

Förstudie till FoU-ramprojekt

Optimala standarder (bro)

1999-12-30

Förord

I föreliggande förstudie "Optimala standarder bro" sammanfattas pågående och utförd forskning kring beständighet hos de olika konstruktionsmaterialen betong, stål och trä. Vidare tas forskning kring brodetaljers beständighet upp kortfattat. Dessutom ges rekommendationer kring vilken forskning som Vägverket bör satsa på inom ramprojektet optimala standarder (bro).

Borlänge den 30 december 1999

Katarina Kieksi

Granskat:

Robert Ronnebrant

Innehåll

Förord.....	2
Innehåll.....	3
Sammanfattning	5
1 Inledning	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Syfte	6
1.3 Avgränsning	6
2 Ramprojektet optimala standarder	8
2.1 Definition av optimal standard.....	8
2.2 Angränsande förstudier.....	8
3 Pågående och avslutad FoU	10
3.1 Metod vid kunskapsinventering	10
3.2 System för att uppnå optimal standard.....	10
3.3 Betong	12
3.3.1 Allmänt	12
3.3.2 Nedbrytningsmekanismer	13
3.3.3 Beständighetsforskning	13
3.3.4 Övrig beständighetsforskning	20
3.4 Stål	22
3.4.1 Allmänt	22
3.4.2 Nedbrytningsmekanismer för stålbroar	22
3.4.3 Korrosionsskydd	23
3.4.4 Övrigt	23
3.5 Samverkanskonstruktioner.....	24
3.6 Trä	24
3.6.1 Allmänt	24
3.6.2 Nedbrytningsmekanismer och beständighet hos trä	25
3.6.3 Träbroars beständighet	25
3.6.4 Övrig beständighetsforskning	27
3.7 Tätskikt och beläggning	28
4 Behov av FoU	29
4.1 Allmänt	29
4.2 Inkomna FoU-ansökningar	30
5 Förslag till delprojekt.....	32

5.1	Beständighet tösaltade betongkonstruktioner	32
5.1.1	Bakgrund	32
5.1.2	Förväntat resultat.....	32
5.1.3	Resurser och tidplan.....	32
5.2	Antiutvaskningsmedels beständighet	32
5.2.1	Bakgrund	32
5.2.2	Förväntat resultat.....	33
5.2.3	Resurser och tidplan.....	33
5.3	Nedbrytningsmekanismer och konstruktivt träskydd för träbroar	33
5.3.1	Bakgrund	33
5.3.2	Förväntat resultat.....	33
5.3.3	Resurser och tidplan.....	33
5.4	Framtagande av system för att beräkna konstruktioners livslängd	34
5.4.1	Bakgrund	34
5.4.2	Förväntat resultat.....	34
5.4.3	Resurser och tidplan.....	34
6	Referenser	35

Sammanfattning

Denna förstudie omfattar en övergripande kunskapsinventering inom ramprojektet "Optimala standarder, bro".

Optimal standard innebär att fastställda normer beskriver hur t.ex. broar ska utföras för att vara mest gynnsam för resultatet. Detta begrepp innebär att man försöker undvika både svaga länkar och överdimensionering av delkomponenter med avseende på beständighet.

En litteratursökning/kunskapsinventering har utförts, framförallt har rapporter avseende broars beständighet och forskning utförd under 1990-talet prioriterats. Förstudien har begränsats så till vida att vid sökning av litteratur har sökorden bro och beständighet kombinerats med materialen betong, stål och trä. Dessutom har en mindre studium av tätskikt och beläggning utförts som ett exempel på detaljer som kan studeras.

Litteraturinventeringen har resulterat i en beskrivning av statusen på den del av beständighetsforskningen som berör broar och dess ingående material. Under tiden som förstudien har utförts har många ansökningar om FoU medel insänts till Vägverket. Dessa ansökningar är listade i slutet av rapporten och denna lista följs av förslag till FoU-projekt som bör genomföras, med början år 2000, inom ramprojektet optimala standarder.

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vägverket har i den allmänna tekniska beskrivningen BRO 94 [1] bl.a. ställt krav på broars livslängd. Kraven utgörs av att en teknisk livslängd ska uppnås, t.ex. 120 år för underbyggnad, 80 år för överbyggnad av stål eller betong samt 40 år för träöverbyggnad. Med teknisk livslängd avses den vid dimensioneringen förväntade tid under vilken konstruktionen med normalt underhåll uppvisar erforderlig funktionsduglighet. Det finns dessutom en del indirekta krav genom att det i BRO 94 anges minsta krav på täckande betongskikt, krav på ytbehandling för stålbalkar, krav på impregnering av träbroar, m.m.

Dessa krav har uppkommit som en följd av känd kunskap kring nedbrytningsprocesser samt erfarenheter från det nuvarande brobeståndet. Dock saknas ett enhetligt betraktelsesätt för att ta fram krav på beständighet för broar för att önskad livslängd ska uppnås.

1.2 Syfte

Syftet med denna förstudie är att utifrån Vägverkets perspektiv beskriva begreppet optimal standard, sammanfatta utförd och pågående forskning samt presentera förslag till fortsatt forskning inom området. Målsättningen för den fortsatta forskningen inom ramprojektet optimala standarder är att utöka kunskapen kring materials beständighet för att uppnå ”optimal standard” för broar.

I projektbeskrivningen för denna förstudie kan utläsas följande:

”Allmänna tekniska beskrivningar för standarder avseende dimensionering, material, tekniska lösningar, utförande etc. är inte tillräckligt tydligt kvalitetsdeklarerade och optimala vad gäller beständighet (förväntad funktionstid). Dessutom saknas en metodik för att kunna avgöra konsekvenserna av olika krav på beständighet.”

Mot denna bakgrund har en kunskapsinventering utförts inom detta ramprojekt för att klarlägga dagens kunskapsläge samt göra en sammanfattning av Vägverkets behov av ytterligare kunskap.

1.3 Avgränsning

Livslängden för en bro kan bedömas ur teknisk, användar och ekonomisk synvinkel. Den tekniska livslängd är den vid dimensioneringen förväntade tid under vilken konstruktionen med normalt underhåll uppvisar erforderlig funktionsduglighet. Med användartid avses den tid under vilken bron uppfyller aktuella krav på bron och ekonomisk livslängd är

den tid som bron bedöms lönsam. I denna förstudie studeras inte den ekonomiska livslängden, den har bl.a. studerats på KTH av Troive [2].

Varje delkomponent i en bro kan studeras var för sig och därefter kan en uppskattning av brons totala livslängd göras. En uppdelning kan göras genom att dels studera de olika brobyggnadsmaterialen (betong, stål, trä etc.) för sig och dels studera brodetaljer och delkomponenter enskilt, t.ex. räckesständer, tätskikt och beläggning, lager och övergångskonstruktioner.

Denna förstudie har begränsats så till vida att vid sökning av litteratur så har sökorden bro och beständighet kombinerats med materialen betong, stål och trä. Dessutom har en mindre studium av tätskikt och beläggning utförts som ett exempel på detaljer som kan studeras. Kunskap om t.ex. kompositer och aluminium som brobyggnadsmaterial har inte sökts i denna förstudie eftersom materialet hittills inte använts så mycket.

Vidare berör denna förstudie materialteknisk forskning med målet att erhålla kunskap om vilka mekanismer som påverkar ett materials, eller kombinationer av materials, livslängd. När den kunskapen finns så kan man arbeta vidare för att ta fram en modell eller ett system för att uppnå den optimala standarden för en bro.

Även kunskap kring mätning av ett byggnadsverks tillstånd samt hur tillståndet utvecklar sig med tiden är av intresse speciellt när man försöker få ett helhetsgrepp samt utveckla metoder som kan användas för att uppskatta en hel bros livslängd. Detta tas dock upp i en angränsande förstudie som behandlar "Mätning och utvärdering av broars tillstånd". Även denna förstudie utförs under 1999.

Eftersom området optimala standarder är mycket omfattande och en kunskapsinventering bygger på att söka det allra senaste materialet som finns inom ett visst kunskapsområde kan det hända att inte all forskning som rapporterats under de senaste åren har funnits och inkluderats i denna förstudie. Ambitionen med detta arbete och denna förstudierapport är att finna och referera till så mycket som möjligt – framförallt det som berör broar.

2 Ramprojektet optimala standarder

2.1 Definition av optimal standard

Söker man orden optimal och standard i ordböcker finner man följande definitioner. **Optimal** förklaras med orden *bästa möjliga* och *mest gynnsam* medan **standard** förklaras som *fastställd norm för viss företeelses konstruktion* eller som *normaltyp, normalmått*.

Optimal standard innebär således att fastställda normer beskriver hur t.ex. broar ska utföras för att ge bästa möjliga resultat. Detta begrepp innebär i det här fallet att man försöker undvika både svaga länkar och överdimensionering av delkomponenter med avseende på beständighet. Det innebär att även ekonomiska aspekter måste vägas in för att kunna uppnå optimal standard. I denna diskussion bör även ingå att utreda om det är lämpligt att vissa delkomponenter lagas eller byts ut ett visst antal gånger under en broslängd eller om alla komponenter bör ha samma krav på livslängd.

2.2 Angränsande förstudier

Under 1999 utförs totalt åtta förstudier som behandlar olika brofrågor på avdelningen för bro och tunnel. Tre av dessa förstudier behandlar ämnen som angränsar till denna förstudie.

Förstudien "Optimala nya broar" innehåller en kunskapsinventering kring modeller för att samhällsekonomiskt värdera och optimera bron med hänsyn till framtida funktionskrav och krav med hänsyn till trafiksäkerhet, tillgänglighet, miljö, estetik, kostnadseffektivitet etc.

"Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper" behandlar funktionskrav och behovet av verifieringsmetoder för att verifiera att önskade funktioner eller egenskaper uppnås.

I förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" samlas erfarenheter kring metoder för mätning och utvärdering av både gamla och nya broars tillstånd. Metoder behövs för att kunna mäta och utvärdera broars tillstånd så att den önskade bärigheten på bron säkerställs och för att kunna utföra ekonomiska kalkyler för hela eller för delar av brobeståndet.

Dessutom har en förstudie med titeln "Miljöanpassade broar" genomförts under 1998 [3]. I denna förstudie diskuteras materialval för och byggande av broar utifrån ett miljöperspektiv. Resultat från ramprojektet "Miljöanpassade broar" kommer att påverka även det arbete som utförs inom ramprojektet "Optimala standarder". Utöver detta arbetar Vägverket med att inom all sin verksamhet ta hänsyn till miljöaspekter vilket leder till att en

del beprövade metoder och material kommer att ersättas av andra metoder och material som bedöms vara mindre skadliga för miljön.

Slutligen genomfördes en delförstudie inom ramprojektet "Optimala standarder" redan under 1998. Den förstudien berörde det svenska forskningsprojektet BTB – Beständighet Tösaltade Betongkonstruktioner [4]. Förstudien genomfördes för att bedöma Vägverkets fortsatta engagemang och finansiella stöd till BTB-projektet. Under 1999 har provtagning på betongbroar, ingående i BTB-projektet, stöttats finansiellt av Vägverket för. Status på BTB-projektet finns beskriven i avsnitt 3.3.3.

3 Pågående och avslutad FoU

3.1 Metod vid kunskapsinventering

För att inventera pågående och avslutad FoU inom området optimala standarder har sökning gjorts i databaser. Vidare har sökning gjorts i Vägverkets bibliotek samt på forskningsinstitutets och svenska högskolors webbplatser på Internet. Sökning har gjorts på de olika materialen betong, stål och trä som kan ingå i en bro. Dessutom har artiklar och rapporter som behandlar system för att beräkna en konstruktions livslängd sökts. Resultat från kunskapsinventeringen finns presenterad nedan.

Utöver databassökning har personliga kontakter tagits med bl.a. Träteknik och med KTH för att inventera pågående opublicerad forskning.

Vid sökningen har forskningsrapporter som har skrivits under 1990-talet bedömts som mest intressanta och aktuella. Forskningsrön som kommer från Sverige, övriga Norden samt Kanada har studerats mer noggrant och ibland getts en större vikt i denna förstudie än från övriga världen.

Orsaken är att nedbrytningsprocesser som är vanligast i Sverige är beroende av klimat och väderlek. Forskningsinriktning och resultat kan därför skilja sig mycket från Sverige till stora delar av övriga världen.

3.2 System för att uppnå optimal standard

I den litteratur som beskriver beständighet för konstruktioner finns det ett par artiklar som presenterar system som kan användas för att uppskatta en konstruktions livslängd istället för att studera delkomponenters livslängd.

Inom internationellt betongsamarbete har frågan om att kunna uppskatta livslängd hos byggnadsmaterial och konstruktionsdelar behandlats av CIB W80/RILEM 71-PSL [5]. Rapporten innehåller en sammanfattning över känd kunskap kring livslängdsbedömningar för byggnader samt en lista på nedbrytningsmekanismer för material. Vidare presenteras ett antal metoder för att uppskatta byggnaders livslängd som funnits i annan litteratur.

Ett stort problem som lyfts fram är det faktum att det saknas en internationellt accepterad metod för att systematiskt behandla beständighets- och livslängdsproblematiken. Därför har CIB W80/RILEM 71-PSL i sin rapport presenterat ett förslag till ett generellt system som är tänkt att användas för att uppskatta en konstruktions livslängd.

Slutligen listas ett antal forskningsområden som identifierats av arbetsgruppen som viktiga för att utvecklingen ska kunna gå framåt mot ökad kunskap kring beständighet och livslängdsbedömningar. Följande områden listas i rapporten.

- skapa ett system för att samla in och rapportera data kring byggnaders eller materials verkliga nedbrytning
- utveckla kunskap kring nedbrytningsmekanismer
- utveckla och förbättra mätverktyg och mätmetoder för att kunna mäta nedbrytningshastighet
- utökad kunskap kring miljöfaktorer som orsakar nedbrytning samt mer kunskap för att kunna mäta miljöfaktorernas intensitet
- utveckla metoder för att kunna ta hänsyn till samverkanseffekter mellan olika miljöfaktorer
- utveckla matematiska modeller som beskriver ett material eller komponents påverkan i en viss miljö.

I USA har Watson [6] beskrivit ett kunskapsbaserat expertsystem som används för att förvalta och underhålla stora byggnader. Systemet har utvecklats under 20 år och består av verksamhets/försäkringstabeller (actuarial tables), nedbrytningskurvor, värden för avdrag p.g.a. defekter (deduct values) samt tabellerade kostnader. Expertsystemet används för att bedöma en byggnads ekonomiska livslängd eller brukstid. Det kan användas för att värdera om det är värt att reparera nu, vänta med en reparation till ett senare tillfälle eller byta ut konstruktionen nu.

I en artikel skriven av Siemes [7] beskrivs ett annat sätt att utforma konstruktioner för att uppnå förväntad livslängd. Författaren utgår från dagens betraktelsesätt för beräkning av en konstruktions lastkapacitet och visar att ett system för att beräkna förväntad livslängd kan byggas upp på likande sätt. Information som behövs för ett nytt system är gränsvärden för beständighet, referenstider samt kunskap kring sannolikheter. Siemes presenterar i sin artikel två olika format som kan användas för att beskriva problemet, dels "intended service period concept" och dels "lifetime concept". Formler presenteras för de olika formaten och fördelar listas. Avslutningsvis summerar författaren genom att jämföra det förslag som han presenterar med en CIB/RILEM-metod och kommer fram till att metoderna är relativt lika så när som på sannolikhetsaspekterna som Siemes inkluderar.

Både Watson och Siemes beskriver svårigheter med sina system genom att en stor mängd data krävs för att systemet ska vara användbart och pålitligt. De ovan presenterade systemen är framtagna för huskonstruktioner som oftast kan ha en kortare livslängd än broar. Livslängden för konstruktioner i infrastrukturen kan vara så långa (ofta upp till 100-200 år) att det är svårt att ta fram pålitliga fakta att använda som underlag i systemen.

Författarna Park och Nowak har i en rapport beskrivit en sannolikhets-teoretisk modell för att uppskatta livslängden hos stålbroar [8]. Modellen bygger på att det finns kunskap kring brons laster, dess lastbärande förmåga och nedbrytningsmodell (korrosion och utmattning). Författarna presenterar sedan en modell baserad på sannolikheteori som används

för att uppskatta stålbroars livslängd. Modellen har använts för ett antal amerikanska och brittiska broar och författarna kommer fram till att resultaten från deras föreslagna modell varierar bl.a. beroende på vilka tekniska krav som stålbron ursprungligen var beräknad efter.

3.3 Betong

3.3.1 Allmänt

Inom området betongs beständighet sker mycket forskning i Sverige. Många högskolor och forskningsinstitut är aktiva inom detta område. En positiv trend som har noterats under 1990-talet är att de olika högskolorna och instituten samarbetar och skapar större forskningsprojekt där varje deltagare bidrar med sin egna specialkompetens.

Eftersom det görs så mycket i Sverige inom betongområdet begränsas resultatredovisningen av forskningsrapporter från övriga världen. Det ska även noteras att nedbrytning av betong i vägmiljö är beroende av klimatet i Sverige vilket i många fall leder till att forskningsresultat från stora delar av övriga världen (speciellt utanför Europa) inte alltid är aktuell för våra förutsättningar.

En mycket bra sammanfattning av dagens kunskapsläge i Sverige finns presenterad i Svenska betongföreningens rapport nr 1, utg. 2 "Beständiga betongkonstruktioner" [9]. Rapporten är framtagen av en kommitté bestående av personer med stor erfarenhet inom beständighetsområdet. Resultaten som presenteras i rapporten föreslås av kommittén att användas för svenskt agerande i internationellt standardiseringsarbete samt ligga till grund för revidering av Banverkets, Boverkets och Vägverkets regler. Kunskap från rapporten är redan använd för att ta fram reviderade tabeller för täckande betongskikt i Supplement nr 4 till BRO 94 [1].

Byfors skriver i en artikel i tidningen Betong [10] om morgondagens betong-FoU. I artikeln sammanfattas arbetet som är utfört av Svenska Betongföreningens kommitté Betong FoU 2000 och ett antal fokuseringspunkter pekas ut för de kommande åren.

För det första så anges i Byfors artikel att det finns ett behov av produktionsteknisk forskning som bör innefatta allt från idé, projektering och byggande, till förvaltning och återvinning. Den forskning som görs vid de tekniska högskolorna är oftast inriktad på material och konstruktions-teknik vilket gör att behov av produktionsteknisk forskning finns.

Vidare anger Byfors att det är viktigt att forskningen sker i stora gränsöverskridande program för att utnyttja finansiering och kompetens på bästa sätt. Byfors pekar också på att Sverige bör prioritera samarbetet med nordiska kollegor eftersom ett gemensamt Norden kan ge en tillräcklig volym för forskning inom byggsektorn.

3.3.2 Nedbrytningsmekanismer

I "Betonghandboken, material" [11] finns flera kapitel som beskriver och behandlar beständighetsaspekter för betongkonstruktioner. I Betonghandboken presenteras både negativ och positiv miljöpåverkan. Negativ miljöpåverkan kan utgöras av:

- Aggressiva miljöangrepp av t.ex. kemiska ämnen som bryter ner betongen eller armeringen.
- Frysning som spränger sönder betongen.
- Koldioxid som får betongen att karbonatisera.
- Spontana strukturförändringar inne i betongen som stimuleras av yttre miljöfaktorer. T.ex. ballastreaktioner som stimuleras av fukt och värme.

Den huvudsakliga positiva miljöpåverkan är fortgående hydratation av cementkorn samt självläkning av sprickor och andra defekter. Både dessa fenomen leder med tiden till en ökning av såväl hållfasthet som potentiell beständighet.

Enligt Betonghandboken är de största beständighetsproblemen i Sverige frostangrepp och armeringskorrosion. Vidare finns det ett antal andra angrepp uppräknade som anses vara av mindre betydelse nämligen sulfatangrepp, havsvattenangrepp, saltangrepp, urlakning och cementballastreaktioner. Denna prioritering stämmer överens med den pågående forskningen av betongs beständighet i Sverige där majoriteten av de forskningsrapporter som funnits vid litteratursökningen behandlar frostbeständighet och/eller armeringskorrosion.

3.3.3 Beständighetsforskning

Nedan presenteras ett antal större forskningsprojekt som har bedrivits under 1990-talet i Sverige. Det är dels projekt bedrivna av forskarstuderande vid teknisk högskola och dels större samprojekt där flera högskolor och institutioner samarbetar.

Utöver de större projekt som presenteras nedan kan nämnas att på två av institutionerna för byggnadsmateriallära i Sverige bedrivs forskning med inriktning på frostproblematik (Lunds tekniska högskola) och kloridinträngning (Chalmers tekniska högskola). Avdelningen för byggnadsmaterial på KTH arbetar mycket med forskning kring trä och dess beständighet.

3.3.3.1 Livslängdsberäkning för betongkonstruktioner

Professor Fagerlund, från Lunds tekniska högskola, har i en teknisk rapport [12] beskrivit en metod för beräkning av betongkonstruktioners livslängd. I inledningen av rapporten skriver författaren att det kvalitativa begreppet *beständighet* bör om möjligt ersättas med det kvantitativa

begreppet *livslängd* vilket man kan uttrycka i tid. Fagerlund visar i sin rapport hur livslängdsberäkningar kan utföras för betongkonstruktioner utifrån nedbrytningsprocesserna kloridpenetration, karbonatisering, korrosion, sura ytangrepp, inre kemiskt angrepp, urlakning samt frost-nedbrytning. För vissa av dessa processer finns det mycket kunskap medan det för andra processer endast finns lite. Fagerlund visar även på att det kan finnas synergi mellan olika angreppstyper (t.ex. kan frost-avskalning öppna vägen för urlakning eller för armeringskorrosion).

3.3.3.2 Propageringsperiodens längd i ospruckna och spruckna betongkonstruktioner

Under 1997 fick Cement och Betonginstitutet (CBI) i uppdrag av Vägverket att göra en kunskapsinsamling med titeln "Propageringsperiodens längd i ospruckna och spruckna betongkonstruktioner". Resultatet finns presenterat i en uppdragsrapport skriven av Karin Pettersson, CBI [13].

Målet med denna kunskapsinventering var att dokumentera dagens kunskap kring armeringskorrosion i betong. Inventeringen täcker områdena karbonatisering, kloridpenetration och korrosionsförlopp. Orsaken till att denna studie initierades var att man för ett antal år sedan ansåg att betongens livslängd var slut då antingen karbonatiseringsfronten nått fram till armeringen eller att kloridtröskelvärdet hade uppnåtts. Detta betraktelsesätt innebär att man inte tog med en propageringsperiod i sitt beaktande, vilket i sin tur kan resultera i att betongkonstruktioner kan dömas ut i förtid.

Pettersson har gått igenom ett trettiotal artiklar, de flesta behandlar vidhäftningsförluster mellan stål och betong vid armeringskorrosion. Det finns även artiklar som behandlar sprickors uppkomst och tillväxt samt även hur konstruktionens bärrighet påverkas av armeringskorrosion. Vidare finns det ett antal artiklar som behandlar propageringsperiodens längd med avseende på brottkriterier.

Rapporten avslutas med en sammanfattning av forskningsbehov inom området armeringskorrosion och korrosionspropagering. Författaren pekar på att den forskning som bedrivs ofta utförs med accelererade försök vilket kan ge missvisande resultat eftersom man misstänker att korrosionsprodukter utvecklas olika med avseende på volym och sammansättning vid olika hastigheter. Därför rekommenderas att försök görs i form av långtidsförsök eller genom undersökningar av befintliga konstruktioner.

3.3.3.3 Konstbyggnaders reella livslängd

I en licentiatavhandling av Racutanu [14] beskrivs en metod för att bestämma betongbroars reella livslängd. Målet med projektet var att studera möjligheten att utnyttja den mängd information som finns tillgänglig i inspektionsprotokoll från Vägverkets broar för att bedöma betongkonstruktioners (med de ingående konstruktionsdelarna) reella

livslängd. Arbetet har utförts genom att studera och systematisera information från 2900 inspektioner av 270 broar som är belägna utmed olika vägstråk.

De skador som har rapporterats vid inspektioner har studerats och Racutanu konstaterar att 24% av alla rapporterade skador är skador på kantbalkar och att 15% av alla skador härrör sig till broräcken. Vidare svarar skador på stöd för 12% och skador på slänt och kon för 11% av totala antalet skaderapporter. Bland andra konstruktionsdelar som nämns representerar brobaneplatta 10%, beläggning 8% samt tätskikt 4% av alla skadeanmärkningar som noterats i undersökningen. Det ska dock noteras att en del av de skador som rapporterats är orsakade av påkörning, dvs allt är inte p.g.a. brister i beständighet.

Rapporten avslutas med att konstatera att det finns en möjlighet att använda informationen från broinspektioner till att uppskatta broars livslängd. Dock är det så att det nuvarande systemet, Brodata, inte innehåller någon data från inspektioner gjorda innan 1987 vilket gör att en databas som innehåller all inspektionsinformation bör byggas upp.

Racutanus arbetet pågår och kommer snart att resultera i en doktorsavhandling.

3.3.3.4 Reparerade brobaneplattors livslängd

Paulsson-Tralla presenterar en större studie av miljöpåverkan och beständighet av reparerade brobaneplattor av betong i sin doktorsavhandling [15]. De undersökta brobaneplattorna (8 st) var reparerade med direktgjuten slitbetong efter att den dåliga betongen hade tagits bort genom vattenbilning.

Målet med studien var att studera vilka beständighets- och miljöaspekter som påverkade reparationens funktion och livslängd. En mängd olika faktorer undersöktes och deras inverkan på beständigheten har studerats. Bl.a. har betydelsen av sprickor i pågjutningen undersökts, pågjutningens frostbeständighet mätts, förekomst av klorider analyserats och fuktinnehåll mätts. I rapportens slutsatser konstaterar Paulsson-Tralla att en reparation av ett brobaneplatta med direktgjuten slitbetong klarar sig bra i vägmiljön.

3.3.3.5 Funktions- och miljöbetingad nedbrytning av betongkonstruktioner

En undersökning om miljö- och funktionsbetingad nedbrytning av betongkonstruktioner har utförts på KTH av Krus [16]. Målet med projektet var att utreda hur en betongs lastbärande förmåga ändras efter att betongen har blivit utsatt för miljönedbrytning i form av frostsador eller armeringskorrosion. Den betong som undersöktes var av relativt dålig kvalitet ($v_{ct}=0,60$ utan lufttillsats) eftersom man ville undersöka betongbroar som byggts innan 1965.

I rapporten av Krus finns presenterat sammanfattningar av undersökning av frostnedbruten betongs hållfasthet, en studie av betongbalkars lastkapacitet (statisk och dynamisk) efter miljöbelastning.

3.3.3.6 BMB – Beständighet marina betongkonstruktioner

För att få bättre kunskap om den marina miljöns effekter på betong påbörjades 1991 ett nationellt forskningsprojekt med titeln ”Beständighet marina betongkonstruktioner”. Resultat från projektet finns bl.a. presenterade i [17, 18]. Målet med projektet var att klarlägga den marina miljöns aggressivitet med avseende på främst armeringskorrosion och att jämföra betongens uppförande i laboratoriet med dess uppförande i fält.

BMB har resulterat i ökad kunskap om hur en marin betongkonstruktion ska utformas för att uppnå en hög livslängd. Vidare har man konstaterat att det går att hantera den marina miljön när det gäller armeringskorrosion. Resultaten från BMB har bl.a. använts för att formulera beständighetskrav på betongen som ska användas i Öresundsförbindelsen där den förväntade livslängden är 100 år.

3.3.3.7 BTB – Beständiga tösaltade betongkonstruktioner

Ett stort forskningsprojekt pågår i Sverige som benämns BTB – Beständiga tösaltade betongkonstruktioner. Detta projekt initierades för att undersöka vägmiljöns (tösaltningsmiljö) påverkan på betongkonstruktioner och samla in kunskap för att kunna utföra mer exakta livslängdsberäkningar. Det kan ses som en fortsättning av BMB fast denna gång undersöks den tösaltade vägmiljön.

Målet med BTB är att ta fram information som gör det möjligt att beskriva betongkvalitet, bindemedelstyp, täcksikt, sprickbredd, luftporstruktur, utförandeteknik, konstruktionsutformning, etc. så att man med tillräcklig säkerhet får betongkonstruktioner med önskad livslängd i tösaltningsmiljö. I huvudsak är det nedbrytning av betongkonstruktioner p.g.a. kloridinitierad armeringskorrosion och saltfrostangrepp som studeras.

Projektet påbörjades hösten 1996 och planeras att pågå till 2001. Forskare från Cementa, Scancem Research, Sveriges Provnings och Forskningsinstitut (SP), Lund Tekniska Högskola (LTH), Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) samt ett par forskare från Danmark och Finland deltar. I BTB:s referensgrupp finns en representant från Vägverket, avdelningen för bro och tunnel.

BTB indelas i följande huvudområden:

- Armeringskorrosion
- Frostangrepp
- Fältstation vid riksväg 40

- Kartering av kloridmiljö för tösaltade vägar och broar

Fältstationen vid riksväg 40 utanför Borås byggdes 1996 av Vägverket för att användas bl.a. av BTB projektet. Fältprovplatsen består av en 200 meter lång och 3 meter bred remsa i anslutning till riksvägen. 75% av provplatsens yta administreras av SP medan den resterande ytan administreras av Vägverket. Kontinuerliga mätningar av temperatur, nederbörd och saltningsmängder registreras och tillhandahålls till forskarna av SP.

Inom huvudområdet kartering av kloridmiljö har en kartering utförts under 1998. Karteringen fortsätter under detta år för att samla mer data om frostsador och kloridhalter i betongbroar. Resultaten från karteringarna kommer att presenteras i en rapport publicerad av Chalmers Tekniska Högskola (CTH). Detta arbete har utförts av CTH och finansierats av Vägverket.

Eftersom projektet pågår så presenteras inga slutsatser här. Dock finns det delresultat avseende forstbetändighet och korrosionshastigheter publicerade av BTB projektet [19, 20, 21] som är intressanta.

För att registrera armeringskorrosion mäts potentialvärden efter att armerade betongprovkroppar exponerats i vägmiljön i två säsonger. Resultaten visar att en del av armeringen kan finnas i korrosionsaggressiv miljö [19]. Dessutom visar mätningarna att armering i spruckna betongprovkroppar (med sprickbredder på 0,2-0,3 mm) i större utsträckning kan vara i korrosionsaggressiv miljö än armering i ospruckna provkroppar.

Delrapporteringen av frostundersökningen efter tre respektive två säsongers exponering på fältprovplatsen visar på att det redan i detta tidiga skede uppträder frostsador på viss betong [20, 21]. I undersökningen av frostbeständighet ingår både att mäta avskalningen efter vinterexponering samt att mäta ultraljudshastigheten i provkroppar för att försöka detektera om det finns inre frostsador. Mätningar efter tre års fältexponering visar att en majoritet av provkropparna uppvisar mer eller mindre stora avskalningssador. Vidare görs en jämförelse mellan fältundersökningen och avskalningsresultat från frostprov enligt Svensk Standard, SS 13 72 44. Här rapporteras att 10 av 112 betongrecept har låga avskalningar i laboratorieförsök men visar stora avskalningar vid fältförsöken. Författaren Utgenannt, från SP, skriver att mätningarna behöver utföras under ytterligare några år för att mer tillförlitliga slutsatser ska kunna dras. Resultaten från ultraljudundersökningen visar att endast ett mindre antal provkroppar har en signifikant ökad transmissionstid. En ökad transmissionstid kan tyda på inre frostsador.

3.3.3.8 Högpresterande betongkonstruktioner

Under åren 1991 till 1997 har ett stort svensk forskningsprogram undersökt högpresterande betongkonstruktioner både material- och konstruktionstekniskt. Den typ av högpresterande betong som behandlas i detta projekt är betong med en tryckhållfasthet mellan 80 och 120 MPa. Vidare

har den ett vattencementtal som understiger 0,45 och den innehåller silikastoft och tillsatsmedel.

Resultaten från forskningen finns sammanställd i handböcker. Dessa handböcker kompletterar de krav som finns i BBK 94 för konstruktionsdelen och i betonghandboken material för materialfrågor [22, 23].

I handboken om material och utförande beskrivs materialegenskaperna för högpresterande betong. Där skrivs bl.a. att högpresterande betong är en tät betong och således är det en betong som har högt motstånd mot kloridinträngning och inträngning av aggressiva joner (t.ex. sulfater och nitrater). Eftersom beständighet är kopplat till betongens täthet så bedöms högpresterande betong ha bättre beständighet än vanlig betong.

Saltfrostbeständighet för högpresterande betong har också undersökts i forskningsprogrammet. I handboken som handlar om material [23] beskrivs att högpresterande betong som har ett lågt vattenbindemedelstal innehåller en lägre mängd frysbart vatten än vanlig betong. Detta är gynnsamt ur frostsynpunkt, dock påpekas att misstankar finns att betongens åldring kan påverka mängden frysbart vatten.

3.3.3.9 Elektropotentialmätning och katodiskt korrosionsskydd

I BRO 94 anges att alla betongkonstruktioner i vägmiljö eller marin miljö i underbyggnad ska förses med en anslutning till armeringen för elektrokemisk potentialmätning. Detta krav finns för att Vägverket ska ha möjlighet att utföra elektropotentialmätningar i framtiden utan att det behöver göras ingrepp i konstruktionen.

Korrosionsinstitutet påbörjade 1989 en undersökning av korrosionsskydd av stål i betong. Under 1990-talet har ett antal fullskaleförsök utförts under minst 3 år och utvärderats. Projektet finns slutrapporterat i rapporten ”Katodiskt korrosionsskydd av stålarmeringen i olika typer av betongkonstruktioner” [24].

Målet med detta projekt var att undersöka effekten av att skydda armering från korrosion med katodiskt skydd, undersöka inverkan av klimatvariationer på effektiviteten hos det katodiska skyddet, studera om betongen påverkas av katodiskt skydd samt utvärdera långtidsegenskaperna hos olika typer av system.

Katodiskt skydd är en elektrokemisk metod att skydda metaller från korrosionsangrepp. Metallytan som ska skyddas görs elektriskt negativ genom att dess elektropotential sänks något. Potentialsänkningen utförs genom att armeringen kopplas till en elektrokemisk cell och en svag elektrisk likström matas ut i betongen till stålytan. Eftersom riktningen på den katodiska skyddsströmmen är från skyddsanoden till armeringen innebär det att negativt laddade joner (framförallt klorider) transporteras från armeringsytan och mot skyddsanoden. Katodiskt skydd kan även utföras med en offeranod och utan påförd ström.

I Korrosionsinstitutets undersökning ingick att utrusta ett par av Ölandsbrons och Smögenbrons pelare med katodiskt skydd och utvärdera effekten av skyddet av armeringen. Vidare har ett parkeringshus, en betongkaj och ett vattentorn ingått i undersökningen. I rapportens slutsatser kan läsas att systemets skyddseffekt för armeringen har varit god och att inga funktionsproblem rapporterats under projektiden. För de utvärderade broarna som är placerade delvis i vatten så visar det sig att de varierande klimatförutsättningarna gör att olika delar av konstruktionen kan behöva olika skyddskriterier. Vidare rapporteras att betongen i Ölandsbrons pelare inte har påverkats av det katodiska skyddet efter tre års drift.

Utförandet av katodiskt skydd är mycket viktigt för att uppnå ett bra resultat. Det finns fall där antingen sprutbetongskiktet inte är tillräckligt bra eller att den elektriska kontakten inte är utförd på rätt sätt. Risken för att denna typ av fel ska uppstå bör beaktas dels i analysen vid val av åtgärd samt under hela utförandeskedet. Ett felaktigt utfört skydd kan t.ex. leda till att armeringen fortsätter att korrodera eller att räcke-standare börjar korrodera.

Korrosionsinstitutet har just avslutat ett annat projekt som har behandlat katodiskt skydd av betongkonstruktioner [25]. Målet med projektet har varit att klarlägga möjligheterna och att skapa förutsättningar för att använda nya, enkla och kostnadseffektiva lösningar på anodsystem för katodiskt skydd av armerade betongkonstruktioner.

Försök har utförts genom att karbonatiserade och icke karbonatiserade betongblock behandlas med olika anodsystem (påsprutad zink, Zn-Al-In legering eller pålimmad zinkfolie). Provkroppar har placerats utomhus under ett år. Resultat från försöken har visat att de olika anodsystemen kan minska korrosionshastigheten hos betongens armering. Man har även kunnat mäta de olika systemens effektivitet och anger en minskning av korrosionshastighet i förhållande till en betongkonstruktion utan katodiskt skydd. Som mest har en minskning på 80% av uppmätt korrosion registrerats.

3.3.3.10 Korrosion av räcke-standare på broar

Brodetaljer såsom räcken, ingjutningsgods, belysningsstolpar är vanligtvis skyddade genom förzinkning. Om dessa kommer i kontakt med armeringen i en betongbro kan galvanisk korrosion uppstå.

Forskningsprojektet "Korrosion och korrosionsskydd av räcke-standare på betongbroar" som påbörjades av Korrosionsinstitutet i slutet av 1997 och kommer att avslutas 1999 [26] behandlar problematiken kring korrosion av räcke-standare.

Korrosion av räcken kan uppträda redan en eller ett par år efter att en bro är färdigställd. Orsaken till att räcken börjat korrodera är vanligtvis att elektrisk kontakt finns etablerad mellan räcket och betongens armering. Kontaktpunkter kan uppstå genom t.ex. direktanliggning mellan standare

och armering, via najtråd på ståndare och armering samt via fixeringskil av stål som lämnas kvar vid ingjutning. Vidare kan elektrisk kontakt med armeringen uppstå genom att man fäster yttre metallföremål (vägskyltar, belysningsstag, bullerskydd, etc.) både i betongen och på räcket. På så sätt blir det monterade metallföremålet en länk mellan armeringen och broräcket.

I rapporten nämns att en dilatationsfog (rörelsefog) i en betongbro kan vara gynnsam eftersom det inte finns genomgående armering genom fogen. Detta kan leda till att en räckesståndare på ena sidan av fogen är korrosionsangripen medan en ståndare på andra sidan kan vara helt oangripen. Det ska även påpekas att korrosion kan förekomma på båda sidorna av en dilatationsfog om räckesståndarna är i kontakt med armeringen.

Inom forskningsprojektet "Korrosion och korrosionsskydd av räckesståndare på betongbroar" har även en vägledning för uppsättning av bro-räcken för att undvika galvanisk korrosion skrivits [27]. Denna rapport innehåller råd och anvisningar vid montering av räcken för att undvika att galvanisk korrosion uppstår.

3.3.4 Övrig beständighetsforskning

3.3.4.1 HETEK

I Danmark har danska Vejdirektoratet under perioden november 1995 till mars 1997 genomfört ett stort forskningsprojekt som heter HETEK – Højkvalitetsbeton, Entreprenørens Teknologi. Målet med HETEK-projektet var att ta fram anvisningar för en konstruktionsbetong med hög kvalitet som ska kunna vara placerad i en aggressiv miljö i minst 100 år.

Projektet delades upp i 8 delområden; kloridinträngning; provning av frostbeständighet; självuttorkning; hårdnande betongteknologi; gjutning och komprimering; efterbehandling; förundersökning av betong samt reparation i utförandefasen. Projektet har presenterat kunskapssammanställningar, utfört egna undersökningar, gett rekommendationer för fortsatt forskning inom respektive delområde samt sammanställt sex manualer med råd till entreprenörer [28]. Ett stort antal rapporter har publicerats av Vejdirektoratet och de ger en bra överblick av kunskapsläget för betongkonstruktioner i vägmiljö i Danmark.

3.3.4.2 Internationella projekt

En internationell arbetsgrupp har i en RILEM rapport med titeln "Durability Design of Concrete Structures" [29] presenterat en metod för hur beständighetsaspekter ska behandlas ur ett hållfasthetstekniskt perspektiv. I rapporten presenteras nedbrytningsmodeller och praktiska exempel och den visar på en möjlig väg att både väga in beständighet och konstruktionsaspekter.

DuraCrete heter ett europeiskt forskningsprogram som har genomförts under 1996-1999. Projektets titel är "Durability Design of Concrete Structures" och målet med DuraCrete har varit att utifrån befintliga nedbrytningsmodeller formulera funktionsbaserade krav för betongkonstruktioner. I projektet har man prioriterat armeringskorrosion framför mekanismerna frostnedbrytning och alkalikiselreaktioner. Slutrapporter finns inte tillgängliga än, men en kort beskrivning av projektet finns återgivet på Internet (se www.cowi.dk). Svensk deltagare i detta projekt har varit Chalmers Tekniska högskola.

3.3.4.3 Rostfri armering

För att undvika armeringskorrosion i betongbroar förespråkas av vissa att använda rostfri armering i konstruktionen. Det finns även undersökningar av att använda sig av icke-metallisk armering i betongkonstruktioner. I vissa länder har man även provat att använda epoxibelagd armering i broar.

Kostnaden för rostfri armering är flera gånger högre än för vanlig kolstålsarmering. Detta gör att kostnaderna för en betongkonstruktion med rostfri armering är något högre än en konstruktion med vanlig armering.

I Storbritannien har betongföreningen tagit fram en manual för användning av rostfri armering [30]. I manualen beskrivs vilka skillnader mellan kolstål och rostfri armering som bör beaktas, förslag till dimensioneringsregler och utförande samt rekommendationer för när rostfri armering kan användas. Bland annat skiljer sig rostfri armerings längdutvidgningskoefficient i förhållande till betong och vanligt kolstålsarmering. Framförallt föreslås rostfri armering användas i betong som är utsatt för en aggressiv miljö, t.ex. tösaltningsmiljö eller marin miljö.

Det finns farhågor att galvanisk korrosion kan uppkomma om man blandar vanlig armering med rostfri armering. Galvanisk korrosion uppstår när armering av kolstål och av rostfritt stål är i elektrisk kontakt med varandra och det finns tillgång till en elektrolyt (t.ex. saltvatten). Eftersom rostfri armering är mer "ädel" än kolstålsarmering i betongmiljön kommer kolstålet att fungera som en offeranod och korrosionshastigheten förväntas bli hög. Undersökning avseende galvanisk korrosion är bl.a. utförd av Bertolini et al [31] i Italien. Den italienska undersökningen visar att risken för korrosion p.g.a. galvaniska element inte är nämnvärt högre i en betongkonstruktion som har rostfri armering och kolstålsarmering än i en konstruktion som enbart har kolstålsarmering och där en del av armeringen har börjat korrodera och andra delar inte.

I Sverige finns det inga regler för hur rostfri armering ska användas i betongkonstruktioner. En av anledningarna till att rostfri armering inte används i broar är att dagens konstruktionsutförande inriktas på att undvika att korrosion uppstår och att se till att miljön i betongen är sådan att vanligt kolstål inte får en accelererad korrosion. Dessutom saknas regler som beskriver och tar hänsyn till de skillnader som finns i jäm-

förelse med konventionellt kolstålsarmering vilket gör att det är svårt att använda rostfri armering i dagsläget.

3.3.4.4 Korrosionsinhibitorer

Under de senaste åren har s.k. inhibitorer introducerats för att förhindra armeringskorrosion i betong. Det finns många typer av korrosionsinhibitorer med olika kemisk sammansättning. Inhibitorerna kan antingen blandas i betongen vid gjuttillfället eller appliceras på betongytan för att tränga in i betongen. Inhibitorn söker sig till armeringens yta för att förhindra korrosion antingen genom att förändra elektropotentialförhållandena eller genom att tränga bort klorider som finns vid armeringen. Eftersom inhibitorer marknadsförs av olika företag så beskrivs ingen opartisk forskning kring detta område.

3.4 Stål

3.4.1 Allmänt

Litteratursökningen avseende nya forskningsrapporter kring korrosion och då speciellt korrosion av stålbroar har givit väldigt dålig utfall. Troligtvis beror det både på att det inte forskas så mycket inom detta område och på att mycket av korrosionsforskningen görs av institutioner eller organisationer som inte arbetar med forskningsfrågor från byggsektorn utan studerar frågan ur ett metallurgiskt perspektiv. (Orsaken till den dåliga utfallet av litteratursökningen kan därför vara att sökning i huvudsak har gjorts i byggdatabaser.)

Dessutom finns det mycket kunskap kring korrosion, dess orsaker och nedbrytningsmekanismer så den forskning som nu är mer inriktad på lösning av speciella problem. Vägverket finansierar t.ex. forskning kring korrosion av räckeståndare.

3.4.2 Nedbrytningsmekanismer för stålbroar

Professor Bernt Johansson har skrivit en artikel med titeln "Uppskattning av stålbroars livslängd" [32]. I artikeln finns en bra sammanfattning av de nedbrytningsmekanismer som är aktuella för stålbroar. Inledningsvis skriver författaren att stålbroars livslängd beror av faktorer såsom utformning, dimensionering, drift och underhåll. Johansson konstaterar även att stålbroar har tre väsentliga nedbrytningsmekanismer, utmattning, korrosion och mekaniska skador, som sätter en gräns för en stålbros livslängd.

- **Utmattning** kan enklast beskrivas som en stabil spricktillväxt orsakad av spänningsvariationer. Slutstadiet kännetecknas vanligtvis av att tvärsnittet brister. Enligt författaren har forskningen kring utmattning av stålkonstruktioner kommit långt och relativt stora insatser görs fortlöpande. (Utmattning beaktas dock inte vidare i denna förstudie.)
- **Korrosion** är naturens sätt att ta tillbaka den malm som vi har lånat. En s.k. allmän korrosion sker relativt långsamt (några hundra delar mm per år) och den typen av korrosion är relativt enkel att kontrollera. Däremot kan korrosion ske som gropfrätning eller spaltkorrosion, den typen av korrosion uppträder på små ytor och kan ge upphov till allvarliga skador. Gropfrätning och spaltkorrosion kan leda till att stålets tvärsnittsytta reduceras snabbt eller till att stålytan blir ojämn, vilket resulterar i lokala spänningskoncentrationer. Enligt författaren så kan livslängden reduceras med en faktor 4 till 5 för en stål balk som är utsatt för gropfrätning.
- **Mekaniska skador** under drift orsakas av påkörning eller påsegling. Skador p.g.a. påkörning av trafik under bron är en ganska vanlig skadeorsak. Påkörningar kan leda till förstört rotskydd, repor och bucklor och i värsta fall till en spricka i stålet.

Skademekanismerna utmattning och mekanisk påverkan tas inte upp vidare i denna förstudie eftersom det krävs en påverkan av trafiklast på att de ska initieras. Dessa ämnesområden återfinns i ramprojekten "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" samt "Utvärdering av tillåten trafiklast för broar".

3.4.3 Korrosionsskydd

För att minska korrosionen av stål kan materialet korrosionsskyddas på olika sätt. Det vanligaste för stål balkar är att balkarna ytbehandlas. Kraven på ytbehandling som används för Vägverkets stålbroar finns beskrivna i del 5 av BRO 94 [1]. Ytbehandling kan bestå av målning av grund-, mellan- och täckfärg eller av en varmförzinkning/sprutförzinkning.

Vidare kan stål korrosionsskyddas med ett "offersystem", oftast s.k. katodiskt skydd.

3.4.4 Övrigt

En möjlighet att minimera korrosion av stål balkar är att använda sig av s.k. rosttrögt stål. Detta har provats i liten skala i Norden och resultat finns bl.a. redovisade i en rapport av Lunabba [33].

Lunabba beskriver en undersökning som gjordes i Finland för att utreda corten-stålets lämplighet för broar. Undersökningen genomfördes genom att placera ut provkroppar av corten-stål (rosttrögt stål) på ett antal broar i

Finland. Provkropparna placerades dels på utsatta ställen och dels skyddade på insidan av befintlig stål balk. Efter tio år utvärderades provplattorna och korrosionsgraden bestämdes baserat på viktsförlust.

Resultaten från undersökningen visade att korrosionshastigheten efter tio år har minskat i jämförelse med de första åren provkropparna var utplacerade. Den punktkorrosion som noterades på provkropparna efter 10 år uppmättes till ca 0,2 mm.

Författaren drar inga större slutsatser av den redovisade undersökningen eftersom man rekommenderar att punktkorrosionen undersöks närmare. Undersökningen pekar på att man efter 80 år kan förvänta sig en korrosion på 0,2-0,6 mm per yta.

3.5 Samverkanskonstruktioner

Eftersom de flesta samverkanskonstruktioner består av stål och betong så har ingen speciell sökning gjorts på denna typ av konstruktioner. Motivet till detta är att litteratursökningen har gjorts på de olika ingående materialen (betong, stål, trä etc.) och inte efter konstruktionstyp.

3.6 Trä

3.6.1 Allmänt

Trä har värdefulla miljöaspekter i och med att det är ett byggnadsmaterial som är förnyelsebart och CO₂-neutralt, dvs. det ökar inte växthuseffekten. Detta är ett par av de argument som man kan finna i litteratur som behandlar byggmaterialet trä och som framhävs som positiva aspekter i förhållande till andra byggnadsmaterial. Vidare anses träkonstruktioner av många vara estetiskt tilltalande.

Man bör dock beakta att en nackdel med trä i utomhuskonstruktioner är att träet kan behövas impregneras. De flesta typerna av impregnering innehåller kemiska ämnen som antingen bör undvikas eller som är förbjudna.

Endast ett fåtal artiklar som berör beständighet av träbroar har funnits i litteratursökningen. Dessa fakta har konfirmerats genom personliga kontakter med KTH byggnadsmaterial och Träteknik för att efterfråga litteratur som berör beständighet av träbroar.

I Sverige bedrivs dock forskning inom beständighetsområdet både av KTH, Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU, och Träteknik. En del av forskningen är allmänt inriktad på träets nedbrytningsmekanismer och en del är inriktad på husbyggnadsbranschen och dess problem.

3.6.2 Nedbrytningsmekanismer och beständighet hos trä

Det finns många träkonstruktioner idag som är flera hundra år gamla och de ses av många som bevis på att trä är ett beständigt material. Dock har man sedan 1960-talet börjat inse att de träkonstruktioner som byggs inte automatiskt når en lång livslängd utan att det beror på miljön som konstruktionen är placerad i. Det finns nedbrytningsprocesser som snabbt kan förkorta en konstruktions livslängd. Edlund och Ödeen [34] presenterar i en artikel om trä i utomhuskonstruktioner de nedbrytningsmekanismer som är aktuella i Sverige samt olika typer av träskydd.

Den helt dominerade nedbrytningsprocessen för trä är den biologiska nedbrytningen. Främst är det rötsvampar som bryter ned träet. För att nedbrytningsprocessen ska utvecklas krävs gynnsamma fukt- och temperaturförhållanden. Kritisk fuktkvot för att rötangrepp ska utvecklas eller fortgå varierar med typ av svamp, men som tumregel brukar en fuktkvot under 15-16% betraktas som säker ur rötsynpunkt.

Kärnveden hos vissa träslag kan ha god naturlig beständighet mot biologisk medbrytning medan splintveden i regel lätt angrips av röta i utsatta lägen. Dock menar Edlund och Ödeen att inget av våra inhemska träslag har tillräckligt god beständighet för att klara någon längre tid i utsatta miljöer utan extra träskydd.

För att öka livslängden nämner författarna att man kan nyttja konstruktionstekniskt träskydd, ytbehandling eller kemiskt träskydd. Med konstruktionstekniskt träskydd avses att utforma en konstruktion så att fuktkvoten inte når kritiska värden. Ytbehandling är oftast utformad som målning och en rätt utformad ytbehandling kan ge ett bra fuktskydd. Slutligen kan träet skyddas kemiskt, s.k. impregnerat trä. Denna typ av träskydd används oftast i konstruktioner där det är omöjligt att på annat sätt undvika hög fuktkvot i träet. Trä i markkontakt är ett exempel på trä som kräver kemiskt skydd. Impregnerat trä är trä som i en industriell process behandlas med träskyddsmedel och där man fått en djup inträngning och hög upptagning av träskyddsmedlet i virket. Kemikalieinspektionens miljökrav har medfört att krom- och/eller arsenikbaserade medel endast får användas för trä i markkontakt eller i konstruktioner av betydelse för personsäkerheten. I dagsläget finns ett antal kemiska träskyddsmedel som varken innehåller krom, arsenik eller kreosot.

3.6.3 Träbroars beständighet

Ett par artiklar från USA på 1980-talet berör beständighetsstudier avseende träbroar. Vidare finns det en rapport från Danmark och en från Norge som mer beskriver nordiska förhållanden.

Den danska rapporten är en avrapportering av ett delprojekt inom ett större nordiskt forskningsprogram med titeln "Nordic Timber Bridge Project". Forskningsprogrammet nordiska träbroar påbörjades 1993 och

forskare från Norge, Finland och Sverige deltar. Resultat från delprojektet livslängd och träskydd finns i en rapport med titeln "Guidelines for wood protection by design and chemical wood protection of timber bridges" av Henriksen [35].

Henriksen inleder sin rapport med att presentera de olika processerna som kan orsaka nedbrytning av trä i broar.

- Insektsangrepp
- Biologiska angrepp (svamp)
- Väderpåverkan (vatten, ultraviolett strålning, värme och kyla påverkar träets ytstruktur och kan orsaka sprickbildning)
- Kemisk påverkan. (Endast en del syror påverkar trä så denna faktor är inte så viktig. Vidare påpekar författaren att tösalt inte påverkar träet.)

Rapporten fortsätter med att presentera ett antal metoder för att förbättra träbroars livslängd. Först presenterar författaren en lista på konstruktiva utföranden som rekommenderas för att undvika fukt och solpåverkan. Följande grundregler presenteras av Henriksen.

- Vatten ska ledas bort från konstruktionen
- Ändrä som är vänt uppåt ska vara sluttande
- Alla kanter ska vara rundade
- Undvik ställen där vatten kan samlas
- Se till att smuts inte samlas i anslutningen mellan brodäck och räcke
- Undvik nötning av ytor med spikar etc.
- Vänd skivor och plank åt rätt håll (d.v.s. så att de inte böjer sig).

Om ett konstruktivt träskydd inte är tillräckligt för att skydda en träbro kan man antingen utföra kemiskt träskydd, s.k. impregnering av träet eller ytbehandla träet med färg eller olja. Olika standarder och provningsmetoder presenteras och diskuteras i rapporten men resultat från provningar finns inte presenterade.

Den norska rapporten beskriver ett försöksprogram av tryckimpregnerat limträ och är skriven av Evans [36]. Målet med denna studie är att utvärdera hur man uppnår bästa träskyddet då man vill ha limträ i träbroar och de behöver vara tryckimpregnerade. Först utförs provning för att utvärdera hur lameller till limträ ska behandlas samt hur impregnering utförs efter att lamellerna limmats ihop.

Vid provningen av tryckimpregneringen av limträ ingår 5 olika sorters impregnering i provningsprogrammet. De behandlade proverna har placerats ut på en norsk fältstation under maj 1999 för att utvärdera beständigheten.

Vidare så provas och utvärderas limträ behandlat med kreosot och man mäter läckage av kreosot (det ska noteras att det fortfarande är tillåtet att

använda kreosot i Norge för att kemiskt skydda träbroar). Även dessa försök utförs genom att proverna placeras på den norska fältstationen.

De utplacerade proverna kommer att kontrolleras årligen under de kommande 3-5 åren så ännu finns inga resultat från denna undersökning.

De artiklar som handlar om beständighet för träbroar i USA är skrivna av Muchmore [37, 38]. I USA finns många små träbroar dels i de många nationalparkerna som finns över hela landet och dels på mindre skogsvägar som framförallt trafikeras av timmerlastbilar. I dessa både artiklar beskriver författaren först träets nedbrytningsprocesser och sedan beskrivs konstruktivt träskydd. Slutligen påpekas att lång livslängd bäst uppnås om träbron inspekteras noggrant och med regelbundna intervall. Muchmore anser att man bör kunna uppnå en livslängd på 40 år för träbroar om de rekommendationer avseende träskydd och inspektion som han presenterar följs.

I BRO 94 [1] beskrivs endast den tekniska livslängden 40 år för träbroar.

3.6.4 Övrig beständighetsforskning

På institutionen för byggnadsmaterial på KTH pågår ett fältförsök av olika träslag och impregneringsformer på ett bullerplank [39]. Bullerplanket, som är 11 km långt och placerat utmed Arlandabanan, består av lärkträ så när som på 9 sektioner som består av antingen obehandlat trä eller av impregnerat trä. Fyra typer av impregnering som inte innehåller krom, arsenik eller kreosot och två typer av impregnering som innehåller dessa ämnen provas. Målet med denna studie är dels att jämföra olika träslag samt olika impregneringstyper i fältförsök samt att se om en modell för tillståndsutveckling av trä kan tas fram. Bullerplanket byggdes 1997 och än så länge finns det inga resultat att rapportera från denna undersökning.

I Danmark på Danish Technological Institute, DTI, har en studie utförts för att undersöka om impregnerat trä kan ersättas med obehandlat trä i kombination med noggrann utformning [40]. Anledningen till att man vill undvika impregnerat trä är att de tidigare impregneringsmedlen som fanns innehöll krom, arsenik eller kreosot vilket inte är lämpligt ut miljösynpunkt. (I Danmark och i Vägverkets allmänna tekniska beskrivning, BRO 94 [1], har man förbjudit användandet av denna typ av impregnering.) I studien har olika träsorter provats samt olika utföranden såsom försegling av ändträ, utformning av droppnäs, skydd genom "overhangs", vertikal eller horisontal placering av panel, behandling av träyta med färg eller olja, olika metoder för sågning/hyvling samt olika typer av spik eller skruv. Både accelererad provning i laboratorie- och fältförsök utförs för att se vilka träslag och utföranden som kan rekommenderas.

Studien har visat att det i vissa fall är möjligt att ersätta impregnerat trä med obehandlat trä om man väljer ett lämpligt utförande. Bland de utförandealternativen som provades i laboratorium rapporterade författa-

ren att orientering av träet samt försegling av ändträet var mest effektiva medan inga skillnader kunde observeras för de olika provade träslagen eller för alternativen med spik respektive skruv.

Det finns ett förslag till forskningsprogram inom området beständighet och livslängdsbedömning hos trä i byggnadsverk som är framtaget av KTH, SLU och SP [41]. I rapporten finns korta sammanfattningar av nyss avslutade FoU projekt och även av pågående FoU projekt. Bland de föreslagna FoU projekten finns det många som berör beständighet av trä i utomhuskonstruktioner, impregnering av trä samt några som behandlar miljöfrågor för impregnerat trä.

3.7 Tätskikt och beläggning

Delområdet tätskikt och beläggning av vägbroar består av en stor mängd olika materialval och typlösningar. För att belysa en del av den forskning och utveckling som utförs inom detta område i Sverige presenteras här resultat från en undersökning som utfördes i samband med tätskikt och beläggning av Högakustenbron [42].

Högakustenbron vid Ångermanälvens utlopp i Bottenhavet är en av Europas största hängbroar. Den är unik genom att det är den mest nordliga placerade hängbron som har en brobanepatta av stål. Det kalla klimatet och de stora temperaturvariationerna har ställt höga och speciella krav på brons tätskikt och beläggning.

Vägverket initierade en utredning 1991 för att studera ett antal möjliga tätskikts- och beläggningssystem för bron. Målet med undersökningen var att ta fram krav som skulle uppfyllas av det system som slutligen valdes för bron samt att utföra provningar av ett antal system som bedömdes som lämpliga tätskikts- och beläggningssystem. I undersökningen ingick laboratorieförsök av vidhäftning, skjuvhållfasthet och glidegenskaper. Vidare utfördes fältförsök på en bro i liknande klimat som Högakustenbron. Slutligen utfördes utmattningstest enligt en tysk norm för temperaturer mellan -30°C och $+30^{\circ}\text{C}$.

Edwards och Westergren beskriver utförligt i sin rapport [42] hur undersökningen har utförts och resultat presenteras. Detta är ett exempel på hur en objektspecifik undersökning kan leda till kunskaper som kan användas för fortsatt utveckling av Vägverkets allmänna tekniska beskrivningar.

Det valda systemet förväntas ha lika lång livslängd som överbyggnaden på Högakustenbron förutom slitlagret som förväntas behöva bytas ut ca 4-5 gånger under brons livslängd (beroende på dess utförande, väderpåverkan och trafikintensitet). En beläggnings svaga punkt är dess anslutningar och genomföringar, således kan det hända att beläggningens funktion kan upphöra lokalt vid dessa platser.

4 Behov av FoU

4.1 Allmänt

För att Vägverket ska kunna uppnå sitt mål med detta ramprojekt så krävs att ett system/modell för att uppskatta och beräkna livslängd för broar tas fram. Ett sådant system bör vara oberoende av material och konstruktionstyp (d.v.s. kan fungera för alla typer av konstruktionsmaterial och både för broar och tunnlar). Ett förslag till framtagande av ett system för optimal standard finns presenterat i avsnitt 5.4.

Det har även framkommit i denna förstudie att det fortfarande behövs mer kunskap om nedbrytningsprocesser och -hastigheter samt beständighet i olika miljöer för olika delkomponenter och material som kan ingå i en konstbyggnad. Litteraturstudien har visat att forskningsaktiviteterna kring materialet betong är mycket högre (framförallt i Sverige) än för materialen stål och trä.

På betongsidan bör dock Vägverket fortsätta att stötta forskningen kring beständighet av tösaltade betongkonstruktioner [4]. Denna forskning är kopplad till vägmiljön vilket gör att erhållen kunskap kommer att vara till stor nytta för Vägverket. Dels för att successivt utveckla kraven i Vägverkets allmänna tekniska beskrivningar samt att på lång sikt använda resultat i ett system för optimal standard som nämns i avsnitt 5.4.

I undervattensgjuten betong (oftast bottenplattor i vatten) används ibland s.k. antiutvaskningsmedel (AUV-medel). I denna förstudie har ingen forskning kring AUV-medlets livslängd eller dess påverkan på undervattensgjuten betongs beständighet funnits. Detta gör att det bedöms finnas ett behov att undersöka antiutvaskningsmedels beständighet i betongkonstruktioner.

Studie av beständighet hos träbroar bör stödjas. Denna litteraturstudie har visat att det i stort sett inte bedrivs någon beständighetsforskning kring träbroar. Det finns dock relativt mycket kunskap om nedbrytningsprocesser i trä i utomhuskonstruktioner. Med anledning av detta föreslås att ett delprojekt inom detta ramprojekt som behandlar nedbrytningsprocesser och konstruktivt träskydd för träbroar.

I förstudien rapporteras om undersökningar av katodiskt skydd som utförts av Korrosionsinstitutet under 1990-talet [24, 25]. Undersökningarna har uppvisat en del intressanta resultat avseende reducering av korrosionshastigheten. Eftersom katodiskt skydd av betongkonstruktioner inte använd för korrosionsskydd av broar utan armeringskorrosion hanteras genom att ha tillräckliga täcksikt och reducera kloridinträngning så prioriteras inte detta område i vidare i denna förstudie.

Forskning som är riktad mot skydd mot kloridinträngning i betong, korrosionsskydd av stål eller träskydd bör inte prioriteras om den kan

anses ha som målsättning att utveckla skyddsprodukter. En sådan forskning bör materialtillverkarna ta ansvar för.

Denna förstudie har visat att korrosionsforskning har kommit relativt långt och troligtvis är det inte meningsfullt att stödja någon allmän forskning inom detta området. Däremot saknas fortfarande kunskap kring beständighet av ståldetaljer och deras korrosionsskydd. Det kan därför vara motiverat att stödja mindre projekt som kan ge kunskap kring t.ex. brodetaljers beständighet.

Eftersom det finns många målningsystem för stålbroar som bedöms fungera väl så rekommenderas att ingen mer forskning utförs på det inom detta ramprojekt i nuläget. Sådan forskning är mer i form av produktutveckling som bör betalas av färgfabrikanter.

4.2 Inkomna FoU-ansökningar

Sedan 1998 har Vägverkets FoU-plan funnits tillgänglig på Internet och information har presenterats för hur ansökningar bör utformas och sändas till Vägverket.

Under 1998 och även 1999 har ansökningar kommit in där medel söks inom ramprojektet optimala standarder fastän ramprojektets förstudie inte har varit klar än. Det kan noteras att en majoritet av ansökningarna som insänts berör betongforskning medan få ansökningar har inkommit som behandlar stålmateriallets beständighet.

Nedan följer en lista på de FoU-ansökningar där medel söktes från ramprojektet optimala standarder.

Titel	Sökt av
BTB - Kartering av tösaltningens inverkan på beständigheten hos svenska broar	LTH
Beständighet under mekanisk belastning hos fiberkompositer i betong	CBI
Utformning och underhåll av kantbalkar	KTH
Aktivt brounderhåll – FoU-ansökan	KTH
BTB - Inverkan av åldring på betongens saltfrostbeständighet	SP
BTB - Korrosion	CBI
Egenskaper och struktur hos äldre betong som motstått beständighetsangrepp	CBI
BTB delprojekt 1.1 salt och fukttransport i betongkonstruktioner i vägmiljö	CTH
Livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner	CTH
Analysmetoder för betongkonstruktioner med avseende på beständighet	CTH
Analysmetoder för betongkonstruktioner m.a.p. beständighet	CTH

Titel	Sökt av
Tvångsspänningar - Inverkan på konstbyggnaders livslängd	LTU
Lastoberoende spänningar - Inverkan på konstbyggnaders livslängd	LTU
Konstruktionstekniska aspekter och möjligheter med användning av vibreringsfri betong i broar	KTH
Uppföljning av polymermodifierat isolerings och beläggningsarbete på Uddevallabron	VTI
Antiutvaskningsmedels inflytande på undervattensgjuten betongs frostbeständighet	VUAB
Analysmetoder för betongkonstruktioner med avseende på beständighet	CTH
Högpresterande betong- och samverkanspelare utsatta för långtidsbelastning	CTH
Optimering av högpresterande betongkonstruktioner	CTH
Livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner	CTH
Tillämpad undersökning av nya anodsystem för katodiskt skydd av armerade betongkonstruktioner	KI
Livslängdsmodellering för betongkonstruktioner . Inverkan av mekaniska laster och miljöeffekter	LTU
Förstärkning av betongkonstruktioner med avancerade kompositmaterial – Inverkan av yttre faktorer	LTU
Bärande infrastrukturkonstruktioner av avancerade kompositmaterial	LTU
Betongkonstruktioner – Sprickarmering och arbetsmetoder för optimalt byggande och underhåll	LTU
Inspektion av befintliga träkonstruktioner, utprovning resp. utveckling av nya produkter samt utarbetande av åtgärdspeket vid eventuella underhålls- och reparationsåtgärder	SLU
Rostskydd av belysningsstolpar	KI
Livslängdsfrågor för spännarmering i spännarmerade betongkonstruktioner	KTH
Utredning av möjligheter till förlängning av livslängd för äldre och kulturhistoriskt intressanta broar	VVÄ

Förklaringar:

BTB	Beständighet tösaltade betongkonstruktioner
CTH	Chalmers tekniska högskola
CBI	Cement och betong institutet
KI	Korrosionsinstitutet
KTH	Kungliga tekniska högskolan
LTH	Lunds tekniska högskola
LTU	Luleå tekniska universitet
SLU	Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för trävetenskap
SP	Sveriges provnings och forskningsinstitut
VUAB	Vattenfall utveckling AB
VTI	Väg och transportforskningsinstitutet
VVÄ	Vägverket, Region Väst

5 Förslag till delprojekt

Följande projekt föreslås ingå i ramprojektet optimala standarder bro under de kommande åren. Förslagen har kortfattat beskrivits och prioriterats.

5.1 Beständighet tösaltade betongkonstruktioner

5.1.1 Bakgrund

Forskningsprojektet Beständighet tösaltade betongkonstruktioner (BTB) har nu pågått i tre år och uppvisar intressanta resultat. Forskning i form av fältförsök i vägmiljö och laboratorieförsök bedrivs för olika betongrecept. Vägverket föreslås bidra med pengar så att de provkroppar som redan finns utplacerade på provplatsen kan utvärderas. Det delprojekt som förespråkas är studie av armeringskorrosion och hur den påverkas av sprickor, kloridinnehåll samt varierande täckande betongskikt.

5.1.2 Förväntat resultat

Projektet ska ge mer kunskap om nedbrytning av betong i tösaltad miljö. Kunskaper som fås i detta projekt kan dels leda till att BRO 94 uppdateras samt att man kan utveckla nedbrytningsmodeller som kan användas i ett system för att utvärdera en konstruktions livslängd.

5.1.3 Resurser och tidplan

Detta delprojektet är tänkt att stödja BTB-projektet genom att fortsatt utvärdering sker av redan utplacerade provkroppar för mätning av armeringskorrosion. Kostnaden för delprojektet uppskattas till 500 kkr per år och projektet förväntas pågå i två år.

5.2 Antiutvaskningsmedels beständighet

5.2.1 Bakgrund

Antiutvaskningsmedel (AUV-medel) används i undervattensgjuten betong för att uppnå en bättre sammanhållning av betongen vid gjutning. Detta är speciellt viktigt för konstruktioner med statisk verksam armering. Risk finns dock att AUV-medel ger en ökad risk för sprickor och sämre frostbeständighet. Den undervattensgjutna betongkonstruktionen som innehåller AUV-medel placeras av denna anledning alltid på

frostfritt djup. Kunskapen kring om hur betongens hållfasthet påverkas med tiden av AUV-medel är också bristfällig.

5.2.2 Förväntat resultat

Projektet ska undersöka och utveckla beständigheten hos betong som innehåller AUV-medel, framförallt frostbeständigheten. Påverkan på hållfasthet med tiden bör även studeras. Delprojektet bör ge svar på vilka krav som bör ställas på undervattensgjuten betong med AUV-medel för att förväntad livslängd ska kunna uppnås och hur sådana konstruktioner ska utformas.

5.2.3 Resurser och tidplan

Delprojektet ska omfatta en studium och försök på undervattensgjuten betong.

Projektet beräknas att pågå i cirka två år. Kostnaden för delprojektet uppskattas till totalt 600 kkr.

5.3 Nedbrytningsmekanismer och konstruktivt träskydd för träbroar

5.3.1 Bakgrund

Litteraturinventeringen har visat att mycket lite har gjorts inom detta område för träbroar. Mycket av den forskning som gjorts handlar om lastbärande förmåga och broutformning.

5.3.2 Förväntat resultat

Projektet ska identifiera de nedbrytningsmekanismer som har störst påverkan på träbroars beständighet. Vidare ska projektet ge förslag till hur man med hjälp av konstruktionsutförande kan förbättra livslängden för träbroar. Här ska utförande av träbroar med avseende på kvalitet och tillgänglighet studeras för att se om utförandet kan påverka kostnaden för fortsatt underhåll träbroar.

5.3.3 Resurser och tidplan

Projektet beräknas att pågå i cirka tre år. Kostnaden för projektet uppskattas totalt till 1 000 kkr.

5.4 Framtagande av system för att beräkna konstruktioners livslängd

5.4.1 Bakgrund

Denna förstudie har identifierat ett behov av att ta fram ett system för att beräkna konstruktioners livslängd. Systemet ska vara oberoende av material och konstruktionstyp. Innan framtagandet av ett system påbörjas bör en specifik förstudie utföras för att undersöka möjligheten till att ta fram ett system.

5.4.2 Förväntat resultat

Utveckling av ett system för optimal standard innebär att ett omfattande arbete måste göras och detta bör följa Vägverkets systemutvecklingsmodell. Rubricerat delområde föreslås innefatta initieringsfasen, analysfasen och utformningsfasen. I initieringsfasen diskuteras idéer och olika möjligheter kartläggs. Analysen syftar till att besvara frågan om vad som ska tillverkas, medan utformningen besvarar frågan om hur systemet ska utformas. Därefter följer tillverkningsfasen då själva programmeringen och andra förberedelser som behövs för att införa ett nytt informationsbehandlingssystem görs. Själva tillverkningsfasen behandlas inte i detta utvecklingsprojekt.

Detta är ett relativt omfattande delområde, varför det föreslås att en förstudie görs i initieringsfasen. Förstudien bör samordnas med den föreslagna förstudie som presenteras i förstudierapporten "Utveckling av system för LCC-analys av broar".

Vid utveckling av systemet bör vissa kriterier beaktas. Systemet ska vara kompatibelt med Vägverkets broförvaltningssystem. Information från Vägverkets databaser bör kunna utnyttjas som underlag. Systemet måste vara utvecklat så att underlag i form av priser och beräkningsmoduler kan modifieras med tiden och anpassas till nya forskningsrön och annat. Programmet skall även vara påbyggbart, så att ytterligare moduler kan adderas.

Systemet skall vara lättanvänt men ändå genomskinligt. Med genomskinligt avses att konsekvenserna av olika val skall kunna förstås relativt enkelt. Detta innebär bl.a. att beräkningsmoduler skall finnas tillgängliga, att prisunderlag skall vara åtkomligt och att delresultat skall visas.

5.4.3 Resurser och tidplan

Den inledande delen av projektet föreslås pågå i cirka ett år och kostnaden uppskattas totalt till 350 kkr. Kostnader för de följande åren och total projekttid tas fram i den inledande förundersökningen.

6 Referenser

- [1] "BRO 94", Allmän teknisk beskrivning för broar, Vägverkets publikation 1994:2, :3, :4, :6, :7, :8, 1999:18-21, 1994 resp. 1999
- [2] Troive S, "Optimering av åtgärder för ökad infrastrukturkonstruktioner", Licentiatavhandling, KTH, 1996
- [3] Wargsjö A, "Förstudie Miljöanpassade broar", Vägverket, 1998
- [4] Kieksi K, "Förstudie Beständighet tösaltade betongkonstruktioner", Vägverket, 1998
- [5] Masters L.W., Brandt E., CIB W80/RILEM 71-PSL, "Prediction of service life of building material and components", *Materials and Structures*, Vol. 20, No. 155, p 55-77, 1987
- [6] Watson J., "The meaning of life", *Durability of Building Materials and Components 7* (volume 2), p 832-838, 1996
- [7] Siemes A.J.M., "Framework for a procedure for design for durability", *Durability of Building Materials and Components 7* (volume 2), p 1175-1184, 1996
- [8] Park C.-H., Nowak A.S., "Lifetime reliability model for steel girder bridges", International symposium Safety of bridges, p 189-202, 1996
- [9] "Beständiga betongkonstruktioner", Betongrapport nr 1, utgåva 2, Svenska Betongföreningen, 1998
- [10] Byfors J, "Morgondagens betong FoU", *Betong*, p 3, nr 3, 1999
- [11] "Betonghandbok, material", utgåva 2, AB Svensk Byggtjänst, 1994
- [12] Fagerlund G, "Livslängdsberäkningar för betongkonstruktioner", Lunds tekniska högskola, TVBM-3070, 1996
- [13] Pettersson K, "Propageringsperiodens längd i ospruckna och spruckna betongkonstruktioner", uppdragsrapport 97111, Cement och Betonginstitutet, 1998
- [14] Racutanu G, "Konstbyggnaders reella livslängd", Licentiatavhandling, KTH, 1998
- [15] Paulsson-Tralla J, "Service life of repaired concrete bridge decks", doktorsavhandling, KTH, 1999
- [16] Krus J, "Environment- and function-induced degradation of concrete structures", doktorsavhandling, KTH, 1996

- [17] "Durability of concrete in saline environment", Cementa AB, 1996
- [18] Sandberg P, "Chloride initiated reinforcement corrosion in marine concrete", Report TVBM-1015, Lund Institute of Technology, 1998
- [19] Pettersson K, "Redovisning av potential- och korrosionshastighetsmätningar på armerade provkroppar vid Rv 40", Delområde 1.2 – Korrosionsprocessen, Beständighet tösaltad betong, Rapport nr 13, 1998
- [20] Utgenannt P, "Provkroppar tillverkade 1996 – Resultat från uppmätning av volym och ultraljudshastighet efter tre vinter säsonger", Delområde 2.3 – Bindemedlets inverkan på betongens frostbeständighet, Beständighet tösaltad betong, Rapport nr 14, 1999
- [21] Utgenannt P, "Provkroppar tillverkade 1997 – Resultat från uppmätning av volym och ultraljudshastighet efter två vinter säsonger", Delområde 2.3 – Bindemedlets inverkan på betongens frostbeständighet, Beständighet tösaltad betong, Rapport nr 15, 1999
- [22] "High performance concrete structures, design handbook", draft oktober 1998
- [23] "Handbok högpresterande betong, material och utförande", utkast, oktober 1998
- [24] Sederholm B, "Katodiskt korrosionsskydd av stålarmeringen i olika typer av betongkonstruktioner", KI Rapport 1997;4, Korrosionsinstitutet, 1997
- [25] Sederholm B, "Utomhusprovning av galvaniska anodsystem för katodiskt skydd av armerade betongkonstruktioner – slutrapport av projektet katodiskt skydd av armerade betongkonstruktioner", KI rapport 1999:6, Korrosionsinstitutet, 1999
- [26] Sederholm B, Becker M, "Undersökning av galvanisk korrosion på varmförzinkade räckesståndare på betongbroar", KI rapport 1998:5, Korrosionsinstitutet, 1998
- [27] Sederholm B, Camitz G, Eriksson H, "Vägledning för uppsättning av broräcken på betongbroar – Åtgärder mot galvanisk korrosion", KI rapport 1999:5, Korrosionsinstitutet, 1999
- [28] Højtkvalitetbeton Entreprenørens Teknologi – Anvisning "Stavvibrering", rapport nr 74, "Reparation", rapport nr 107, "Udstøbning", rapport nr 108, "Forprøvning", rapport nr 109, "Efterbehandling", rapport nr 124, "Hærdestyrning", rapport nr 125, 1997

- [29] Sarja A, Vesikari E, "Durability design of concrete structures", RILEM Report 14, 1996
- [30] "Guidance on the use of stainless steel reinforcement", Concrete Society Technical Report 51, 1998
- [31] Bertolini L, Gastaldi M, Pedferri M.P., Pedferri P, "Effects of galvanic coupling between carbon steel and stainless steel reinforcement in concrete" 1998
- [32] Johansson B, "Uppskattning av stålbroars livslängd", Rapport från NVF seminarium i Reykjavik, rapport nr 9/1993, p 25-33, 1993
- [33] Lunabba T., "Corten-stålets användning i broar. Forskningsrapport från en undersökning gjord 1982-1992", Rapport från NVF seminarium i Reykjavik, rapport nr 9/1993, p 17-23, 1993
- [34] Edlund M-L, Ödeen K, "Trä i utomhuskonstruktioner", *Väg och vattenbyggaren*, nr 5, 1999
- [35] Henriksen K, "Guidelines for wood protection by design and chemical wood protection of timber bridges" Nordic Timber Bridge Project, rapport nr 12, 1997
- [36] Evans F, "Pressure treated glulam – testing of alternatives", Nordic Timber Bridge Project, rapport Optimal chemical protection, 1999
- [37] Muchmore F W, "Designing Timber Bridges for Long Life", Transportation Research Record 1053, 1986
- [38] Muchmore F W, "Techniques to Bring New Life to Timber Bridges ", *Journal of Structural Engineering*, Vol 110, No 8, p1832-1846, augusti, 1994
- [39] Ödeen K, Norén J, "Durability of wood", *Durability of Building Materials and Components* 8, 1999
- [40] Vestergaard M, "Dokumentation of correct use of wood protection by design", *Durability of Building Materials and Components* 8, 1999
- [41] Norén J (ed), "Beständighet och livslängdsbedömning hos trä i byggnadsverk", KTH Byggnadsmaterial, 1999
- [42] Edwards Y, Westergren P, "Polymermodifierat isolerings- och beläggningssystem för Högakustenbron", VTI rapport 430, 1999