

Bilaga A

Detaljerad beskrivning av forskningsprogram

2013-08-16
Rev 2015-05-28

Bilaga A: Detaljerad beskrivning av forskningsprogram

Bilaga till ”Riktlinjer och inriktningsdokument för branschprogram för forskning och innovation avseende byggnadsverk för transportsektorn” (Bilaga 1)

A.1 Allmänt

Produktområdet "Byggnadsverk" utgörs av konstbyggnader, med huvudsaklig inriktning på bro och tunnel men även inkluderande stödmurar, hamnar etc. ingående i byggd infrastruktur. Nya såväl som befintliga konstruktioner ingår.

De olika programområdena tar sin utgångspunkt i samhällsutmaningar som påverkar både befintlig infrastruktur och ger förändrade förutsättningar vid byggande av ny infrastruktur. De krav som idag ställs på infrastruktur ger ett behov av ett större tvärvetenskapligt samarbete då en mer komplex kravbild ska hanteras.

I denna bilaga beskrivs ett antal identifierade centrala forskningsområden som kan ge bidrag till ökad kunskap. Dessutom presenteras kortfattat några väsentliga kompetensutvecklingsområden.

Först presenteras ett förslag till forskningsprogram, som är strukturerat inom de tre huvudområdena:

- Hållbart byggande - säkerhet, bärighet, funktion och miljö (A2)
- Uppföljning och utveckling av befintliga konstruktioner (A3)
- Utveckling av byggprocesser och industriellt tänkande (A4)

De forskningsområden och forskningsfrågor som förs fram här har genomgående identifierats utifrån Trafikverkets strategiska inriktningsdokument för behov inom forskning och utveckling "Trafikverkets inriktning för forskning och innovation 2013-2015".

Varje huvudområde nedan innehåller ett antal specificerade underområden som beskrivs översiktligt i huvudtexten. Varje underområde redovisas nu mer utförligt med bakgrund, centrala forskningsfrågor, potentiell samhällsnytta och implementering, kort beskrivning av existerande kunskap samt exempel på lämpliga projektidéer.

Därefter följer ett avsnitt som beskriver några viktiga kompetensutvecklingsfrågor (A5).

Angivna referenser samlas i ett sista avsnitt (A6).

A.2 Hållbart byggande - säkerhet, bärighet, funktion och miljö

Fokus inom detta område är främst nyproduktion av byggnadsverk i infrastrukturen. Området behandlar säkerhets-, livslängds-, funktions- och miljöfrågor som bör vara styrande för Trafikverkets investeringar i ny infrastruktur och förvaltningen av densamma. Strävan sker efter robusta konstruktioner med avseende på lastökning, extrem påverkan (bl. a. dynamiskt beteende), väderkänslighet och klimatförändring. Säkerställande skall ske av lastkapacitet och funktion under hela livslängden och i ett uthålligt miljöperspektiv. Utveckling av verifieringsmetoder för funktionskrav ingår som ett prioriterat område identifierat i Trafikverkets strategidokument. Nedan ges en översiktlig beskrivning av sex underområden som bedöms vara prioriterade med hänsyn till hållbart byggande.

A.2.1 Säkerhet, robusthet och sårbarhet

Beskrivning av forskningsområdet:

Internationellt pågår för närvarande omfattande forskning kring sårbarhet och riskhantering i infrastrukturen. Man har då introducerat begrepp som robusthet, som innebär att ett system medvetet

bör utformas så att konsekvenserna av extraordinära påverkningar begränsas. Byggnadsverk kan i detta sammanhang ses som viktiga delar i transportsystemet och konsekvenserna av att ett byggnadsverk sätts ur funktion kan i många fall vara stora för såväl säkerhet som framkomlighet. Kunskapen om hur konstruktioner konkret skall utformas för ökad robusthet och mindre sårbarhet är dock begränsad vilket är den viktigaste bakgrunden till att omfattande forskning initierats internationellt främst efter terrorattacken i New York den 11 september 2001. Prognoser om framtida klimatförändringar har ytterligare accentuerat behoven inom området.

Forskning inom detta område kan ske med fokus på följande delområden

- a) Karakterisering av extraordinära påverkningar som kan vara relevanta för olika byggnadsverk (t.ex. påkörning/påsegling, extraordinära flöden, skred, grova fel i byggprocessen, attentat)
- b) Metoder för analys av respons hos konstruktionssystem som utsätts för extraordinära påverkningar (stora deformationer, dynamiska effekter, brottvillkor etc.)
- c) Riskanalysmetodik med hänsyn till byggnadsverkets funktion i infrastrukturen
- d) Studier av konsekvenser för personsäkerhet och transportsystemets funktion

Centrala forskningsfrågor:

- Hur kan man bedöma sannolikheter för extraordinära händelser och olyckslaster? Hur kan dessa sannolikheter tänkas förändras över en period som motsvarar byggnadsverkets livslängd?
- Hur kan man evaluera grad av robusthet för olika byggnadsverk på basis av förväntad relation mellan direkta och indirekta konsekvenser? (Hur göra systemavgränsningar?)
- Vilka fördelar och nackdelar finns för olika strategier att skapa robusthet hos byggnadsverk i infrastrukturen?
- Hur kan man tillgodogöra sig erfarenheter från inträffade händelser?

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Forskning inom området förväntas resultera i fördjupad insikt om faktorer som påverkar sårbarheten hos olika byggnadsverk i infrastrukturen och ge underlag för utformning av framtida riktlinjer för säkrare projektering med hänsyn till extraordinära påverkningar. Resultaten kan utnyttjas av Trafikverket i upphandlingssituationer samt för kommande revideringar av konstruktionsregler och deras tillämpning.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Omfattande forskning kring robusthet och sårbarhet har initierats internationellt främst efter terrorattacken i New York den 11 september 2001, och andra liknande händelser sedan dess. Utformningen av byggnadsverk så att de bättre kan motstå extrema påverkningar kan betraktas som ett passivt skydd och ett viktigt element i en total riskhantering. Kunskapen om hur konstruktioner konkret skall utformas för ökad robusthet är begränsad. Den forskning som pågår är i huvudsak fokuserad på byggnader och enbart i begränsad omfattning infrastrukturkonstruktioner. God tillgång till "state of art" finns genom EU COST programmet TU 0601, som genomfördes under 2007-2011, med aktivt svenskt deltagande främst från LTH, se COST (2011). Ett doktorandprojekt "Robust utformning av broar för minskad sårbarhet i vägnätet" med finansiering från Trafikverket har genomförts vid LTH.

Exempel på projektidéer:

- Systematisk analys av inträffade händelser där broar exponerats för extrema påverkningar.
- Utveckling av metodik för bedömning av konsekvenser för trafiksystemet givet att ett byggnadsverk blir obrukbart på grund av extrem påverkan.
- Modeller av kollisionsförlopp vid påkörning av tunga fordon med uppskattning av sannolikheter för denna typ av händelse

- Icke-linjära metoder för analys av alternativa bärsystem hos typiska brokonstruktioner efter primär skada
- Klimatförändringars inverkan på säkerheten hos byggnadsverk i infrastrukturen
- Utveckling av metodik och analyser för att öka robusthet hos befintliga konstruktioner

A.2.2 Analys/dimensionering av byggnadsverk

Beskrivning av forskningsområdet:

Vid dimensionering och klassningsberäkning av byggnadsverk såsom broar och tunnlar används idag i allt större utsträckning beräkningar med finit elementmetod (FEM) där konstruktionens geometri modelleras i tre dimensioner (3D). Metoden är mycket kraftfull och det är möjligt att modellera komplexa geometrier, alla relevanta lastfall samt ta hänsyn till olinjära effekter. Kvalitén på beräkningsresultaten är dock starkt beroende på hur modellen är uppbyggd och på hur resultaten tolkas och utvärderas. För att kunna utnyttja potentialen hos olinjära analyser behöver metoder avseende såväl säkerhet som strukturberäkningar vidareutvecklas, se t ex Carlsson et al (2008) och Schlune (2011).

För konstruktörer innebär metoden ett tekniksifte när det gäller systemberäkningar, från att ha varit nästan uteslutande baserade på balkteori och ramberäkningar blir systemberäkningarna till stor del baserade på platt- och skalteori. I samband med detta har ett stort antal frågeställningar med betydande inflytande på beräkningsresultaten aktualiserats.

För att åstadkomma robusta och tillförlitliga byggnadsverk som ger mer nytta för pengarna är det därför viktigt att utreda och ge rekommendationer för genomförande, resultatolkning och kvalitetssäkring för sådana analyser.

Centrala forskningsfrågor:

- Hur bör en given konstruktion idealiseras med hänsyn till t.ex.
 - randvillkor och grundläggning
 - samverkan mellan konstruktionsdelar
 - tvångseffekter, såsom temperatur, krympning och förspänning?
- Hur bör resultaten tolkas och utvärderas, exempelvis vid verifiering av säkerhet och funktion?
- Hur bör systemberäkningar med hänsyn till olinjär respons genomföras, bl.a. med hänsyn till verifiering i bruksgränstillståndet? (Med 3D systemberäkningar måste olinjära effekter såsom uppsprickning i betong beaktas på ett mer nyanserat sätt.)
- Bör lastmodeller (t.ex. för trafik, temperatur, krympning etc.) som föreskrivs i nuvarande normer modifieras för att ge mer relevanta resultat vid användning av avancerad 3D-modellering?
- Hur säkerställs förståelse för verkningsätt och resultat i nya modeller? Hur säkerställs möjligheter till kvalificerad oberoende granskning?

Existerande kunskap och pågående forskning:

Svensk forskning inom området bedrivs vid de tekniska högskolorna som ingår i Sveriges Bygguniversitet. Chalmers har under lång tid arbetat med att utveckla metoder för finit elementanalys av betongkonstruktioner. KTH har en omfattande verksamhet rörande modellering av bl.a. dynamisk respons. Forskningen är till stora delar högkvalitativ och ligger i den absoluta internationella fronten. Samtidigt finns en stark koppling mellan forskarna och praktiskt verksamma konstruktörer inom brobranschen.

Internationellt har bedrivits och bedrivs en mycket omfattande akademisk forskning kring avancerad icke-linjär analys av konstruktioner av alla material. Däremot adresseras mera sällan frågan om hur den metodik som utvecklas kan användas i praktisk projektering för verifiering av säkerhet och funktion.

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Samhället gör stora investeringar i infrastruktur varje år. Det är viktigt att de analys- och dimensioneringsmetoder som används resulterar i robusta och tillförlitliga byggnadsverk som är kostnadseffektiva och ger mer nytta för pengarna.

Metoder för projektering, konstruktion och produktion av infrastrukturprojekt utvecklas för att åstadkomma en modernare IT-baserad process och ett mer industrialiserat och kostnadseffektivt byggande. Metoder för analys och dimensionering av byggnadsverken behöver därför också utvecklas och moderniseras. Ny kunskap inom tillämpning av moderna analys- och dimensioneringsmetoder krävs för att skapa kostnadseffektiva konstruktioner och undvika fördyrande lösningar.

Implementering kan ske bl.a. genom vidareutbildning av infrastrukturkonsulter, anpassning av normer samt funktionsbaserad upphandling.

Exempel på projektidéer inom området:

- Metoder för verifiering av säkerheten vid bärlighetsanalys med olinjära metoder
- Samverkan med undergrund och modellering av grundläggning vid systemberäkning av byggnadsverk
- Idealisering av konstruktionen avseende samverkan mellan konstruktionsdelar såsom samverkande balk och platta
- Modellering av tvångslaster såsom temperatur, krympning och förspänning, och effekter av dessa vid tredimensionell analys av byggnadsverket, inklusive inverkan av randvillkor och långtidseffekter
- Fördelning av snittkrafter och snittmoment i plattor och skal
- Systemberäkningar för bruksgränstillstånd med hänsyn till olinjär respons i betongkonstruktioner

A.2.3 Verifiering av tekniska funktionskrav

Beskrivning av forskningsområdet:

Ett av Trafikverket prioriterat område är att utveckla produktiviteten vid byggande av nya anläggningar liksom vid underhåll och uppgradering av befintliga anläggningar. Mycket tyder på att det finns ett stort utrymme för att vidareutveckla teknik och processer så att man vid investeringar får mer valuta för insatta resurser, se t ex SOU (2012). En möjlig strategi för att åstadkomma förbättringar är att vid upphandling utgå från mer öppna funktionskrav (i stället för tekniska detaljföreskrifter) på en nivå som medger frihet för relevanta aktörer att erbjuda optimala och innovativa lösningar vid utförande av byggnadsverk, se t ex PIA (2012). En viktig förutsättning för detta är att de krav som ställs måste vara verifierbara i en utsträckning och med en metodik som kan regleras i kontrakt (både vid långa och korta avtal) mellan beställare och utförare. Verifiering och adekvat formulering av tekniska funktionskrav är i fokus inom det föreslagna forskningsområdet. En viktig del för att stimulera utveckling av bättre lösningar och processer är val av upphandlingsformer som totalentreprenad, partnering etc. Dessa frågor behandlas inte forskningsmässigt i detta sammanhang men utgör viktig kontextuell förutsättning för forskningen. Utgångspunkten här är att ju bättre kunskap och metoder som finns för att verifiera aktuella krav ju bättre är möjligheten att effektivisera byggprocessen.

En annan viktig del är att basera de tekniska funktionskraven på Trafikverkets effektkatalog, t.ex. med avseende på tillförlitlighet, framkomlighet och kvalitet i resandet.

Centrala forskningsfrågor:

- Vilka är de krav på byggnadsverk (tekniska och andra) som hindrar utveckling och innovation i dagens byggprocess?

- Hur bör man formulera verifierbara funktionskrav på bärförmåga, brukbarhet och beständighet?
- Hur bör man beakta brukarkrav när man formulerar tekniska verifierbara krav?
- Hur relevanta är de (skärpta) funktionskrav som används för t.ex. broar idag och vad kan vi lära av befintliga konstruktioner som dimensionerats med mer (liberala) regler än vad som gäller idag?
- Kan man verifiera beständighetskrav över lång tid via in-situ tester eller förprovning efter kort tid? Vilka indikatorer kan användas för verifiering av beständighetskrav?
- Hur kan en entydig verifieringsmetodik som kan användas operationellt utformas?

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Möjligheten att verifiera funktionskrav i infrastrukturprojekt är en nödvändig förutsättning för att funktionskrav skall kunna användas operationellt. Om hypotesen att ökad användning av funktionskrav verkligen leder till ökad produktivitet och innovation i byggsektorn frigörs resurser som leder till ökad intensitet i såväl nyinvesteringar som underhållsåtgärder. Alternativt kan frigjorda resurser användas till andra ändamål i samhället.

Tidiga tillämpningar av resultat från forskningen via en generell metodik kopplad till strukturerade testbäddar samt erfarenhetsåterföring är en väsentlig del. Detta utgör viktiga kompletterande aktiviteter där långtgående samverkan mellan sektorns aktörer skall eftersträvas.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Inom den internationella byggforskningen har man länge arbetat med målet att förbättra möjligheterna att arbeta mer med funktionsbaserade krav snarare än föreskrivande regler. Läget sammanfattas väl i rapporteringen från EU-projektet PeBBu (2005). En viktig slutsats från detta arbete är att praktisk implementering fullt ut av funktionsbaserade krav i byggandet måste ses som en relativt avlägsen ännu ej uppnådd vision. Man slår också fast att en avgörande fråga är möjligheten att verifiera eller mäta de funktionskrav man ställer.

Inom broområdet kan nämnas de metoder som användes vid byggandet av Öresundsbron inom vissa områden för verifiering av funktionsbaserade krav på t.ex. beständighetsområdet.

Exempel på projektidéer:

- Kartläggning av existerande kravspecifikationer i brobyggande med särskild fokus på hinder för möjligheten att åstadkomma produktivitetsförbättringar
- Utvärdering av sprickors effekt på armeringskorrosion - samarbete material- och konstruktionsforskare
- Statistisk metodik för verifiering av sprickviddskrav på basis av in-situ mätningar
- Utvärdering av kritiska detaljer i brokonstruktioner med hänsyn till beständighet samt möjligheter till förbättringar
- Inverkan av olika upphandlingsformer på formulering av funktionskrav

A.2.4 Beständighet och livslängd hos nya byggnadsverk

Beskrivning av forskningsområdet:

Trafikverket ställer krav på 120 års livslängd vid projektering och produktion av nya byggnadsverk inom trafiksystemet. Det som främst begränsar den tekniska livslängden, och som kräver omfattande förtida reparationer, är läckage av vatten och tösalter genom tätskikten, krympsprickor på grund av uttorkning och delvis förhindrade rörelser, armeringskorrosion i pelare och kantbalkar samt frostsador i form av ytavskalningar och inre sprängning.

För att kunna projektera nya byggnadsverk (broar, tunnlar, stödmurar etc.) med avseende på livslängd fordras att man dels kan formulera tillämpbara funktionskrav på beständighet och dels har tillgång till tillförlitliga livslängdsmodeller, inklusive tillhörande material- och klimatparametrar. Sådana

livslängdsmodeller måste baseras på en korrekt beskrivning av nedbrytningsprocesserna och måste vara verifierade mot fältobservationer.

De funktioner som påverkas av bristande beständighet är t ex

- bärförmågan, som minskar om armeringen korroderar och om delar av konstruktionen får inre frostsador,
- säkerheten i trafiksystemet om täcksiktspängning eller ytavskalning medför att delar av byggnadsverken riskerar att falla ner på trafiken,
- framkomligheten i trafiksystemet då förtida reparationer av t ex tätskikt och kantbalkar på broar kräver avstängning av hela eller delar av byggnadsverket.

Livslängdsmodeller för dessa nedbrytningsprocesser existerar till viss del, se t ex modellerna för karboniseringsinitierad och kloridinitierad armeringskorrosion samt modellerna för frostavskalningar och inre frostsador i Svenska Betongföreningens handbok i livslängdsdimensionering, SBF (2007) och i fib Model Code 2010 (2012). En del av dessa modeller beskriver dock inte nedbrytningsprocesserna på ett detaljerat sätt utan är av mer empirisk natur och är därför f.n. osäkra att använda. Ett stort, outnyttjat underlag för sådana modeller finns tillgängliga genom de fältextponeringar som gjorts under mer än tio år längs riksväg 40, Tang & Utgenannt (2007), och alla de mätningar som gjorts på svenska och danska motorvägsbroar, Lindvall (2003) & Andersen (1997).

Centrala forskningsfrågor:

- att utveckla livslängdsmodeller för armeringskorrosion i tösaltningsmiljö, frostavskalning och inre frostsador, baserad på förståelse och kvantifiering av de fysikaliska nedbrytningsprocesserna och klimatpåfrestningarna,
- att utveckla metoder för kvantifiering av krympspänningar med hänsyn fuktfördelningar och krypning,
- att utveckla metoder för kontroll i färdig konstruktion av beständighetsparametrar, samt
- att utveckla metoder för funktionskravs baserad upphandling m a p beständighet och livslängd.

Forskningsområdets status i Sverige:

Svensk forskning inom området bedrivs främst vid LTH, Chalmers, LTU och SP och är till stora delar högkvalitativ, i den absoluta internationella fronten. I några EU-projekt, ”DuraCrete”, ”Darts” och ”ChlorTest”, bidrog dessa till en omfattande ”state-of-the-art” och kunskapsutveckling. Svensk forskning har därefter fortlöpt, men med splittrade resurser. En riktad satsning på området skulle föra forskningsfronten avsevärt framåt.

Samhällets behov av ny kunskap inom området:

Seriös förvaltning av infrastrukturbyggnadsverk kräver goda prognoser över framtida tillståndsförändringar i de delar av byggnadsverken som är avgörande för bärförmåga, tillförlitlighet, säkerhet och estetik. Allvarliga nedbrytningssador är vanliga bland befintliga byggnadsverk. Förväntade klimatförändringar kan komma att öka nedbrytningstakten ytterligare. Miljökrav kan komma att kräva nya bindemedel till framtidens betong i byggnadsverken i trafiksystemet. Enorma kostnader för samhället för att reparera och ersätta befintliga byggnadsverk kan undvikas med bättre kunskap om hur nedbrytning påverkar konstruktioners funktion och säkerhet. Resultaten kan användas både vid utvärdering av befintliga konstruktioner och vid livslängdsdimensionering av nybyggnationer.

Potentiell samhällsnytta

Värdet av den byggda miljön är cirka 50 % av nationalförmögenheten i de flesta europeiska länder, och reparation och underhåll står för cirka 50 % av utgifterna i byggbranschen. Följaktligen kan stora besparingar uppnås om vi med större kunskap kan reparera och ersätta enbart när det behövs och på bättre sätt än idag. Med bättre kunskap vid nybyggnation kan framtida problem undvikas. Dessutom minimeras resursanvändning av material och energi, och bidrar därigenom till en hållbar utveckling.

A.2.5 Resurseffektivitet - livscykel förvaltning av trafikinfrastruktur med hänsyn till kapital och miljö

Beskrivning av forskningsområdet:

Traditionellt har man inom den konstruktionstekniska forskningen inte mer i detalj arbetat med kostnadsfrågor. Om det är detta eller annat som medfört att kostnadsläget för infrastruktur är mycket högt i Sverige kan vara svårt att veta, men forskningen är huvudsakligen problemorienterad och inte inriktad på att söka förbilliga byggandet. Ett starkt fokus ligger också på regler i normer och standarder som oftast inte är avsedda för att optimera kostnader och miljö.

Inom detta delområde behandlas förvaltning av infrastruktur med hänsyn till livscykelkostnader (LCC) och miljömässig livscykelanalys (LCA). Broar kommer att tas som exempel. Trots att broar utgör en mindre andel av väg- och järnvägskapitalet är broar ett bra exempel eftersom det finns mycket bättre underlag såväl för kostnader som för LCA-data än för den stora mängden trafikinfrastruktur.

Med hänsyn till miljö och kostnader har vi inte råd med överkvalitet. Forskning visar att t.ex. vid provning har broar en mycket stor överkapacitet.

Att öka säkerheten för redan mycket säkra konstruktioner kostar mycket och de globala miljöeffekterna blir onödigt höga. Byggandet står för en hög andel – typ mer än 10 % – av de globala miljöutsläppen i samhället.

Typiskt har man inom konstruktionsområdet främst fokuserat på investeringskedet. För optimering av samhällsnyttan måste hänsyn tas till kostnaderna under projektens hela livslängd.

Centrala forskningsfrågor är:

- att utveckla och fördjupa analysmetoder för att kunna beakta vilka faktorer som är kostnadsdrivande när det gäller livscykelkostnader för infrastrukturer vid
 - nybyggnad och
 - drift och underhåll
- att utveckla analysmetoder (LCA) för bedömning av globala miljöskadliga faktorer vid byggande drift och underhåll av infrastrukturen. Här är det särskilt viktigt att studera LCA-frågor under själva byggfasen, ett område nästan helt utan tidigare forskning
- att övergripande, sett ur ett samhällsperspektiv, gå igenom vad som kan göras för att minska kostnader och klimatutsläpp. Det kan handla om att ifrågasätta en hel del av de projekt och åtgärder som vi idag finner självklara och nödvändiga. För att kunna genomföra sådana analyser behövs forskning av en typ som idag inte genomförs inom konstruktionsområdet.

Forskningsområdets status i Sverige:

Svensk forskning när det gäller kostnader, LCC och LCA inom konstruktionsområdet har hittills varit begränsad. En riktad satsning på området skulle föra forskningsfronten avsevärt framåt och i Sverige finns tack vara tillgången på god information kring den svenska infrastrukturen bättre förutsättningar för forskning än i många andra länder. För närvarande är det avdelningen för Bro- och Stålbyggnad vid KTH som ligger långt fram i forskningsfronten och leder forskningen inom området i Sverige och som bl a deltagit i det samnordiska forskningsprojektet ETSI (2011). Eftersom forskningen generellt på senare tid har ökat inom LCC och LCA inom många samhällssektorer är det av stor vikt att samarbeta brett för att lyfta kompetensen.

Samhällets och världens behov av ny kunskap inom området:

Byggandet av infrastruktur tillhör de verksamheter i samhället som drar mest gemensamma kostnader och orsakar mest klimatutsläpp. Det är därför utomordentligt viktigt att nya synsätt när det gäller LCC och LCA belyses även i forskningen. Som ett exempel kan nämnas att man idag i de miljödokument som utarbetas, s.k. MKB, för infrastrukturprojekt nästan uteslutande behandlar lokala miljöeffekter och inte jämför dessa med de globala miljöeffekterna. Kan vi inte minska de globala miljöeffekterna har vi på lång sikt ingen nytta av att skydda en del av den lokala miljön.

Potentiell nytta för samhället och miljön:

Värdet av den byggda miljön är 50 à 60 % av det nationella välståndet i de flesta europeiska länder, och drift, reparation och underhåll står för cirka 30 % av utgifterna för infrastrukturen.

Hållbart byggande innebär att nyttan av en konstruktion är större än dess negativa miljökonsekvenser och samhällskostnader. Följaktligen kan stora besparingar uppnås om vi med större kunskap kan bygga, underhålla, reparera och ersätta på ett för samhället och miljön bästa sätt. Bättre resursanvändning i alla led av byggande och underhåll samt att enbart ersätta när det verkligen behövs leder inte bara till lägre livstidskostnader utan även mindre resursanvändning och därmed mindre klimatskadliga utsläpp.

Exempel på projektidéer:

- Utveckling av processer för planering av bygg- och DoU för broprojekt. Till varje projekt bör höra en DoU-plan som naturligen innehåller LCC och LCA.
- Vilka real- och kalkylräntor bör användas? Vid givna statliga regler, bör särskilt utvecklas realistiska kalkylräntor baserade på kostnadsutveckling av bygg och DoU.
- Studium av verkliga drifts-, underhålls- och reparationskostnader. Studierna kan baseras på den goda tillgången på data som finns för Sveriges infrastruktur.
- Koppling mellan konstruktionens nytta och dess DoU-kostnader och LCA-effekter. Det finns en intressant interaktion mellan LCC och LCA som kan användas för att reducera såväl kostnader som miljöutsläpp.
- En intressant hypotes – väl värd ett studium – är att analysera energiåtgång under bygg- och DoU-faserna. Minimering av energiåtgång kan förbilliga byggande och DoU samt naturligtvis spara miljön.
- Underhåller vi för mycket? Kanske handlar många åtgärder mer om estetiska än verkliga problem.
- Bättre modeller för analys av användar- och samhällskostnader i samband med underhålls- och reparationsarbeten.

A.3 Uppföljning och utveckling av befintliga konstruktioner

Många broar och andra anläggningar i vårt land byggdes för 40-50 år sedan och kräver alltmer kostnader för underhåll och reparation för att vidmakthålla sina funktionsegenskaper. Över tid ökar också kraven; antalet fordon ökar, användningen av tölsalter har ökat, man vill höja lasterna, tillåta högre hastigheter och förbättra komforten för trafikanterna.

Även för jämgamla konstruktioner skiftar behoven kraftigt p.g.a. ursprunglig kvalitet (konstruktionstyp & -detaljer, material, utförande), trafikering eller annan användning, miljöbelastning och hittills genomförda underhålls- och reparationsåtgärder. Inom byggbranschen finns starka drivkrafter för att riva och bygga nytt, men av miljömässiga och samhällsekonomiska skäl är det viktigt att vårda det som redan är byggt. För att välja rätt reparations- och underhållsåtgärder i varje enskilt fall krävs adekvata, tillförlitliga och effektiva tillståndsbedömningar.

Många byggnadsverk i trafiksystemet har historiskt fått allvarliga förändringar över tiden på grund av t.ex. täckskiktspängning i betongkonstruktioner av armeringskorrosion, krympsprickor av uttorkning och fastlåsning och frostsador av undermålig betong och läckande tätskikt. I de byggnadsverk som ännu inte fått skador pågår olika typer av förändringsprocesser som på sikt kan leda till förtida skador.

A.3.1 Mätmetoder

Beskrivning av forskningsområdet:

Det finns ett stort behov av tillförlitliga metoder för bedömning av tillståndet hos befintliga byggnadsverk med avseende på tidsberoende förändringar. Sådana bedömningar görs idag i huvudsak med okulära besiktningar, men då det har gått så långt att förändringarna är synliga är det som regel för sent för att kostnadseffektivt kunna undvika trafikstörningar, säkerhetsrisker och dyrbara reparationer. Det finns ett stort antal metoder att välja bland, både förstörande och icke-förstörande, men alla har sina nackdelar och begränsningar. Här krävs ytterligare forskning, inte minst för att implementera metoder som fungerar i laboratoriet till verkliga konstruktioner.

Centrala forskningsfrågor:

- Vidareutveckling av metoder för icke-förstörande provning som stöd för tillståndsbedömning. Vilka metoder ger säkrast svar? Hur kan metoderna effektiviseras? Hur kan man t.ex. undersöka tillståndet i brobaneplattans tätskikt eller tillståndet hos injekterade och vidhäftande spännkablar?
- Metoder för övervakning av konstruktioner med avseende på deformationer, läckage, sprickutveckling, korrosion, kalkurlakning och andra nedbrytningsfenomen.

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Det skulle vara till stor samhällsnytta om nya och befintliga metoder kunde utvecklas och implementeras.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Vi vet att många internationella forskare arbetat med icke-förstörande provning utan att alla tekniker lett till ett genombrott. Tekniken med övervakning, moderna givare och fiberoptik är relativt trygg att använda på nya broar men liksom flera andra tekniker svårare att applicera på gamla broar. En översikt över befintliga metoder ges i Sustainable Bridges (2007). I Sverige pågår arbete bl a på SP/CBI och i Mainline (2012). Ytterligare FoU och fler demonstrationsprojekt krävs.

Exempel på projektidéer:

- Jämförelse mellan olika metoder för icke-förstörande provning som stöd för tillståndsbedömning. Hur kan metoderna effektiviseras?
- Undersökning av tillstånd i brobaneplattors tätskikt och hos injekterade och vidhäftande spännkablar?
- Demonstrationsprojekt för övervakning av konstruktioner med avseende på deformationer, läckage, sprickutveckling, korrosion, kalkurlakning och andra nedbrytningsfenomen.

A.3.2 Bedömning av tillstånd och livslängd

Beskrivning av forskningsområdet:

När det gäller befintliga konstruktioner behöver man inte ta höjd för de presumtiva avvikelser man beaktar vid dimensioneringen eftersom man redan har en befintlig konstruktion, vars dimensioner, laster och materialegenskaper kan bestämmas med bättre noggrannhet.

Ett viktigt delområde inom befintliga konstruktioner handlar om kalibrering av beräkningsmodeller för befintliga broars funktion och säkerhet. Syftet är att genom fullskaleförsök försäkra sig om att de beräkningsmodeller vi använder stämmer överens med de brott som verkligen uppträder.

Normmodellerna har successivt byggts på efter inträffade skadefall och på bas av laborieförsök i liten skala och ibland med hjälp av accelererade metoder.

Det kan i broar finnas en dold säkerhet som beror på att vi använder alltför förenklade analysmodeller. De få fullskaleförsök som gjorts har påvisat betydande överkapacitet och ofta andra brottmekanismer än de man förväntat sig, vilket indikerar att det finns mycket att vinna med förbättrad kunskap, se t.ex. Plos (1990) och SB-7.3(2008).

Centrala forskningsfrågor:

- Metoder för att utvärdera bärförmåga, säkerhet och funktion hos befintliga broar.
- Metoder för kalibrering av befintliga analysmetoder och antagna randvillkor mot verkliga fullskaleförsök för att kunna utvärdera funktion och säkerhet hos befintliga broar.
- Metoder för att värdera tillståndet (förändringsgrad, nedbrytningsgrad/skador) hos befintliga konstruktioner och metoder för att kunna dra korrekta slutsatser om orsakssammanhanget bakom dessa tidsberoende förändringar hos befintliga byggnadsverk ("diagnosmetoder").
- Metoder att översätta observerad nedbrytningsgrad/skador hos konstruktionen till information som kan användas vid bedömningen av säkerhet och funktionsförmåga enligt nästa punkt.
- Metoder för förutsägelse av framtida skadeutveckling och därmed metoder för förutsägelse av utvecklingen av framtida säkerhetsnivå och funktion. Dessa metoder bygger främst på en förståelse av nedbrytningsmekanismer och dessas tidsförlopp i olika situationer.

Potentiell samhällsnytta och implementering:

I vårt land finns närmare 10 000 broar som är äldre än 40 år. Minskningen av kapitalvärde varje år på vår brostock brukar uppskattas till 2 % eller c:a 2 miljarder kr. Idag dimensioneras broar för en livslängd på 120 år men intervjuer med de personer som var ansvariga för "rekordårens" broar ger vid handen att man byggde efter gällande regelverk utan identifierad livslängd. Beaktar man antal, ålder och kostnader behöver man inte göra någon avancerad beräkning för att konstatera att varje åtgärd som kan ge ett bidrag till en förlängd livslängd bör övervägas med hänsyn till såväl ekonomi som hållbarhetsperspektiv. Till detta skall läggas en ökad säkerhet och tillförlitlighet i trafiksystemet. Med bättre kunskap kan vid nybyggnation framtida problem undvikas. Dessutom minimeras resursanvändning av material och energi, och bidrar därigenom till en hållbar utveckling.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Generellt sett är tillståndsbedömning ett starkt forskningsområde på anläggningssidan i vårt land. Svenska forskningsenheter har och har länge haft starka roller internationellt, t.ex. inom olika EU-projekt (*BriteEuram*, *Contecvet*, *Rehabcon*, *Sustainable Bridges*, *Mainline*). Man kan lyfta fram deltagare som KTH, LTH och LTU samt CBI Betonginstitutet men även Chalmers har aktivt bidragit t.ex. genom numeriska analysmetoder.

Exempel på projektidéer:

- Fallstudier där bärförmåga, säkerhet och funktion hos befintliga broar utvärderas
- Fullskaleförsök vid rivning av befintliga broar för att utveckla/kalibrera befintliga analysmetoder och antagna randvillkor för att kunna utvärdera hur väl de beskriver verkliga brottförlopp och vilka faktiska säkerheter som erhålls. Idén är alltså att stämna av hur realistiska de metoder är som vi använder oss av när vi bedömer befintliga konstruktioner. Vilken faktisk säkerhet har vi mot brott? Hur bra är våra metoder att förutsäga inverkan av typiska skador/nedbrytning?
- Tillståndsvärdering (förändringsgrad, nedbrytningsgrad/skador) hos befintliga konstruktioner och metoder för att kunna dra korrekta slutsatser om orsakssammanhanget bakom tidsberoende förändringar hos befintliga byggnadsverk ("diagnosmetoder").
- Översättning av observerad nedbrytningsgrad/skador hos konstruktioner till information som kan användas vid bedömningen av säkerhet och funktionsförmåga

- Prediktion av framtida skadeutveckling och därmed metoder för förutsägelse av utvecklingen av framtida säkerhetsnivå och funktion. Dessa metoder bygger främst på en förståelse av nedbrytningsmekanismer och dessas tidsförlopp i olika situationer.

A.3.3 Metodik för individuell bärighetsklassning av broar

Beskrivning av forskningsområdet:

Trafikverket vill kunna utnyttja broars bärighet så mycket som möjligt för att t.ex. färre transporter ska nekas passage över broar eller för att begränsa antalet trafikavstängningar i samband med tunga dispenstransporter. Bärighetsutredningar av broar som utförs genom konventionella klassningsberäkningar är normalt onödigt konservativa. Då en befintlig bro klassas enligt dagens regelverk och ägarens krav avseende tillåten boggikapacitet inte uppfylls kan denna inbyggda säkerhet bli kostsam. På senare år har användning av probabilistiska analyser börjat prövas eftersom dessa ofta möjliggör högre klassningsvärde. Till grund för en sådan analys utförs ibland trafikmätningar på bron så att verkliga axellaster kan utnyttjas istället för normens konservativa lastmodeller. Olinjär FEM är ett kraftfullt verktyg som i t.ex. projektet Sustainable Bridges (2007) bedöms vara den metod som har den största potentialen för att identifiera ytterligare källor till bärförmåga vid bärighetsanalys av betongbroar.

Idén med detta forskningsområde är att vidareutveckla tekniken för individuell bärighetsklassning av broar baserad på verkliga axellaster, sidpositioner, fordonsbredder och dynamiska förstöringsfaktorer. Andra faktorer som kan beaktas är material- och styvhetsegenskaper fastställda för den aktuella konstruktionen in-situ genom mätning eller andra observationer. Genom avancerade strukturanalyser med t.ex. olinjär FEM kan bärigheten bestämmas på ett noggrannare sätt. Tekniken skall kunna användas för att ”klassa” befintliga broar som vid konventionell klassning inte ger önskad säkerhetsnivå. Forskningsområdet omfattar såväl väg- som järnvägsbroar.

Centrala forskningsfrågor:

- Hur kan man förbättra precisionen hos de lastmodeller som används i dag för att beskriva trafiklaster för vägar och järnvägar?
- Vilken säkerhetsfilosofi bör tillämpas för att verifiera bärighet och funktion hos befintliga broar med hänsyn till såväl ordinarie trafik som dispensfordon?
- Vilka modeller och analysmetoder behövs? Hur ska mätresultaten användas för uppdatering av beräkningsmodeller? Hur och vad ska mätas?
- Hur kan man fastställa relevanta hållfasthetsegenskaper och status för en befintlig konstruktion på ett sätt som kan utnyttjas vid fördjupad bärighetsklassning?

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Befintlig infrastruktur representerar ett mycket stort värde i samhället. Stora besparingar kan uppnås om vi med större kunskap kan förlänga livslängden på befintliga broar och öka utnyttjandegraden bättre än vad vi kan åstadkomma idag. Med bättre kunskap om verkliga laster och konstruktioners tillstånd vid bärighetsklassning kan fler broar uppgraderas till högre axellaster och vi slipper dyra förstärkningsåtgärder eller brobyten. Dessutom minimeras resursanvändningen vilket bidrar till en hållbar utveckling.

Resultat av projektet blir en förbättrad teknik som kan användas vid en individuell bärighetsklassning av broar. Implementering bör ske genom att metodiken för fördjupad bärighetsklassning sprids till branschaktörer genom vidareutbildning och skriven dokumentation. Trafikverket har som beställare stora möjligheter att motivera branschen till detta.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Bärighetsanalys av broar med hjälp av probabilistiska metoder är internationellt etablerat som koncept, men har enbart utnyttjats i begränsad omfattning i praktiken. Vad gäller tillämpning för

järnvägsbroar kan nämnas EU-projektet Sustainable Bridges (2007), som koordinerades från Sverige. I detta projekt presenterades en utförlig state-of-art på området tillsammans med en fyllig redovisning av olika undersöknings-, övervaknings- och förstärkningsmetoder samt relevanta analysmetoder med fokus på befintliga konstruktioner.

I Sverige gjordes år 2007 en fullständig probabilistisk analys för Ölandbron där bl.a. axellaster och sidopositioner mättes och användes som indata, se Carlsson & Karoumi (2008). Projektet var ett samarbete mellan Vägverket, KTH-Brobyggnad och LTH-Konstruktionsteknik och är såvitt känt det enda fallet i världen där man också mätte fordonens verkliga sidopositioner och använde det i analysen. Axellaster och axelavstånd bestäms genom en så kallad B-WIM mätning (Bridge Weigh-in-Motion) medan axlarnas bredd och sidopositioner bestäms med hjälp av en metod, så kallad SidoPos, som har utvecklats på KTH-Brobyggnad. KTH-Brobyggnad har också nyligen genomfört probabilistiska klassningsanalyser på drygt 1000 järnvägsbroar i Sverige, Johansson et al (2011).

Exempel på projektidéer:

- Hur stor är den verkliga dynamiska förstöringsfaktorn (DAF) för typiska väg- och järnvägsbroar? Kan vi istället använda istället den s.k. "Assessment Dynamic Ratio", baserad på verkliga mätta DAF?
- Utveckla mätmetoder för att kunna bestämma fordonens axellaster, sidoposition på bron och fordonens axelbredd.
- Ta fram typiska fördelningsfunktioner och karakteristiska värden för axellaster, axelbredder, sidopositioner och DAF som kan användas för probabilistiska analyser.
- Utveckla förenklade metoder för utvärdering av befintliga järnvägsbroars känslighet för tåg i höga hastigheter.
- Bättre förståelse för spårets inverkan (räl, ballast, sliprar) på dynamik, styvhet, lastspridning och dämpning hos befintliga järnvägsbroar.
- Bättre förståelse för asfaltens styvhetsbidrag vid låga temperaturer. Kan vi utnyttja detta och tillåta högre axellaster under vintrar?
- Användning av mätningar och befintliga broövervakningssystem för att erhålla data för en klassningsberäkning/modelluppdatering
- Uppdatering av beräkningsmodeller med mätningar på befintlig konstruktionen
- Utveckling av olinjära analysmetoder och säkerhetsutvärdering för individuell bärighetsklassning av broar.

A.3.4 Förebyggande underhåll

Beskrivning av forskningsområdet:

Intresset för förebyggande underhåll har långsamt vuxit i vårt land. För broar har andelen som avsätts till förebyggande brounderhåll successivt vuxit till 10 %, men frågan är ifall den andelen ändå inte är för liten. Förebyggande underhåll må inte räknas som "high tech" men otvetydigt är att väldigt små resurser hittills satsats på FoU inom detta delområde. Hypotesen är att ett ökat förebyggande underhåll skulle leda till såväl längre livslängder som lägre livscykelkostnader och reducerade materialåtgång.

Centrala forskningsfrågor:

Vidareutveckling av förebyggande underhåll med fokus på följande konkreta frågor om de viktigaste egenskaperna, kravnivåer, kvantifiering av effekter, tidsaspekter, verifieringsmetoder, mätosäkerhet och incitament för genomförande.

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Till skillnad från metoder för icke-förstörande provning så är forskningen kring förebyggande underhåll i sin linda. Hypotesen är att ett förbättrat förebyggande underhåll är ett kostnadseffektivt

sätta att förlänga livslängden. Vår bedömning är att en satsning på detta delområde skulle kunna ge minst 20-falt och kanske 100-falt tillbaka.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Genomförda litteraturstudier om förebyggande underhåll visar att den internationella forskningen ligger på en blygsam nivå men att Sverige och Trafikverket trots allt ligger i framkant. Svensk forskning har därefter fortlöpt, men med splittrade resurser. En riktad satsning på området skulle föra forskningsfronten avsevärt framåt. Ett omfattande förslag till satsning har förslagits i Bygginnovationen (2010a), se även Silfwerbrand (2002, 2008, 2011).

Exempel på projektidéer:

- Vidareutveckling av förebyggande underhåll med fokus på följande konkreta frågor om vilka som är de viktigaste egenskaperna, kravnivåer, kvantifiering av effekter, tidsaspekter, verifieringsmetoder, mätosäkerhet och incitament för genomförande.

A.3.5 Rehabilitering, reparation och förstärkning

Beskrivning av forskningsområdet:

Bygginnovationen (2010b) beskriver området reparationer på följande sätt; Att reparera en konstruktion på ett sätt som återger konstruktionen fullgod funktion under lång tid är egentligen en mer komplicerad uppgift än att bygga nytt. Omfattande kunskap krävs nämligen när det gäller det komplexa samspelet, mekaniskt och beständighetsmässigt, mellan reparationsmaterial och konstruktion. Om reparationsområdet skall vidareutvecklas måste därför ökade kunskaper tas fram om hur nedbrytningsprocesser och mekanisk samverkan mellan reparation och konstruktion sker hos konstruktioner reparerade enligt olika principer.

God reparationsteknik kräver även att fuktförhållandena i en betongkonstruktion exponerad för olika miljöer kan förstås och beskrivas bättre än vad som är fallet i dag.

Ett viktigt exempel på det stora värdet av hittills genomförd forskning inom beständighetsområdet är hur ökad kunskap inom området armeringskorrosion medfört att konstruktioner byggda under de senaste decennierna har betydligt högre säkerhet mot alltför tidig start av armeringskorrosion än tidigare byggda konstruktioner.

Ett annat exempel på hur ökad kunskap och ny teknik tagits till vara på ett avgörande sätt är införandet i mitten av 1980-talet av Anläggningscementet och obligatorisk frostprovning inom anläggningsbyggandet. Broar som producerades tidigare fick i alltför många fall bristfällig frostbeständighet; kantbalkar frös sönder bara några få år efter det bron togs i bruk, övre delen av brobanepplattor under asfaltbeläggningen frös sönder p.g.a. salt- och fuktackumulering. Veterligen har så gott som inga broar byggda under den senaste 25-årsperioden några livslängdspåverkande frostskador. Detsamma gäller betongbeläggningar.

Det finns däremot många exempel på hur brist på kunskap kan medföra att konstruktionernas beständighet riskeras. Detta gäller t.ex. när alternativa bindemedel introducerats utan att några mer djupgående analyser av konsekvensen genomförts.

Trots all genomförd forskning återstår många oklarheter, inte minst när det gäller samspelet under lång tid mellan en reparation och den skadade konstruktionen. Det är framförallt kravet på ökad förståelse av nedbrytningsmekanismer och fuktförhållanden i samband med val av reparationsmetod och utveckling av bättre reparationsmetoder och reparationsmaterial som leder till ett behov av omfattande forskningsinsatser.

Ökade kunskaper inom reparationsområdet kommer även att kunna utnyttjas med framgång vid nyproduktion eftersom de medför att bättre och mera beständiga konstruktioner kan produceras. Följden blir att reparationsbehovet hos kommande konstruktioner på sikt bör minska.

Centrala forskningsfrågor:

- Metoder för rehabilitering/reparation och förstärkning av skadade konstruktioner så att önskade funktionskrav uppfylls.
- Metoder för värdering av olika reparationsmetoders lämplighet vid olika skadetyper, skadeorsaker och konstruktionsdelar. Utvärdering måste göras med avseende på främst följande faktorer: (a) livslängd hos reparerad konstruktion, (b) bärförmåga hos denna, (c) utförande av reparationen, (d) miljöeffekter och (e) ekonomi.
- Analys- och mätmetoder för att utvärdera nyttan med reparations- och förstärkningsarbeten.

Potentiell samhällsnytta och implementering:

Stora besparingar kan ske om rivning och nybyggande kan ersättas med rehabilitering, reparation och förstärkning av befintliga byggnader.

Existerande kunskap och pågående forskning:

Möjligheten att använda förstärkning för att öka bärigheten är ett mycket intressant alternativ, se t.ex. Täljsten m.fl. (2011). I det europeiska projektet *Sustainable Bridges* (2003-2007), bidrog Sverige med ett fullskaleförsök på en 50 år gammal järnvägsbro av betong, se SB-7.3 (2008). Flera svenska doktorsavhandlingar har lagts fram inom området rehabilitering, reparation och förstärkning under senare år.

Exempel på projektidéer:

- Rehabilitering/reparation och förstärkning av skadade konstruktioner så att önskade funktionskrav uppfylls.
- Värdering av olika reparationsmetoders lämplighet vid olika skadetyper, skadeorsaker och konstruktionsdelar. Utvärdering måste göras med avseende på främst följande faktorer: (a) livslängd hos reparerad konstruktion, (b) bärförmåga hos denna, (c) utförande av reparationen, (d) miljöeffekter och (e) ekonomi.
- Analys- och mätmetoder för att utvärdera nyttan med reparations- och förstärkningsarbeten och vilka livscykelkostnader som erhålls med och utan reparation.
- Utveckling av reparationsmetoder med högre grad av industrialisering.
- Bestämning av dimensionerade laster och påkänningar i reparerade betongkonstruktioner.

A.4 Utveckling av byggprocesser och industriellt tänkande

A.4.1 Beskrivning av forskningsområdet

Industriellt tänkande:

Ett industriellt byggande skiljer sig från det traditionella sättet att producera byggnader och anläggningar. I stället för att varje enskilt byggprojekt planeras, projekteras och produceras med egna unika tekniska lösningar och metoder, utvecklas istället robusta och effektiva byggnadstekniska och processtekniska lösningar i en separat utvecklingsprocess. Lösningarna och utvecklade metoder paketeras i mer eller mindre färdiga koncept som erbjuds kunden i det enskilda projektet, se t ex Simonsson (2011).

Begreppet industrialisering har ofta debatterats. Många menar att genom industrialiserat byggande har den befintliga byggprocessen förändrats medan industriellt byggande indikerar att hela byggprocessen har ändrats radikalt jämfört med idag för att ge tydliga effektiviseringar inkluderande bland annat förändring av byggandets hela organisation. Många hävdar att det inte är någon avgörande skillnad mellan begreppen och att det är mer relevant att diskutera i termer som fabrikstillverkning jämfört med platstillverkning, grad av förtillverkning, produktivitet och flexibilitet, volymprodukt i jämförelse med objektsinriktad produkt, Lean Production i jämförelse med Lean Construction (se nedan) och att studera dessa termer för volymbyggande, elementbyggande och platsbyggande, se t ex Olofsson et al (2004).

Industriellt byggande har under senare år fått förnyad uppmärksamhet och hos de byggande aktörerna finns idag stor erfarenhet och en kunskapsbas av detta inom nybyggnad. Praktiska uppföljningar, Andersson et al (2009), visar att det finns tillverkare som lyckats utveckla detta, men många teknikfokuserade förslag inte haft en tillräcklig marknad för att bli lönsamma. Tillsammans med teoretiska studier har därför definitionen breddats och utvecklats till, Larsson (2008):

”Med industriellt avses att processerna, produkterna och ICT-stöden frikopplas från byggprojekten och utvecklas som plattformar eller produkter som sedan tillämpas i projekten.”

Detta synsätt ger stora möjligheter till att effektivisera byggprocessen för att skapa ”mer nytta för pengarna”, nya affärsmodeller och internationell tillväxt. Industriellt tänkande är tillämpligt för:

- reparation, ombyggnad och nybyggnad.
- alla aktörer, dvs inte bara projektering och byggande (industriellt byggande) utan också byggherrar och fastighetsägare (industriella strategier)
- allt byggande, både stora och små projekt liksom för enskilda delkomponenter t.ex. broars kantbalkar.

Bygginformationsmodeller, BIM, och ICT verktyg (verktyg för informations- och kommunikationsteknologi) är viktiga möjliggörare för att koordinera olika aktörer i byggprocessen genom integrering av projektering, analys, produktion samt även automatisering och maskinstyrning. Lika viktigt är standardisering och erfarenhetsåterföring för att åstadkomma ständiga förbättringar av processer och produkter, se t ex ”Lean Thinking / Lean Construction”-filosofierna, Simonsson et al (2008). Här måste upphandlings- och samverkansformer utvecklas som uppmuntrar och stödjer industriellt tänkande och införande av nya innovationer i anläggningsbranschen.

”Leantänkandet” har blivit känt som ett arbetssätt att effektivisera processerna och utveckla det industriella byggandet. Toyota gjorde arbetssättet tydligt och i Sverige har t ex Scania följt efter. Lean Thinking och Lean Production är etablerat som en filosofi men är inte allmänt implementerat i t ex byggbranschen; Lean Construction, se t ex Liker (2004) och Simonsson (2011). Utgångsplattformen för Lean Construction är mycket enkel: att leverera vad kunden eftersträvar, när denne behöver det och till rätt kvalitet. För att göra detta fokuseras på ett antal filosofier härstammande från bilindustrin. Det gäller bl a att skapa kontinuerliga processflöden, att låta efterfrågan styra, att jämna ut arbetsbelastningen och att bli en lärande organisation. En kärnpunkt är att få bort allt slöseri (japanska ”muda”).

Med definition av industriellt byggande enligt ovan finns många exempel gentemot professionella kunder som visar bredden i utvecklingen, t.ex. NCC (14 olika plattformar och produkter), Göteborg Bygglogistik, Strängbetong samt offentliga fastighetsägare som Malmö Kommunala Bostäder inom sitt stambytesprogram. Gemensamt för dem alla är att de är uppbyggda kring en lönsam marknad, dvs har en affärsmodell som beaktar marknadsförutsättningar, har ett erbjudande till kund innehållande det tekniska byggsystemet. Man noterar att några av de lyckade industriella plattformarna är helt platsbyggda vilket visar betydelsen av att även beakta processerna.

På samma sätt arbetar Trafikverket med sina industriella strategier. Dessa innefattar exempelvis att som beställare definiera nivån på sina arbeten. Bland annat ska val av beläggning eller bro beslutas för varje enskilt fall utifrån funktion. Alternativt kan man ha färdiga lösningsförslag.

Många studier har på senare år påvisat stora möjligheter att effektivisera och rationalisera anläggningsbyggandet i landet. I studierna redovisas de bakomliggande internationella grunderna och erhållna svenska praktiska erfarenheterna, se t ex Olofsson et al (2012). Medan projekteringen har blivit effektivare, t.ex. genom övergång från handritning via CAD till BIM, så har inte speciellt mycket hänt beträffande produktionsmetoder under de senaste 30 åren, Hallgren (2012). Relativt lite har också skett inom användning t ex av nya och förbättrade material och ny fogningsteknik, Harrysson (2008).

Idag utförs i Sverige de flesta små och medelstora broar med relativt liten grad av systemtänkande och automatisering, medan i många andra länder tillämpas mer processinriktat industrialiserat brobyggande som har drivit fram innovation och ny teknik. Detta gäller även andra typer av byggnadsverk på anläggningssidan. Dessutom visar Andersson et al (2009) att hittillsvarande industrialiserade koncept nästan enbart haft fokus på byggtekniken och i för liten omfattning beaktat övriga "icke-tekniska" delar i en affärsmodell, bl.a. inverkan av den svenska marknadens begränsande storlek. Erfarenheterna visar samtidigt att det finns ett flertal områden där industrialiserat byggande ger stora möjligheter vilket bekräftas av data i Trafikverkets underlag till Produktivitetskommitteen, PIA (2012).

Helhetssyn:

Den tekniska utvecklingen som är nödvändig för att uppnå en effektiv industrialiserad process kräver en helhetssyn där alla delar i processen integreras. Detta omfattar alltifrån skisser och lösningar tidigt i planprocessen som materialteknik, konstruktionstekniska lösningar och produktionsmetoder i bygghandlingsskedet. BIM och ICT ses här som en möjlig "integrator" för att få en obruten informationskedja genom hela processen. Samspelet mellan alla dessa aspekter är ytterst viktigt för att uppnå optimala koncept för modernt anläggningsbyggande.

Till exempel, ger "Engineered materials" och nya materialkombinationer (fiberkompositer, höghållfast stål, fiberarmerad betong, etc.) nya möjligheter för effektiva konstruktionslösningar och produktionsmetoder med hög förtillverkningsgrad och snabbt montage. Dessa medför i sin tur stora vinster i effektivitetshöjning, kortare byggtid och förbättrad arbetsmiljö.

Simuleringsteknik (t ex 4D), såväl vid projektering, produktion som vid förvaltning, kan användas för utvärdering av processer och tekniska lösningar redan under planskedet innan upphandling av entreprenader för att utvärdera olika alternativ.

Upphandling:

En annan nyckelfråga är hur nyproduktion och underhåll upphandlas där en ökad grad av totalentreprenader och funktionsentreprenader blir en förutsättning för en lyckad implementering av nya innovativa tekniska lösningar och processer. Det är också viktigt att utnyttja möjligheterna i s.k. innovationsupphandlingar för att få med nya aktörer och nya affärsmodeller.

Det verkar dock finnas en övertro på att effektivisering enbart kan åstadkommas med införandet av nya upphandlingsmetoder. Upphandlings- och samverkansformer kan vara katalysatorer för att införa ny teknik och effektivare processer. Det är här viktigt att investeringskostnader ställs i relation till den långsiktiga samhällsnyttan; det är inte alltid säkert att den bästa lösningen innebär en sänkt investeringskostnad. Målet med framtida forskning handlar därför bl. a. om att i samarbete med branschen studera vad som verkligen behövs för att uppnå de långsiktiga samhälleliga målen.

Kostnader:

Enligt Eurostat har Sverige det högsta kostnadsläget för infrastruktur i Europa. Kostnadsökningen för infrastruktur är också väsentligt högre än för andra kostnader i samhället.

Traditionellt har man inom den konstruktionstekniska forskningen inte mer i detalj arbetat med kostnadsfrågor. Många föreslår nya innovativa lösningar som ska innebära olika ekonomiska fördelar. Tyvärr uppdragas ofta att flera presenterade lösningar vid möte med verkligheten inte visar sig vara så kostnadseffektiva som man trott. Investeringskostnaden måste enligt ovan ställas i relation till konstruktionens hela livscykel där framtida underhålls- och reparationsbehov och hur dessa kommer att påverka konstruktionens funktion beaktas. Här är simuleringar enligt ovan och s.k. testbäddar och andra testplattformar viktiga verktyg för implementeringen.

Produktivitet och kvalitet:

Produktivitet kan enklast, men kanske felaktigt, mätas i termer som kvadratmeter väg eller järnväg per krona, men man måste på något sätt väga in kvaliteten hos produkten, se även rapporter från Bygginnovationen (2010a, b). Där betonas bl a den högre erhållna kvaliteten i senare byggnadsverk jämfört med de som byggdes på 60- och 70-talet. Beträffande kvalitet kan man ur slutkonsumentens synvinkel lägga till krav på ”produkten väg” med uttrycket ”tillgänglig, säker väg” inkluderande ”säkerhet” och ”tillgänglig” som viktiga delar i begreppet/produkten ”väg”.

Det finns utöver, direkt kundupplevd kvalitet, även andra kvalitetsmått som bör beaktas. Exempel på sådana är:

- Förändrade miljö- och säkerhetskrav i byggandet
- Tekniska funktionskrav som kanske är för högt ställda
- Krav på förbättrad estetisk utformning
- Förändrade krav på dokumentation
- Vissa miljökrav som inte är optimala om hänsyn tas till alla miljöeffekter t.ex. vid optimering av lokala kontra globala miljöfrågor respektive användandet av befintliga bedömningsystem och kriterier

Trafikstörningar:

Byggande av nya byggnadsverk eller utbyte av befintliga medför oftast trafikstörningar med stora konsekvenser för trafikanter och negativ inverkan på miljön. För trafikanterna innebär dessa störningar begränsad framkomlighet, förseningar och i vissa fall förlängda körsträckor. Dessa medför i sin tur negativa miljöeffekter.

Trafikstörningar och förseningar uppskattas till cirka 1 % av EU-ländernas GDP (Gross Domestic Product). Pågående studier inom EU-projektet Pantura (2012) visar att broar är en av de största flaskhalsarna. Underhålls-, uppgraderings- och förstärkningsaktiviteter på befintliga broar, samt byggande av nya broar bidrar till ansenliga trafikstörningar, speciellt i städer med stora trafikmängder.

För att i möjligaste mån reducera miljömässiga och ekonomiska effekter behövs effektivare och mer rationella tekniska lösningar och produktionsmetoder, som syftar till snabba och väl planerade aktiviteter på plats. Detta ställer krav på innovation och nytänkande. Med nya material och nyutvecklade produktionsmetoder ges möjligheter till snabbt montage ofta med hög förtillverkningsgrad. Detta kan genomsyras av ett DFMA-tänkande genom hela processen (Design For Manufacturing and Assembly).

BIM och övrig ICT:

BIM och Industriellt byggande finns beskrivet i Produktivitetskommitténs arbete kring Trafikverket och anläggningsbyggandet, PIA (2012). Beträffande BIM anges där Trafikverkets

- övergripande resande- och trafikantmål

- förväntad nytta med BIM genom att uppnå en effektivare förvaltning och bättre punktlighet samt påverkan på omgivande aktörer
- konkreta mål kopplade till BIM
- strategi för att nå målen, både i interna projekt men också i branschgemensamma arbeten (främst OpenBIM)
- Tolv exempel på hur BIM kan förändra processen (konkreta och kvantifierbara nyttor)

Detta är tydliga texter kopplat till att Trafikverket nu tagit ställning både avseende BIM samt industriella strategier.

Även i Ekholm (2012) redogörs bl a tydligt för samhällsbyggnadssektorns

- nytta av BIM
- ekonomiska effekter av BIM
- implementering av BIM
- hinder för realiserande av nyttan med BIM

Från ovan konstateras att ICT-stöd i avgränsade delar kan utvecklas. Ännu större nytta av BIM finns om aktörer och skeden i byggprocessen möter varandra.

Ett brett genomslag av de nya effektiva samverkansformerna som uppkommer med BIM anges bl.a. hindras av bristen på standarder kopplade till processer, begrepp, dataformat samt avtal. Ett branschgemensamt arbete kring detta har nyligen initierats av OpenBIM med bred delfinansiering, bl.a. från Trafikverket. Detta arbete måste bedrivas parallellt med användningen av själva applikationerna. Som applikationer måste man också lägga till inbyggd IT för uppföljning av trafikflöden, påkänningar mm som ännu är i sin linda.

A.4.2 Översikt insatsområden

Följande insatsområden har definierats:

Processförbättringar:

Industriellt tänkande och byggande, med integrering med hjälp av BIM-modeller genom plan- och bygghandlingsskedet. Detta innefattar s.k. virtuellt byggande där design och olika typer av analyser och kalkyl- och planeringsverktyg kan integreras i flerdimensionella modeller (för strukturanalys, inspektion, kalkyl, produktionsplanering, simulering, granskning och tillståndsbedömning dvs en utökning av 3D modeller). Projektering med hög byggbarhet där restriktioner för att underlätta produktionen kan införas som krav i projekteringen.

Utveckling av konfigurerbara produkter i anläggningsbyggande som typbroar, stödmurar, bullerplank mm som kan projekteras och beställas via enkla webportaler på nätet. Framtagande av industriella strategier för förvaltning med brukarfokus.

Tekniska lösningar för effektiv nyproduktion, reparation och underhåll:

Tydliga förtjänster finns vid utveckling av industriellt byggande vid såväl nyproduktion, reparation och underhåll. Nya produktionsmetoder, nya byggsystem, förtillverkning av komplexa moduler introduceras vilka tillsammans med ny bygplatsorganisation ger stora vinster i effektivitetshöjning, kortare byggtid och förbättrad arbetsmiljö. Arbetsmiljöfrågor kan också få större genomslag vid ett industriellt byggande där processer och metoder i högre grad kan standardiseras och kvalitetssäkras. Här måste också upphandlings- och samverkansformerna utvecklas för att uppmuntra utvecklingen av innovationer och industriella lösningar. Observationsmetoden är ett annat område med stor potential, speciellt i projekt där det råder osäkerhet.

Produktivitet utveckling av infrastruktur – funktionskrav, kvalitet och kostnader:

Viktiga frågor att studera är vad som verkligen behövs för att uppnå de samhällsliga målen baserade på rätt ställda funktionskrav och vad som kan göras för att minska kostnader och klimatutsläpp. Utvecklade funktionskrav bör sammanställas och göras tillgängliga digitalt för att kunna koppla s.k. "model checkers" till att kunna göra digitala kvalitetsgranskningar av utvecklade BIM-modeller. Regelverket skulle på detta sätt bli mer transparent och kunna granskas utifrån aspekter som påverkar byggbarhet, effektivitet och andra egenskaper.

Tekniska lösningar för minimering av trafikstörningar:

Stora kostnader för samhället finns vid byggandet i form av avstängningar och allmänna trafikstörningar. Metoder utvecklas för att minimera byggtiden i trafikerade områden.

A.4.3 Potentiell nytta för samhälle och industri

Betydande förtjänster för samhället och industrin finns vid utveckling av industrialiserat byggande. Förtillverkning av komplexa delsystem kan tillsammans med nya produktionsmetoder och en effektiv byggplatsorganisation ge stora ekonomiska vinster i form av effektivitetshöjning, bättre resursutnyttjande och minskade byggfel.

Förutom de ekonomiska vinsterna innebär industrialiserat byggande och nya affärsmodeller ökat fokus på brukarkrav som kortare byggtider och mindre aktiviteter på byggarbetsplatsen vilket bidrar till bättre arbetsmiljö, förbättrad säkerhet och minskad inverkan på den omgivande miljön (buller, avgasor, etc.). Med ICT-verktyg kan man uppnå ett effektivare och mer rationellt anläggningsbyggande. Verktygen erbjuder t.ex. bättre möjligheter att förutse och minimera miljöeffekterna samtidigt som de bidrar till att förenkla förvaltningen och reducera underhållsbehovet.

Det borde gå att hitta besparingar med större kunskap om hur man bygger, underhåller, reparerar och ersätter på ett för samhället och miljön bästa sätt. Det handlar troligen inte i första hand om det man ofta förenklat kallar produktivitet, d.v.s. att spika och gjuta fortare, utan snarare om att studera vilka funktions- och andra krav som verkligen är nödvändiga, d.v.s. vilken kvalitet som samhället är villigt att finansiera.

Framtagning av nya tekniska lösningar och implementering av nya innovationer och metoder som innebär en reduktion av trafikstörningar kommer att bidra till en mer robust och tillförlitlig infrastruktur med väl fungerande transporter och effektiva transportkedjor för näringslivet.

A.4.4 Centrala forskningsfrågor

Viktiga forskningsfrågor är:

- Hur och inom vilka områden bör man utveckla nya tekniska lösningar och processer med fokus på industrialisering och ökad produktivitet? Detta gäller vid såväl nyproduktion som underhåll och uppgradering av befintliga byggnadsverk.
- Hur ska man ta tillvara upprepningseffekter? Detta kan ske t.ex. genom medveten planering i planskedet och upphandling där serier av anläggningskonstruktioner handlas upp i ett kontrakt.
- Hur ska man utveckla nya effektiva byggsystem, produkter och metoder baserade på funktionskrav?
- Hur bör underhålls- och reparationsmetoder utvecklas och implementeras? Hur ska delsystem tas fram som ger ökad livslängd och minskat behov av inspektion och underhåll?

- Hur skapas plattformar för kunskap- och erfarenhetsöverföring från andra industrier och tillämpningar med hög industrialiseringsgrad? Ökad standardisering av komponenter, produkter och processer är här ett mål.
- Vilka LCC verktyg bör tas fram som kan stödja beslutsprocessen för fördelningen investering/underhåll under byggskedet?
- Hur ser formerna ut för funktionsentreprenader med helhetsåtagandet för drift och underhåll under längre tidsperioder?
- Hur ska projekteringsprocessen effektiviseras så att endast de leveranser som ger mervärde utarbetas?
- Vilka metoder bör utvecklas för kvalitetssäkring och verifiering av kundkrav för nya tekniska lösningar för industriellt byggande? Detta kan ske som ett steg mot ökat nyttiggörandet av forskningsresultat och implementering av nya innovationer och metoder.
- Hur utformas nya tekniska lösningar och processer med fokus på att minimera trafikstörningar vid såväl nyproduktion som underhåll och uppgradering av befintliga broar?
- Hur ska man minska kostnader och klimatutsläpp med speciellt inriktning mot byggprocessforskning? (Det kan handla om att ifrågasätta en hel del av de projekt och åtgärder som vi idag finner självklara och nödvändiga).

A.4.5 Forskningsområdets status i Sverige

Svensk forskning inom området bedrivs främst vid de fyra tekniska högskolorna som ingår i Sveriges Bygguniversitet. Den är till stora delar högkvalitativ och i den absoluta internationella fronten. Industriellt byggande och strategier har genom sina praktiska tillämpningar under det senaste decenniet en internationellt unik vetenskaplig nivå. Även inom ICT och BIM är svensk kunskap bland de främsta i världen som framgår bl a av www.openbim.se. Dock måste effekten av pensionsavgångar beaktas och lösas. I båda fallen är samverkan mellan beställare (som Trafikverket), akademi och företag en anledning till detta. Inom byggnadsverk bidrog exempelvis de fyra högskolorna, som nämns på annat håll, till arbetet i ett europeiskt projekt, Sustainable Bridges (2007), till en omfattande ”state-of-the-art”. Även några andra projekt adresserande industrialiseringsfrågor har genomförts inom Sveriges Bygguniversitet, se t ex Sundquist (2011). Vidare har EU-projektet Pantura (2012) inriktats mot att studera trafikstörningar i stora städer.

Svensk anläggningsforskning har hittills i mindre grad inriktats mot området produktivitetsutveckling, LCC och LCA. Dock har några doktorsarbeten genomförts t ex vid LTU, LTH och Chalmers för applikationer inom anläggningsbranschen. En riktad satsning på byggnadsverk, som omhändertar kunskap och erfarenheter från övrigt byggande och sker i ”Triple Helix”-samverkan, skulle föra forskningsfronten avsevärt framåt. Det kan nämnas att i Sverige finns, tack vare god tillgång på omfattande information kring den svenska infrastrukturen, bättre förutsättningar för forskning än i många andra länder.

A.4.6 Exempel på forskningsidéer

Processförbättringar:

- Hur rätt projekteringsprocess kan ge ökad byggbarhet och underhållsbarhet
- Projektering för hög byggbarhet
- Förvaltning och drift, t.ex. mätning av trafikflöden och påkänningar
- Sektorgemensam insamling av erfarenhetsdata och testbäddar för bred förståelse av problem. Industriella strategier för Trafikverket
- Utveckling och utprovning av branschgemensam standard kopplad till processer, begrepp, dataformat och avtal ihop med OpenBIM

- Metod för projektvis överenskommelse av användning och nytta av ICT/BIM, sk IPD, Ekholm (2012)

Tekniska lösningar för effektiv nyproduktion, reparation och underhåll:

- Industriella metoder för betongbyggande (platsgjutet, prefab, kombination)
- Brokoncept för snabbmontage och lansering av broar
- Flexibla modultillverkade broar av t ex stål och betong
- Hur byggbarhet (projektering) och Lean Construction (byggande) har applicerats hittills och vilka eventuella hinder som föreligger
- Vidareutveckling av denna innovativa produktionsteknik (och annan teknik) för att reducera kostnader för drift och underhåll inkl. reduktion av användarkostnader
- Att skapa plattformar för kunskap- och erfarenhetsöverföring från andra industrier och tillämpningar med ökad standardisering av både produkter och processer
- Simulering av produktionsmetoder kopplat till leverantörskedjor och entreprenadform
- Säkerställa verkningssära förståelse och funktion i digitala modeller och beräkningar
- Regelverk och brukarvärden som drivkrafter för, samt produkter och processer lämpliga, för industrialiserat tänkande
- Utvärdera och implementera sk ”webbaserade kodgeneratorer kopplade till BSAB-systemet
- Metoder och system för gemensam erfarenhetsåterföring inklusive databaser enligt Bygginnovationens effektivitetsmått
- Uppföljning och utvärdering av olika innovationsupphandlingar, t.ex. i form av ”paket” med fleråriga brobyggnadsprojekt
- Genomföra och utvärdera processer med successiv granskning med hjälp av BIM
- Högskoleutbildning inom industrialiserat systemtänkande, både strategiskt tänkande samt konkreta byggprojekt
- Byggsystem för tunnelarbeten, speciellt koppling till automatiserad sprutbetong
- Utvärdering och användning av självkompakterande betong, kvarsittande formar, prefabricerad armering
- Utvärdering av användningen av anläggningscement kopplat till beständighet, tillförlitlighet, leveranssäkerhet i landet respektive ekonomi
- Robusta tekniklösningar för brobeläggningar
- Materialteknik för självrenande och NOx-reducerande tunnelytor ger minskat underhållsbehov och minskade trafikstörningar.

Produktivitetens utveckling av infrastruktur – funktionskrav, kvalitet och kostnader:

- Innovation och teknisk verifiering av funktionskrav
- Mätmetoder för produktivitet
- Varför höjer vi kvaliteten på trafikinfrastrukturen? Är vi säkra på att kundnyttan förbättras genom den – till synes oundvikliga – process som styrs av ”kravmaskinen”
- Teknisk metodutveckling i samarbete med branschen för att finna nya innovativa lösningar, som klarar de samhällsliga funktionskraven, utan att behöva vara styrda av nuvarande regler. Exempel är projektet ”Optimala kantbalkssystem” samt utveckling av rörbroar som lett till radikala kostnadsbesparingar
- Strukturerat produktivetsarbete för effektivisering av byggprocessen inklusive plan- och projekteringsprocessen med fokus på att möta kundupplevt kvalitet
- Ta med LCA i alla analyser av infrastruktur. Nödvändigt för miljön skull, men är också ett sätt att komma åt produktivetsfrågor
- Teknisk verifiering av funktionskrav genom provning
- Tillförlitlighet av konstbyggnaders funktion baserat på instrumentering och realtidsuppföljning.

Tekniska lösningar för minimering av trafikstörningar:

- Nya brokoncept för snabb lansering av broar över väg och järnväg
- FRP-brodäck för uppgradering av befintliga samverkansbroar
- Industriellt byggande med FRP broar
- Toolbox för förstärkning- och reparationsmetoder med effektiv erfarenhetsåterföring
- Simulering av produktionsprocessen med BIM-verktyg och kopplingen BIM/FEM
- Användning av prefabricerade betongelement vid renovering av brofarbanor
- Totalentreprenader i BIM-strukturen.
- Nya konstruktionslösningar och material för korta byggtider.

A.5 Kompetensutveckling

Kompetensutveckling är en nyckelfråga vid effektivisering av transportsystemet. All personal som skall implementera och använda nya metoder och processer behöver bakgrundskunskap för att förstå och rätt tillämpa forskningsresultat och innovationer. Nedan redovisas några områden där insatser för kompetensutveckling är särskilt angelägen.

A.5.1 Projektering i tidiga skeden

Tidiga skeden i planering av olika förändringar i trafiksystemet har stor påverkan på kostnadsbilden. Ökad kunskap om metoder, processer och livscykelkostnader kan här ge stora ekonomiska vinster i det fortsatta projekteringsarbetet.

A.5.2 Dimensionering/detaljprojektering av broar

Ett teknikskifte äger rum beträffande systemberäkningar. De har tidigare huvudsakligen baserats på balkteori och ramanalys men övergår nu till att baseras på platt- och skalteori och beräkningarna sker i ökad grad med finit elementmetod (FEM). Ökad kompetens om beräkningsförutsättningar och tolkningsmöjligheter är här nödvändiga för att optimala konstruktioner skall skapas.

Kvalitén på beräkningsresultaten och den dimensionering som görs med dessa nya metoder är starkt beroende av kompetensen hos konstruktören. Det kräver kunskap och förståelse inom såväl beräkningsmekanik som konstruktionsteknik. Det finns annars en risk för att såväl rena fel begås som att konservativa modelleringsval och tolkningar av resultaten istället kan leda till fördyrade konstruktioner. Det finns därför behov av fortbildning för att åstadkomma ett kunskapslyft för såväl brokonstruktörer som beställare.

För närvarande pågår ett arbete att på uppdrag av Trafikverket ta fram en handbok med rekommendationer för finita elementanalyser. Tanken är att med handboken, utbildningen vid högskolorna och erfarenheten internationellt erbjuda kompetensutveckling i form av t.ex. kurser workshops och seminarier.

Viktiga kompetensområden:

- Idealisering av konstruktionen och val av strukturmodell
- Val av element, materialmodeller, randvillkor, modellering av laster och modelleringsdetaljer
- Statiska och dynamiska analyser, linjära och olinjära analyser
- Tolkning och bearbetning av resultat, och dimensionering baserad på resultat från FE-analyser

- Kontroll, verifikation och redovisning av modell, beräkningar och resultat

Kompetensområdets status i Sverige:

Kunskap inom området finns vid de tekniska högskolorna som ingår i Sveriges Bygguniversitet samt på vissa håll i brobranschen. Chalmers har under lång tid arbetat med FEM i undervisning och forskning. KTH har en omfattande verksamhet rörande modellering av bl.a. dynamisk respons och LTU arbetar med tillståndsbedömning med hjälp av FEM. Genom forskningen finns kunskap om kompetensläget internationellt och det finns ett gott samarbete med brobranschen.

A.5.3 Utförandefrågor

Kompetensutveckling beträffande nya byggmetoder i ett Lean perspektiv, där projektering skett för hög byggbarhet, kommer att ha stor inverkan på framtida industrialiseringsprocess.

A.5.4 Tillståndsbedömning, reparation, förstärkning och underhåll av befintliga konstruktioner

Andelen befintliga konstruktioner ökar och kunskap om metoder för att bedöma tillstånd och behov av reparation, förstärkning och underhåll är väsentliga för att kunna välja kostnadseffektiva åtgärder

Viktiga kompetensutvecklingsfrågor:

- Dimensioneringen och bärlighetsberäkningar görs idag med förenklade modeller för lasternas överförande till lasteffekter. Med mer sofistikerade sannolikhetsbaserade modeller kan materialåtgången minska och/eller så kan bärligheten ökas.
- Bärlighetsutredningar görs idag med i princip samma bärförmågemodeller som används vid dimensioneringen av nya broar. Med bärförmågemodeller som är speciellt utarbetade för befintliga broar kan bärligheten ökas, broar kan användas längre etc.
- Mer exakta modeller för tillståndsutveckling för broar medför att planering av direkta åtgärder kan göras mer ekonomiskt.

Kompetensområdets status i Sverige:

Inom Sveriges Bygguniversitet finns stor kompetens inom området. Svenska högskolor har deltagit och deltar i internationella samarbetsprojekt som Sustainable Bridges (2008), Mainline (2012) och Pantura (2012) och därifrån finns kunskap att föra ut.

A.5.5 Erfarenhetsåterföring och incidensrapportering

Ett system behöver tas fram för att ta till vara på de erfarenheter och lära av de misstag som görs.

Ett konkret förslag är att utreda hur man skulle kunna ta fram produktivitetmått kopplade till t.ex. konstruktion, byggproduktion och förvaltning. Genom krav vid upphandlingen kan man möjliggöra en uppbyggnad av gemensamma databaser. Detta arbete kan leda till metoder för att löpande utvärdera och tillgodogöra sig erfarenheter både kring processer, produkter, informations- och upphandlingsformer.

Många erfarenheter kan även erhållas från misslyckanden. Kunskapen förblir dock oftast företagsintern och frågorna regleras via juridiska förhandlingar där resultaten inte offentliggörs. Inom annan industri förekommer olika former av strukturerad erfarenhetsåterföring via s.k. ”haverikommissioner”.

Ett konkret förslag är att utreda om det är möjligt att samla in erfarenheter av misstag utan att aktuella personer och företag känner sig utpekade. I andra certifieringssammanhang löser man detta genom 3:e partsgranskning med sekretess kring projektet.

A.5.6 Implementering av forskningsresultat

Inom alla forsknings- och utvecklingsprojekt bör en plan finnas för hur resultaten skall implementeras.

A.6 Referenser

Andersen, A. (1996): HETEK, Investigation of chloride penetration into bridge columns exposed to de-icing salt. Rapport 82, Vejdirektoratet, Köpenhamn

Andersson, Niclas (2012): Industriellt byggande har blivit Industriella processer och produkter. Artikel från LTH som underlag för sektorns IQS-agenda. Ännu ej publicerad.

Andersson, Ronny; Apleberger, Lennart och Mólmar, Miklós (2009): Erfarenheter och effekter av industriellt byggande i Sverige, Malmö: Sveriges byggindustrier, Teknisk rapport 0905, 79 sid.

Bygginnovationen (2010a) : Delrapport Bro, Resultat av ett grupparbete inom forskningsprogrammet Bygginnovationen, 2010-11-04, 68 sid. Kan laddas ner från http://www.bygginnovationen.se/documents/Bygginnovationen/Alla_partners/Slutrappporter_Fas_1/EMB-analysgrupp-BRO.pdf

Bygginnovationen (2010b) : Reparation av betongkonstruktioner. Skador och reparationsmetoder från 1970-talet och framåt. Reparationsbehov, forskningsbehov, effektivitet. Resultat av ett grupparbete inom forskningsprogrammet Bygginnovationen, Februrari 2010, 77 sid. Kan laddas ner från http://www.bygginnovationen.se/documents/Bygginnovationen/Alla_partners/Slutrappporter_Fas_1/Bygginnovationen_Skador_och_reparationsmetoder_20100225.pdf

Carlsson, Fredrik och Karoumi, Raid (2008): Probabilistisk analys av Ölandsbron baserad på fordonens verkliga laster och sidpositioner. KTH TRITA-BKN Rapport 127, 144 sid. <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:431869/FULLTEXT01>

Carlsson, F., Plos, M., Norlin B. och Thelandersson, S. (2008): Säkerhetsprinciper för bärighetsanalys av broar med icke-linjära metoder. Rapport TVBK-3056, Avd. för Konstruktionsteknik, LTH, 2008

COST (2011): Robustness of Structures. European Cooperation in Science and Technology. EU COST Action TU0601, se www.cost-tu0601.ethz.ch/

Ekholm, Anders (2012): BIM som innovation i bygg- och förvaltningsprocesserna. Kapitel i Vinnorapporten "Bygginnovationers förutsättningar och effekter (Red J Bröchner), VINNOVA RAPPORT VR 2012:09, sid. 80-87

ETSI (2012): *Bridge Life Cycle Optimisation* (from Finnish: *Elinkaareltaan Tarkoituksenmukainen Silita*), En lång rad referenser, program och rapporter kring det nordiskt gemensamma FoU-programmet ETSI (livstidsoptimering av broar som bl.a. behandlar LCC och LCA) kommer att finnas på hemsidan <http://etsi.aalto.fi/>.

Eurostat (2010): Eurostat. Statistics in focus, 64/2010,
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-SF-10-064/EN/KS-SF-10-064-EN.PDF

fib Model Code 2010 (2012): *fib Model Code 2010, First Complete Draft* – Volume 1 and 2. fib Bulletins 55 and 56, 2010. *Final Draft* - Volume 1 and 2. fib Bulletins 65 and 66, 311 and 332 pp, 2012. Lausanne: International Federation of Structural Concrete. ISBN 978-2-88394-095-6, 978-2-88394-096-3, 978-2-88394-105-2, and 978-2-88394-106-9 respectively.

Hallgren, Mikael (2012): Brobyggarna behöver mer industriellt tänkande. Byggindustrin, nr 07/12.

Harryson, Peter (2008): Industrial Bridge Engineering – Structural developments for more efficient bridge construction. Ny serie nr. 2810. Göteborg 2008. Doctoral Thesis.

Johansson, Christoffer; Arvidsson, Therese; Davide, Martino; Yavari, Majid Solat; Andersson, Andreas (red); Pascote, Costin och Karoumi, Raid (2011): Höghastighetsprojekt - Bro: Inventering av järnvägsbroar för ökad hastighet på befintliga banor. KTH TRITA-BKN Rapport 141, 241 sid.
<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:504587/FULLTEXT01>

Kadefors, Anna och Bröchner, Jan (2008): Observationsmetoden i bergbyggande: Kontrakt och samverkan, SveBeFo Rapport K28.

Larsson, Robert (2008): Platsgjutna stommar för flerbostadshus – Beskrivning av stombyggnadsprocessen idag och metod för analys av effektiviseringsmöjligheter. LTH-rapport TVBK-3057. Rapporten kan laddas ner som pdf via SBUF:s hemsida (projekt 11799), 82 sid.

Lessing, Jerker (2006): Industrialised House Building, Licentiate thesis, Div. of Design Methodology, Lund Institute of Technology, Lund, 202 pp.

Liker, Jeffrey K (2004): The Toyota Way. 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer, Mc Graw Hill, 2004, 350 sid. (En sammanfattning av artikeln finns i Kontentan nr 187, www.kontentan.se)

Lindvall, A. (2003) Environmental actions on concrete exposed in marine and road environments and its response. Publikation P-03:2, Byggnadsmaterial, Chalmers

Mainline (2012): Ett EU-projekt inom FP7 med titeln: *MAINTenance, renewaL and Improvement of rail transport iNfrastructure to reduce Economic and environmental impacts*. Projekt nr 2011-2014, Grant agreement 285121, SST.2011.5.2-6. Projektet har 19 deltagare och koordineras av tekn dr Björn Paulsson, UIC/Trafikverket, se www.mainline-project.eu

Olofsson, Thomas; Stehn, Lars och Lagerqvist, Ove (2004): Industriellt byggande – byggbranschens patentlösning? Väg- och Vattenbyggaren, No 8, 2004, sid 19 –24.

Olofsson, Thomas; Rönneblad, Anders; Berggren, Björn; Nilsson, Lars-Olof; Jonsson, Carl; Andersson, Ronny och Malmgren, Linus (2012): Kravhantering, produkt- och projektutveckling av koncept. Avd. för Byggkonstruktion och Byggproduktion, Luleå Tekniska Universitet, 2012 97 sid.

Pantura (2012) : Ett EU-projekt inom FP7 som fokuserar på “developing and implementing innovative solutions for the design, engineering and co-ordination of new construction and the renovation of bridges in cities”. Projektet har 12 deltagare och koordineras av professor Robert Kliger, Chalmers, se www.pantura-project.eu/

PeBBu (2005): Performance Based Building Thematic Network. The main objective is "Stimulation and pro-active facilitation of international dissemination and implementation of Performance Based Building in building and construction practice. All final reports can be found at <http://www.pebbu.nl/resources/allreports/>

PIA (2012): Produktivitets- och innovationsutveckling i anläggningsbranschen. PIA-rapport Produktivitetskommittén, Utvärdering av Trafikverkets produktivitetsprogram PIA, 2012-03-20

Plos, Mario (1990): Skjuvförsök i full skala på plattambro i armerad betong. (Full scale shear test of a reinforced concrete slab frame bridge. In Swedish). Göteborg: Chalmers tekniska högskola, Konstruktionsteknik – Betongbyggnad, Rapport 90:3, 45 +72 pp.

SB-7.3 (2008): Field Test of a Concrete Bridge in Örnköldsvik, Sweden. A report from the EC FP6 Integrated Research Project Sustainable Bridges – Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives. 402 pp. Main authors: Elfgrén L, Enochsson O, Puurula, A, Thun H, Luleå University of Technology. Available at www.sustainablebridges.net

SBF (2007): Vägledning för livslängdsdimensionering av betongkonstruktioner, Svenska Betongföreningen, Rapport Nr 12, 141 sid.

Schlune H (2011): Safety Evaluation of Concrete Structures with Nonlinear Analysis. Div. of Structural Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2011.

Silfwerbrand, Johan (2002): *Aktivt brounderhåll – en förstudie*. Rapport nr 65, Brobyggnad, Institutionen för byggvetenskap, KTH, 2002, 65 s.

Silfwerbrand, Johan (2011): *Improving Preventive Maintenance*. ACI Special Publication No. SP-277CD ("Recent Advances in Maintenance and Repair of Concrete Bridges"), American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, USA, 2011, pp. 67-78.

Silfwerbrand, Johan och Selander, Anders (2008): *Storsatsa på nyttiga innovationer*. Tidskriften Betong, nr 6, december 2008, s. 43-45.

Simonsson, Peter; Emborg, Mats; Kjellström, Robert och Nordmark, Lars (2008): Lönsamt att industrialisera och effektivisera brobygge. Husbyggaren: bygg, el, VVS, anläggning, nr 2 B, sid 22-28.

Simonsson, Peter (2011): Buildability of Concrete Structures - Processes, Methods and Material, Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för Byggekonstruktion, Doktorsavhandling, ISBN,978-91-7439-243-2, 139 pp

SOU (2012): Vägar till förbättrad produktivitet och innovationsgrad i anläggningsbranschen. SOU 2012:39, 91 sid + bilagor, se http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Utreddningar/Statens-offentliga-utredningar/_H0B339/?text=true

Sundquist Håkan, redaktör (2012): Robustare brobaneplatta, State-of-the art och förslag till FUD program. Rapport utarbetad av Konstruktionsgruppen inom Sveriges Bygguniversitet på uppdrag av Trafikverket, 123 sidor.

Sustainable Bridges (2007): Ett EU-projekt inom FP6 2003-2007 där ett 50-tal bakgrundsrapporter och fyra handböcker tagits fram: SB-ICA (2007): *Inspection and Condition Assessment*, 259 pp; SB-LRA (2007): *Load and Resistance Assessment of Railway Bridges*. 428 pp; SB-MON (2007):

Guideline for Monitoring of Railway Bridges, 93 pp; SB-STR (2007): *Repair and Strengthening of Railway Bridges – Guideline*, 139 pp. Alla finns tillgängliga på www.sustainablebridges.net

Tang L. and Utgenannt, P. (2007): Chloride ingress and reinforcement corrosion in concrete under deicing highway environment – A study after 10 years field exposure. SP-rapport 2007:76, Borås

Täljsten, Björn; Blanksvärd, Thomas; Sas, Gabriel (2011): *Handbok för dimensionering i samband med förstärkning av betongkonstruktioner med pålimmade fiberkompositer*. Avdelningen för konstruktionsteknik, Luleå tekniska universitet. ISBN 978-91-7439-146-6, 184 pp.