

Förstudie

Mätning och utvärdering av broars tillstånd

2000-03-20

Förord

Föreliggande förstudie inom ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd ” behandlar metoder för mätning och utvärdering av broars tillstånd. Metoder behövs för att kunna mäta och utvärdera broars tillstånd så att brons funktion säkerställs och för att kunna utföra ekonomiska kalkyler för hela eller för delar av brobeståndet.

Borlänge 2000-03-20

Pereric Westergren

Granskad:

Robert Ronnebrant

Innehåll

Förord	2
Innehåll	3
Sammanfattning	4
1 Introduktion.....	6
1.1 Bakgrund.....	6
1.2 Syfte	6
1.3 Avgränsning.....	7
1.4 Definition	7
2 Mätning och utvärdering av broars tillstånd	8
2.1 Allmänt	8
2.2 O 1442 Undabron.....	8
2.2.1 Allmänt	8
2.2.2 Undersökning av gjutskada.....	9
2.2.3 Mätning av fyllnadsgrad i spännkabelrör	9
2.3 CBI-litteraturinventering.....	10
2.3.1 Allmänt	10
2.3.2 Slutsatser av rapporten	12
2.4 Elforsk-rapport.....	13
2.4.1 Allmänt	13
2.4.2 Metoder som utvärderats.....	13
2.4.3 Inverkan av yttre faktorer.....	14
2.4.4 Slutsatser av rapporten	15
2.5 Instrumentering	15
2.6 Problem - möjligheter	15
3 Pågående och avslutad FoU	18
3.1 Allmänt	18
3.2 FoU i Sverige	18
3.2.1 Mätning.....	18
3.2.2 Bedömning.....	20
3.3 FoU i Europa.....	21
3.3.1 Mätning.....	21
3.3.2 Bedömning.....	24
3.4 FoU, övriga världen	25
3.4.1 Mätning.....	25
3.4.2 Bedömning.....	26
4 Behov av FoU	27
4.1 Allmänt	27
4.2 Standarder med behov av mät- och utvärderingsmetoder.....	27
4.2.1 Europastandard, EN 1504-10.....	27
4.2.2 BRO 94	28

4.2.3	Övriga behov av FoU.....	30
4.3	FoU-Ansökningar	30
4.3.1	Allmänt	30
4.3.2	Mätning	30
4.3.3	Bedömning.....	32
4.4	Förslag till delområden och -projekt.....	33
4.4.1	Allmänt	33
4.4.2	Delområde - Tätskikts funktion	34
4.4.3	Delområde - Undersökning av spännkablar.....	34
4.4.4	FoU-projektet - Mätning av korrosionshastighet på armering ingjuten i betong.....	35
4.4.5	FoU-projektet - Mätning av impregneringsdjup och inträngningsprofil	35
4.4.6	FoU-projektet - Mätning av klorider och karbonatisering i täckande betongskiktet	36
4.4.7	Delområde - Övervakningssystem	36
4.4.8	Delområde - Kvalitetskontroll av utförd gjutning och detektering av byggskador	36
4.4.9	FoU-projekt - Egenskapsbestämning av trä	37
4.4.10	Delområde - Kartering av inre skador	37
4.5	Behov av utredning	38
4.5.1	Allmänt	38
4.5.2	Mätning av klorider på betongyta	38
5	Referenser	39

Bilaga: Förstudie till FoU-ramprojekt; Mätning och utvärdering av broars tillstånd

Sammanfattning

Denna förstudie omfattar en övergripande kunskapsinventering inom ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd”.

Kunskapsinventeringen har utförts genom sökning i databaser och genom personliga kontakter.

I förstudien ingår mätning och utvärdering av betong- stål- aluminium- och träbroar. Betong har dominerat förstudien då det är det ojämförligt mest använda materialet i våra broar och för vilket det finns mest kunskapsmaterial att hämta.

Av de textmaterial som ingår i förstudien går att utläsa att det finns ett stort antal metoder för mätning och utvärdering av olika konstruktioners tillstånd och verifiering av utförande och dimensioneringsvärden och att detta också gäller för broar.

Det finns ett behov av att både nya mät- och bedömningsmetoder tas fram och att befintliga utvecklas eller synliggörs så att de kommer till användning. Behovet gäller för både enkla och mer komplicerade metoder. Detta gäller också för så kallade smarta övervakningssystem för broar under uppförande eller i drift. Det kan också gälla för bedömning av en enskild bro eller för ett helt brobestånds tillstånd.

Metodbeskrivningar, fältanpassning av utrustningar och bättre utvärderingsmöjligheter av uppmätta enskilda mätvärden för befintliga mätmetoder är andra behov som behöver tillgodoses.

För många befintliga mätmetoder finns också ett behov av att klargöra vad metoderna klarar av att mäta och till vilka kostnader. Det finns också ett behov av erfarenhetsvärden som kan användas till att upprätta kravvärden.

Många FoU-projekt som berör våra behov pågår eller ska påbörjas. Vid prioriteringen av de FoU-projekt eller FoU-områden som föreslås har förutsatts att andra pågående FoU-projekt som har anknytning till området avvaktas eller beaktas så att resultaten från projekten kan tas till vara och onödigt dubbelarbete undviks. Projekten som förutsatts avvaktas eller beaktas finns, förutom i den övriga texten, listade under punkten 4.4.1 Allmänt.

I kapitel 3 Pågående och avslutad FoU och i kapitel 4 Behov av FoU, har mätmetoder skilts från utvärdering av broars tillstånd. I begreppet mätmetoder ingår enligt denna delning mätmetoden som sådan och utvärderingen av de erhållna värdena. Utvärdering av broars tillstånd definieras här som bedömning av effekten av de uppmätta mätvärdena på hela eller delar av en konstruktion eller på hela eller delar av ett brobestånd.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Dagens metoder för mätning och utvärdering av befintliga broars tillstånd är inte tillräckligt utvecklade. Mätmetoder som ger bestämda värden eller en bild av en skadas utbredning och som kostnadseffektivt kan användas vid t.ex. rutinmässiga broinspektioner är få. Detta gäller i synnerhet oförstörande provning. Operativa hjälpmedel för bedömning av tillståndsutveckling saknas i princip helt.

Metoder att inspektera saknas eller är bristfälliga i många fall, detta gäller till exempel för förspända betongbroar, tätskikt och för impregneringars kvarvarande skyddseffekt.

Kunskap/samband om olika skademekanismers sammantagna påverkan på en konstruktions livslängd, med hänsyn tagen till såväl beständighet som bärighet, saknas.

En mätning och utvärdering av en bros tillstånd kan ha många syften som verifiering av utfört arbete vid nyproduktion, skadedetektering, skadekartering vid gjutskada eller liknande, skadekartering vid inspektion med efterföljande tillståndsbedömning och bedömning av brons återstående livslängd, verifiering av utfört arbete vid reparation eller övervakning av en bros bärförmåga eller tillståndsutveckling, så kallade smarta system eller verifiering av att funktionskriterier uppfylls.

I Vägverkets broförvaltningssystem SAFEBRO finns en modell för utvärdering av broars tillstånd som bygger på erfarenhetsmässiga grunder. Den som inspekterar bron beskriver efter inspektionen och provtagningen det fysiska och funktionella tillståndet. Mätvärdet och den erhållna tillståndsklassen ger det funktionella tillståndet. Detta uttrycks i bristfällig funktion efter olika tidsrymd, från bristfällig funktion vid inspektionstillfället till som längst bristfällig funktion bortom 10 år .

1.2 Syfte

Broars tillstånd är ett nyckelbegrepp inom såväl broförvaltning som nybyggnad. Tillståndsuppgifter för det aktuella tillståndet och för tillståndsutveckling krävs för bl.a. styrning, planering, upphandling och uppföljning av de åtgärder som behövs för att broarna ska uppfylla samhällets krav på säkerhet, framkomlighet och ekonomi. För detta behövs mätmetoder och tillståndsutvecklingsmodeller som ger relevanta uppgifter för bedömning av broarnas tillstånd.

Modern teknik ger möjligheter att utveckla metoder för att mäta tillstånd och att ta fram modeller för tillståndsutveckling.

1.3 Avgränsning

Denna förstudie behandlar i första hand oförstörande och delvis förstörande mätning (provning) och utvärdering av broars tillstånd. Då ämnesområdet är mycket stort har studien begränsats till att i första hand behandla de problemområden som finns uppräknade i kapitlet 4 Behov av FoU. Det material som använts i förstudien har också begränsats i ålder till att gälla från 1994 eller yngre. Det innebär bl.a. att material från Betonghandboken inte tagits med. Det material som tagits med förutsätts ha påverkats av material äldre än 1994.

Av de förstudier som utförs eller utförts på avdelningen för bro och tunnel är det tre som angränsar till denna förstudie.

Den första förstudien är, "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper" [i]. Förstudien behandlar upphandling med funktionskrav med till denna typ av upphandling tillhörande verifikationsmetoder. I förstudien ges en övergripande bild av behovet och kopplingen till funktionskriterier men ingen specificering av vilka verifieringsmetoder som existerar eller saknas.

Den andra förstudien är, "Optimala standarder bro" [ii] som bl.a. tar upp nedbrytningsprocesser som förekommer i brokonstruktioner och som i sin tur ska mätas och utvärderas med metoder som behandlas i förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd".

Den tredje förstudien är, "Utvärdering av tillåten trafiklast för broar" [iii]. Förstudien behandlar laster, lastmodeller och bärförmågemodeller.

1.4 Definition

Begreppet mätmetoder definieras som mätmetoden som sådan och utvärderingen av de erhållna värdena.

Utvärdering av broars tillstånd definieras här som bedömning av effekten av de uppmätta mätvärdena på hela eller delar av en konstruktion eller på hela eller delar av ett brobestånd.

2 Mätning och utvärdering av broars tillstånd

2.1 Allmänt

Mätning och utvärdering av broars tillstånd kan utföras med oförstörande eller förstörande provning eller med en kombination av dessa.

Inom projektet har ett mindre fältförsök utförts på en bro under uppförande, O 1442 Undabron. Undersökningen omfattar gjutskador i brobaneplattan och försök att detektera eventuella kaviteter i injekteringen i rören för spännkablarna.

En litteraturinventering som är en del av förstudien har utförts av CBI. Inventeringen omfattar mätmetoder för betong-, stål-, aluminium- och träkonstruktioner. I rapporten finns separata listor på de mätmetoder som kan användas för mätningar på de fyra uppräknade konstruktionsmaterialen. Mätmetoderna är också var och en kortfattat beskrivna i rapporten.

Som en viktig del i förstudien beskrivs innehållet i en rapport från Elforsk. Rapporten handlar om befintliga oförstörande metoder för tillståndskontroll. I rapporten beskrivs teknikerna för mätmetoderna, hur och när mätmetoderna kan användas, inverkan av yttre faktorer och mätresultatens tillförlitlighet.

I detta kapitel ges också en kort beskrivning av installationer av automatiska övervakningssystem som utförts i Norge. Systemen kan användas för att mäta och verifiera teoretiskt beräknade värden på påkänningar som uppstår vid uppförandet och under drift av en bro eller att övervaka en bro i drift.

2.2 O 1442 Undabron

2.2.1 Allmänt

Undabron är en plattbro med en fritt upplagd betongplatta på landfästen. Plattan innehåller 15 ursparingsrör och 56 spännkablarna Freyssinet 12L17 i spännkabelrör som cementinjekterats. Brons spännvidd är 28 m.

Vid gjutningen av brobaneplattan uppstod så stora gjutskador i betongen att det beslutades att brobaneplattan skulle rivas och ersättas med en ny.

I detta skede bestämdes att brobaneplattan före rivningen skulle användas för försök med oförstörande provning med efterföljande förstörande provning för att verifiera erhållna mätresultat. Mätningar skulle utföras för att utröna tillförlitligheten med metoderna d.v.s. hur det med

respektive utrustning går att hitta skador i betongen och vilken storlek eller typ av gjutskada det måste vara för att den ska kunna hittas. Mätningar skulle också utföras för att utröna fyllnadsgraden av cementinjekteringen i spännkabelrören.

2.2.2 Undersökning av gjutskada

Detektering av den skadade betongen har utförts med oförstörande provning och verifiering av resultaten har utförts genom kärnborring och söndersågning av del av den skadade brobaneplattan som också på försök reparerats med prepact betong. Söndersågningen av betongen tog längre tid än beräknat vilket har inneburit att rapporten, ”Reparation med prepact betong av gjutskada i farbanans undersida”, från undersökningen inte förväntas förrän i början av år 2000. En delrapport från de kompletterande oförstörande mätningar som utfördes på brodäck och provstycke, av FORCE Institut, [iv] föreligger dock. Av denna rapport framgår att oförstörande provning har utförts på brobaneplattan och på ett från brobaneplattan utsågat provstycke på vilken också ett försök till lagning av betongskadan utförts. Före rivningen av bron användes Ultraljud (Ultrasonic Puls Velocity UPV) och Impact Echo (IE) på provstycket och UPV, IE, Ytvågsseismik (SASW) och Radar på bron i övrigt.

Rapporten anger dock att Impact Echo mätningarna inte ger den önskade informationen om plattans homogenitet på grund av att responsen domineras av ekon från ursparingsrören. Det svaga bottenekona och multipla reflektorerna kring 600 mm djup tyder dock på att det vid stöd 1 finns inhomogeniteter eller gränsytor i plattan.

Bedömningen, av SASW-mätningar vid stöd 1, är att det är troligt att det inte förekommer några svaghetszoner i de uppmätta partierna. Mindre avvikelser i betongkvalitet eller lokala defekter tros dock inte kunna påverka dispersionskurvan i mätbar grad.

För radarmätningarna sägs att armeringen är tätt placerad vilket får till följd att armeringen skärmar djupare liggande föremål så att dessa inte kan mätas in.

De kompletterande ultraljudmätningarna som har utförts på ytor som inte tidigare uppmäts, tyder på att betongen där är homogen. De tidigare mätningarna som utförts över de skadade partierna gav variationer som visade på dålig betong.

2.2.3 Mätning av fyllnadsgrad i spännkabelrör

Mätningarna av fyllnadsgraden i spännkabelrören skulle utföras av firman SAQ med högenergiröntgen, men då förberedelser gjordes för att

utföra mätningarna uppdagades att brobaneplattan var för tjock för att dessa skulle kunna genomföras. Mätutrustningen har en begränsning bl.a. i hur tjocka betongkonstruktioner som kan undersökas. Användningen begränsas också av strålningen från utrustningen, vilken gör att området runt mätpunkten måste spärras av under själva mätningen. Tjocka betongkonstruktioner kräver större exponeringstid jämfört med tunna. Det är också något dyrare per dag att använda denna utrustning än för andrametoder.

När det gäller betongkonstruktioners tjocklek så har försök i laboratoriet visat att, hålrum ner till 20 mm i diameter, i cementinjekterade spännkabelrör ingjutna i en 1 200 mm tjock betongkonstruktion, kan mätas med högenergiröntgen. Används ett digitalt system i stället för en snabb film för visualisering av resultatet kan exponeringstiderna också minskas till ungefär en tredjedel.

I det aktuella fallet med Undabron kunde bara förstörande provning användas, d.v.s. kärnbörning utfördes ned till spännkabelrören, betongkärnan avlägsnades och spännkabelrören slitsades upp och veks åt sidan på en sträcka av omkring 0,4 m.

Undersökningen, som är avrapporterad av *Tegland*, [v] visar att cementinjekteringen var fullgod vid alla provställena förutom vid ett ställe där det var en mycket liten luftinneslutning i rörets övre del. Vid detta ställe frilades ytterligare 0,6 m av injekteringen som här visade sig var fullgod. Spännkabelrören med spännkablar kapades också på några ställen och injekteringsgraden undersöktes och befanns vara god.

2.3 CBI-litteraturinventering

2.3.1 Allmänt

Inom projektet har en erfarenhetsinsamling av dagens kunnande utförts av CBI, [vi]. I inventeringen har mätmetoder för betong-, stål-, aluminium- och träkonstruktioner ingått.

I CBI-rapporten, som i sin helhet återges i bilaga, ges en kort sammanfattande beskrivning av varje enskild oförstörande, eller i några fall delvis förstörande, mätmetod som hittats i litteraturen. Rapporten ger även uppgifter om metodernas användbarhet.

2.3.1.1 Mätmetoder för betongkonstruktioner

De mätmetoder som nämns i litteraturinventeringen som användbara för betongkonstruktioner är

- Studsmätare
- Stötvågsmätningar
 - Ultrasonic Puls Velocity, UPV

- Ultrasonic Puls Echo, UPE
- Impact Echo, IE
- Acoustic Emission, AE
- Ultraljudstomografi
- Inträngningsprov
- Utdragsprov
- Brottprov
- Mognadstest
- Infraröd Termografi
- Potentialmätning
- Polarisationsresistans
- AC-impedans
- Radar
- Täcksjiktsmätning
- Röntgen
- Resistivitet
- Fuktmätning

2.3.1.2 Mätmetoder för stålkonstruktioner

De mätmetoder som nämns i litteraturinventeringen som användbara för stål är

- Röntgen
- Magnet partikel undersökning (med metallpulver)
- Växelströmsanalys
- Färgimpregnering
- Ultraljud
- Elektrokemiska metoder

2.3.1.3 Mätmetoder för aluminiumkonstruktioner

De mätmetoder som nämns i litteraturinventeringen som användbara för aluminiumkonstruktioner är i några fall de samma som de för betongkonstruktioner. Mätmetoderna för aluminiumkonstruktioner är

- Röntgen
- Ultraljud

- Potentialkartering
- Polarisationsresistans
- AC-impedans
- Växelströmsmätning
- Penetrationstest
- Okulär test

2.3.1.4 Mätmetoder för träkonstruktioner

De mätmetoder nämns i litteraturinventeringen som användbara för trä är

- Akustisk emission
- Ultraljudsmätningar
- Densitetsmätning med hjälp av mikrobörning
- Termografisk mätning
- Vibrationsmätning
- Röntgenanalys
- Lastbärande mätning

2.3.2 Slutsatser av rapporten

Många av de mätmetoder som nämns i litteraturinventeringen är ännu inte anpassade för fältnässiga behov. Rapporten visar att av de material som har ingått i litteratursökningen är armerad betong det material som testats mest med avseende på olika mättekniker som används i fält.

Aluminium och stål har framförallt varit föremål för undersökningar i laboratoriemiljö men det finns några fältanpassade mätmetoder som frekvent används för att detektera sprickor och andra defekter i svetsar eller i själva materialen.

För träkonstruktioner finns idag en del mätmetoder som kan vara användbara för fältmätning bl.a. en delvis förstörande mätmetod som kan användas för att bedöma träets hållfasthet.

Då det gäller stötvågsbaserade mätutrustningar ger de ofta svårtolkade resultat som kräver kraftfulla datorer och expertis för utvärdering. De elektrokemiska mätmetoderna kräver också expertis för utvärdering av resultaten.

2.4 Elforsk-rapport

2.4.1 Allmänt

Elforskrapporten, "Utvärdering av befintliga metoder för tillståndskontroll av betong i kraftanläggningar", [vii] har som mål att koppla ihop utvecklingsområden som berör vattenbyggnadskonstruktioner av betong: tillståndskontroll, konditionsbedömning, livslängdsbedömning och åtgärdsalternativ.

Studien har utförts för att om möjligt göra en kvalitativ bedömning av befintliga metoder för oförstörande provning.

Utvärderingen har gjorts med hjälp av 11 olika skador eller problem som kan förekomma på, i eller i anslutning till betongkonstruktioner i vattenkraftanläggningar.

Rapporten är avsedd att i lättillgänglig form delge erfarenheter, rön och rekommendationer och handledning för berörd personal vid såväl beställning som vid utförandet av en undersökning.

2.4.2 Metoder som utvärderats

De oförstörande mätmetoder som beskrivits och som har utvärderats i rapporten ger beroende på metodutförande och typ av mätutrustning ett flertal undersökningsmetoder som har sin grund i samma fysikaliska grundprincip.

De akustiska/dynamiska/seismiska metoderna som utvärderats är

- Ultrasonic Puls Velocity
- Ultrasonic Puls Echo
- Sonic tomography
- Impact Echo
- Impuls Response
- Ytvågsseismik
- Experimentell Modanalys
- Akustisk Emission

De elektromagnetiska är,

- Georadar
- Radar scanner
- Time Domain Reflectometry

De elektriska är,

- Självpotential
- Resistivitet
- Galvanostatic pulse

De radioaktiva är,

- Högenergiröntgen
- Gammagrafi
- Radiografi
- Radioskopi

De magnetiska är,

- Magnetoflux
- Magnetometer

De termiska är,

- Termografering

2.4.3 Inverkan av yttre faktorer

I rapporten nämns att det är viktigt att veta vilken typ av skada det är som ska detekteras. Det nämns också ett antal yttre faktorer som kan påverka resultatet eller till och med möjligheten att mäta. Ibland behövs flera metoder för att få ett bra mätresultat t.ex. en för att hitta skadan och en för att göra en mer detaljerad mätning av skadan.

Faktorer som nämns som kan påverka resultatet eller möjligheten att mäta kan vara

- Konstruktionens tjocklek
- Geometrisk begränsning
- Över eller under vatten
- Armering
- Betongytans råhet
- Betongens sammansättning
- Fuktinnehåll
- Inklädnad
- Lägesbestämning

Vid tolkning av mätdata är lägesbestämningen av en skada en viktig information bl.a. på grund av att provtagning med förstörande teknik kan behöva utföras för att kunna göra en riktigt bedömning av skadan och ett riktigt val av åtgärd.

2.4.4 Slutsatser av rapporten

De i rapporten nämnda mätmetoderna går ut på att hitta skador. Skadorna måste sedan undersökas med förstörande provning. För att hitta en skada måste i många fall typen av skada vara känd före mätningen så att rätt utrustning kommer till användning. Om skadetyper är okända kan flera metoder behöva kombineras för att skadan ska kunna hittas.

Rapporten ger en bra vägledning för den som i dag tänker använda dessa metoder, både då det gäller när en viss metod kan användas, hur den kan användas och en upplysning om mätresultatets tillförlitlighet vid en viss användning.

2.5 Instrumentering

I "The Norwegian road to Improved Bridge Quality. Instrumentation, Documentation and Verification"[viii], avrapporterar ett antal broar som har instrumenterats för att i första hand kontrollera teoretiskt beräknade påkänningar på olika delar av en bro med de på bron uppmätta faktiska påkänningarna vid uppförandet och då bron är tagen i drift. Mätningarna har utförts 1990-1994 och avrapporterats 1994.

Det är två snedkabelbroar, Helgelandsbron och Skarnsundsbron, och två fritt frambyggda lådbalkbroar, Nordalsfjordbron och Stövsetbron som avrapporterar.

Det system man använt sig av kallas IDV och är en förkortning av Instrumentation, Dokumentation and Verifikation.

Instrumentering har utförts bl.a. för att mäta rörelser, vibrationer lastfördelning och påkänningarna på hela bron och på pyloner och kablar på snedkabelbroarna.

Mätningarna sker automatiskt med ett bestämt tidsintervall mellan mätningarna och mätdata insamlas och bearbetas.

Mätningarna ger information som kan användas vid dimensioneringen av nya broar, vilket i sin tur kan reducera kostnaden, ge en bättre utformning, design, och öka säkerheten vid byggande och användning.

Systemet kan förutom vad som nämnts utökas med andra typer av mätningar och även användas för att under längre tid kontrollera om det inträffar något alarmerande med konstruktionen. Exempel på typer av mätningar som kan utföras kan hämtas från referenslistan "Selected NGI references related to Instrumentation of Bridge Projects", [ix].

2.6 Problem - möjligheter

För många av de oförstörande mätmetoder som finns tillgängliga i dag för mätning och utvärdering av broars tillstånd finns ett behov av

erfarenhetsvärden från mätningar i fält, bl.a. för att den som upphandlar ett mätuppdrag ska kunna göra detta med relevanta krav.

Mätutrustningarna för mätning av betongkonstruktioner är i vissa fall tunga och resultaten begränsade till detektering av stora skador medan andra utrustningar kan mäta håligheter ner till 20 mm i diameter. Sprickor och tät armering kan göra att inga mätresultat kan erhållas bakom dessa och armeringen som går från ett stöd ner i en bottenplattan och kvarsittande stålspons kan göra att mätningar inte kan utföras med ett tillförlitligt resultat med dagens utrustningar och kunskaper. Vertikala sprickor är också svåra att detektera och tjocka konstruktioner svåra att undersöka.

Utvärderingen av mätresultaten från de i dag existerande icke förstörande mätmetoderna är också i en del fall komplicerade och tidskrävande.

För mätningar av betongens tillstånd under ett tätskikt är svårigheten att mäta igenom en beläggning som varierar i tjocklek, vatten- och kloridinnehåll. Ytterligare en komplikation vid exempelvis mätningar med georadar är variationer av tjockleken i det täckande betongskiktet som ger helt felaktiga resultat om armeringen ligger i det snitt som mäts.

För stål- och aluminiumkonstruktioner finns ett fåtal fältanpassade mätmetoder som i dag används i stor utsträckning för detektering av sprickor och för svagheter i material och svetsar. Då det gäller övervakande system som t.ex. reagerar på sprickor som propagerar, pågår en utveckling av utrustningar som bygger på akustisk emission.

För trä finns mät- och utvärderingsmetoder som sägs kunna användas på brokonstruktioner men då moderna träbroar är relativt nya företeelser och brobeståndet är av liten omfattning har ingen utveckling eller utvärdering skett inom detta område.

För spännarmerade betongkonstruktioner är det problem att mäta tillståndet hos spännarmeringen. Indirekt kan dock mätningar av tillståndet hos spännarmeringen mätas genom att injekteringsgraden i spännkabelrören kartläggs med hjälp av röntgen.

Det kan konstateras att det finns en stor utvecklingspotential både för komplicerade och för enkla och billiga mät- och utvärderingsmetoder för alla brokonstruktioner oavsett konstruktionsmaterial. Ett stort behov tycks också vara att synliggöra de metoder som redan finns så att dessa blir använda och att presentationen av mättnings- eller utvärderingsresultaten görs på sådant sätt att dessa blir tydliga.

Så kallade "Smarta system" börjar i dag att användas för mätning och utvärdering av broars tillstånd. Systemen kan bestå av strategiskt utplacerade mätkroppar, insamlingsenhet för mätdata och ett utvärderingsprogram som bearbetar insamlade data. Systemen kan bl.a. användas till att verifiera teoretiskt beräknade påkänningar, att övervaka miljöpåverkan och påverkan av last från trafik och väder på konstruktionsmaterialen och bärförmågan. Med dessa system finns möjligheter att bättre utnyttja konstruktionsmaterialen, konstruera säkrare

broar och kontinuerligt samla in data som kan användas för att bedöma bronns återstående livslängd.

Operativa hjälpmedel saknas då det gäller att med hjälp av en bro eller ett brobestånds tillstånd kunna göra en samhällsekonomisk bedömning av olika former av insatser för enskild bro eller ett brobestånd. För att detta ska vara möjligt måste ett system, som i grunden bygger på relevanta mätvärden, utvecklas.

3 Pågående och avslutad FoU

3.1 Allmänt

I detta kapitel beskrivs pågående och avslutad FoU i Sverige, Europa och övriga världen. Se även kapitel 2 Mätning och utvärdering av broars tillstånd.

Vid val av material till förstudien har nästan uteslutande material från 1994 och yngre tagits med. Se även 1.3 Avgränsning.

Från och med detta kapitel har mätmetoder skilts från utvärdering av broars tillstånd och fått egna rubriker.

I placeringen av de enskilda FoU-projekten som innehåller både mätmetoder och bedömning av effekterna av uppmätta värden har det tänkta slutresultatet av ett FoU-projekt fått styra.

3.2 FoU i Sverige

3.2.1 Mätning

Modifierad akustisk emission, är ett projekt som bedrivits vid LTU, Avdelningen för stålbyggnad. Projektet delfinansierades av Vägverket och ingår i ramprojektet "Mätning och utvärdering av broars tillstånd". Projektet har avslutats med en doktorsavhandling, "Crack Location in Steel Structures Using Acoustic Emission Techniques" [x]. I avhandlingen beskriver *Boström* en modifierad metod för att detektera sprickor i stålkonstruktioner. Med den modifierade metoden kan avståndet mellan givarna ökas från 2 till 20 m och även svaga signaler kan urskiljas då bruset i den registrerade signalen har reducerats till nästan noll.

Teknologin att med tvådimensionell avsökning skapa tredimensionella radarbilder har tidigare utvecklats. I rapporten "Geofysiska Metoder för Oförstörande Provning och Kartering" [xi], behandlar *Ulriksen/ Wiberg* tillverkning av en mindre och robustare skanner, tillämpning av denna teknologi på andra geofysiska mätmetoder och en inledande satsning att effektivisera själva sökteorin.

Rapporten består av tre olika delar; Mekaniska vågor, speciellt ultraljud och akustisk teknik, Magnetometri och elektrisk potential samt ett Robotkoncept och en beskrivning av ett tillverkat portalfordon.

Slutsatserna från alla ingående delar är att forskningen har givit mer kunskap men ytterligare utveckling måste till för att metoderna ska vara användbara och ge praktiskt användbara mätresultat.

En metod för mätning av broytors renhet avseende salter behandlas i en SP-Rapport [xii]. Rapporten är indelad i tre etapper; Anpassning av Bresle-metoden för provtagning och kvantitativ analys av salthalter på betongytor, Utprovning av utvecklad metod under fältmässiga förhållanden, Utarbetande av standardiserat provningsförfarande avseende fältanalyser av salthalter på broytor.

Slutsatserna är att projektet har resulterat i en mätmetod för att mäta broytors renhet med avseende på salter och att metoden fungerar bra under fältmässiga förhållanden.

Vid SP pågår BTB-projektet, "Beständiga Tösaltade Betongkonstruktioner". Projektet har hitintills presenterats i tre rapporter [xiii], [xiv] och [xv]

I projektet studeras i första hand kloridinitierad armeringskorrosion och saltfrostangrepp på betong i olika miljöer. De provkroppar av armerad betong som används i projektet kontrolleras och mäts. Mätmetoden som används för att mäta den inre nedbrytningen av betongen är ultraljudsmätning och för att mäta om armeringskorrosion pågår används elektropotentialmätning. Även korrosionsintensitet mäts. Det konstateras att det behövs ytterligare några års mätningar för att tillförlitliga slutsatser ska kunna dras.

Projektet, COST 345, "Procedures Required for Assessing Highway Structures" [xvi] och [xvii].

Vägverket deltar i projektet.

Projektet finns beskrivet under 3.3.2

Försöken med termografering av vägbro [xviii] har utförts på uppdrag av Banverket. Med en värmekamera har försök utförts för att kartlägga blåsor under tätskiktet på vägbro över järnvägen i Långbergsgatan i Strängnäs. Mätningarna utfördes vid lufttemperaturen 1,5 grader och temperaturen 3,5 grader på brobaneytan. Trots de låga temperaturerna gav mätningen utslag på sju avvikande ytor. Nya mätningar rekommenderades att utföras vid högre temperaturer för att verifiera de erhållna resultaten.

3.2.2 Bedömning

”Livslängdsmodellering”, är ett projekt som har som mål att utveckla LTU:s numeriska beräkningsmodell som är baserad på brottmekanik så att det går att räkna ut erforderligt täckande betongskikt med hänsyn tagen till både belastning och nedbrytningsprocesser. Projektet delfinansieras av Vägverket och ingår i ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd”. I projektet finns en delrapport som legat till grund för det fortsatta arbetet ”Effect of Tension Softening on the Performance of Concrete Structures, Experimental, Analytical and Computational Studies, [xix]. Arbetet beräknas avslutas under första halvåret 2000.

CONTECVET, är ett EU-projekt som arbetar med att ta fram en manual ”Manual for Assessment of Residual Service Life of Reinforced Concrete Structures” [xx] för fastställande av återstående teknisk livslängd för betongkonstruktioner, utifrån aktuellt tillstånd. Detta ska utföras med hänsyn tagen till nedbrytningsprocessernas förlopp och aktuellt gränsvärde för den tekniska livslängden. Projektet delfinansieras av Vägverket och ingår i ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd”. De deltagande länderna är England, som innehar ordförandeskapet, Spanien och Sverige. Från Sverige deltar CBI, som är koordinator i Sverige, VV, BV, Vattenfall och Skanska.

Projektet beräknas att avslutas våren 2001 med en färdigställd manual för fastställande av återstående teknisk livslängd för betongkonstruktioner.

Projektet har föregåtts av projektet Brite Euram 4062 ”Assessment of Residual Service Life of Reinforced Concrete Structures” [xxi]. Projektet lade grunden till den manual som nu testas och uppgraderas i CONTECVET-projektet.

Projektet, ”Konstbyggnaders reella livslängd”, har skapats en relationsdatabas över befintliga broar. Materialet i databasen har sedan använts för att beräkna broars verkliga livslängd. Projektet har resulterat i en licentiatsuppsats [xxii]. Doktorsavhandlingen beräknas komma ut under början av 2000.

Projektet ”Reparationers effekt på återstående livslängd hos konstruktioner” behandlar reparationers inverkan på broars livslängd. Projektet har resulterat i en licentiatsuppsats [xxiii] och en doktorsavhandling [xxiv].

3.3 FoU i Europa

3.3.1 Mätning

I FoU-projektet, "Beständige betongkonstruksjoner", [xxv] där ett av målen metoder och system för inspektion och övervakning av tillståndsutvecklingen i betongkonstruktioner. Projektet leds av Statens Vegvesen, Vegtekniska avdelningen, Norge och är ett samarbetsprojekt med byggindustrin.

FoU-projektet "Undersøkelse av injiserte spennkabler fra Loenga bru" [xxvi] går ut på att testa aktuella icke förstörande undersökningsmetoders tillförlitlighet och injekteringsgraden hos spännkabelrören. Då bron skall rivas verifieras provningsresultaten genom förstörande provning.

Första försöket som utfördes 1996 med Impact Echo gav negativt resultat då utrustningen inte kunde hitta kablarna.

Under rivningen togs flera element från broöverbyggnaden tillvara för ytterligare försök. Vid dessa försök lokaliserades spännkablarna med hjälp av radar och injekteringsgraden undersöktes med röntgen. Undersökningen utfördes av FORCE institut under hösten 1998.

Ett provstycke har också sågats upp och sänts till Vegteknisk avdelning för undersökning.

EU-projektet "MILLENNIUM (BE97-4871) – Instrumentering av store konstruksjoner for forbedret vedlikehold" [xxvi] som har som målsättning att utveckla optiska töjningsmätare som kan användas på stora broar.. I projektet finns det deltagare från Norge, England, Sverige, Frankrike och Grekland. Vegkontoret i Möre og Romsdal har en central roll i projektet.

Stickord för projektet är;

- Utveckla en processenhet som gör det möjligt att mäta töjningar i flera punkter längs ett optiskt fibersystem.
- Utveckla metoder för infästning i stål och betong för effektivare töjningsmätning.
- Rationalisera datahanteringen.
- Utveckling av datorprogram.
- Kostnader.
- Sårbarhet.
- Fältförsök på Mjosundet bro i Möre og Romsdal.

- Evaluering av resultat.

Projektet startade 1998 och beräknas pågå i tre år.

Ett nytt projekt, "Non Destructive Testing Method for Integrity Determination of Concrete Structures" [xxvii] är på väg att påbörjas. FORCE Institut är tänkt att driva projektet.

Projektet ska koncentreras omkring två huvudproblem inom området väg- och vattenbyggnad;

- Determination of structural integrity and quality of concrete structures of medium thickness (normaly < 1 m but up to 2.5 m) using non- destructiv testing.
- Inspection of pre-stressing cables and location and indification of reinforcing and asbuilt details.

Avsikten är att definiera de oförstörande metodernas möjligheter och tillförlitlighet/noggrannhet, att förbättra utvalda metoder genom utveckling av mätutrustning, databehandlingsmetoder och att etablera mätprocedurer för prioriterade problemställningar.

Projektets styrgrupp ska bestå av projektdeltagarna, arbetsgruppen och expertgruppen. Deltagarna och arbetsgruppen kommer bl.a. från statliga verk (Sverige, Norge, Danmark, Island), industrin och entreprenörer. Expertgruppen kommer från Lunds Universitet i Sverige och Olson Engineering i USA.

Svenska Vägverket deltar tills vidare som observatör.

Projektkostnaden beräknas till 6 500 000 NOK och projekttiden är 3 år.

Resultatet av projektet förväntas bli en handbok för val och användning av icke förstörande provning på konstruktioner inom väg- och vattenbyggnadsområdet.

TRL-paper, "Continues acoustic monitoring of grouted post-tensioned concrete bridges" [xxviii] presenterar ett FoU-projekt där ett brott i en spännkabel, eller del av en spännkabel, kan detekteras genom ett installerat akustiskt mätsystem. Försök har utförts med både injekterade spännsystem och icke injekterade. Systemet har också installerats på en järnvägsbro i trafik.

Sammanfattningen av projektet anger att resultaten av mätningarna blev exceptionellt bra. Det akustiska systemet kan effektivt analysera, klassificera och lokalisera brott i oinjekterade, delvis injekterade och helt injekterade spännsystem i efterspända brokonstruktioner.

Dokumentet, "Operation Successful, Patient Died- The Assessment of Structures as an Engineering (or a Medical) Problem" [xxix], beskriver

bl.a. svårigheten med att med icke förstörande undersökningsmetoder konstatera om ett spännkabelrör är helt eller delvis injekterat och vad som ska göras om spännkablarna inte är helt skyddade av cementinjekteringsmedlet.

Dokumentet, "Combined in-situ determination of the depth of carbonation and of the chloride content of concrete" [xxx] presenterar ett mildt förstörande provtagnings- och mätförfarande för att mäta klorider och pH-värden, karbonatisering, på olika djup i betong. Ett 19 mm hål borrar och borrhaxen analyseras i den ordning det borrar ut så att en kurva på pH-värde respektive kloridmängd på olika djup kan anges..

Det konstateras att, jämfört med de fältmätningar som används i dag, så ger denna nya utrustning mätresultat som ger en verklig bild av de sökta parametrarna medan de gamla mätmetoderna ger medelvärden på kloridinnehållet och en färgskiftning vid ett förutbestämt PH-värde.

Dokumentet, "Design of Structural Monitoring Systems" [xxxi] beskriver och diskuterar metoder och processer för övervakningssystem för olika konstruktioner. Inom t.ex. offshoreindustrin används övervakningssystem antingen som permanenta system eller som ad-hoc system vars uppgift är att ge information som kan ge maximal ekonomisk utdelning då det gäller utformning, byggande, användning och underhåll och reparation av den aktuella konstruktionen.

Dokumentet ger en detaljerad bild på hur nämnda system kan och bör byggas upp. Här diskuteras också vilka kostnadsbesparingar som kan uppnås i förhållande till vad det kostar att installera systemen.

"SMART STRUCTURES, Integrity Monitoring Systems for Durability Assessment of Concrete Structure" [xxxii]. Projektet testar övervakningssystem på en motorvägsbro som togs i trafik 1965. Mätroppar monteras in i bron och mätningar som ska täcka de vanligaste nedbrytningsmekanismerna utförs. Dessa är

- Chloride induced corrosion
- Carbonation of concrete
- Freeze-thaw damage
- Alkali-aggregate reaction
- Mechanical damage

Slutresultaten förväntas bli ett integrerat övervakningssystem och nya prototyper för övervakning av befintliga konstruktioner som innehåller följande;

- Prototype of integrated monitoring system

- A manual for site-tailoring of monitoring system
- A prototype of an integrated model for damage development
- Prototype of new probes for;
 - A. Moisture and temperature profiles
 - B. Corrosion risk (corrosion current or time to initiation)
 - C. pH-level
 - D. Chloride concentration
 - E. Strain and deflection (based on optical fibres)
 - F. Vibration and acoustics (based on optical fibres)
- Local data collecting units combined with a long-distance data-transfer system
- Projektet startade i september 1998 och ska pågå under 3,5 år.

3.3.2 Bedömning

Statens Vegvesen i Norge driver FoU-projektet, "IDV – Måling og analyse av konstruksjoner" [xxv]. Målsättningen är att öka kunskapen om hur konstruktioner beter sig. Det sker genom jämförelse av mätdata från avancerade konstruktioners statiska och dynamiska beteende och med beräknade värden. Metoden används också för att bedöma konstruktioners tillstånd och livslängd. Tekniskt består arbetet i instrumentering och fältmätning i full skala.

Statens Vegvesen i Norge deltar i EU-projektet "BRIME – Bridge management in europe" [xxxiii]. Projektet är ett samarbetsprojekt mellan vägmyndigheter i England, Frankrike, Slovenien, Spanien, Tyskland och Norge.

Projektet arbetar med förvaltningssystem för broar och beräknas avslutas under 2000.

Målsättningen i den norska delen av projektet är att vidareutveckla modeller för beräkning av och system för övervakning av kloridinträngning i betongkonstruktioner.

Projektet, COST 345, "Procedures Required for Assessing Highway Structures" [xvi] och [xvii], pågår under 3 år till april 2001. Målen för projektet är bl.a. att beskriva procedurer och dokumentation som behövs vid inspektion och bedömning av tillstånd för t.ex. i trafik tagna broar, tunnlar, kulvertar och stödmurar och att definiera fordrad framtida forskning.

Programmet innehåller följande punkter,

- Development of Highway Structures Database
- Assessment of Highway Structures Database
- Determination of Future European Requirements
- Specification of Procedures
- Development of Budgetary Planning Guidelines
- Development of Construction Guidelines
- Generation of Final Report
- Safety assessment of bridges

3.4 FoU, övriga världen

3.4.1 Mätning

”Field Observation and Vibration Test on the Tatara Bridge” [xxxiv] .

Mätningarna är utförda på Tatara Bridge som är en snedkabelbro med ett spann på 890 m. Brons totallängd är 1480 m.

Vibrationstester har utförts på bron, under november-december 1998, då beläggningen på brobanaplattan nästan var färdig. Vibrationerna åstadkoms med två ”exciters”.

Mätningar har också utförts på kablar och lådbalken vid stark vind och vind kombinerad med regn. Mätningar har utförts under två år fram till dess att bron togs i bruk.

Mätresultaten har sedan jämförts med kalkylerade värden. Resultatet av denna jämförelse ska användas till att på ett bättre och mer ekonomiskt sätt dimensionera broar i framtiden.

Motsvarande mätningar har utförts på en kontinuerlig trespanns snedkabelbro i stål med ett mittspann på 175 m och med sidospann på 75 m och en totallängd på 325 m. Detta har avrapporterats i rapporten ”Aerodynamic and Structural Dynamic Control System of Cable-stayed Bridge for Wind Induced Vibration” [xxxv].

”Field Observation of Aerodynamic Response of Meiko West Bridge” [xxxvi]. Mätningarna är utförda på Meiko West Bridge som består av två parallella snedkabelbroar med ett centrumavstånd på 50 m. Längsta spannen är 405 m långa och broarnas totallängd är 758 m.

Mätningar har också utförts på snedkablarna och lådbalken vid stark vind och vind kombinerad med regn. Under mätperioden utbröt det tre tyfoner.

Det var god överensstämmelse mellan resultaten vid jämförelse med mätningar utförda 10 år tidigare. Det kunde också konfirmeras att

vindtunnelförsök som utförts gav riktiga resultat då det gäller säkerhet och hållfasthet. När det gäller snedkablarna så var det inga problem med utmattningshållfastheten men för det högviskösa dämpningsgummit installerades övervakningsutrustning.

3.4.2 Bedömning

I rapporten "Lifetime reliability models for steel girder bridges" [xxxvii], beskrivs en sannolikhetsmodell för uträkning av stålbroars livslängd. En jämförelse har gjorts mellan resultaten från en modell som utvecklats i England för bedömning av livslängden och AASHTO LRFD code. Meningen med undersökningen var att skapa en tidsberoende sannolikhetskurva som bygger på sannolikhetsindex för varierande grad av korrosion och att utveckla en procedur för beräkning av möjlig kollaps för olika tidsavsnitt.

Praktiska prov har utförts på broar i Amerika och i England som har byggts efter AASHTO respektive BS 5400 coden. Sannolikhetsindex har beräknats för de utvalda broarna och det konstateras att det varierar både beroende av graden av korrosion och med vilken bestämmelse bron har konstruerats efter. Projektet har anknytning till ramprojektet Utvärdering av tillåten trafiklast för broar.

4 Behov av FoU

4.1 Allmänt

Behovet av att på ett kostnadseffektivt sätt kunna mäta och utvärdera broars tillstånd är i dag stort. Detta gäller för betong-, stål-, aluminium- och träkonstruktioner, för isoleringens täthet och för effekten av ytbehandlingar. Metoderna ska kunna användas vid verifiering av utfört arbete, en funktion eller en egenskap, skadekartering, inspektion, reparation och övervakning. Resultaten från mätningarna ska sedan kunna kopplas till system för bedömning av konstruktionens bärförmåga och återstående livslängd och till operativa system för att kunna utföra ekonomiska kalkyler.

För att en mätmetod ska kunna användas vid de nämnda mätningstillfällena måste vissa uppgifter om utrustningen som ska användas vara kända. Det gäller t.ex. om utrustningens fältmässighet, kapacitet, mätmetodens tillförlitlighet, det uppmätta mätvärdets noggrannhet, utrustningens förmåga att kartera en viss skada, restriktioner vid användning av utrustningen och kostnaden vid mätning med utrustningen.

I detta kapitel behandlas behovet av mät- och utvärderingsmetoder som kommer att finnas i och med att Europastandarden EN 1504-10, som behandlar reparationer av betongkonstruktioner, träder i kraft, behovet som kan utläsas ur BRO 94 och övriga behov av mät- och utvärderingsmetoder. Därefter beskrivs de FoU-ansökningar som kommit in till Vägverket inom ramprojektets område. Den sista delen av kapitlet ger förslag till prioriterade FoU-områden eller FoU-projekt.

4.2 Standarder med behov av mät- och utvärderingsmetoder

4.2.1 Europastandard, EN 1504-10

Vid utarbetandet av Europastandarden, EN 1504-10, med titeln, "Products and Systems for the Protection and Repare of Concrete Structures. Site Applications of Products and Systems and Quality Control of the Works" [xxxviii], kunde bl.a. konstateras att, bomknackning, den enklaste och mest använda metoden för att hitta skador i betongkonstruktioner, saknade metodbeskrivning. Problemet löstes med att en enkel beskrivning av förfarandet skrevs in i en informativ bilaga till standarden.

Det konstaterades även att det saknades standarder och metodbeskrivningar för många andra enkla mätmetoder.

Behovet av att inte glömma de enkla mätmetoderna, för de ibland mycket komplicerade metoderna, blev väldigt påtagligt då inte heller en enkel mätmetod kunde införas i standarden utan att en metodbeskrivning upprättats.

4.2.2 BRO 94

4.2.2.1 Elektrokemisk potentialmätning

I "BRO 94" [xxxix], bilaga 9-26, Elektrokemisk potentialmätning, potentialkartering, beskrivs hur mätningar kan utföras för att kartlägga eventuell pågående armeringskorrosion.

Det finns ett behov av en utredning som klarlägger vad det är vi mäter då vi använder oss av elektrokemisk potentialmätning och hur resultaten av mätningarna ska tolkas. T.ex. hur, förutom alla andra parametrar, påverkas mätresultaten av att betongytan är ytbehandlad.

4.2.2.2 Bomknackning

Vid inspektioner används bomknackning för att hitta delamineringar och andra relativt ytliga skador i betongen. Vid reparationer av broar används metoden för att efter bilning säkerställa att den skadade eller dåliga betongen avlägsnats och för att efter pågjutning hitta eventuell bom mellan ny och gammal betong. Metoden är enkel och bra men den ger inga mätvärden.

Här finns behov av en metodbeskrivning och också en vidareutveckling av metoden så att mätvärden erhålls. Detta gäller även generellt för alla mätmetoder, både enkla och mer komplicerade, som vi kan tänkas använda.

4.2.2.3 Injektering av spännkablar

Korrosion på spännarmeringen i förspända broar kan orsaka plötslig kollaps. I dag finns ett program för hur cementinjekteringen av spännkabelrören ska utföras för att få ett fullgott korrosionsskydd. Inget tyder på att detta inte lyckats men då spännkablarna i broarna ligger gömda inne i konstruktionen och således inte är inspekterbara så går det inte med säkerhet att fastställa om korrosion pågår eller inte.

Vid spännarmerade broar finns ett behov av att kunna kontrollera att cementinjekteringen i spännkabelrören och runt spännkabelrören är fullgod alternativt att ingen korrosion pågår.

4.2.2.4 Tåtskikt

På de flesta broar som byggts och som byggs i dag utförs en isolering (ett tåtskikt), enligt BRO 94, under asfaltbeläggningen för att skydda brobanepattan från kloridhaltigt vatten som kommer från tösaltningen.

Om läckage uppstår är det nästan uteslutande vid kanterna av isoleringen och vid genomgångar som t.ex. vid ytavlopp som läckage uppstår. Men det förekommer också läckage ute på brobanepattan t.ex. då en skyddsbetong vittrar sönder och gnager hål på isoleringen. Ett läckage kan orsaka stora skador innan det upptäcks.

Här finns ett behov av ett övervakningssystem mot läckage eller en metod att oförstörande titta under isoleringen om läckage förekommer är stort. I dag händer det inte bara att isoleringsbyte utförs för sent utan det förekommer också att isoleringen "för säkerhets skull" också bytts ut i onödan. Mycket pengar kan sparas här om en korrekt bedömning av isoleringens funktion kan göras.

4.2.2.5 Impregnering

Impregnering av betongytor på broar utförs i dag, enligt BRO 94, på ytor i vägmiljö. Impregneringen utförs för att skydda betongkonstruktionen från kloridhaltigt vatten som kommer från tösaltningen.

Trattmetoden är en mätmetod som kan användas för att utvärdera olika impregnerings effekter. En upp och nervänd glastratt limmas till den impregnerade betongytan och vatten fylls på till en förutbestämd höjd. Därefter mäts hur mycket vatten som tränger in i betongen. Metoden är svårhanterlig och kräver en obehandlad referensyta.

En metod som används för att kontrollera impregneringsmedlets inträngningsdjup i betongen är att ur betongen borra ut kärnor som sedan studeras optiskt. De urborrade betongkärnorna har också använts för att bestämma koncentrationsgradienten för impregneringsmedlet i betongen.

Det finns ett behov av att på ett effektivare sätt kunna mäta effekten av ytbehandlingen och även att kunna verifiera vilken produkt som använts. I dag köper vi en viss impregnering men har svårt att kontrollera vad vi får. Vi behöver också kunna mäta och beböma när en förnyad impregnering behöver utföras.

4.2.2.6 UV-gjutning

Vid undervattensgjutning föreskrivs en omfattande verifiering av den färdiggjutna bottenplattans kvalitet. Ett antal borrhärdar borrar ut från plattan. Betongcylindrarna okulärbesiktigas och vissa delar tryckprovas.

Här finns ett behov av att ersätta utbörningen med en icke förstörande provningsmetod.

4.2.3 Övriga behov av FoU

4.2.3.1 Skador i brokonstruktioner

I brokonstruktioner oberoende av material, kan uppstå olika typer av skador som ger förkortad livslängd eller nedsatt bärförmåga. Det kan t.ex. vara fel handhavande eller behandling av materialet, fel utförande, miljöpåverkan eller belastningsskador. Här finns ett behov av utveckling eller vidareutveckling av icke förstörande eller mildt förstörande provningsmetoder. Dessutom kan här finnas ett behov att t.ex. mäta på mycket ojämna ytor, underifrån och upp och på krökta ytor på t.ex. pelare. De flesta utrustningar som finns i dag är inte anpassade till sådana mätningar.

4.2.3.2 Smarta övervakningssystem

Smarta övervakningssystem, som kontinuerligt samlar in mätdata från en bro och som kan användas för verifiering av beräknade påkänningar, övervakning av miljöpåverkan eller lastpåverkan på en brokonstruktion, behöver studeras och utvecklas för i första hand stora och komplicerade broar. En del av systemet skulle även kunna gälla, vad som nämnts tidigare under punkt 4.2.2.4 Tätskikt, övervakning av en isoleringsfunktion.

Utvecklade anpassningsbara system kan utgöra en möjlighet att redan i upphandlingsstadiet bestämma om ett övervakningssystem ska användas och vilka parametrar som är lämpliga att beakta.

4.3 FoU-Ansökningar

4.3.1 Allmänt

Inom ramprojektet "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" område har ett antal FoU-ansökningar inkommit som det inte tagits ställning till då förundersökningen pågick. Ansökningarna har nedan sorterats in antingen under Mätning eller Bedömning.

4.3.2 Mätning

Ansökan 1997 och 1999 från KI.

"Metod för bedömning av korrosionstillståndet hos stålarmering i stora betongkonstruktioner – nordiskt samarbetsprojekt",

Projektet ska ta fram en praktiskt inriktad vägledning för tillståndsbedömning. Vägledningen ska innehålla beskrivning av lämplig instrumentering samt instruktioner för fältmätning och utvärdering av resultat.

Projektresultaten väntas kunna ge ökad säkerhet vid oförstörande mätning av korrosionstillståndet hos stålarmering i betongbroar, så att bedömningen av broars underhållsbehov blir effektivare.

Projektet är tänkt att pågå under tre år.

Ansökan 1998 från SP, Avd för Byggnadsteknik,

”Utveckling av teknik för kartläggning av armeringskorrosionshastighet i betongbroar”,

Projektet ska utveckla en snabb icke förstörande och tillförlitlig teknik för kartläggning av korrosionshastighet.

Resultatet förväntas bli en snabb metod för kartläggning av armeringskorrosionshastighet i betongbroar.

Projektet är tänkt att pågå under två år.

Ansökan 1998 och 1999 från LTH, Institutionen för Geoteknologi,

”Robotiserad Radar Hög upplösning Hög Hastighet, R2H3”,

Projektet ska ta fram ett produktionsmässigt system som kan ge mätdata av hög kvalitet och stor tillgänglighet. Utrustningen ska med ett minimum av trafikstörningar kunna lokalisera skadade partier på en väg eller en bro med så hög upplösning och noggrannhet att skadans läge och utsträckning direkt kan pekas ut. På broar ska en skada under eller läckage genom tätskiktet kunna detekteras.

Projektet är tänkt att pågå i tre år.

Ansökan 1999 från LTH, Institutionen för Geoteknologi,

”Automatiserad bomknackning, impedansmätning”

Projektet ska med hjälp av Impact-Echo, med en sensor som scannas, utveckla en effektiv metod för automatisk bomknackning.

Projektresultatet förväntas bli en direkt användbar effektiv utrustning för insamling och redovisning av data som visar defekter i en betongkonstruktion eller i injekteringen i spännkabelrör. Defekterna kan exempelvis vara hålrum, sprickor eller betong med lägre kvalitet.

Projektet är tänkt att pågå under tre år.

4.3.2.1 Stöd för EU-ansökan, FoU

Ansökan 1999 från SP, Avd för Byggnadsteknik,

EU-ansökan avseende SGIM-projektet, ”Improved inspection methods for concrete, steel and wooden structures”.

Vägverket, SV, stöder projektansökan genom ett rekommendationsbrev, då det ligger i vårt intresse att projektet genomförs så att fältmässiga icke förstörande mätmetoder tas fram.

Projektet är tänkt att genomföras med ett antal deltagare och med Cambridge Ultrasonics, ett SMF-företag, som koordinator för projektet.

I projektet ska utrustning och teknik utvecklas för icke förstörande inspektion av byggkonstruktioner. Metodiken baseras främst på ultraljudsteknik och "impact echo".

Projektresultaten förväntas bli fältmässigt anpassade utrustningar som ger tolkningsbara och relevanta mätresultat.

Projektet är tänkt att pågå under två år.

4.3.3 Bedömning

Ansökan 1997 från LTU, Avd för Konstruktionsteknik,

"Tillståndsbedömning av anläggningskonstruktioner",

Projektet ska utifrån ett antal analyser utforma riktlinjer och anvisningar för tillståndsbedömning av hela konstruktioner, baserade på ett antal prioriterade mätmetoder och till dessa hörande kriterier för resultatutvärdering.

Resultatet förväntas bli praktiskt inriktade rekommendationer och vägledningar om hur en tillståndsbedömning kan göras för olika konstruktionstyper.

Projektet är tänkt att pågå under två år.

Ansökan 1998 och 1999 från CTH, Institutionen för Betongbyggnad,

"Tillståndsbestämning av betongkonstruktioner med avseende på bärförmåga, funktion och beständighet - strategi och metod",

Projektet ska, med hjälp av strategier och metoder som används för offshorekonstruktioner i Nordsjön, utveckla strategi och metod för bestämning av tillståndet hos betongkonstruktioner m.a.p. bärförmåga, funktion och beständighet.

Resultatet förväntas bli utvecklade strategier och metoder som ska användas för bättre tillståndsbestämning främst på befintliga konstbyggnader i betong, broar, tunnlar etc., men också på nya.

Projektet är tänkt att pågå under fem år.

4.4 Förslag till delområden och -projekt

4.4.1 Allmänt

Av materialet som behandlats i denna förstudie framgår att det utförts och pågår många FoU-projekt inom ämnesområdet. Resultaten från dessa projekt bör beaktas eller föreligga innan ett projekt, med samma inriktning påbörjas. D.v.s. för stål-, aluminium- och träkonstruktioner och för ytbehandlingar och isoleringar bör inriktningen för fortsatt FoU, inom ramprojektet vara sådant att dubbelarbete undviks. Detta gäller också för Smarta system som följer, mäter, en konstruktions tillstånd under byggandet eller driftskedet. De pågående FoU-projekten som är av sådan art finns, för att det ska vara enkelt att identifiera, listade nedan.

De pågående FoU-projekt som ska bevakas och beaktas är då det gäller Mätning

- Undersökelse av injiserade spennkabler fra Loenga bru, Statens Vegvesen, Norge
- Non Destructive Testing Method for Integrity Determination of Concrete Structures, FORCE Institut
- EU-ansökan avseende SGIM-projektet, "Improved inspection methods for concrete, steel and wooden structures", SP
- Bestandiga Betongkonstruktioner, Statens Vegvesen, Norge
- MILLENNIUM (BE97-4871) – Instrumentering av store konstruksjoner for forbedret vedlikehold, EU-Projekt
- SMART STRUCTURES, Integrated Monitoring Systems for Durability Assesment of Concrete Structure, BRITE/EURAM 1997 – Project No. 4810.

De pågående FoU-projekt som ska bevakas och beaktas är då det gäller Bedömning

- IDV-Målning och analyse av konstruksjoner, Statens Vegvesen, Norge
- CONTECVET
- COST 345, Procedures Required for Assessing Highway Structures
- BRIME – Bridge management in Europé, Statens Vegvesen, Norge

Vid prioriteringen av FoU- områden eller- projekt har bl.a. hänsyn tagits till om liknande projekt pågår. FoU-områdena eller -projekten som ska ingå i underlaget för projektansökningar för ramprojektet finns rangordnade under punkt 4.4.2 till 4.4.10.

Rangordningen är sådan att det mest angelägna området eller projektet står först och sedan kommer det näst angelägnaste o.s.v.

4.4.2 Delområde - Tätskikts funktion

4.4.2.1 Bakgrund

Läckage genom ett tätskikt på en betongkonstruktion kan orsaka stora skador innan det upptäcks. I dag finns ingen bra metod att undersöka om läckage förekommer. På broar har omfattande försök att detektera läckage utförts med georadar. Försöken har dock inte givit önskat resultat.

I dag finns dock mer utvecklad mätteknik och bättre utvärderingsmöjligheter av mätresultaten än vad som tidigare var fallet, vilket tyder på att metoden kan vara användbar för detta ändamål.

Ett mindre försök att detektera blåsbildning under en isoleringsmatta har utförts med värmekamera med lovande resultat. Metoden kan vara användbar även för detektering av läckage genom tätskiktet.

Ett tredje sätt att angripa problemet kan vara att använda ett övervakningssystem mot läckage genom tätskiktet. Ett mindre försök har utförts på en bro i närheten av Landvetter flygplats som visar att systemen kan fungera om mätropparna kan tillverkas av beständiga material.

De nämnda metoderna ska ses som exempel och inte som begränsningar vid projektansökningar.

Resultat av FoU-projekt inom delområdet förväntas bli en eller flera mätmetoder för detektering av läckage genom tätskikt.

4.4.3 Delområde - Undersökning av spännkablar

4.4.3.1 Bakgrund

I dag finns inget utvecklat system för hur spännkablers tillstånd ska kunna bedömas. Dock kan under vissa förutsättningar spännkablers tillstånd indirekt bedömas genom att injekteringsgraden i spännkabelrören kartläggs med hjälp av röntgen. Mer eller mindre lyckade försök har utförts med syfte att komma fram till användbara metoder för inspektion av ingjutna spännsystem.

Del-området har två huvuddelar varav den ena är detektering av injekteringsgraden i spännkabelrören och den andra är detektering av pågående korrosion och korrosionshastigheter på spännkablar.

System för övervakningen av spännsystem tas upp under 4.4.7 Övervakningssystem.

4.4.4 FoU-projektet - Mätning av korrosionshastighet på armering ingjuten i betong

4.4.4.1 Bakgrund

Den mest omfattande skadeorsaken på våra betongbroar är armeringskorrosion. Enkelt beskrivet kan armeringen korrodera på grund av klorider i betongen eller karbonatisering av betongen i skiktet vid armeringen. De metoder som använts i dag för mätning av korrosionshastigheter är svårtolkade. Behovet är dels bättre metodbeskrivning av den metod som används i dag och dels nya, snabbare och mer exakta mätmetoder för korrosionsmätning.

4.4.4.2 Förväntat resultat.

Mätmetoder för kartering av pågående korrosion och bestämning av korrosionshastigheter som är mer tillförlitliga och exakta än de metoder som används i dag.

4.4.4.3 Resurser och tidplan

Projektet beräknas pågå under tre år.

Kostnaden för projektet uppskattas till totalt 400 kkr.

4.4.5 FoU-projektet - Mätning av impregneringsdjup och inträngningsprofil

4.4.5.1 Bakgrund

Impregnering, utförs i dag på brotytor i vägmiljö, för att förhindra inträngning av klorider och vatten i betongen. En rationell metod behövs för att mäta impregneringsgraden, för identifikation av använt material och för att kunna bedöma när en förnyad impregnering behöver utföras.

4.4.5.2 Förväntat resultat

Resultatet av projektet förväntas bli en mätmetod som kan mäta impregneringsmedlets inträngningsdjup, ange en materialprofil (mängd material på olika djup) och en identifikation på vilket material som använts.

4.4.5.3 Resurser och tidplan

Projektet beräknas pågå i ett år.

Kostnaden för projektet uppskattas till totalt 200 kkr

4.4.6 FoU-projektet - Mätning av klorider och karbonatisering i täckande betongskiktet

4.4.6.1 Bakgrund

En delvis förstörande mätmetod där 19 mm hål borrar för att mäta klorider och karbonatisering i betong på olika djup beskrivs i litteraturen. Försök bör utföras för att utröna om metoden är tillförlitlig.

4.4.6.2 Förväntat resultat

Resultatet som förväntas från projektet är en klar indikation på om mätmetoden är lämplig för ändamålet och om det är värt att satsa på en större undersökning för att ta fram bedömningsgrunder för tolkningen av enskilda mätningar.

4.4.6.3 Resurser och tidplan

Projektet beräknas pågå i två år.

Kostnaden för projektet uppskattas till totalt 300 kkr

4.4.7 Delområde - Övervakningssystem

Smarta övervakningssystem ska kontinuerligt kunna samla in mätdata från en bro. Mätvärdena ska sedan kunna användas för verifiering av beräknade påkänningar, övervakning av miljöpåverkan eller lastpåverkan på en brokonstruktion. Systemen behöver i första hand utvecklas för stora och komplicerade broar.

De system som utvecklas ska kunna anpassas för betong- stål- aluminium- och träbroar. Metoder för att redan i upphandlingsstadiet bestämma om ett övervakningssystem ska användas och vilka parametrar som är lämpliga att beakta bör utvecklas.

4.4.8 Delområde - Kvalitetskontroll av utförd gjutning och detektering av byggsador

4.4.8.1 Bakgrund

Vid gjutning under vatten kontrolleras den gjutna konstruktionen med provtagning genom provborring. Vid denna typ av konstruktioner och vid misstanke om byggsador, gjutsador, finns ett behov av att, genom att använda icke förstörande metoder, kunna detektera skador i betongkonstruktionen.

Med de mätmetoder som utvecklas ska kontrollen av den undervattensgjutna betongkonstruktionen kunna utföras utan att i nämnvärd grad störas av armeringen och kvarsittande form.

4.4.9 FoU-projekt - Egenskapsbestämning av trä

4.4.9.1 Bakgrund

Egenskaperna för trä beror huvudsakligen på trämaterialens densitet. En fältmetod finns utvecklad för densitetsbestämning av trä. Resistorgrafen, som är benämningen på mätutrustningen, mäter densitetsprofilen genom att mäta motståndet vid borrning i träkonstruktionen. Jämförande försök att kontrollera röta i trä med AC-impedans ingår.

4.4.9.2 Förväntat resultat

Projektet förväntas ge, en för hållfasthetsbestämning av trä, användbar mätmetod.

4.4.9.3 Resurser och tidplan

Projektet beräknas pågå i två år.

Kostnaden för projektet uppskattas till totalt 250 kkr

4.4.10 Delområde - Kartering av inre skador

Kartering av inre skador i en brokonstruktioner, med hjälp av icke försörande eller milt förstörande mätmetoder, är ett FoU-område som behöver utvecklas för de fyra konstruktionsmaterialen betong, stål, aluminium och trä. Skadorna kan uppstå av många orsaker och får ofta till följd nedsatt bärförmåga och kortare livslängd för bron. Skadorna kan t.ex. bero på misstag begångna vid konstruerandet eller vid byggandet av bron. Skadorna kan också bero på överbelastning då bron är i trafik.

Resultatet som förväntas från projektet är mätmetoder som till rimliga kostnader och på ett smidigt sätt kan mäta av stora ytor under kort tid. Önskvärt är också att mätmetoderna ska kunna användas av broinspektörerna vid de fastställda inspektionstillfällena. Resultatet av mätningarna ska vara en karterad skadebild där skadan kan lokaliseras i höjd och sidled och bedömas så att det går att besluta om ytterligare åtgärder fordras.

4.5 Behov av utredning

4.5.1 Allmänt

Under detta kapitel tas behovet av utredningar upp. I vissa fall föreslås en utredning i stället för ett FoU-projekt t.ex. då tekniken finns men den behöver provas för att få veta tillförlitligheten vid användning. En utredning föreslås också om den förväntas ge upplysningar om ett FoU projekts möjligheter att komma till uppställda mål.

4.5.2 Mätning av klorider på betongyta

4.5.2.1 Bakgrund

En enkel oförstörande mätmetod för att mäta klorider på en stålyta finns utvecklad. Vissa försök att mäta klorider på betongytor har också utförts med lovande resultat. Ytterligare försök bör utföras för att utröna om det är möjligt att mäta kloridhalten i betongytan och sedan kunna bedöma hur kloridprofilen i betongen ser ut.

4.5.2.2 Förväntat resultat

Resultatet som förväntas från projektet är en klar indikation på om mätmetoden är lämplig för ändamålet och om det är värt att satsa på ett större projekt för att ta fram bedömningsgrunder för tolkningen av enskilda mätningar.

4.5.2.3 Resurser och tidplan

Projektet föreslås som en utredning och beräknas pågå under två år.

Kostnaden för utredningen uppskattas till totalt 250 kkr

5 Referenser

- [i] "Förstudie Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper ", Vägverket, 2000-01
- [ii] "Förstudie till FoU-ramprojekt Optimala standarder (bro)", Vägverket, 1999-12
- [iii] "Förstudie till FoU-ramprojekt "Utvärdering av tillåten trafiklast", Vägverket, 1998-12
- [iv] Shaw P, "Bro O 1442 Undavägen, kompletterande OFP-mätningar på brodäck och provstycke" , Force Institutet, 1999
- [v] Tegland J-B, "Provning av injektering av spännkablar i O 1442", Vägverket Konsult, Rapport 1999
- [vi] Pettersson K, "Mätning och utvärdering av broars tillstånd", Erfarenhetsinsamling av dagens kunnande, CBI, Uppdragsrapport nr 99058
- [vii] Berstone C, "Utvärdering av befintliga metoder för tillståndskontroll av betong i kraftanläggningar", Elfors Rapport 99:45
- [viii] The Norwegian road to Improved Bridge Quality. Instrumentation, Documentation and Verification, Norwegian Public Roads Administration, Research Council of Norway, 1994
- [ix] Selected NGI references related to Instrumentation of Bridge Projects, Norges Geotekniske Institutt, 1998
- [x] Boström S, "Crack Location in Steel Structures Using Acoustic Emission Techniques, Doctoral Thesis 1999:40", Doktorsavhandling, LTU 1999
- [xi] Ulriksen P och Wiber U, "Geofysiska Metoder för oförstörande provning och kartering", Lunds Tekniska Högskola 1995
- [xii] "Metod för mätning av broytors renhet avseende salter", Rapport, SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut 1996
- [xiii] 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, SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 1999
- [xiv] 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, SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 1999

-
- [xv] Pettersson K, "Redovisning av potential-och korrosionshastighetsmätningar på armerade provkroppar vid RV 40", Delområde 1.2 – Korrosionsprocessen, Beständighet tösaltad betong, Rapport nr 13, SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, 1998
 - [xvi] "Minutes of the 1st meeting of the COST 345 Management Committee held in Brussels on 29th June 1999", EURO-COST 345/1/99
 - [xvii] "Proposal for a new COST Action: "Safety Assessment of Bridges" (Slovenia)", COMTECH/19/99
 - [xviii] Adalberth K, "Termografering av vägbro, Vägbro över järnvägen i Långbergsgatan i Strängnäs", AB Jacobsson & Widmark 1997
 - [xix] Keivan Noghabai, "Effect of Tension Softening on the Performance of Concrete Structures, Experimental, Analytical and Computational Studies", Doktorsavhandling, LTU 1998
 - [xx] Fagerlund G, "Manual for Assessment of residual service life of reinforced concrete structures" Report TVBM-7117, Lunds Institute of Technology 1997
 - [xxi] "Manual for Assessment of residual service life of reinforced concrete structures" Part 1, Brite Euram project 4062, 1993-1996
 - [xxii] Racutanu G, "Konstbyggnaders reella livslängd", Licentiatavhandling, KTH, 1998
 - [xxiii] Paulsson J, "Effects of Repairs on the Remaining Life Concrete Bridge Decks", Licentiatavhandling, KTH, 1997
 - [xxiv] Paulsson-Tralla J, "Service Life of Repaired Concrete Bridge decks", Doktorsavhandling, KTH, 1999
 - [xxv] Næss SO, "FoU Prosjekter 1998", Intern rapport nr. 2063, Statens vegvesen, Vegdirektoratet 1998
 - [xxvi] "FoU-prosjekter 1998, FoU-områder, Prosjektbeskrivelser", Rapport 99-04, Statens vegvesen, Vegdirektoratet
 - [xxvii] Klinghoffer O, "Non-destructive testing methods for integrity determination of concrete structures", Force Institute, 1999
 - [xxviii] Cullington, MacNeil, Paulson och Elliott, "Continuous acoustic monitoring of grouted post-tensioned concrete bridges", A paper presented at the 8th International Structural Faults and Repair Conference, 1999
 - [xxix] Vogel T, "Operation successful, patient died – the assessment of structures as an engineering (or a medical) problem", Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland, International Conference at the University of Dundee, 1999

-
- [xxx] Guisa PJ, Gatz H-P, "Combined in-situ determination of the depth of carbonation and of the chloride content of concrete", Federal Highway Research Institute Germany, International Conference at the University of Dundee, 1999
- [xxxi] J. Laigaard Jensen, Lars Pedersen, "Design of Structural Monitoring Systems", IABSE Conference, Cable-Stayed Bridges, Malmö, 1999
- [xxxii] "Smart structures, Integrated monitoring systems for durability assesment of concrete structures" BRITE/EURAM 1997, Projekt No. 4810
- [xxxiii] Malm Cornejo G och Fluge F, "Betongkontoret, Årsplan 1999", Intern rapport nr. 1092, Statens vegvesen, Vegdirektoratet, 1999
- [xxxiv] Kazunori Yamaguchi, Yasuhiro Manabe, Nobuyuki Sasaki, Kunihiro Morishita, "Field Observation and Vibration Test on the Tatara Bridge", IABSE Conference, Cable-Stayed Bridges, Malmö, 1999
- [xxxv] Masao Miyazaki, "Aerodynamic and Structural Dynamic Control System of Cable-stayed Bridge for Wind Induced Vibration", IABSE Conference, Cable-Stayed Bridges, Malmö, 1999
- [xxxvi] Yuji Suzuki, Kazuyuki Mizuguchi, Satoru Sakuma, Toshiaki Maekawa, Toshio Ueda, Yoshikazu Kobayashi, "Field Observation of Aerodynamic Response of Meiko West Bridge", IABSE Conference, Cable-Stayed Bridges, Malmö, 1999
- [xxxvii] C.-H. Park, A.S. Nowak, "Lifetime reliability models for steel girder bridges", C.-H. Park, A.S. Nowak, International symposium Safety of Bridges, p 189-202, 1996
- [xxxviii] "Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality control and evaluation of conformity – Part 10: Site application of products and systems and quality control of the works", CEN, draft prEN 1504-10, 1999-08-23
- [xxxix] "BRO 94", Allmän teknisk beskrivning för broar, Vägverkets publikation 1994:2, :3, :4, :6, :7, :8, 1999:18-21, 1994 samt 1999