruktioner som valdes ut för en fördjupad undersökning var:

- Brodal Borås (bro 15-796-1), som projekterades 1966.
- Jordfallsbron (bro 15-702-1), som projekterades 1963.
- Källösundsbron (bro 14-497-1), som projekterades 1958.
- Motorvägsbron över Nordre älv (bro 14-670-1), som projekterades 1966.
- Nötesundsbron (bro 14-584-1), som projekterades 1964.
- Stallbackabron (bro 15-816-1), som projekterades 1979.

- Stenungsund (bro 14-106-1), som projekterades 1957.
- Tjörnbron mellan Källön och Almön (bro 14-498-1), som projekterades 1980.
- Årån Sockarhult (bro 6-672-1), som projekterades 1965.
- Örekilsälven Munkedal (bro 14-569-1), som projekterades 1962.

Den främsta anledningen till informationssökningen var för att se om det gick att hitta relevant information. Informationen var dock inte sorterad vilket gjorde det svårt att hitta det som söktes och i många fall så fanns informationen inte. Detta tros bero på att besiktningspapper och annat stannat hos inspektörerna och aldrig hamnat i arkivet. På grund av tidsbrist hanns inte informationen i arkivet bearbetas genomgående och analyseras därför inte mer. Exempel på information som hittades där var:

För Stallbackabron (15-816-1), fanns en betongrapport från 1980 där det gick att utläsa att betongen hade en lufthalt mellan 4,0 till 6,4%, en medeltryckhållfasthet på 48 MPa samt ett *vct* på 0,59.

I de handlingar som hittades för Motorvägsbron över Nordre älv (14-670-1), fanns gjutningsprotokoll från 1967 där det kunde utläsas att betongen som använts vid gjutningen hade en cementhalt på cirka 370 kg/m³, en tryckhållfasthetsklass K 350, ett *vct* på 0,49 samt 5-7% luft. Det fanns även ett inspektionsprotokoll från 1984 samt provtagningar från 1985. Där har ett antal iakttagelser har gjorts samt att beslut om åtgärder tagits.

Källösundsbron (14-497-1). Betongen som användes vid gjutningen hade en cementhalt på cirka 350 kg/m³ samt tryckhållfasthetsklass K 350. Ritningar från kantbalksbyte 2002 fanns också och angav en betong med K45 samt *vct* 0,40 och en max cementhalt på 460 kg/m³.

I arkivhandlingarna för Nötösundsbron (14-584-1), gick det att finna gjutningsprotokoll där det kunde utläsas att betongen som använts vid gjutningen hade en cementhalt på cirka 400 kg/m³ samt tryckhållfasthetsklass K 400. I detta fall fanns även ett inspektionsprotokoll från en huvud inspektion som gjordes 1998. I inspektionen går att utläsa att ett antal skador har registrerats. Det har även gjorts EKP-mätningar (elektrokemiskapotential) för att kontrollera korrosionsaktiviteten.

De handlingar som hittades för Jordfallsbron (15-702-1), innehöll gjutningsprotokoll från 1964 där det kunde utläsas att betongen som använts vid gjutningen hade en cementhalt på cirka 340 kg/m³ en tryckhållfasthetsklass K 350 samt att luftporbildande medel använts. Utöver detta fanns en gjutningsjournal över en reparation som gjorts 1992.

Då sökområdet var mycket stort och de handlingar som eftersöktes var svåra att hitta skulle ytterligare undersökningar krävas för att uppnå ett mer relevant underlag för slutsatser. Skadehandlingar samt åtgärdshandlingar daterade innan 1990 var svåra att

hitta. I de fall som skadehandlingar gick att plocka fram var åtgärderna dåligt motiverade och det fanns ofta endast ett konstaterande om att en typ av skada uppkommit. Därför analyseras inte informationen från arkivet mer ingående.

6 Diskussion och analys

6.1 Vad är det som är avgörande för beständigheten hos en vägkonstruktion?

De 43 konstruktioner som har ingått i undersökningen är i relativt bra skick. Även de äldre konstruktionerna har klarat sig bra och de flesta utan några större reparationsåtgärder. Detta trots att de har byggts enligt äldre regelverk med mindre stränga krav gällande beständighet, t.ex. vad gäller betongens *vct* och lufthalt eller täckande betongskikt. En bidragande orsak till det goda skicket på konstruktionerna kan också vara de ytbehandlingar som har utförts på speciellt kantbalkar, där normalt en vattenavvisande impregnering har applicerats, Thunstedt (2014).

Enligt den genomförda undersökningen är armeringskorrosion det absolut vanligaste skadeproblemet på samtliga konstruktionsdelar och blir därför oftast orsaken till en reparationsåtgärd. När det gäller konstruktioner i utsatt vägmiljö så är det oftast klorider som har initierat korrosionen. Frostsador var inte speciellt vanligt förekommande och även svårare att tolka i BaTMan. Det blir därför svårt att dra en slutsats om hur allvarligt problemen med frost har varit.

Resultaten visar också att användning av en betong med god kvalitet och med tillräckligt stora täckande betongskikt är viktigt för den framtida beständigheten hos en utsatt vägkonstruktion. Med rätt betongsammansättning och tillräckligt stort täckande betongskikt kan antagligen många skador förhindras eller åtminstone fördröjas. Men för att en god beständighet skall uppnås krävs det inte enbart att betongen är av god kvalitet. En genomtänkt utformning samt ett korrekt utförande är minst lika viktigt eftersom de annars kan orsaka problem trots att en mycket god beständighet med avseende på betongen uppvisats.

Orsaken bakom flertalet skador samt reparationsåtgärder har dock visat sig bero på ett felaktigt detaljutförande. Resultat från undersökningen visar att problem med dräneringen var vanliga. Läckande grundavlopp var oftast orsaken till korrosionsskador på brobanepattan. Även felaktigt utförda grund- och ytavlopp orsakade problem på övriga konstruktionsdelar. Orsaken till att problemen är så pass frekventa grundar sig antagligen i att detaljutformningen inte varit helt lätt att utföra i praktiken. Följden blev då att fel lätt uppstod som inte var så lätta att korrigera i efterhand. Ett läckande grundavlopp går ofta inte att laga utan att man bryter upp beläggningen.

I denna undersökning studerades inga ytterligare detaljer men enligt Thunstedt (2014) så har det även funnits problem med t.ex. övergångskonstruktioner samt infästningen av räckeshållare. Otäta övergångskonstruktioner medför att kloridhaltigt vatten rinner ned på underliggande konstruktionsdelar, t.ex. lager och lagerpallar, med korrosionsskador som följd. Dessa skador upptäcktes även i inventeringen av BaTMan vid några tillfällen då det fanns foton på skador. Problemen med räckesinfästningarna har varit att man förr göt fast räckeshållaren i kantbalken. Om

det då inte blev riktigt tätt vid gjutningen kan vatten sippra ned i sprickorna och orsaka korrosionsskador på kantbalken som följd.

Andra problem med utformningen kan vara att täckande betongskikt inte har blivit tillräckligt stort på de utsatta ställena. Exempel på detta är vid droppnåsan på nedsänkta kantbalkar där korrosion snabbt kan uppstå om täckskiktet inte är tillräckligt tjockt. Andra problem som upptäcktes var armering som av någon anledning hamnat för ytligt och därför börjat korrodera. Ytterligare en orsak till problem var där distansklossarna var ogenomtänkt placerade. De medförde då ett för litet täckande betongskikt vilket i sin tur har medfört en ökad risk för initiering av armeringskorrosion.

6.2 Skadebilden samt reparationsåtgärder på respektive konstruktionsdel

6.2.1 Kantbalk

Av resultatet att döma är skador på kantbalkar de vanligaste skadorna som förekommer hos vägkonstruktionerna. Även när det gäller reparationer så har flertalet av de studerade konstruktionerna någon typ av reparation gjord på kantbalkarna och i många fall har detta inneburit ett utbyte. Orsaken bakom dessa skador är därför av stor vikt för undersökningen. Det kan antas att utbyte oftast skett då kantbalken i fråga har korroderat sönder. Även foton i BaTMan visar att korrosion oftast var problemet. Eftersom kantbalkarna är den konstruktionsdel som är mest utsatt för klorider så kan det antas att det är kloridinitierad korrosion som har varit orsaken. Framför allt försänkta kantbalkar verkade ha problem med armeringskorrosion och då oftast vid droppnåsan, där täckande betongskikt kanske blivit aningen för litet vilket medfört en ökad risk för intiering av armeringskorrosion.

Värt att notera är dock att det kan finnas andra bakomliggande orsaker vid exempelvis ett kantbalksutbyte än bristande beständighet hos betongen. Ett exempel på detta kan vara om vägräckena varit i dåligt skick och behövt bytas, då normalt hela kantbalken byts, enligt Thunstedt (2014). Tillståndsklassen för skadorna på kantbalkarna ligger runt ett och det finns inte så många skador med tillståndsklass tre. Detta tros bero på att de allvarligare skadorna antagligen blivit reparerade.

6.2.2 Pelare

När det gäller pelare som även de är en utsatt konstruktionsdel med en relativt frekvent skadebild så är armeringskorrosion oftast problemet. Skador förekommer normalt då det går en väg under bron där passerande bilarna skvätter upp klorider på pelarna. Pelarna blir då utsatta för växelvis fuktning samt uttorkning vilket skyndar på korrosionen. En annan orsak till korrosionen kan även vara utförandefel då armeringen vid gjutning ibland inte hamnar helt centrerat i pelaren vilket medför ett stort täckande betongskikt på ena sidan pelaren och ett litet täckande betongskikt på andra sidan pelaren, vilket i sin tur medför en ökad risk för armeringskorrosion enligt Thunstedt (2014).

Även vittringsskador är relativt vanligt förekommande hos pelare. Vad som ligger bakom en vittringsskada är ganska otydligt och det finns flera möjliga orsaker. Vittringsskador har oftast låg tillståndsklass och man kan anta att vittring ibland benämns då skadan inte är helt identifierad. Vittring innebär dock oftast att det är frågan om någon form av påverkan på ytan. Orsakerna bakom en vittringsskada är flera, men frostpåverkan kan vara en orsak. Speciellt om konstruktionsdelen står i vatten eller fuktig mark. För pelare som står i vatten så kan de även drabbas av urlakning vilket kan ge upphov till vittring. Urlakning innebär att vatten som runnit förbi pelarna delvis har löst upp cementpastan och frilagt underliggande ballast. Precis som för kantbalkarna så ligger tillståndsklassen för skadorna på pelarna runt 1.

6.2.3 Brobaneplatta

För brobaneplattor är korrosion den nästan enda förekommande skadan och då främst på undersidan av plattan. De gånger det fanns foton i BaTMan kunde det utläsas att skadan ibland berott på att armeringen hamnat alldeles för ytligt undertill i formen, dvs. täckande betongskikt har blivit för litet. Detta kan då tänkas bero på karbonisering eftersom brobaneplattans undersida inte utsätts för klorider i någon större utsträckning. Detta är oftast inte något allvarligt problem i sig men kan göra så att korrosionen sprids snabbare.

I många fall berodde dock korrosionsskadorna på läckande grundavlopp. Dessa har då gjort så att kloridhaltigt vatten runnit ut i konstruktionen kring avloppet och startat korrosion. I andra fall så berodde det på att grundavloppen var för korta vilket medförde att det inte fanns någon droppkant. Detta har då medfört att vattnet runnit ut längs brobaneplattans undersida och på så vis exponerat betongen och orsakat armeringskorrosion. Även skadorna på brobaneplattorna har oftast relativt låg tillståndsklass som ligger runt 1. I undersökningen kan en mindre ökning ses i frekvensen av skador som uppstått på brobaneplattor. Denna utveckling är svårtolkad och det finns ingen uppenbar förklaring till detta.

6.2.4 Grund- och ytavlopp

När det gäller grundavloppen så är korrosion den vanligaste skadan på de avlopp som är tillverkade av stål. I övrigt så är även "läckage" och "avvikelse" väldigt vanligt förekommande. När det gäller läckage så har detta oftast uppstått kring tätningen mellan grundavloppet och tätningsmattan på brobaneplattans ovansida Thunstedt (2014). Orsaken till detta är antagligen en dålig utformning av detaljerna kring grundavloppen i kombination med ett dåligt utförande. "Avvikelse" innebär oftast att grundavloppen är för korta och slutar jäms med brobaneplattans undersida. Varför detta har uppstått beror antagligen på en krånglig utformning som medfört att utförandet inte alltid gjorts helt korrekt i samband med att entreprenören kanske inte varit helt medveten om vikten av att detta blir rätt. Andra problem hittades där grundavloppens position gjort så att det kloridhaltiga vatten som droppat ut ur dem har blåst in på övriga konstruktionsdelar och skapat skador där.

När det gäller tillståndsklassen för skadorna på grundavloppen så ligger de relativt högt med en hel del skador med tillståndsklass 3. Anledningen till detta beror på att om ett grundavlopp läcker, har korroderat sönder eller är felutformat så får de oftast en hög tillståndsklass eftersom det har tappat sin funktion enligt Olevik (2014). Detta behöver dock inte betyda att det är någon direkt fara med bärförmågan hos bron vilket leder till att reparation oftast skjuts upp, Thunstedt (2014). Följdproblem kan uppstå om inte reparation görs i tid.

På ytavlopp så ser skadebilden liknande ut som för grundavloppen där korrosion är vanligt förekommande på de äldre konstruktionerna. Ett annat förekommande problem är att stuprören under ytavloppen läcker eller inte monterats korrekt så att kloridhaltigt vatten runnit ned på underliggande konstruktionsdelar, t.ex. pelare och bottenplattor. I många fall saknas även stuprör helt vilket ytterligare förvärrat detta. Tillståndsklassen på skadorna hos ytavloppen liknar de för grundavloppen.

6.2.5 Frontmur och vingmur

När det gäller frontmurar och vingmurar så har de liknande skadebilder men är inte speciellt skadedrabbade konstruktionsdelar. På front- och vingmurar är korrosion vanligast men även vittring är relativt vanligt förekommande framför allt på de äldre konstruktionerna. På ovankant av vingmurarna kan frostsador uppstå då kloridhaltigt vatten från bron rinner ut och ner över vingmurarnas ovankant enligt Thunstedt (2014).

6.2.6 Bottenplatta

Bottenplattor är den enda konstruktionsdel där vittring är vanligast förekommande följt av korrosionsskador. Dessa vittringsskador kan som tidigare nämnt bero på urlakning i de fall där de är placerade i vatten. Exempel har även hittats där vittringsskadorna berott på frost orsakat av ett felkonstruerat ytavlopp som gjort så att kloridhaltigt vatten runnit ned på bottenplattan. Vittringsskadorna har dock oftast en låg tillståndsklass. Bottenplattor är heller inte en speciellt skadedrabbad konstruktionsdel.

6.3 Skade- och reparationsåtgärdsutvecklingen i förhållande till regelverksutvecklingen

För att kunna göra en analys av noterade skador och åtgärder krävs det att hänsyn tas till dimensionerande regelverk. De konstruktioner som undersökts är konstruerade mellan 1949 och 1979. Därmed är den mest intressanta regelverksförändringen den som gjordes 1965. Den största förändringen som inträffade i denna uppdatering var att krav på lufthalt infördes. Utöver införandet av krav på lägsta lufthalter i den färska betongen kan anmärkningar göras på krav rörande minsta täckande betongskikt, som ökade något i tillägget som gjordes 1968. Beträffande *vct* så fanns inget krav varken före eller efter, utifrån det *vct* som kan förväntas med hänsyn till de cementhaltskrav som fanns kan en liten skärpning antydans.

Införandet av krav på lägsta lufthalter i den färska betongen medför att betongens frostbeständighet förväntas bli bättre. Den skadetyper som är närmast förknippad med frostbeständigheten är vittring. Frekvensen av vittringsskador sjönk något under denna tidsperiod även om den också tidigare legat på en relativt låg nivå. Det råder också en osäkerhet om vad som egentligen menas med vittringsskador. Ytterligare så kan vittringsskador vara en del i andra skadetyperns initieringsprocess. Till exempel kan vittringsskador föranleda en korrosionsskada vilket kan vara en förklaring till att "vittring" oftast får en låg tillståndsklass och att benämningen ändras till "korrosion" när korrosionsprocessen väl startat. Detta gör det svårt att veta vilka skador som egentligen beror på "vittring". De flesta skador som undersökts har heller inte tydligt varit förknippade med frostproblem.

Förändringarna som berör krav på minsta täckande betongskikt är något som huvudsakligen innefattar konstruktionselement som befinner sig i vattenlinjen till exempel pelare samt bottenplatta. Skade- samt reparationsåtgärdsutvecklingen på dessa konstruktionsdelar visar dock inte på någon avsevärd förbättring utan en någorlunda likvärdig frekvens av skador samt reparationsåtgärder. Det skall dock tas i beaktande att det endast är för konstruktioner i vattenlinjen som en förändring har skett.

6.4 Beständighet som kan väntas från dagens konstruktioner

Den genomförda undersökningen visar att kloridinitierad armeringskorrosion är den allvarligaste och mest förekommande nedbrytningsmekanismen. Då regelverket har skärpts både beträffande lägsta *vct* samt täckskitskrav kan en bättre beständighet med all sannolikhet förväntas hos dagens konstruktioner.

När det gäller frostsador så har de inte varit speciellt vanligt förekommande. Även på konstruktioner där provtagningar gjorts, t.ex. Steorn (1982) och Malmström (1996), där dålig frostbeständighet påvisats, hittades inga noteringar i BaTMan om direkta frostsador hos konstruktionerna. Detta kan tyda på att den metod som används för att testa frostbeständigheten, SS 13 72 44 (Boråsmetoden), inte efterspeglar verkliga förhållanden och kan vara något för tuff.

På detaljnivå så har en hel del utformningar ha förbättrats enligt Thunstedt (2014). Men förbättringar kan med all sannolikhet fortfarande göras.

6.5 Osäkerheter och tolkningar

Den genomförda undersökningen är främst baserad på den information som finns rapporterad i BaTMan. Det finns en del osäkerheter i analysen av informationen från BaTMan, både gäller noteringar om skador och reparationer. Mycket av informationen rörande skador läggs in av broinspektörer, där olika inspektörer har olika mycket erfarenhet, vilket kan medföra olika bedömningar vad gäller orsaker till

skador etc. Dessutom finns det inte mycket information inlagt i BaTMan om skador noterade och reparationer utförda före 1990-talet.

Eftersom endast reparationer från slutet av 1980-talet och framåt finns rapporterade medför detta en viss osäkerhet. De äldsta broarna i studien var då cirka 35 år gamla men man kan anta att de större reparationsåtgärderna i regel inte uppstått tidigare. Vid felaktiga utformningar eller vid produktionsfel kan dock skador uppstå mycket tidigare vilket blir en osäkerhet som får tas hänsyn till. I BaTMan står det heller inte den bakomliggande orsaken till varför reparationerna utförts. Detta blir då en tolkningsfråga och med hänsyn till nuvarande skador och en allmän uppfattning om skadebilden har därför vissa slutsatser om orsakerna bakom reparationsåtgärderna gjorts. Värt att notera är även att ett par fel hittades i BaTMan-rapporteringen. Detta då skador var rapporterade och även foton fanns, foton tydde då på en annan typ av skada än den som angivits.

En annan osäkerhet vid analys av informationen från BaTMan är att orsaken till skador ibland bara benämns med ”miljöpåverkan” och ingen närmare beskrivning till orsaken bakom skadan ges. Som tidigare beskrivit så benämns oftast skadorna så vid en första inspektion för att endast notera skadorna. Vid allvarigare skador och vid behov av reparation så utreds oftast den bakomliggande orsaken mer ingående enligt Olevik (2014). Dock så fanns i vissa fall bilder på skadorna i BaTMan vilka kunde komma till nytta tillsammans med kunskap om nedbrytningsmekanismerna samt en allmän uppfattning. Detta har då gett relativt goda slutsatser om orsakerna bakom skadorna.

En annan osäkerhet är även att en skada kan vara föranledd av olika orsaker. Exempelvis kan en korrosionsskada vara föranledd av ett gjutsår från produktionen vilket medför en snabb initiering för korrosionen och det är då frågan om ett utförandefel och inte ett beständighetsproblem. Ett liknande problem kan vara om armeringen av någon anledning hamnat för ytligt vilket även de medför en allt för snabb initiering av armeringskorrosion. Detta har påvisats relativt vanligt förekommande på brobanepplattor då ytlig armering börjat korrodera på yngre broar. Även när det gäller dräneringen så kan läckande ytavlopp och grundavlopp orsaka korrosion i kringliggande konstruktionsdelar. I vissa fall benämns dessa skador i BaTMan korrekt som ”byggfel” men ibland endast som ”korrosion” vilket att information är svår att tolka.

Vissa skador i BaTMan är beskrivna som vittringsskador. Vad en vittringsskada beror på är inte helt självklart, men en av de flera bakomliggande orsakerna är dock frost. En vittringsskada kan även föranleda en korrosionsskada varför ”vittring” oftast får en låg tillståndsklass och att benämningen ändras till ”korrosion” när korrosionsprocessen väl startat.

7 Slutsatser och sammanfattande kommentarer

7.1 Slutsatser

Utifrån den genomförda undersökningen kan följande slutsatser dras:

- Den främsta orsaken till skador på de undersökta konstruktionerna är kloridinitierad korrosion. Även när det gäller reparationsåtgärder så förmodas kloridinitierade korrosionsskador ligga bakom de flesta. De konstruktionsdelar som var mest skadedrabbade var därför de som var utsatta för växelvis fukt och klorider.
- Frostskador var inte speciellt vanligt förekommande och även svårare att tolka i BaTMan. Det blir därför svårt att dra en slutsats om hur allvarligt problemen med frost har varit. Andra genomförda studier, t.ex. Malmström (1996), har påvisat att även om forstbeständigheten hos betongen är dålig vid provning (enligt SS 13 72 25) så behöver inte detta leda till frostskador på konstruktionen.
- Den konstruktionsdel som är mest utsatt och har flest allvarliga skador är kantbalkarna. Det är även den konstruktionsdel som oftast har haft de mest omfattande reparationsåtgärderna då utbyte skett i många fall. Utformningen av denna konstruktionsdel blir därför viktig för konstruktionens framtida beständighet.
- Utformningen av detaljerna har visat sig vara mycket viktigt för en utsatt vägkonstruktions beständighet. I undersökningen har nästan hälften av de undersökta broarna någon skada eller reparation gjord på antingen grundavloppen eller ytavloppen och flera andra skador upptäcktes vara föranledda av dåligt utförda detaljer. Andra exempel är problem med räckesinfästningar och övergångskonstruktioner.

7.2 Sammanfattande kommentarer

Utifrån den genomförda undersökningen kan följande sammanfattande kommentarer ges:

- Informationen i BaTMan är ibland svår att tyda och i vissa fall även bristfällig. Detta då verktyget är framtaget för förvaltning och inte är helt anpassat för studier som denna.
- Generellt sett så är de studerade konstruktionerna i relativt bra skick. Även de äldre konstruktionerna har klarat sig bra och de flesta utan några större reparationsåtgärder. Detta trots att de har byggts enligt äldre regelverk med mindre stränga krav gällande beständighet. En bidragande orsak till det goda skicket på konstruktionerna kan också vara de ytbehandlingar som har utförts på speciellt kantbalkar, där normalt en vattenavvisande impregnering har

applicerats Nya konstruktioner utförda enligt dagens regelverk kan därför förväntas få en mycket lång livslängd.

8 Förslag på fortsatta studier

8.1 Fördjupande studie

En av osäkerheterna i undersökningen är att det inte finns så mycket informationen i BaTMan innan 1990-talet samt att de skador som finns rapporterade ibland är dåligt beskrivna. Det är därför svårt att veta exakt hur läget har sett ut före 1990-talet. Det fanns heller nästan ingen information om varför en reparation gjorts och vad det är som har föranlett den. Med hänsyn till registrerade aktuella skador var det i denna studie nödvändigt att göra vissa bedömningar och tolkningar om vad som föranlett skador och nedbrytning. För att ge ytterligare kunskap om hur beständigheten hos vägkonstruktioner sett ut genom åren skulle därför en fördjupande studie kunna hjälpa till.

Syftet med en sådan undersökning kan vara att få fram mer information om vad som hänt före 1990-talet. Exempel på sådant som är intressant att få fram är mer information om beslutsunderlagen bakom reparationsåtgärder, för att se vad som egentligen föranlett en reparation. Exempelvis skulle en mer omfattande undersökning i Trafikverkets arkiv samt ytterligare litteraturstudier kunna göras. All information finns troligen inte i arkivet utan en del inspektionsprotokoll och information om provtagningar kan ha ”fastnat” hos broinspektörer och aldrig hamnat i arkivet. Kanske skulle det då vara möjligt att få fram viss information om detta på annat håll.

En slutsats från den genomförda undersökningen är att det har förekommit mycket skador på kantbalkar. Det hade då varit intressant att ta reda på vad som orsakat dessa skador. Exempelvis skulle en mer omfattande undersökning i Trafikverkets arkiv samt ytterligare litteraturstudier kunna göras.

8.2 Undersök hur detaljutformningen utvecklats

Utformningen av detaljer samt hur bra utförandet av dessa blivit avgör till stor del konstruktionens framtida beständighet. De hade därför varit intressant att undersöka detta mer ingående. Den genomförda undersökningen visar på de problem som finns med framför allt detaljerna kring dräneringen. Flertalet konstruktioner hade någon form av skada på antingen grundavloppen eller ytavloppen. Flera andra skador upptäcktes också som var föranledda av problem med dräneringsdetaljerna.

Syftet med en undersökning rörande detaljutformning, kan vara att inventera hur detaljutformningar är projekterade och hur resultatet blir på den färdiga konstruktionen. En sådan studie kan exempelvis göras genom att studera ritningar för ett antal nyare konstruktioner, tillgängliga i BaTMan, och sedan gå ut och inspektera de färdiga konstruktioner för att se hur detaljerna utförts och hur resultatet har blivit. Resultaten från en sådan undersökning kan sedan komma till nytta vid framtida projektering av vägkonstruktioner.

8.3 Undersök problemen med ”vittring”

En osäkerhet i den genomförda undersökningen är problemen med ”vittring”. Vad en vittringsskada beror på är inte helt självklart, men en av de flera bakomliggande orsakerna är dock frost. En vittringsskada kan även föranleda en korrosionsskada varför ”vittring” oftast får en låg tillståndsklass och att benämningen ändras till ”korrosion” när korrosionsprocessen väl startat. Detta skulle kunna vara en förklaring till att det rapporterats relativt få skador med avseende på ”vittring”. Det blir även svårt att veta vad alla skador egentligen beror på vilket försvårar en generell slutsats. Det behövs därför bättre klarläggas vad som egentligen avses med ”vittring” och vad som är de bakomliggande orsakerna.

Syftet med en undersökning rörande ”vittring”, kan vara att klarlägga vad som avses med ”vittring” och vad de bakomliggande orsakerna är. En sådan undersökning kan exempelvis göras genom att göra ett urval av representativa konstruktioner med vittringsskador och sedan se hur skadorna ser ut på respektive konstruktion. Dessutom kan provtagningar göras i de undersökta konstruktionerna så att frostbeständigheten kan undersökas och provas.

9 Referenser

Skriftliga referenser:

BaTMan handbok, (2014): https://batman.vv.se
Byfors, K & Tuutti, K (1994): <i>Armeringskorrosion</i> , Kapitel 22 i <i>Betonghandbok Material</i> . AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, sid 785-808.
De Schutter, G (2013): <i>Damage to concrete structures</i> , 2013, Taylor & Francis Group, Boca Raton.
Dhir, R K, Shanga, C M & Munday, J G C. (1973): <i>Strength and deformation properties of autogeneously healed mortar</i> . ACI Journal, nr.70, sid 231-235.
Fagerlund, G (1982): <i>Inverkan av lufthalt, luftporstruktur, konsistens, vattencementtal och komprimeringssätt på betongens beständighet mot frost och salt</i> , artikel i <i>Betongs frostbeständighet</i> , nordiskt forskningsseminarium 23 oktober 1982, CBI rapport, ra 2.83, Cement- och betonginstitutet, Stockholm, sid 39-48.
Fagerlund, G (1990): <i>Betongkonstruktioners beständighet – en översikt</i> , Cementa AB, Lund, sid 27-28.
Fagerlund, G (1992): <i>Effect of the freezing rate on the frost resistance of concrete</i> . Nordic Concrete Research, Norsk Betongforening, Publication No. 11, Oslo, sid 20-26.
Fagerlund, G (2010): <i>Betongkonstruktioners beständighet – En genomgång av officiella svenska regler 1926-2010</i> , Lunds tekniska högskola, Lund, sid 1-65.
Fagerlund, G (2014): <i>Reparation av betongkonstruktioner – Skador och reparationsmetoder från 1970-talet och framåt – Reparationsbehov, forskningsbehov, effektivitet</i> , Lunds tekniska högskola, Lund, sid 1-36.
Fagerlund, G. (1994): <i>Betonghandbok Material Kapitel 20 & 21</i> . AB Svensk Byggtjänst, Stockholm, sid 711-784.
Harryson, P (2014): Privat kommunikation.
Ingvarsson, H (1982): <i>Betongbroars beständighet</i> , Artikel i <i>Betongs frostbeständighet</i> , nordiskt forskningsseminarium 23 oktober 1982, CBI rapport, ra 2.83, Cement- och betonginstitutet, Stockholm, sid 169-171.
Lambert, P, Page, C L & Vassie, P R W (1991): <i>Investigation of reinforcement corrosion 2, Electrochemical monitoring of steel in chloride-contaminated concrete</i> , <i>Materials and Structures</i> , (24):143, sid 351-359.
Malmström, K (1996): <i>Betongkonstruktioners frostbeständighet – fältinventering</i> , SP Rapport 1996:04, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.
Pettersson, K (1992): <i>Corrosion threshold value and corrosion rate in reinforced</i>

<i>concrete</i> , CBI report 2:92, Stockholm.
Schiessl, P & Schwartzkopf M (1986): <i>Chloride-induced corrosion of steel in concrete. Development of corrosion testing cell</i> , Betonwerk + Fertigteil-Technik, vol. 52, nr. 10, sid 626-635.
SFF (2000): <i>Europastandard för Betong SS EN 206-1</i> , Informationsmaterial från Svenska Fabriksbetongföreningen, Danderyd.
Steorn, B (1982): <i>Erfarenheter från provning av betongs frostbeständighet på några broar byggda 1910-1982</i> , Artikel i Betongs frostbeständighet, Nordiskt forskningsseminarium 23 oktober 1982, CBI rapport, ra 2.83, Cement- och betonginstitutet, Stockholm, sid 251-263.
Tuutti, K (1982): <i>Corrosion of steel in concrete</i> , CBI Research fo 4.82, Stockholm.
Tuutti, K (1991): <i>Armeringskorrosion. Livslängdsberäkningar</i> , FoU rapport 91009, Cementa AB, Danderyd.

Muntliga referenser:

Johansson, T (2014): Broinspektör Scanakos, Intervju 2014-04-23.
Olevik, J (2014): Broinspektör Scanakos, Intervju 2014-04-23.
Thunstedt, P (2014): Projektledare förvaltning Trafikverket, Intervju 2014-04-22.

Bilaga A: Sammanfattning av genomförda Intervjuer

A1: Sammanfattning av intervju med Per Thunstedt

En intervju med Per Thunstedt har genomförts 2014-04-22. Per Thunstedt har titeln projektledare och förvaltare hos Trafikverket och är ansvarig förvaltare för Trafikverkets konstruktioner i Göteborgstrakten. Thunstedts jobb är att se över tillståndet på konstruktionerna och avgöra ur ett samhällsekonomiskt perspektiv vilka reparationer som behöver göras och vart satsningar bör läggas. Vid intervjun med Thunstedt diskuterades beständighetsfrågor och vad han anser är avgörande för en brokonstruktions livslängd.

Då Thunstedts syn är inriktad mot ett helhetsperspektiv så framhöll han att detaljerna är den avgörande faktorn för en konstruktions livslängd. Då frågan specificerades mot betongbeständighet pekade Thunstedt på armeringskorrosion initierad av kloridinträngning som det vanligaste och största problemet på utsatta vägkonstruktioner. Thunstedt nämner även korrosion orsakad av karbonatisering men att det inte är ett lika stort problem och att det är ovanligt på dagens konstruktioner med låga *vct*. Problemen med korrosion initierad av klorider uppstår oftast runt kantbalkar då dessa är väldigt utsatta. Framför allt på äldre typer av konstruktioner med nedsänkta kantbalkar där avrinningen skedde ut över kantbalken. Täcksiktet var oftast tunt på äldre konstruktioner vilket gjorde att kloridinträngningen gick fort. Andra ställen där kloridinitierad korrosion kan uppstå är exempelvis pelare då det går en väg jämte. Kloridhaltigt vatten som samlas på vägen skvätter sedan bilarna upp på pelarna. Enligt Thunstedt så händer det också att armeringsjärnen ibland inte har blivit rätt placerade i cylinderformen vid gjutningen varvid täckande betongskikt kan bli för stort på ena sidan av pelaren och för litet på andra sidan pelaren. Detta medför då att kloridinträngningen kan gå mycket fort på den tunna sidan. Thunstedt fortsätter därför med att poängtera att utformningen och detaljerna på en konstruktion är mycket viktig för beständigheten. Skador kan oftast uppkomma på ställen där något fel i produktionen eller detaljutformningen skett.

Ett exempel på detaljutformning är vägräckesinfästningar som enligt Thunstedt tidigare har varit ett av de områden som varit problematiska. Äldre typer av vägräcken göts fast i kantbalken och om det inte blivit riktigt tätt vid gjutningen kan vatten rinna ner i sprickorna och orsaka armeringskorrosion. Thunstedt nämner även att just utbyte av gamla vägräcken är en vanligt förekommande reparationsåtgärd just nu då de oftast korroderat sönder eller inte uppfyller säkerhetskraven.

Thunstedt nämner också att grundavlopp har varit ett stort problem då olika utföranden av dessa medfört läckage i anslutning vid tätskiktsmattan. Läckage runt dessa kan i sin tur medföra att klorider sipprar ut i brobanepattan och orsakar korrosion. Andra problem med grundavloppen har varit att de ibland vid produktionen gått av jäms med brobaneplattans underkant vilket medför att ingen droppkant finns utan att vattnet kan rinna ut längs med hela brobaneplattans undersida. Enligt Thunstedt så har därför nya metoder och material för grundavloppen utvecklats och problemen med läckage och liknande är mycket mindre på nyare broar idag.

Ytterligare ett exempel på detaljutformning är övergångskonstruktioner i brobanepattan. På äldre konstruktioner var övergångskonstruktionerna endast enkelt utformade med två plåtar som överlappade varandra. Detta medförde dock att kloridhaltigt vatten sipprade ner emellan

övergångskonstruktionerna och rann sedan vidare ner över lagerpallar och andra underliggande konstruktionsdelar med korrosionsskador på dessa som följd. Detta är dock bättre utformat idag med mycket bättre gummitätningar som ska förhindra detta.

En annan viktig sak för beständigheten enligt Thunstedt är underhållet på broarna. Att avlopp, fogar och andra delar hålls rena från smuts och föroreningar är en billig och viktig åtgärd. Rengöring av kantbalkar är ett annat exempel på underhåll som görs. Thunstedt nämner också att impregnering av kantbalkar ibland kan vara värt att utföra. Impregneringen innebär att kantbalken impregneras med ett ämne som förhindrar klorider och vatten att tränga in. På grund av ekonomiska orsaker görs detta inte så ofta längre utan är mer koncentrerat till ett fåtal mer utsatta konstruktioner. Thunstedt nämner Angeredsbron som impregneras vart femte år.

Vi frågade även Thunstedt om förekomst av frostsador på vägkonstruktioner. Enligt honom så har frostsador inte varit något stort problem men det har förekommit. Sedan luftinblandning i betongen började användas är frostsador inte alls lika förekommande eller skadliga som framför allt kloridinträngning. Frostsadorna uppkommer oftast på ställen där vatten samlas. Detta kan till exempel vara längs överkanten av vingmurar där vatten rinner över och samlas så att betongen suger åt sig och blir fuktmättad. Andra ställen där frostproblem kan uppstå är även här där detaljutformningen är dålig. Detta kan vara om avrinningen är dålig och vatten samlas på något ställe eller till exempel vid sprickor runt räckesstolpar där vatten kan sippra ner och frysa sönder betongen. Andra uppenbara ställen där frostsador skulle kunna uppstå är vid skvalpzonen för pelare som står i vatten.

Thunstedt säger också att vid produktionsfel eller dålig detaljutformning så kan enkla fel leda till stora problem och dyra reparationer.

A2: Sammanfattning av intervju med Jens Olevik

En intervju har gjorts med Jens Olevik 2014-04-23 som jobbar på Scanakos som inspektör av bland annat broar. Oleviks jobb är att inspektera olika konstruktioner och sedan rapportera de aktuella skadorna till förvaltaren. När det gäller Trafikverkets konstruktioner rapporterar han in skadorna i BaTMan. Olevik ansåg att armeringskorrosion var den vanligaste och mest förekommande skadetyper och att det oftast var klorider som initierat den.

Enligt Olevik så kunde kvalitén på broarna variera mycket förr. Både betongkvalitén men även yrkesarbetarskickligheten kunde variera mer förr vilket medförde att vissa konstruktioner kunde stå sig väldigt bra medans andra kunde behöva repareras tidigt. Olevik nämner till exempel att man kan se hur olika gjutetapper klarat sig olika bra då de fått betong från olika betongbilar. Detta kan till exempel bero på temperaturen vid gjutning. Andra problem som var vanligare förr var att betongen varit för länge i betongbilen och börjat härda. Detta gör att den då blir svår att vibrera och gjutsår kan uppstå som följd vilket snabbt kan orsaka kloridinträngning och korrosion. Men eftersom bättre kontroller och utförande har införts idag så är kvalitén bättre vid dagens konstruktioner.

Karboniseringskador kan enligt Olevik uppkomma på exempelvis undersidan av brobanepattan eller på frontmuren, detta framförallt hos äldre konstruktioner med sämre betong samt tunnare täckskikt men han säger även att detta inte är ett jätte stort problem.

Olevik nämner också att detaljerna är viktiga för beständigheten. Även här har de kommit bättre standarder för utformningen av detaljer som förbättrat en del problem. Olevik nämner också att utformningen av ytavloppen varit mycket dålig förr och hur de ofta blev skadade vid produktionen av olika anledningar. De har dock blivit bättre idag men det kan fortfarande förekomma problem med dem. Olevik säger att detaljer oftast är grundorsaken till nedbrytning på konstruktioner byggda innan 1965 medans vanlig nedbrytning och slitage är vanligare på nyare konstruktioner.

Olevik nämner även att underhållet av bron är mycket viktigt för att få en lång livslängd. Regelbundna kontroller samt ett kontinuerligt underhåll knutet till en handlingsplan är det som Olevik påpekar som de främsta förutsättningarna för en god livslängd. Exempelvis igensatta ytavlopp kan orsaka att vatten står kvar länge på konstruktionen eller mossbevuxna kantbalkar som kan dra åt sig fukt och förvärra nedbrytningen är enkla saker att åtgärda som annars kan orsaka stora problem. Det är också viktigt att reparera upptäckta skador i tid innan det hinner gå för långt då de kan bli mycket dyrare att reparera senare.

Ytterligare en anmärkning som Olevik framhåller är att vissa typer av åtgärder görs då intilliggande konstruktionsdel skall åtgärdas, detta då det anses ekonomiskt att i förbyggande syfte byta ut eller komplettera. Ett exempel som är vanligt förekommande är att byta av räckor ofta kombineras med utbyte av kantbalkar.

Andra saker som kan påverka nedbrytningen av en konstruktion är om förutsättningarna kring en konstruktionsdel ändras. Till exempel om en konstruktionsdel alltid stått torr innan och helt plötsligt blir utsatt för fukt kan skador snabbt uppkomma. Detta beror på att en konstruktionsdel behöver vara torr för att karbonatisera men att fukt behövs för att korrosionsprocessen ska starta.

Vi frågade även Olevik om förekomst av frostsador på vägkonstruktioner. Enligt Olevik var det mer vanligt på äldre konstruktioner men de flesta frostrelaterade problemen är åtgärdade idag och att det inte är vanligt förekommande. Han nämner även att när skadorna rapporteras i BaTMan benämns de oftast som miljöpåverkan och det står sällan frostsprängning då andra angreppstyper kan vara inblandade. Förr användes oftare också sämre ballast. Till exempel ballast med runda stenar som har dålig vidhäftning. Detta kunde då orsaka större frostsador. Andra ställen där frostsador ibland har uppkommit är på bottenplattor då vatten från felaktigt utformade ytavlopp runnit ner och samlats på dem. På nyare konstruktioner används oftast lågt vct ($\leq 0,40$) samt luftinblandning vilket förhindrar frostsador. Vid mycket lågt vct kan dock vissa svårigheter vid härdningen uppkomma och om betongen inte kyls tillräckligt mycket så kan sprickor lätt uppkomma. Detta kan då medföra att vatten kryper in och frostsadar betongen. Dock så är det oftast även klorider som tränger in med vattnet och korrosion som blir den huvudsakliga nedbrytande faktorn ändå. Både detaljer och utformning är alltså av stor vikt för beständigheten.

Olevik redogjorde även för hur information i BaTMan kan tolkas. Detta då benämningen av olika typer av skador kan leda till förvirring. Benämningar på skadeorsaker kan tolkas som mycket generella, detta då orsaken kan bero av en kombination av omständigheter som exemplet ovan där frostsador ofta faller under begreppet miljöpåverkan. Dessutom så kan skador som ges en låg tillståndsklass vara förenklade i sin benämning, detta då de i första hand läggs in för att noteras inför kommande inspektioner och därför inte är lika relevanta att analysera i speciellt stor utsträckning. En mer omfattande analys görs då dessa skador behöver åtgärdas.

Bilaga B: Sammanställning av undersökta vägkonstruktioner

<u>Konstruktion(Knr)</u>	<u>Län</u>	<u>Vägnummer</u>	<u>Projekterings år</u>
Bro över väg vid Åkarp (12-407-1)	Skåne län	E22/ 878	1952
Bro över väg vid tpl Lund s (södra delen)(12-375-1)	Skåne län	108/E22	1953
Bro över Stenungsund vid mellan fastlandet o Stenungsön (14-106-1)	Västra Götalands län	160	1957
Bro över Källösund vid mellan Stenungsön o Källön (Källösundsbron)(14-497-1)	Västra Götalands län	160	1958
Bro över väg vid tpl Rebbelberga i Ängelholm(11-497-1)	Skåne län	13/E6	1958
Bro över väg vid n. Varalöv, tpl Erikslund(11-500-1)	Skåne län	112/E6	1958
Bro över allmän väg i tpl Lomma(12-463-1)	Skåne län	103/E6	1958
Bro över allmän väg i tpl Borgeby(12-472-1)	Skåne län	1136/E6	1959
Bro över allmän väg 1 km o Flädie station, tpl Flädie(12-466-1)	Skåne län	E6.2/E6	1959
Bro över Åkarpsbäcken sj och allmän väg sv Åkarps station tpl Alnarp (12-471-2)	Skåne län	E6/E6	1959
Bro över allmän väg i tpl Kastenhov (15-719-1)	Västra Götalands län	E20/1938	1961
Bro över Gerdiska ström i Alingsås(15-670-1)	Västra Götalands län	E20	1961
Bro över Elnesjön, so Ellenö station (15-135-1)	Västra Götalands län	172	1962
Bro över Örekilsälven och m.j. n.o.Munkedals station(14-569-1)	Västra Götalands län	832	1962
Bro över Göta älv, (Jordfallsbron) i Kungälv (15-702-1)	Västra Götalands län	587	1963
Bro (inkl. btg-däck) över Löddeån 1 km sv Löddeköpinge kyrka(12-474-1)	Skåne län	E6	1963
Bro över Nötesund vid Vindön (Nötesundsbron)(14-584-1)	Västra Götalands län	160	1964
Bro över Nissan, no Frännarp i Halmstad (västra bron) (13-415-1)	Hallands län	E6	1964
Bro över allmän väg (s:a bron) 2 km vsv Björnhusen i tpl Lundåkra(12-485-1)	Skåne län	E6/E6	1964
Bro över Saxån 1 km sv Häljarps station i Landskrona(12-473-1)	Skåne län	E6	1964
Bro över Årån vid Stockarshult (6-672-1)	Jönköpings län	27	1965
Bro över allmän väg samt Grenvägar i tpl Landskrona s(12-495-1)	Skåne län	17/E6	1965
Bro över Nordre älv (14-670-1)	Västra Götalands län	E6	1966
Bro över allmän väg o Göddered i Göteborg(14-676-1)	Västra Götalands län	E6/587	1966
Bro över allmän väg och nils Jakobsonsgat i tpl Brodal i Borås (15-796-1)	Västra Götalands län	40	1966
Bro över allmän väg vid tpl Kode (14-690-1)	Västra Götalands län	E6	1968
Bro över Mariedalsgat. Bryggaregat. vid tpl Annelund i Borås(15-803-1)	Västra Götalands län	40/40	1968
Bro över allmän väg vid Gastorp i Mölndal (14-951-1)	Västra Götalands län	503/E6	1969
Bro över sund vid Bäckevik (Smögenbron) (14-333-1)	Västra Götalands län	1186	1969
Bro över allmän väg vid Kollahed (13-434-1)	Hallands län	E6	1971

Konstruktion(Knr)

Bro över allmän väg vid tpl Svedala(12-661-1)
Bro över allmän väg i tpl Vellinge s(12-634-1)
Bro över allmän väg (västra bron) vid tpl Landvetter (14-978-1)
Bro över allmän väg (östra bron) vid tpl Landvetter (14-979-1)
Bro över allmän väg i Flygplansmotet i Landvetter (14-961-1)
Bro över Göta älv vid Agnesberg (Angeredsbron)(14-713-1)
Bro över allmän väg vid tpl st Övatten(14-1093-1)
Bro över allmän väg vid tpl Ingared(15-944-1)
Bro över sj, Grandalsbäcken och väg 529 vid tpl Grandalen (14-1096-1)
Bro över allmän väg vid tpl Fjärås (13-546-1)
Bro över väg vid Vipeholm (tpl Gastelyckan) i Lund(12-377-1)
Bro över allmän väg vid tpl Grönkullen(15-916-1)
Bro över Göta älv, Stallbackabron (15-816-1)

Län

Skåne län
Skåne län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Västra Götalands län
Hallands län
Skåne län
Västra Götalands län
Västra Götalands län

Vägnummer

108/E65
100/E6
549/40
549/40
40/546
E6.20/E6
156/40
E20/1751
40/529
E6/939
102/E22
1627/40
E45

Projekterings år

1971
1971
1973
1974
1975
1976
1976
1976
1977
1977
1977
1978
1979