

Förstudie till FoU-ramprojekt

Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper

Förord

Upphandling på funktioner förutsätter att det redan i upphandlingsskedet kan verifieras att en viss funktion sannolikt kommer att uppfyllas under hela livslängden. Verifieringsmetoder för broars funktioner (egenskaper) i upphandlingssammanhang saknas eller är bristfälliga i nuläget. Föreliggande förstudie ”Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper” behandlar behovet av metoder för verifiering av broars egenskaper, funktioner.

Borlänge 2000-01-20

Susanne Troive

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
2 Funktionsbaserade regler	8
2.1 Allmänt	8
2.2 Målbild	10
2.3 Funktionskrav	10
2.4 Funktionskriterier	12
2.5 Acceptabla lösningar	12
3 Angränsande områden	15
3.1 Livslängdsbedömningar	15
3.2 Upphandlingsformer	15
4 Pågående och avslutad FoU	18
4.1 Allmänt	18
4.2 Sverige	18
4.3 Europa	19
4.4 Övriga världen	19
4.5 Angränsande förstudier	19
5 Utredningsbehov	20
5.1 Allmänt	20
5.2 Identifiering av funktionskriterier för broar	20
5.3 Identifiering av befintliga verifieringsmetoder	20
5.4 Upphandlingsfrågor	21

6	Behov av FoU	22
6.1	Allmänt	22
6.2	Utveckling av nya verifieringsmetoder	22
6.3	Modeller och metoder för tillståndsutveckling och livslängdsbedömning	23
7	Referenser	24

Sammanfattning

Denna förstudie omfattar en övergripande kunskapsinventering inom ramprojektet ”Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper”.

För att skapa större frihet vid utformning, dimensionering och byggande av konstruktioner pågår en utveckling mot att kraven på konstruktionerna ställs i form av krav på funktioner eller egenskaper. Tidigare ställdes kraven framförallt som ställföreträdande krav och detaljkrav, vilka tillsammans skulle ge konstruktionen den önskade funktionen. Denna utveckling mot funktionskrav kräver utveckling av verifieringsmetoder med vilkas hjälp det kan säkerställas, med en viss sannolikhet, att den önskade funktionen erhålls.

Funktionskrav på broar kan ställas på olika sätt. Målområden kan innefatta såväl trafiksäkerhet, tillgänglighet, miljöhänsyn och kostnadseffektivitet. Ju mer övergripande kraven betraktas, ju svårare blir det att verifiera kravuppfyllelsen. När funktionskraven är svåra att fastställa kan krav ställas på egenskaper istället. Dessa kallas då ställföreträdande funktionskrav. Genom att bryta ner de övergripande funktionskraven till mindre, mer väldefinierade funktionskriterier kan behovet av verifieringsmetoder identifieras.

Funktionerna och egenskaperna förändras över tiden. Med verifieringsmetoderna ska det verifieras att funktionen eller egenskapen uppfyller kraven vid dels verifieringstillfället och dels, med en viss sannolikhet, under hela den tekniska livslängden.

Utveckling och utarbetande av verifieringsmetoder förutsätter att tydliga funktionskriterier för upphandling av broars egenskaper finns. På grund av att funktionskriterier till stor del inte är definierade för broar har inga konkreta delprojekt föreslagits inom ramprojektet. Det behov av utredning, forskning och utveckling som hittills kunnat identifieras har dock redovisats i förstudien. Ramprojektet föreslås öppnas för ansökningar.

Föreliggande förstudie och förstudierna ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd” och ”Tillåten trafiklast på broar” behandlar delvis samma område varför gränsdragningen försåras. Det föreslås därför att dessa tre förstudier på sikt slås samman till ett och samma ramprojekt.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Som väghållare och beställare ska Vägverket ange de krav som kan ställas på broarna för att möta samhällets krav. Traditionellt har detta till stor del skett med specificerade tekniska lösningar i de tekniska beskrivningarna, exempelvis genom detaljerade specifikationer av materialsammansättningar, dimensioneringsmetoder, utförandemetoder och kontrollsystem.

Genom att istället ställa krav på funktioner, ges större frihet att utforma konstruktionen. Projekteringen kan sammankopplas med produktionen, och materialutveckling, utformning och utförande/kontroll kan bidra till en bättre färdig produkt. Bland andra fördelar kan nämnas att nya tekniska lösningar, nya material eller materialsammansättningar etc. lättare kan introduceras och konkurrera med befintliga utifrån funktionskriterier. En förutsättning för att detta ska kunna ske är att tillförlitliga och i princip materialoberoende verifieringsmetoder, som kan användas för att verifiera att önskad funktion erhålls, utvecklas.

Funktionskrav ska tillämpas i så stor omfattning som möjligt inom Vägverket, *Vägverket, 1995*. Funktionskraven är övergripande, och bryts där för ner till funktionskriterier. Funktionskriterierna ska utformas så att de är verifierbara, med angivna målnivåer samt godtagbara toleranser. För att säkerställa att funktionskriterierna uppfylls behövs verifieringsmetoder. Dessa behövs både i upphandlingsskedet, inför att bron öppnas för trafik samt, i samband med drift- och underhållsentreprenader, vid överlämnandebesiktningen. Verifieringsmetoder för broars funktioner (egenskaper) i upphandlingssammanhang saknas eller är bristfälliga i nuläget. Om bättre verifieringsmetoder utvecklas blir de ett hjälpmedel för att uppnå önskvärda funktioner hos broar.

1.2 Syfte

Idag ställer Vägverket krav på bl.a. trafiksäkerhet, beständighet, miljöpåverkan, estetik och ekonomi. För att säkerställa att broarna uppfyller Vägverkets krav, då dessa uttrycks som funktionskriterier, behövs verifieringsmetoder. Pålitliga verifieringsmetoder som tidigt kan förutsäga om funktionskriterierna sannolikt kommer att kunna uppfyllas under bronns hela livslängd behöver utvecklas.

Genom att systematiskt öka kunskaperna om funktionernas och de ställföreträdande egenskapernas innehåll och utveckling kan verifieringsmetoder tas fram. Verifieringsmetoderna skall vara möjliga att använda i upphandlingsskedet. På så sätt möjliggörs funktionsupphandling av broar, vilket i sin tur kan verka som en drivkraft för bättre utnyttjande av

tillgänglig kunskap och utveckling av nya tekniska lösningar, nya materialsammansättningar och bättre produktionsmetoder. Sammantaget skapas förutsättningar för mer kostnadseffektiva broar som är bättre anpassade till de krav som ställs på broars egenskaper, funktioner.

De krav som Vägverket ställer på en bro kan komma att ändras under brons livslängd varför flexibilitet, det vill säga möjligheter till framtida förändringar av konstruktionen, bör beaktas vid framtagandet av funktionskriterierna. En viss robusthet bör också värderas positivt, så att konsekvenserna av eventuellt förekommande brister i bärförmåga, eller överlast, inte blir allt för allvarliga.

Föreliggande förstudie har arbetats fram för att beskriva begreppen m.a.p. funktionskrav samt tydliggöra vilka problem vi har att brottas med och behovet av pålitliga verifieringsmetoder.

Det kommande FoU-ramprojektet förväntas i första hand ge positiva effekter på målen effektivitet och vägkapital. Förstudien till ramprojektet har föreslagits i FoU-planen.

1.3 Avgränsning

I föreliggande förstudie har strukturen för funktionsbaserade regler beskrivits. Utifrån denna har behovet av verifieringsmetoder behandlats i stora drag. Vartefter funktionskriterierna identifieras kan behovet av verifieringsmetoder förtydligas.

Forskning och utveckling avseende verifieringsmetoder ligger olika långt fram beroende på vilka funktionskriterier som ska verifieras och vilka material och miljöer som behandlas. Förstudien gör inget anspråk på att specificera vilka verifieringsmetoder som existerar och vilka som saknas, utan endast att ge en övergripande bild av behovet och kopplingen till funktionskriterier.

I förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" behandlas metoder att bestämma tillståndet och sedan utvärdera detta mot ställda krav. Tyngdpunkten i förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" ligger på provningsmetoderna medan tyngdpunkten i föreliggande förstudie ligger på identifiering av funktionskraven. I förstudien "Tillåten trafiklast på broar" behandlas laster, lastmodeller och bärförmågemodeller. Ingen egentlig avgränsning har gjorts mellan förstudierna och de behandlar därför delvis samma område. Det föreslås därför att föreliggande förstudie slås samman med förstudierna "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" och "Utvärdering av tillåten trafiklast" i ett och samma ramprojekt.

2 Funktionsbaserade regler

2.1 Allmänt

I många länder pågår en övergång till att basera kravspecifikationerna på funktioner. Denna utveckling har medfört frågeställningar om hur dessa krav kan verifieras, speciellt vad gäller kravuppfyllanden på lång sikt.

För att säkerställa att kraven på funktionerna uppfylls måste de kunna mätas och värderas, kvantitativt eller kvalitativt. Om kraven på funktionerna kan brytas ner till mindre mätbara enheter blir verifiering av deras uppfyllelse möjlig. Denna nedbrytning kan vara mer eller mindre omfattande, och ske i flera steg. Många delbeslut som påverkar slutresultatet måste fattas, t.ex. vilka aspekter som är viktiga respektive möjliga att ta med i bedömningen. Efterhand som kunskapen inom området ökar, så kommer fler funktioner att kunna upphandlas efter funktionskrav.

Vid teoretisk behandling av funktionskrav finns en viktig princip som säger att funktionskraven ska vara oberoende av varandra och så få som möjligt, *Suh, 1990*. Även om detta i praktiken inte kan genomföras fullt ut, är det viktigt att beakta. Risker är annars att allt för många, och av varandra beroende krav, ställs och då kan bästa lösningen inte erhållas.

Funktionsbaserade regler struktureras hierarkiskt. De kompletta reglerna består av, jfr. *Chown, 1999*:

- Målbild
- Funktionskrav
- Kvantitativa funktionskriterier
- Acceptabla lösningar

Målbilden avser att identifiera övergripande mål för vägtransportsystemet som trafiksäkerhet, miljöhänsyn, tillgänglighet etc. Dessa mål bryts ner i händelser som kan påverka målbilden och orsaker därtill, jfr. Figur 1. När nedbrytningen av målbilden har blivit så specifik att samtliga händelser inkl. orsaker som kan påverka målbilden har identifierats, så kan funktionerna definieras.

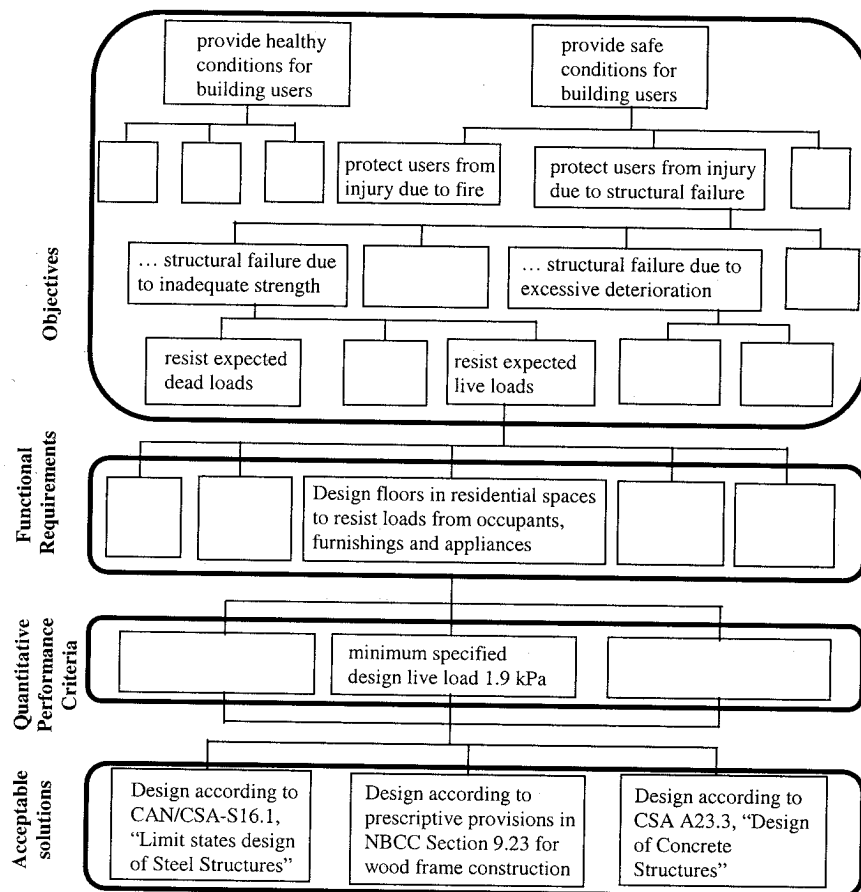
I funktionskraven definieras vilka krav som ställs på olika typer av funktioner för att målbilden ska uppnås. Eventuellt måste först mer övergripande funktionskrav ställas för konstruktionen som helhet. Dessa bryts sedan ner till mer specificerade funktionskrav för enskilda brodelar. När funktionskraven är svåra att fastställa, kan krav på egenskaper användas istället. Dessa kallas då ställföreträdande funktionskrav.

När funktionskraven har brutits ner så att de är möjliga att kvantifiera kan de kallas funktionskriterier. Med de kvantitativa funktionskriterierna specificeras vilka gränsvärden som kan tolereras för egenskaperna eller

funktionerna. Om funktionskriterierna inte är kvantitativa kan de inte verifieras.

De acceptabla lösningarna kan vara t.ex. verifieringsmetoder, tekniska lösningar eller produkter. Genom att utveckla metoder genom vilka funktionskriteriernas uppfyllelse kan verifieras, behöver tekniska lösningar eller produkter inte specificeras. De acceptabla lösningarna utgör exempel på hur funktionskriterierna kan uppfyllas. Möjligheten att använda andra lösningar är öppen, om det kan verifieras att funktionskriterierna uppfylls.

Exempel på hur funktionsbaserade regler kan struktureras visas i nedanstående figur, Figur 1.



Figur 1. Exempel på hur funktionsbaserade regler kan struktureras. Chown, 1999.

I figuren visas exempel på hur funktionsbaserade regler för byggnader kan struktureras upp i målbild med händelser och orsaker, funktionskrav, kvantitativa funktionskriterier och acceptabla lösningar. Exemplet avser en byggnad. Motsvarande struktur kan tas fram för broar och brodelar.

2.2 Målbild

För att kunna ställa funktionskrav, dvs. krav på funktioner, eller krav på ställföreträdande egenskaper, måste målbilden specificeras och brytas ner. Målbilden avser vägtransportsystemet som helhet.

I Vägverkets ”Inriktningsprogram för FoU åren 2000 – 2009” anges följande målområden för FoU, *Vägverket, 1999*: säker trafik, god miljö, tillgänglighet, effektivitet och system. För närmare beskrivning av respektive målområde hänvisas till *Vägverket, 1999*. Målbilden kan också beskrivas med olika satsningsområden i Vägvisarserien, *Vägverket, 1988*. Ett annat alternativ är att utgå ifrån de transportpolitiska målen: tillgängligt transportsystem, hög transportkvalitet, säker trafik, god miljö och positiv regional utveckling, *Vägverket, 1999*. För broar kan kanske målbilden beskrivas enligt följande:

- tillgänglighet/framkomlighet,
- beständighet,
- trafiksäkerhet,
- miljö,
- estetik,
- kostnadseffektivitet och
- samhällsansvar,

men även

- optimal livslängd,
- flexibilitet och
- robusthet.

Vad som ingår i vart och ett av dessa krav kan naturligtvis diskuteras. Vissa aspekter kan hänföras till en eller flera av dem. Det viktiga är inte vart en aspekt hänförs, utan att samtliga nödvändiga aspekter uppmärksammas.

Målbilden bör brytas ner så att alla nödvändiga aspekter på bron beaktas. Många aspekter i målbilden är desamma för bron som för vägen. Nedbrytningen av målbilden kan struktureras på olika sätt. För exempel på hur utveckling av dessa storheter kan göras, och deras koppling till olika händelser och orsaker, jfr. Figur 1.

2.3 Funktionskrav

När målbilden är fastställd och har brutits ner till en så pass detaljerad nivå att funktionskrav kan ställas görs detta dels för hela bron och dels för dess olika delar.

I de fall då uppdelningen av en målbild inte räcker för att fastställa funktionskraven för en bro eller brodel, kan istället funktionskraven definieras mer övergripande för att sedan brytas ned till mer specifika krav. Ett sätt att strukturera upp kraven i högre detaljeringsgrad är att utgå ifrån vilka olika intressenter som ställer krav på en bro. Intressenterna kan delas in i, jfr. *OECD, 1997* och *Nilsson, 1995*:

- Riksdag/regering
- Väghållare
- Användare
- Tredje man

Riksdag och regering fattar de politiska besluten, i form av riktlinjer, lagar och förordningar och är ställföreträdare för samhället och medborgarna. Väghållare kan vara Vägverket, kommunerna, organisationer eller privatpersoner. Väghållaren ska beakta övriga intressenters krav. Användare är trafikanterna. Med tredje man avses personer eller organisationer som direkt eller indirekt påverkas av bron, t.ex. kringboende.

Följande exempel kan ges på övergripande funktionskrav på en bro; bron ska: vara trafiksäker, föra ner alla laster till undergrunden, harmoniera med vägen, harmoniera med miljön omkring, vara kostnadseffektiv, vara miljövänlig osv.

Om intressenternas krav inte förändras, så ändras inte heller de övergripande funktionskraven på bron. Eftersom kraven historiskt sett ofta ändras, uppstår ytterligare ett krav på bron; flexibilitet. Kraven på miljöhänsyn, trafiksäkerhet och geometrisk standard har t.ex. skärpts kontinuerligt. Vi kommer troligtvis även i fortsättningen att få leva med att många av kraven förändras.

När funktionskraven är svåra att fastställa, används ofta krav på egenskaper istället. Enligt *VÄG 94, 1.2.3*, definieras begreppet funktionell egenskap som "egenskap som beskriver en produkts funktion och har betydelse för trafiksäkerhet, framkomlighet, bekvämlighet, miljö, fordonskostnad eller livslängdskostnad". Egenskapskraven kan kallas för ställföreträdande funktionskrav.

I *BRO 94* förekommer både rena funktionskrav, krav på egenskaper och detaljkrav. I *Nilsson, 1995*, har ett försök gjorts att specificera vilka av kraven i *BRO 94* som beskrivs som funktionskrav. Skillnaden mellan funktionskrav och ställföreträdande krav går längs en gradskala. Ju mer detaljerat funktioner och egenskaper specificeras ju mer närmar sig funktionskraven detaljkrav, jfr. t.ex. *Chown, 1999*.

Som exempel kan funktionskravet för en övergångskonstruktion uttryckas som: Övergångskonstruktionen ska medge förekommande rörelser mellan brobana och ändstöd. Mer detaljerade funktionskrav kan vara: tillåta erforderliga rörelser, skydda underliggande konstruktioner, vara i samma plan som vägen, orsaka endast begränsat med buller osv. Kraven kan också uttryckas som ställföreträdande funktionskrav, egenskapskrav,

dvs. krav på täthet, rörelsekapacitet, beständighet, utbytbarhet, jämnhet, lastkapacitet osv. Övergripande funktionskrav är då miljöhänsyn, bekvämlighet, kostnadseffektivitet och ev. estetik.

2.4 Funktionskriterier

När funktionskraven har brutits ner till en nivå där de kan kvantifieras kallas de funktionskriterier. Med angivna begränsningar kallas de kvantitativa funktionskriterier. För att verifiera att funktionskriterierna uppfylls ska verifieringsmetoder utvecklas till dessa kvantitativa funktionskriterier.

Funktionskriterierna bör vara relativt enkla att mäta och bedöma. Det finns dock gränser för hur detaljerat detta bör göras, eftersom friheten att välja egna lösningar därigenom kan reduceras. Det finns också en risk att viktiga egenskaper förbises, exempelvis miljöhänsyn, medan andra låses i alltför stor utsträckning.

Funktionskriterierna ska vara så specificerade att det kan verifieras att de uppfylls. Ett exempel på funktionskriterium för det ställföreträdande funktionskravet "rörelsekapacitet" för övergångskonstruktioner är att rörelseändringar uppgående till dimensionerande värden ska kunna tas upp.

2.5 Acceptabla lösningar

Att använda sig av acceptabla lösningar är det traditionella sättet att godta olika utformningar. Acceptabla lösningar kan t.ex. vara dimensionering enligt vissa namngivna standarder eller dimensioneringsmodeller, men det kan också vara specificerade tekniska lösningar eller produkter med vilka funktionskriterierna uppfylls. De acceptabla lösningarna kan vara funktionsbaserade eller ställföreträdande.

Eftersom de acceptabla lösningarna tidigare har innefattat samtliga godtagbara lösningar, har möjligheten att införa t.ex. nya tekniska lösningar, nya material eller nya produktionsmetoder varit begränsad. I funktionsbaserade regler utgör de acceptabla lösningarna exempel på hur funktionskriterierna kan uppfyllas. Möjligheten att använda andra lösningar är öppen, om det kan verifieras att funktionskriterierna uppfylls.

Genom att införa verifieringsmetoder med vilka det ska kunna verifieras att de kvantitativa funktionskriterierna uppfylls, kommer inte tekniska lösningar och produkter att behöva specificeras. Alternativt kan vissa tekniska lösningar och produkter kvarstå för att visa på exempel på hur funktionskriterierna kan uppfyllas, och de blir då ett komplement till verifieringsmetoderna.

Utveckling av verifieringsmetoder är en nödvändig förutsättning för införande av funktionskrav. Genom att systematiskt strukturera egenskaper och funktioner och specificera funktionskriterier för dessa, kan behovet av verifieringsmetoder tas fram.

Verifieringsmetoderna kan baseras på

- Mätningar
- Provningar
- Prognosmodeller
- Beräkningar

Mätningar kan göras med måttband, rätskiva, totalstation, ljusabsorptionsmätare, friktionsmätare, laser, etc. Provningar kan utföras i fält eller på laboratorium. För att få information om långtidseffekter kan accelererade tester utföras. Genom att betrakta tillståndsutvecklingen hos befintliga konstruktioner kan den framtida tillståndsutvecklingen för dessa och för liknande konstruktioner prognosticeras. Beräkningar grundar sig vanligtvis på en modell av vad som påverkar funktionen. Ofta behövs en kombination av flera av dessa för att en funktion ska kunna verifieras.

Både funktionskriterierna och verifieringsmetoderna bör baseras på erfarenheter och kunskap som är omfattande och allmänt erkänd, och att de har en bred och stark acceptans hos marknadens aktörer. Det kan i många fall vara svårt att renodlat specificera funktionskriterier med tillhörande verifieringsmetoder. I många fall är det en kombination av parametrar som tillsammans ger en viss funktion. Att verifiera dessa parametrar var för sig ger då inte en riktig bild av helheten. Fältexponering och provning av verkliga konstruktioner är viktiga då komplicerade samband ska studeras.

Nuvarande beskrivningar utgår från en indelning i olika miljöklasser beroende på materialval och yttre miljö, *BBK 94*, *BSK 99*, och *BRO 94*. Beroende av materialval och miljöklass ställs olika detaljkrav för att en viss livslängdsklass ska uppnås. Genom att utveckla modeller för hur materialets och konstruktionens egenskaper förändras med tiden kan livslängden för olika material i olika miljöer extrapoleras utifrån mätbara egenskaper och en konstruktions livslängd kan uppskattas.

Beroende på vilka funktionskriterier som ställs kan verifieringsmetoder för dessa utvecklas. Vissa funktionskriterier innebär att redan utvecklade mätmetoder kan användas för verifiering, exempel på dessa är friktionsmätare, ljusabsorptionsmätare och olika typer av längdmätare. Icke-förstörande provningsmetoder såsom ultraljud, modanalys, etc. kommer därför att efterfrågas i allt större omfattning eftersom dessa inte påverkar konstruktionen.

Inom området betongkonstruktioners beständighet har diskussionen kring funktionskrav pågått under en längre tid. Detta har t.ex. resulterat i att verifieringsmetoder för initiering av armeringskorrosion har utarbetats och kvarstående livslängd för existerande konstruktioner kan nu verifieras med en viss sannolikhet, *Nilsson, 1999*. Funktionsupphandling av livslängd är däremot komplicerat. Många olika parametrar påverkar vilken livslängd konstruktionen får. Problem kan uppstå vid anbudsvärderingen så länge det inte finns en allmänt accepterad modell för hur livslängds-

kravet ska tillförsäkras. Trots att mycket forskning pågått inom området under en längre tid finns det en hel del kvar att göra.

Med hjälp av verifieringsmetoderna ska det kunna verifieras att funktionskriterierna uppfylls i upphandlingsskedet och att det är högst sannolikt att funktionskriterierna uppfylls vid färdigställandet och under hela livslängden. Verifieringsmetoder för dessa senare faser ska också utvecklas, så att det efter en tid kan verifieras att funktionen fortfarande uppfylls, och att den sannolikt gör det även i fortsättningen. De verifieringsmetoder som utvecklas för att verifiera funktionen i upphandlingsskedet ska därför beakta tidsaspekten.

Traditionellt har maximi- respektive minimivärden angetts som gränser för vad som kan godkännas. I stället för att ange minimi- och maximivärden, vilka ska uppnås respektive underskridas, har kraven i BYA 92 och VÄG 94 angetts enligt andra principer, i form av riktvärden med acceptansintervall, *Vägverket, 1994*. I *Nilsson, 1995*, föreslås att funktionskriterierna ges två olika nivåer, målnivå (önskad genomsnittlig nivå) respektive akutnivå (den sämst accepterade nivån). Vid beskrivning av funktionskriterierna bör en enhetlig princip eftersträvas. Då funktionskriteriernas uppfyllelse ska verifieras bör den statistiska variationen beaktas. Olika verifieringsmetoder kan ge mer eller mindre säkra resultat.

Även helhetsoptimeringen av konstruktionen ska verifieras. Kostnadseffektiviteten bör exempelvis bedömas för konstruktionen som helhet. Varje förväntad underhållsåtgärd, reparation eller utbyte av någon del medför störningar i trafikantnyttan vilket måste beaktas. Även miljöbelastningen bör bedömas för konstruktionen som helhet.

3 Angränsande områden

3.1 Livslängdsbedömningar

De funktionella egenskaperna förändras med tiden. I vilken omfattning detta sker beror bl.a. på förekomsten av funktions- och miljöbetingad nedbrytning under livslängden. Med teknisk livslängd avses här den vid dimensioneringen förväntade tid under vilken konstruktionen med normalt underhåll uppfyller ställda krav. De funktionella egenskaperna ska alltså uppfyllas under hela livslängden, och därför behöver modeller utvecklas för hur egenskaperna förändras med tiden.

I allmänhet förändras egenskaper hos material och konstruktioner med tiden till följd av funktions- och miljöbetingad nedbrytning. Att säkerställa att en konstruktion har en viss funktion under en viss livslängd kan åstadkommas på något av följande sätt eller med hjälp av kombinationer av dessa:

- Dimensionering med marginal, så att den angivna livslängden kan förmodas uppnås trots att nedbrytning sker (ex. extra rostmån)
- Underhåll av de ingående delarna (ex. målning)
- Reparation eller utbyte av de delar som inte håller hela livslängden (ex. täckskiktsreparation)
- Serviceintervall, dvs. planerat utbyte av delar

Upphandling på funktion torde acceptera alla varianter, så länge kostnaden (inkl. trafikantkostnaden) är låg och det inte strider mot Vägverkets miljöpolicy.

Det kan diskuteras om livslängdskravet är ett funktionskrav. Däremot måste alltid en tidsperiod bestämmas, under vilken funktionskraven ska uppfyllas. Om livslängdskravet kan betraktas som ett mått på användartiden, så kan livscykelkostnaden för projektet, inberäknat anbudssumman, användas som urvalskriterium för förmånligaste anbud. På så sätt blir själva livslängden av underordnad betydelse.

Sannolikheten för att en bro ska få lång verklig livslängd beror på fler faktorer än själva brons beständighet. Samhällsutvecklingen medför ändrade laster, brobredder, brolägen etc. I livslängdsbedömningen bör sådana aspekter beaktas, och brons förmåga att möta ändrade krav värderas. Dessa frågor behandlas i en annan förstudie, "Optimala nya broar".

3.2 Upphandlingsformer

Upphandling av broar baserat på funktionskrav innebär att större frihet lämnas till hur konstruktionen ska utformas för att möta kraven. Det är ännu inte lämpligt att upphandla broar på funktionskrav, men genom att

bryta ner funktionskraven och fastställa funktionskriterier, och utveckla verifieringsmetoder för att verifiera att funktionskriterierna uppfylls, kan detta på sikt bli möjligt. Verifieringsmetoderna kommer att vara till god hjälp, men kan inte garantera att funktionen blir den avsedda under konstruktionens livstid. Beställaren måste till viss del kunna lita på att den färdiga produkten, med rätt underhåll, uppfyller efterfrågad kvalitet under livstiden.

Redan i dag är vissa krav uttryckta som funktionskrav i *BRO 94*. Allteftersom verifieringsmetoder utvecklas kan fler funktionskrav införas.

Upphandling av konstruktioner på funktionskrav kan möjliggöra större frihet vad gäller upprätthållande av konstruktionens funktioner. Vid projekteringen av konstruktionen måste sådana frågor beaktas, och en plan bör tas fram där en bedömning av framtida behov av underhåll, reparation, utbyte och renovering görs. För att väga olika förslag mot varandra kan livscykelkostnaden utgöra ett av urvalskriterierna. En nödvändig förutsättning då livscykelkostnaden används som urvalskriterium är pålitliga livslängdsbedömningar.

Genom att använda LCC-modeller (utarbetande av LCC-modeller behandlas i ett annat ramprojekt) där även inskränkningar i trafikantnyttan värderas ekonomiskt, kan störningarna på trafikarbetet beaktas.

Hur miljöaspekten ska behandlas är oklart. Ett traditionellt sätt är att använda miljögodkända produkter och produktionsmetoder. Mycket forskning pågår på miljösidan och på sikt kan förhoppningsvis någon form av livscykelanalys, LCA, användas som underlag vid upphandling.

De funktionskrav som kan komma att ställas på en bro vid upphandlingen speglar nutiden. Hur kraven kan komma att förändras är oklart. Vid upphandlingen bör dessa möjligheter beaktas, och flexibilitet, dvs. möjlighet att förändra konstruktionen för att möta andra krav, bör värderas positivt. Möjlighet till förändring, kostnad för förändringen och bedömning av sannolikhet för att förändringen ska utföras bör kopplas samman. Beräkningsmodeller för denna typ av frågor saknas.

Den så kallade funktionsentreprenaden som har använts av Vägverket vid upphandling av vägar på funktionskrav är egentligen en totalentreprenad med underhållsansvar en viss tid efter slutbesiktningen. I *Nilsson, 1995*, *Vägverket, 1995* och *Nilsson och Rostam, 1995* förespråkas denna typ av entreprenad eftersom den anses ge en lägre livslängdskostnad för väg- och broprojekt och dessutom en funktionsgaranti under ett antal år framöver. Entreprenadformen innebär alltså att entreprenören väljer utformning och tekniska lösningar baserat på specificerade mätbara egenskaper, funktioner. Dessa funktioner, som på broar kan uttryckas som krav på bärförmåga, underhållsfrihet, reparerbarhet etc. ska upprätthållas under en viss användningstid. Anbudsgivaren ska redovisa de tekniska lösningarna för beställaren.

Ett problem med upphandling på funktionskriterier är broars långa livslängder. Anbudssumman justeras efter underhållstidens slut (vid avläm-

nandet), det vill säga kanske 5-10 år efter färdigställande. Det är då den slutliga bedömningen av den erhållna kvaliteten avseende funktion och beständighet ska göras. Även om underhållstiden kan uppfattas som lång av entreprenören, utgör den endast runt en tiondel av den totala livslängden. När underhållstiden är slut ska det, med hjälp av verifieringsmetoder, kunna verifieras att funktionskriterierna uppfylls under hela livslängden. Därför bör verifieringsmetoderna utvecklas med hänsyn till hur tillståndsutvecklingen ska följas upp.

I Nilsson, 1995, *Vägverket, 1995*, och Nilsson och Rostam, 1995, föreslås entreprenadsumman i en så kallad funktionsupphandling justeras med tillägg eller avdrag efter den verifierade funktionen eller kvaliteten på den färdiga produkten. Enligt Grennberg och Olsson, 1996, är endast vissa av de kontrakterade funktionerna aktuella för tillägg och avdrag. Med de höga krav på beständighet m.m. som ställs på broar, kan det ifrågasättas om Vägverket är berett att betala mer för en bättre funktion, t.ex. i form av längre livslängd. Däremot kan exempelvis bättre kvalitet i form av minskat underhållsbehov, mindre trafikstörningar etc. värderas positivt. I samband med att funktionskriterier och verifieringsmetoder fastställs bör "bättre" respektive "sämre" funktion definieras.

Att specificera kraven som funktioner gör att ett större ansvar läggs på utföraren. Ansvarssituation blir också tydligare vid bristande funktion, *Vägverket, 1995*. Vägverket kan inte frånsäga sig väghållaransvaret, men genom funktionsentreprenaden kan Vägverket som beställare kräva ett större ansvar av utföraren för produkten under en lång underhållstid. En övergång mot funktionskrav kan även skapa incitament för forskning och utveckling och främjar då både teknisk och produktionsteknisk utveckling. Vid god konkurrens bör beställaren kunna få efterfrågad kvalitet till lägre priser.

4 Pågående och avslutad FoU

4.1 Allmänt

Diskussioner gällande infrastruktur har under senare tid fokuserats alltmer kring funktioner och egenskaper. Funktionsbaserade konstruktions- och utformningsregler förespråkas allt oftare eftersom det förväntas resultera i bättre och mer kostnadseffektiva konstruktioner, jfr. t.ex. *Nilsson och Rostam, 1995, Somerville, 1999, Chown, 1999*. Kostnadseffektiviteten föreslås kontrolleras med någon form av LCC-analys, livslängdskostnadsanalys, jfr. avsnitt 4.5. Att funktionskriterierna uppfylls kontrolleras med verifieringsmetoder.

Eftersom behovet av verifieringsmetoder beror på vilka funktionskrav som ställs måste detta steg vidareutvecklas först. Kraven på funktioner kan å andra sidan inte åberopas förrän det kan verifieras att kraven uppfylls. Hittills har framförallt livslängdskravet betraktats som ett funktionskrav, jfr. Brite-EuRam-projektet BE95-1347 i avsnitt 4.3, även kortfattat beskrivet i *Siemes och Edvardsen, 1999*. Forskning kring verifieringsmetoder av andra mer övergripande funktionskrav har inte bedrivits i någon större omfattning. Livslängdsbegreppet är en av grundstenarna för uppfyllelse av funktionskrav under livslängden och av avgörande betydelse för både LCC (livslängdskostnader) och LCA (livscykelanalyser). Enligt *Ang och Wyatt, 1999*, är möjligheterna förmodligen större att anpassa ett funktionsbaserat regelverk till nya krav, såsom t.ex. de krav som hör samman med ett hållbart samhälle, än vad ett regelverk med detaljkrav är.

Forskning inom användandet av funktionskrav och verifieringsmetoder har inte varit omfattande för broar, utan har framförallt bedrivits för andra typer av konstruktioner, och då speciellt byggnader.

4.2 Sverige

Under 90-talets första hälft har forskning rörande funktionsentreprenad bedrivits på Luleå Tekniska Universitet under ledning av Prof. Torsten Grennberg. Arbetet har främst behandlat vägar, men i *Nilsson, 1995*, behandlas vägbroar. Funktionskrav och verifieringsmetoder föreslås.

Sedan början av 1990-talet pågår ett stort nationellt forskningsprojekt med målsättning att studera beständighet i marin miljö genom en fältprovplats i Träslövsläge hamn. Under 1996 tillkom en fältstation för tösaltad vägmiljö strax söder om Borås. Forskningen som bedrivs på de båda fältprovplatserna förmodas bidra med kunskap för fastställande av funktionskriterier och utveckling av verifieringsmetoder.

Prof. L-O Nilsson, Chalmers, m.fl. har i flera projekt jobbat med funktionskrav och verifieringsmetoder, bl.a. i Brite-EuRam-projektet BE95-1347, se avsnitt 4.3.

4.3 Europa

Det treåriga Brite-EuRam-projektet BE95-1347 "Probabilistic Performance Based Durability Design of Concrete Structures" med start 1 februari 1996 drivs av CUR i Nederländerna. Detta arbete ska resultera i dimensionerings- och utformningsmetoder där livslängdsdimensioneringen av betongkonstruktioner ska kunna baseras på funktionskrav och på livscykelkostnader. Inom projektet ska övergripande funktionskrav och tillvägagångssätt för provningsmetoder utarbetas. Konceptet föreslås användas också för andra material och nya tillämpningar.

Problemet med funktionskrav för broar kan liknas vid byggnader. I *Anderson och Brandt, 1999*, diskuteras svårigheterna med att ställa funktionskrav och utveckla verifieringsmetoder för komplexa byggnadsverk.

4.4 Övriga världen

Utvecklingen på materialsidan och av nya tekniska lösningar går nu så fort att regler och normer inte hinner anpassas. En övergång till funktionsbaserade regler ger en större valfrihet vad gäller utformning och dimensionering, och samma regler kan gälla för olika material och utformningar, jfr. *Chown, 1999*.

4.5 Angränsande förstudier

På Vägverket har ett antal förstudier för FoU-ramprojekt utarbetats under 1998 och 1999. Tre av dessa angränsar till föreliggande förstudie.

I förstudien "Optimala nya broar" behandlas hur nya broar ska utformas för att möta de krav som ställs på våra broar idag och i framtiden. De övergripande kraven beskrivs närmare i förstudien. Förstudien beräknas vara klar i början på år 2000.

Mycket forskning har bedrivits inom området beständighet men ett enhetligt betraktelsesätt för att uppnå optimal standard saknas. I förstudien "Optimala standarder" behandlas optimal beständighet och hur normernas krav ska specificeras för att detta ska uppnås. Förstudien avslutades under 1999.

I FoU-ramprojektet "Mätning och utvärdering av broars tillstånd" behandlas metoder för mätning och utvärdering av broars tillstånd. Förstudien beräknas vara klar i början på år 2000.

5 Utredningsbehov

5.1 Allmänt

En övergång till upphandling på funktioner innebär ett stort utredningsbehov. Utveckling och utarbetande av verifieringsmetoder förutsätter att tydliga funktionskriterier för upphandling av broars egenskaper finns. Arbetet med att identifiera funktionskriterierna bör därför löpa parallellt med utvecklingen av verifieringsmetoder.

Vid upphandling baserad på funktionskrav väcks nya frågeställningar såsom anbudsutvärderingar, ersättningsfrågor, värdering av flexibilitet och miljöpåverkan, etc. Dessa frågeställningar bör utredas närmare.

I föreliggande förstudie har tre delområden i särskilt behov av utredning identifierats. Delområdena presenteras i prioritetsordning i avsnitt 5.2 – 5.4.

5.2 Identifiering av funktionskriterier för broar

Funktionskriterier för broar måste identifieras och utvecklas. Dessa bör struktureras och sammanställas i olika nivåer, övergripande och mer detaljerat. Tydliga funktionskriterier är en förutsättning för att behovet av motsvarande verifieringsmetoder ska kunna identifieras.

Funktionskriterierna bör utvecklas från mer övergripande funktionskrav eller ställföreträdande funktionskrav, krav på egenskaper, hos den färdiga konstruktionen. Funktionskriterierna ska uttryckas så att det är möjligt att verifiera att de uppfylls. Funktionskriterierna ska vara så oberoende av varandra som möjligt, i annat fall begränsas möjligheten att optimera konstruktionen.

De funktionskriterier som redan idag finns i *BRO 94* bör identifieras. En tidsaxel för vilka funktionskrav som kan stå närmast på tur att införa, samt vilka förändringar som eventuellt kan bli möjliga längre fram i tiden bör utredas.

Ju mer detaljerat funktionskriterierna ställs, ju mer närmar de sig detaljkrav. Ett sätt att föra in funktionskrav är därför att stegvis lyfta detaljkraven mot funktionskriterier.

5.3 Identifiering av befintliga verifieringsmetoder

Kunskapen om funktioner, egenskaper och deras utveckling över tiden under olika premisser är mer eller mindre omfattande, varför möjligheten

att utveckla verifieringsmetoder för olika funktionskriterier ligger olika långt fram i tiden. Befintligt material rörande verifieringsmetoder bör sammanställas utifrån hur långt denna utveckling gått, så att ytterligare behov tydligare kan klarläggas.

För varje funktionskriterium bör befintliga verifieringsmetoder identifieras. Fördelar respektive nackdelar bör sammanställas och metodens tillförlitlighet bedömas.

5.4 Upphandlingsfrågor

Frågor angående upphandling av broar på funktioner bör identifieras och utredas. I och med att kunskapen inom olika områden ökar så vidgas också möjligheten att ställa tydligare krav på broarna. Som exempel kan nämnas införandet av funktionskrav, men även möjligheten att beräkna livslängdskostnader och miljöbelastning. Förändringarna medför att modeller för att hantera dessa frågor måste utarbetas.

På senare år har olika typer av entreprenadformer tillkommit där upphandling sker på funktioner. Fördelar och nackdelar med dessa entreprenadformer samt möjlighet resp. lämplighet att använda dem för broar bör utredas. Andra modeller för upphandling av broar efter funktionskriterier bör undersökas.

Frågor rörande anbudsutvärdering bör utredas. Omfattningen av dessa beror i sin tur på i vilken omfattning broar bör/kan upphandlas på funktionskriterier och vilka funktionskriterier som ska beaktas, nu och i närmaste framtiden.

I ett senare skede måste även ersättningsfrågor behandlas. Vid varje verifieringstillfälle ska det verifieras att den aktuella funktionen eller egenskapen uppfyller funktionskriterierna. Det ska också verifieras att det är sannolikt att funktionskriteriet kommer att uppfyllas under hela livslängden. Hur ersättningsfrågor ska hanteras rörande avdrag respektive tillägg, beroende på hur väl funktionskriterierna uppfylls, bör utredas.

En annan stor fråga är hur konstruktionens flexibilitet, dvs. möjlighet till förändring för att möta ändrade krav, kan värderas ekonomiskt i anbuds-skedet.

Konstruktionen bör värderas som helhet, innefattande hela livslängden. Livslängdskostnader inkluderande underhålls-, reparations-, renoverings- och avyttringskostnader, men även kostnader för samhället i form av bl.a. trafikantkostnader och trafiksäkerhet, bör beaktas. Likaså bör miljöpåverkan under hela konstruktionens livslängd beaktas. Miljöpåverkan bör inkludera energikonsumtion, råvaruuttag och rivning, möjlighet till återanvändning, etc. Hur dessa frågor kan hanteras vid upphandling bör utredas närmare.

6 Behov av FoU

6.1 Allmänt

Upphandling av broar på funktionskrav innebär en omställning i sättet att tänka. I stället för att specificera ställföreträdande krav som ska ge en konstruktion de önskade funktionerna, egenskaperna, ställs kraven direkt på funktioner och egenskaper. Därför behövs verifieringsmetoder för att säkerställa att önskad funktion eller egenskap sannolikt kommer att säkerställas under konstruktionens hela livslängd.

I kapitel 5 har utredningsbehovet vad gäller funktionskriterier och verifieringsmetoder specificerats. Detta utredningsbehov ligger till grund för att identifiera hur stort behovet är av forskning och utveckling för att ta fram nya verifieringsmetoder samt förbättra befintliga. I föreliggande förstudie har därför ingen uppdelning av behovet av FoU vad gäller verifieringsmetoder gjorts.

FoU-delområdena i kapitel 6 har inte prioriterats då FoU-behovet som sorterar under detta kommande ramprojektet har betraktats som ett stort delområde. FoU-delområdet i avsnitt 6.3 behandlas med fördel hellre i en annan förstudie.

6.2 Utveckling av nya verifieringsmetoder

Utveckling av verifieringsmetoder förutsätter att funktionskriterierna är identifierade. Utvecklingen bör börja med de redan identifierade kriterierna. Upphandling av broar på funktioner ställer krav på att det kan verifieras att funktionen eller egenskapen blir den eftersökta. Därför måste nya verifieringsmetoder utvecklas, och befintliga förbättras, för varje funktionskriterium. Med metoderna ska det gå att verifiera att funktionskriterierna uppfylls. Dels ska det verifieras att funktionskriterierna uppfylls vid verifieringstillfället, dels att funktionskriterierna sannolikt kommer att uppfyllas under konstruktionens hela livslängd.

Verifieringsmetoderna för olika tidpunkter under konstruktionens livslängd ska identifieras och utvecklas. Verifieringsmetoderna ska användas i upphandlingsskedet, och de ska vara kompatibla med de metoder som används efter färdigställandet och vid avlämnandebesiktning i samband med underhållsperiodens slut.

I upphandlingsskedet måste verifieringen kunna göras med teoretiska modeller, på erfarenhetsbasis och/eller med hjälp av testdata eller dylikt på ingående material eller komponenter.

Vid färdigställandet finns större möjlighet till att utföra mätningar på befintlig konstruktion, varför verifieringsmetoder i högre grad kan baseras på sådana. Vid avlämnandebesiktningen kan tillståndsutvecklingen i befintlig miljö för den första tiden och för vissa egenskaper mätas, och pro-

gnoser för framtiden kan göras. I FoU-ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd” behandlas metoder för mätning och bedömning av broars tillstånd inklusive prognosmodeller.

Vid samtliga tidpunkter ska det verifieras att funktionskriteriet sannolikt kommer att uppfyllas under hela konstruktionens livslängd. Detta förfaringssätt förutsätter att underlag finns för att bedöma den framtida tillståndsutvecklingen för funktionen eller egenskapen.

Utveckling av verifieringsmetoder som kan användas vid upphandling för att verifiera att önskade funktioner eller egenskaper sannolikt uppfylls bör utvecklas i nära samarbete med ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd”.

Ramprojektet ”Optimala standarder” kommer att bidra med värdefulla erfarenheter vad gäller beständigheten i tiden.

6.3 Modeller och metoder för tillståndsutveckling och livslängdsbedömning

Modeller och metoder för tillståndsutveckling och livslängdsbedömning att använda som underlag för verifieringsmetoder bör utvecklas. Mycket forskning pågår inom materialområdet för att bedöma livslängder för material i olika miljöer. Ett sammantaget grepp om livslängden för hela konstruktioner saknas däremot.

För att upphandling ska kunna ske på funktionskrav måste det kunna verifieras, med en viss sannolikhet, att önskade funktioner eller egenskaper kommer att uppfyllas vid flera olika tidpunkter. Därför måste resultaten från modellerna och metoderna som efterfrågas för tillståndsutveckling och livslängdsbedömning av broar, brodelar och material, kunna bedömas ur ett sannolikhetsperspektiv.

En utredning bör göras om vilka modeller som hittills har tagits fram och som kan vara lämpliga att använda för broar, vilka modeller som saknas, samt vilket behov av indata, eventuellt i form av databaser, som kan behövas som underlag för modellerna.

De modeller som saknas för tillståndsutveckling och livslängdsbedömning av material, komponenter och hela konstruktioner (broar) bör utvecklas. Modeller för hur egenskaperna, funktionerna, förändras över tiden och för modellerna nödvändigt underlag bör tas fram. Dessa frågor behandlas i ramprojektet ”Optimala standarder”.

Kvarstående behov av mätmetoder för tillståndsutveckling bör utvecklas. En utredning över vilka erfarenheter från befintliga konstruktioner som hittills tagits till vara, samt vilka ytterligare behov som kan finnas bör utredas. Detta forskningsområde behandlas i ramprojektet ”Mätning och utvärdering av broars tillstånd”.

7 Referenser

Anderson och Brandt (1999) "The use of performance and durability data in assessment of life time serviceability", Proc. 8th Int. Nat. Conf. on Durability of Building Materials and Components, 8dbmc, Vancouver, Canada, May 30 - June 3, 1999, p. 1813 - 1820.

Ang och Wyatt (1999) "Performance concept in the procurement of durability and serviceability of buildings", Proc. 8th Int. Nat. Conf. on Durability of Building Materials and Components, 8dbmc, Vancouver, Canada, May 30 - June 3, 1999, p. 1821 - 1832.

BRO 94, Allmän teknisk beskrivning för broar, inkl. Suppl. 4, Vägverket 1994 - 1999.

BSK 99, Boverkets handbok om stålkonstruktioner, Boverket, Bygga vdelningen, 1999.

BBK 94 Boverkets handbok om betongkonstruktioner, Boverket, Bygga vdelningen, 1994.

Chown (1999) "Requirements for durability and on-going performance in Canada's objective-based construction codes" Proc. 8th Int. Nat. Conf. on Durability of Building Materials and Components, 8dbmc, Vancouver, Canada, May 30 - June 3, 1999, p. 1527 - 1536.

Grennberg och Olsson (1996) "Funktionsentreprenad på väg, Restvärdesbedömning vid avlämnandebesiktningen", Teknisk rapport 1996:04 T, Tekniska Högskolan i Luleå.

Nilsson, U. (1995) "Funktionsentreprenader för vägbroar, Upphandlingsmodell", Licentiatuppsats 1995:33 L, Tekniska Högskolan i Luleå.

Nilsson, L.-O. och Rostam, S. (1995) "Brobyggnad – Betongteknologins spjutspets. När kan branschen leva upp till funktionskrav?", Brobyggardag Göteborg 30 januari 1995, Brosamverkan Väst.

Nilsson, Lars-Olof (1999) e-post daterad 1999-06-17.

OECD (1997) "Performance indicators for the road sector", OECD, Road Transport Research, Paris, 1997.

Siemes och Edvardsen (1999) "Duracrete: Service life design for concrete structures", Proc. 8th Int. Nat. Conf. on Durability of Building Materials and Components, 8dbmc, Vancouver, Canada, May 30 - June 3, 1999, p. 1343 - 1356.

Suh, N. P. (1990) "The principles of design", New York, 1990.

VÄG 94, Allmän teknisk beskrivning för vägar, Vägverket, 1994.

Vägverket (1988) "Vägvisaren", Rapportserie, Vägverket 1988 - 1989.

Vägverket (1994) "Statistisk acceptansk kontroll", VV MB 908, VV Publ. 1994:41.

Vägverket (1995) "Byggande och skötsel på funktionsentreprenad, Upphandlings- och kontraktsmodell", Handbok för upphandling av väg- och trafikutrymmen med funktionella krav, Publ.1995:49, Vägverket, 1995.

Vägverket (1999) "Vägverkets inriktningsprogram för FoU åren 2000 - 2009", Vägverket Publ. 1999:71.