

Förstudie till FoU-ramprojekt

Optimala nya broar

Förord

Föreliggande förstudie ”Optimala nya broar” behandlar hur nya broar ska utformas för att möta de krav som ställs på våra broar, idag och i framtiden. Dessa krav omfattar såväl trafiksäkerhet, tillgänglighet, god miljö som kostnadseffektivitet.

Inom förstudien har en litteraturstudie/kunskapsinventering ”Optimala nya broar” utförts av professor Håkan Sundquist. Denna biläggs föreliggande förstudie.

Borlänge 2000-05-16

Susanne Troive

Granskad av:

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 Optimala nya broar.....	8
2.1 Introduktion.....	8
2.2 Kravbild	9
2.2.1 Allmänt	9
2.2.2 Tillgänglighet.....	11
2.2.3 Beständighet.....	12
2.2.4 Trafiksäkerhet	12
2.2.5 Miljö.....	13
2.2.6 Estetik.....	13
2.2.7 Kostnadseffektivitet	13
2.2.8 Samhällsansvar.....	14
2.2.9 Optimal livslängd	15
2.2.10 Flexibilitet - möjlighet att anpassa konstruktionen.....	15
2.2.11 Robusthet	16
2.2.12 Kraven förändras - hur ser framtiden ut?	16
2.3 Hur ser den optimala bron ut?.....	18
2.3.1 Allmänt.....	18
2.3.2 Brotyper	20
2.3.3 Material.....	21
2.3.4 Detaljutformning	23
2.3.5 Kontrollsystem och intelligenta broar.....	24
3 Pågående och avslutad FoU	26
3.1 Allmänt.....	26
3.2 Sverige	26
3.3 Europa	27
3.4 Världen.....	28

3.5	Angränsande förstudier.....	28
4	Inkomna FoU-ansökningar	30
5	Behov av utredning	31
5.1	Allmänt	31
5.2	Översyn av broprojekteringshandboken	31
5.3	Samordning av databaser	32
6	Behov av FoU	33
6.1	Allmänt	33
6.2	Metodik för optimal utformning av broar	33
6.3	Tydligare kravbild.....	34
6.4	Systematisk kartering av erfarenheter.....	35
6.5	Utveckling av optimala konstruktionslösningar	35
6.6	Trafikanternas upplevelse	36
7	Referenser	37

Bilaga: "Optimala nya broar" av professor Håkan Sundquist.

Sammanfattning

Denna förstudie omfattar en övergripande kunskapsinventering inom ramprojektet "Optimala nya broar". Behovet av utredning och FoU har i stora drag behandlats i kapitel 5 respektive 6. Beroende på ramprojektets nyhet har inga konkreta delprojekt föreslagits, istället har delområden föreslagits.

Som underlag för förstudien har en litteraturstudie/kunskapsinventering, "Optimala nya broar", utförts av professor Håkan Sundquist, *Sundquist, 1999*. Litteraturstudien ligger som bilaga till föreliggande förstudie.

Beslut avseende brotyp, utformning, materialval och detaljlösningar som fattas i ett tidigt skede i beslutsprocessen har en avgörande betydelse för brons framtida möjlighet att uppfylla olika sorters krav. Konsekvenserna av beslut som sker tidigt i processen är otillräckligt kända. En ökad kunskap skulle vara till stor hjälp i planerings- och projekteringsprocessen och bidra till för samhället mer optimala konstruktioner.

Med optimala nya broar avses broar som utformas så att samhällets krav vad gäller trafiksäkerhet, tillgänglighet, god miljö, kostnadseffektivitet etc. tillgodoses i så stor utsträckning som möjligt. För att kunna beakta och väga samman samtliga krav som ställs på nya broar behöver en metodik utvecklas. Med metodiken ska det även kunna verifieras att bästa lösningen verkligen nås.

Denna förstudie har bedrivits i nära samarbete med förstudien för ramprojektet "LCC-modeller (bro)". Resultat från ramprojektet "LCC-modeller (bro)" utgör ett av flera underlag för optimala nya broar.

1 Introduktion

1.1 Bakgrund

Olika beslut som fattas i ett tidigt skede avseende brotyp, broutformning, materialval, detaljutformning etc. påverkar i hög grad brons förmåga att uppfylla de krav som ställs på bron nu och framtiden. Dessa krav innefattar såväl framtida funktionskrav som traditionella krav och avser hänsyn till trafiksäkerhet, tillgänglighet, miljö, estetik, kostnadseffektivitet, livslängd, flexibilitet, etc.

Beslut gällande brotyp, broutformning osv. har stor betydelse för samhällsekonomin, både på kort och lång sikt, eftersom de påverkar beständighet och underhålls-, reparations- och ombyggnadsbehov etc.

Kunskapen om hur olika val som sker tidigt i planerings- och projekteringsprocessen påverkar brons möjlighet att uppfylla olika sorters krav är otillräcklig. En metodik för att välja optimal utformning av framtidens broar saknas.

1.2 Syfte

Brons förmåga att uppfylla de övergripande kraven, såsom hänsyn till trafiksäkerhet, tillgänglighet, miljö, estetik, kostnadseffektivitet etc., påverkas i hög grad av de val som görs i planerings- och projekteringsprocessen vad gäller broutformning, brotyp, materialval, detaljutformning osv. Genom att systematiskt utreda hur olika val av brotyper, broutformningar etc. påverkar möjligheten att uppfylla olika sorters krav skapas underlag för de olika sorters beslut som ska fattas. En metodik bör utarbetas för att systematiskt välja optimal ny bro utifrån de förutsättningar som gäller i varje enskilt fall.

Om effekterna av olika val som görs i projekteringsskedet kan kvantifieras och värderas, skapas förutsättningar för ett mer kostnadseffektivt nyttjande av de tillgängliga resurserna. Som underlag för att ekonomiskt väga samman nyttan av och kostnaderna för olika krav erfordras utveckling av LCC-modeller. Utveckling av LCC-modeller behandlas i förstudien "LCC-modeller (bro)". Med tydligare kostnadsbild kan den merkostnad som eventuellt uppstår vid beaktande av miljöaspekter, estetik etc. lättare värderas.

Projektet förväntas i första hand ge positiva effekter på målen effektivitet och vägkapital, men även på målen tillgänglighet och miljö. Förstudien till ramprojektet har föreslagits i FoU-planen.

1.3 Avgränsning

I föreliggande förstudie samlas många av de krav vi har på våra broar. Avsikten är att lyfta blicken och se på vad som avses med optimala broar ur ett vidare perspektiv.

Forskning och utveckling som utförs för att skapa mer optimala broar fokuserar ofta på materialfrågor och detaljutformning, eller de spännande utmaningar som större, längre eller starkare broar medför. Denna förstudie avser att reda ut begreppen avseende optimala nya broar och kartlägga vilka krav vi har på broarna. De byggstenar som saknas, och med vars hjälp vi kan skapa en metodik för att utforma och dimensionera nya broar så att de uppfyller dagens och med eventuella smärre modifikationer sannolikt även framtidens krav, beskrivs. Då de flesta broar är relativt små, fokuserar denna förstudie framförallt på små och medelstora broar.

2 Optimala nya broar

2.1 Introduktion

Optimala nya broar innebär broar utformade så att de kan möta dagens och framtidens krav till en låg samhällelig kostnad. Genom att förbättra befintliga, kända, konstruktioner kan bättre konstruktioner skapas, men frågan kvarstår om det är den mest optimala konstruktionen som skapats.

Vid en matematisk optimering formuleras optimeringsproblemet med hjälp av en objektsfunktion som ska maximeras eller minimeras under det att ett antal bivillkor uppfylls. Den uppsättning parametrar som uppfyller detta utgör den optimala lösningen. Då ovanstående terminologi används för optimala nya broar kan vissa krav formuleras som minimivårer och de kan då betraktas som bivillkor, t.ex. hållfasthet, medan objektsfunktionen bör innehålla samhällsnytta och samhällskostnad. För broar kan detta betraktelsesätt synas alltför matematiskt. Flera så kallade mjuka parametrar måste tas hänsyn till varför det blir mer fråga om bedömning än beräkning. Med optimal avses därför här, något yvigare, ”bästa möjliga” lösningen utifrån de förutsättningar och krav som gäller.

Broar är ett vitt begrepp som omfattar alltifrån små rörbroar till hisnande konstruktioner som överbrygger hinder vi tidigare trodde var oöverstigliga. Dessa mäktiga konstruktioner får ofta stor uppmärksamhet, och förtjänar det också, men merparten broar är relativt små och oansenliga.

Hur ser en optimal bro ut? Det finns inget enkelt svar på den frågan. Vad som är en optimal bro skiljer sig från fall till fall beroende på i vilken miljö bron ska vara och vilka krav som ställs på den. I och med att tiderna förändras så förändras kraven på broarna. Till det traditionella kravet på bärighet och investeringskostnad har krav på beständighet, kostnadseffektivitet över livslängden, estetiska krav, miljökrav, krav på flexibilitet osv. tillkommit. Vissa krav skärps med tiden och ytterligare krav tillkommer vartefter. Antalet krav på broarna ökar.

Beslut avseende brotyp, utformning, materialval och detaljlösningar som fattas i ett tidigt skede har en avgörande betydelse för brons framtida möjlighet att uppfylla olika sorters krav. Konsekvenserna av beslut som sker i planerings- och projekteringsprocessen är otillräckligt kända. En ökad kunskap skulle vara till stor hjälp i planerings- och projekteringsprocessen och bidra till mer kostnadseffektiva konstruktioner för samhället. För att medvetet kunna beakta samtliga krav som ställs vid utformning och dimensionering av nya broar behöver en metodik utvecklas. Denna metodik ska säkerställa att de beslut som har en avgörande betydelse för brons förmåga att uppfylla de krav som ställs är väl underbyggda och att de fattas vid rätt tidpunkt och i samråd med beställaren. Det ska även i efterhand kunna verifieras att bästa lösningen uppnåtts.

Bron är en del av vägen och nödvändig för att överbrygga hinder och förbinda två olika vägavsnitt. Väglinjen har för små och medelstora broar en överordnad betydelse och bron ska anpassas till denna. Därav följer vissa begränsningar, exempelvis broläge, bombering, dosering, geometriska mått för trafikutrymmet etc. Andra begränsningar utgör fri höjd över underliggande hinder. Fortfarande kvarstår dock flera avgörande beslut, t.ex. val av brotyp, material, livslängd och placering av stöd. En större medvetenhet om konsekvenserna av hur de beslut som avser linjeföring på vägen påverkar möjligheten att bygga en optimal bro kan bidra till att hela vägprojektet kan optimeras som en helhet.

Utvecklingen avseende optimering av broar beskrivs i bl.a. *Sarma och Adeli, 1998*. Optimering av broar har framförallt skett med fokusering på ren materialkostnad. Utvecklingen går mot att beakta samtliga kostnader över livslängden och att använda sannolikheteoretiska metoder. Fullständig säkerhet mot att oönskade händelser inträffar är varken realistiskt eller optimalt.

I den här förstudien innebär optimala nya broar inte enbart att kostnaden ska optimeras. Hela bron ska optimeras från fall till fall så att kravuppfyllelsen totalt sett blir så hög som möjligt. Man kan tänka sig en viktning av kraven beroende på förutsättningarna. I *Sundquist, 1999*, diskuteras närmare hur olika krav på en bro kan kombineras och även hur detta har gjorts. Beaktande av flera krav kan i vissa fall stå i motsättning till varandra.

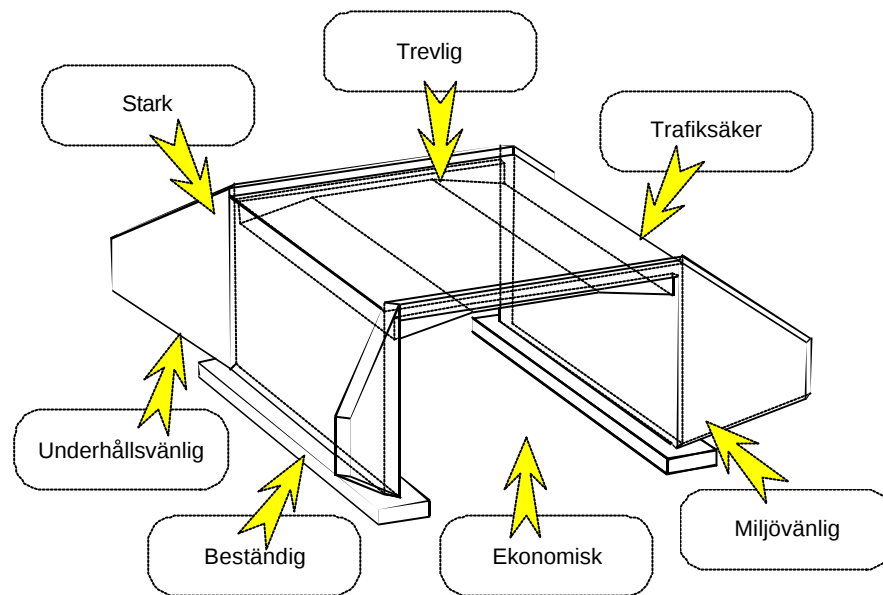
2.2 Kravbild

2.2.1 Allmänt

Vilka krav ställer vi på våra broar? Vilka egenskaper bör en optimal bro ha? Många olika aspekter bör beaktas vid planering och projektering av en bro för att bron ska kunna kallas optimal. Det som kanske är mest uppenbart är att broar ska utformas för att bära laster med en viss säkerhet under en viss tidsrymd. Därutöver ska dock flera andra aspekter beaktas.

I *Potter, 1998*, beskrivs kravbilden som att brobeståndet ska förvaltas så att tillståndet bibehålls eller höjs med tiden, medan minimikraven från samhällsmedborgarna uppfylls eller överskrids. För att möjliggöra detta bör nivåer på funktionskrav fastställas, där även trafikantnyttan beaktas.

I *Sundquist, 1999*, har kravbilden specificerats närmare, och exempel på olika krav som en bro ska uppfylla för att kallas för optimal har illustrerats enligt Figur 1.



Figur 1. Exempel på krav som en optimal bro ska uppfylla, Sundquist, 1999.

För att fånga in hela kravbilden kan de övergripande kraven struktureras efter IABSEs definition av "Structural engineering", jfr. Sundquist, 1999. Enligt denna definition ska hänsyn tas till hållfasthet, ekonomi, beständighet, miljö, uthållig utveckling, estetik och socialt ansvar.

Följande indelning av kraven kanske bättre passar Vägverkets arbetssätt och har därför valts i den här förstudien:

- 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. I de övergripande kraven ryms därför bl.a. krav i brottgränstillstånd, bruksgränstillstånd, hälsofrågor, regional balans, hänsyn till tredje

man, underhållsvänlighet, etc. En underhållsvänlig bro påverkar t.ex. både beständighetskravet, och kravet på kostnadseffektivitet, positivt.

Den indelning som använts i den här förstudien förklaras närmare i 2.2.2 – 2.2.11. Kraven kan som sagt struktureras på många olika sätt och det sociala ansvaret, samhällsansvaret, kan ses som ett paraply över de övriga.

För att en ny bro ska kunna kallas optimal bör samtliga krav, eller aspekter, beaktas vid planering och projektering. Ett problem är att kraven varierar med tiden, vilket diskuteras i avsnitt 2.2.12. Ett annat problem är att vid optimering förutsätts att det finns någon gemensam måttstock, exempelvis pengar, för olika aspekter så att dessa kan vägas mot varandra. Eftersom många aspekter är svåra att mäta och värdera, fungerar inte den gemensamma måttstocken, och det blir istället fråga om att uppfylla miniminivåer, maximera värden eller bedöma resultatet. Därtill görs ett antal suboptimeringar av en eller flera aspekter tillsammans. I slutändan måste dock kostnaderna för olika krav vägas mot nyttan.

2.2.2 Tillgänglighet

En optimal ny bro bör utformas med tanke på behovet av tillgänglighet. Kraven på tillgänglighet innebär att de traditionella kraven i brottgränstillståndet och delar av kraven i bruksgränstillståndet uppfylls. Kraven på geometrisk standard hör också hit.

Kraven i brottgränstillstånd innefattar säkerhet mot materialbrott och instabilitet, mot stjälpning, lyftning och glidning, och mot olyckslaster och fortskridande ras. Broar ska utformas för att bära de laster som förväntas belasta dem under livslängden.

De krav i bruksgränstillstånd som påverkar tillgängligheten är begränsningar av formändringar och förskjutningar samt svängningar. Bruksgränskrav på t.ex. nedböjning eller ojämnheter begränsar den negativa påverkan på trafikanten.

Kraven i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd måste uppfyllas för den trafiklast som förväntas trafikera bron. Laster och säkerhetsnivåer kan variera beroende på olika omständigheter. I tillgänglighetskravet ingår också kravet på geometrisk standard.

Kravet på tillgänglighet innebär också en begränsning av i vilken grad underhåll och reparationer kan tillåtas störa trafikantarbetet. I vilken mån tillgänglighetsaspekten med hänsyn till inskränkningar i trafikantnyttan på grund av underhåll och reparationer ska beaktas vid utformning av optimala nya broar kan variera från fall till fall. Faktorer som påverkar är hur hårt trafikerad bron är, om trafiken kan ledas förbi och i så fall hur det belastar trafikanterna. Som hjälp för att värdera vikten av tillgänglighet kan trafikantkostnader beräknas för olika alternativa broar.

Formändringar, förskjutningar, svängningar, etc. kan också påskynda nedbrytningen av konstruktionen. Då beständigheten påverkas faller dessa bruksgränskrav även under det övergripande kravet beständighet.

Kraven på tillgänglighet behandlas i FoU-ramprojekten ”Utvärdering av broars tillstånd och tillåten trafiklast” och ”Förbättring av befintliga broar”.

2.2.3 Beständighet

Det finns olika yttre fenomen som påverkar beständigheten hos broar. Nedbrytningsmodeller finns till stor del för de fenomen som idag bryter ner broarna. I framtiden kan eventuellt andra typer av nedbrytning bli aktuella. Modellosäkerheten är dock stor och ingångsparametrarna har stor spridning. Detta medför att ett sannolikhetsteoretiskt synsätt bör användas för beständighetsberäkningar. Bristande beständighet får ofta kostsamma konsekvenser varför det kan vara nödvändigt att ha en större säkerhet i beräkningarna.

De material och delar som utgör delar av bron ska antingen vara beständiga eller utformas så att kraven i brottgränstillstånd och bruksgränstillstånd genom andra åtgärder kan uppfyllas under hela livslängden. Detta kan t.ex. ske genom att delarna skyddas, underhålls eller byts ut.

Vilken beständighet som är optimal beror på kostnadsbilden, trafikantpåverkan etc. Beständighet behandlas i förstudien ”Optimala standarder”. Kunskaper erhållna i det ramprojektet förväntas kunna användas som underlag för val avseende optimal beständighet för nya broar. I FoU-ramprojektet ”Utvärdering av broars tillstånd och tillåten trafiklast” behandlas metoder för mätning och utvärdering av broars tillstånd.

2.2.4 Trafiksäkerhet

Bron är en del av vägen och bör inte utgöra en större fara för trafiken än vad vägen i sig utgör. Registerutdrag ur olycksdatabasen VITS visar att broarna är klart överrepresenterade när det gäller dödade och skadade i trafiken i förhållande till broarnas andel av det statliga vägnätet.

Optimala nya broar ska medvetet vara utformade med hänsyn tagen till trafiksäkerhet. Olika faktorer såsom räckesutformning, stödplacering, eftergivliga mellanstöd, siktförhållanden, utformning av brostöd, vingmurar och stödmurar, diken och mittremsor, etc. påverkar trafiksäkerheten. I FoU-ramprojekt ”Trafiksäkra broar” tas dessa aspekter upp. Genom att systematiskt undersöka vilka effekter olika faktorer har på trafiksäkerheten skapas en bättre möjlighet att beakta trafiksäkerhetsaspekter vid utformning av nya broar. Kunskaper erhållna i det ramprojektet förväntas kunna användas som underlag vid utformning av optimala nya broar.

2.2.5 Miljö

Under rubriken miljö innefattas bronns påverkan på miljö, hälsa och det hållbara samhället. Miljöns påverkan på bron sorteras här in under rubriken "Beständighet".

Miljöaspekterna omfattar allt från uttag av naturresurser, energikonsumtion, återanvändning, återvinning, deponering och emissioner, till viltпасager och brobyggarnas och kringboendes hälsa. Utvecklingen går mot allt större miljömedvetande, och miljöaspekterna måste beaktas för att de nya broarna ska kunna betraktas som optimala. Från att ha varit ett randvillkor vid broprojektering kan miljöfrågorna komma att bli allt mer centrala. Perspektivet kan i framtiden komma att förändras så att naturresurser, energiförbrukning och återanvändning/deponering blir det centrala, och ekonomiska villkor, trafiksäkerhet, tillgänglighet och estetik utgör randvillkoren.

Miljöaspekter behandlas huvudsakligen i FoU-ramprojektet, "Miljöanpassade broar".

2.2.6 Estetik

Broar byggs under en kort tid för att användas under en mycket lång tid. De väcker många associationer, och de flesta människor har åsikter om broarnas estetiska värde. Ibland går åsikterna isär. En ovanlig konstruktion kan te sig vacker i någons ögon, men ful i någon annans. Varje spektakulär bro behöver i allmänhet ett visst utrymme runt sig för att komma till sin rätt.

Varje bro har sina speciella estetiska krav beroende på den omgivande miljön och på vilket avstånd bron betraktas. För en bro som betraktas på nära håll och kanske från flera vinklar ställs höga krav på detaljutformning. På en bro i landskapet ställs istället krav på landskapsanpassning och där harmoni eller kontrast oftast betonas.

Möjligheten att bibehålla broars estetiska värden under hela livslängden bör beaktas vid gestaltningen. De eventuella merkostnader som tillkommer för inspektions-, underhålls- eller reparationsåtgärder och som orsakas av att speciella estetiska krav ställs på bron påverkar kostnadseffektiviteten och bör beaktas vid beslut avseende gestaltningen.

Broars gestaltning behandlas i FoU-ramprojektet "Broars gestaltning och kulturhistoria". Kunskaper erhållna i det ramprojektet förväntas kunna användas som underlag för att tillgodose de estetiska kraven vid utformning av optimala nya broar.

2.2.7 Kostnadseffektivitet

Kostnadseffektivitet kan betraktas som en värdering av samhällsekonomin över livslängden. Därmed ingår de samhällsaspekter på bron som idag går att värdera. Alla aspekter kan inte värderas ekonomiskt. I

vissa fall tvistas det om vilka aspekter som är rimliga att värdera ekonomiskt.

Alla direkta kostnader som belastar bron över livslängden ska beaktas, t.ex. investeringskostnad, inspektions-, underhålls- och reparationskostnad och ev. utbyte av vissa delar. En bedömning av vilka kostnader som statistiskt sett kommer att belasta bron görs. Genom att behandla kostnaderna sannolikhetsteoretiskt kan även mindre sannolika händelser beaktas. Kostnadseffektiva broar förutsätter att broarna planeras och projekteras med tanke på inspektions-, underhålls- och reparationsvänlighet så att de framtida kostnaderna begränsas.

Vägens lönsamhet bedöms med hjälp av samhällsekonomiska kalkyler, så kallade Cost-Benefit Analyses, CBA, där intäktssidan framförallt utgörs av ökad trafikantnytta. Att optimera bron kostnadsmässigt innebär därför att en suboptimering görs, där flera begränsningar redan är gjorda. I den CBA som görs för vägavsnittet förutsätts att bron inte utgör något hinder för trafiken. Tyvärr kan detta inte alltid undvikas. Livslängds- och beständighetsfrågor för bron påverkar därför inte enbart de direkta kostnaderna utan även indirekta kostnader uppstår på grund av att trafiken störs. Ju mer trafik ju högre värderas denna egenskap. Ett sätt att ta hänsyn till detta är att beräkna och beakta trafikantkostnaderna vid reparationer etc.

Kostnadseffektiviteten innefattar hela brons tekniska livslängd. Optimal livslängd diskuteras i avsnitt 2.2.9. Värdering av kostnadseffektivitet gällande olika aspekter på en bro behandlas närmare i förstudien "LCC-modeller (bro)", *Vägverket, 1999a*. Resultatet från LCC-analysen kan användas som underlag för att bedöma vad som är en optimal ny bro.

Tidigare ställdes kraven på broarna framförallt som ställföreträdande krav och detaljkrav, vilka tillsammans skulle ge konstruktionen den önskade funktionen. För att skapa större frihet vid utformning, dimensionering och byggande av konstruktioner pågår en utveckling mot att kraven ställs i form av krav på funktioner eller egenskaper. Denna utveckling mot funktionskrav kräver att verifieringsmetoder utvecklas med vilkas hjälp det kan säkerställas, med en viss sannolikhet, att den önskade funktionen erhålls. En övergång till funktionskrav förväntas leda till mer kostnadseffektiva konstruktioner och bättre konkurrenskraft mellan olika material och konstruktionslösningar. Upphandling på funktioner förutsätter att det redan i upphandlingsskedet kan verifieras att en viss funktion sannolikt kommer att uppfyllas under hela livslängden. Dessa frågor behandlas i FoU-ramprojektet "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper".

2.2.8 Samhällsansvar

Samhällsansvaret kan ses som ett tak som ligger över alla de andra kraven. I samhällsansvaret ingår att bygga kostnadseffektiva, säkra, miljövänliga och vackra broar som uppfyller de krav som samhället och dess

medborgare kan ställa. Samhällsansvaret innebär exempelvis att säkerheten på broarna ska vara densamma över hela landet. Samhällsansvaret innebär också att den lilla människan inte tappas bort i de stora besluten.

Tendenser finns till att försöka värdera alla aspekter ekonomiskt i LCC-modeller. Detta är i dagsläget inte möjligt, och kanske inte ens önskvärt. Däremot kan kanske en lämplig merkostnad accepteras för att åstadkomma t.ex. en vackrare bro, en mer miljövänlig bro eller en bro som är lämpligare ur trafiksäkerhetsperspektiv.

2.2.9 Optimal livslängd

För produkter med önskade livslängder runt 100 år är kvalitetsmedvetenheten genom hela byggprocessen av avgörande betydelse. Bristande kvalitet får stora samhällsekonomiska konsekvenser i form av höga reparations- och underhållskostnader, trafikantkostnader osv. Kvalitetssäkringen har fortfarande stora brister, och att den efterfrågade kvaliteten inte alltid erhålls bör beaktas vid projekteringen.

Optimalt broläge i förhållande till vägsträckningen är en av flera nödvändiga förutsättningar för att bron ska uppnå sin tekniska livslängd; en förändrad linjeföring på vägen kan kräva ett annat broläge.

Optimal livslängd för framtida broar kommer att bero på de speciella förutsättningar som råder i varje enskilt fall. Ur trafikantens synvinkel måste brons egenskaper överensstämja med vägens, eller vara bättre, för att bron inte ska störa trafikrytmen. Detta innebär att en bro ska existera, men inte nödvändigtvis samma bro. En bro med minimalt underhålls- och reparationsbehov och som smidigt kan bytas ut kan t.ex. konkurrera med en traditionell bro med större underhålls- och reparationsbehov.

Olika brotyper och material har olika optimala livslängder beroende på t.ex. miljöhänsyn, utbytbarhet och nedbrytningsförlopp. En mindre beständig men utbytbar konstruktion kan exempelvis var mer optimal om bättre beständighet innebär att miljöfarliga produkter måste användas.

2.2.10 Flexibilitet - möjlighet att anpassa konstruktionen

Hur trafiken kommer att se ut de nästkommande 100 åren är omöjligt att förutspå, men för att kunna möta framtidens krav bör en hög grad av flexibilitet eftersträvas för nya broar. Möjlighet att i framtiden förändra konstruktionen bör beaktas i utformnings- och dimensioneringsprocessen och förväntade framtida underhållsåtgärder och reparationer bör underlättas.

Om det är förnuftigt att redan från början överdimensionera konstruktioner är mycket tveksamt, men om merkostnaden är marginell kan det eventuellt vara ekonomiskt i vissa fall. Exempelvis, i de fall broar har både körfält och gång- och cykelbana dimensioneras dessa vanligen för

full trafiklast för att ge broarna större flexibilitet. Ofta innebär ett utbyte av överbyggnaden att lasterna på grundläggningen ökar, varför det kan vara klokt att redan från början dimensionera grundläggningen för större laster. Överdimensionering diskuteras bl.a. i *Pritchard, 1992*.

I *Boyes, 1995*, betonas nödvändigheten att beakta flexibilitet för nya broar. Exempel ges på hur utformning kan ske med hänsyn till framtida breddning av vägen under bron. Hur stora insatser som kan göras för att öka flexibiliteten hos en konstruktion beror till slut på hur stor kostnaden för åtgärderna är, samt med hur stor sannolikhet kraven förväntas förändras.

Ekonomisk värdering av flexibilitet behandlas i förstudien "LCC-modeller (bro)", *Vägverket, 1999a*.

2.2.11 Robusthet

Önskemål om att prioritera robusta konstruktioner har väckts, jfr t.ex. *Nilsson och Rostam, 1995*. Med robusthet avses här en sorts seghet som ger konstruktionen förmåga att klara överskridna laster eller oväntade laster utan att detta får alltför negativa konsekvenser i form av t.ex. spröda brott och stabilitetsbrott.

Vissa brotyper och vissa material är mer robusta än andra. Ett större krav på robusthet kan t.ex. efterfrågas för broar med bärande system av nya material eller nya materialkombinationer, eller nya relativt sett oprövade brotyper och konstruktionslösningar. Frågetecknen kvarstår om mål och mått för robusthet och hur robusthet kan värderas ekonomiskt. Ekonomisk värdering behandlas i förstudien "LCC-modeller (bro)", *Vägverket, 1999a*.

2.2.12 Kraven förändras - hur ser framtiden ut?

Vilka krav vi kommer att ställa på våra broar i framtiden är osäkert. En historisk återblick, och en jämförelse med situationen i omvärlden, kan ge värdefull information då en prognos inför framtiden ska göras. Vilka trender kan skönjas inför framtiden? Vilka brotyper kommer att efterfrågas i framtiden, och varför?

Resultaten från PIARCs undersökning bland medlemsländerna har sammanställts i *PIARC, 1996*, och sammanfattas kort här nedan. Generellt sett minskar andelen plattbroar. Andelen balkbroar är mycket hög i Japan, Québec (Canada) och i New Jersey (USA), 60-80 %, men lägre i Europa, runt 30 %. Spännvidderna på denna typ av broar tenderar att öka. Andelen lådbroar, och även spännvidden på dessa, ökar. Andelen bågbroar är konstant och bågbroarna är generellt sett dyrare än balkbroar. I Japan och i Skandinavien pekar trenden på längre snedkabelbroar och hängbroar.

Trenden hos OECD-länderna pekar mot ökad vertikal trafiklast men konstanta körfältsbredder. Horisontalkraften på mellanstöd och landfästen

har ökat i många länder medan horisontalkraften av trafik är relativt lika. Det minsta tillåtna fria utrymmet mellan körbanan och landfästen respektive mellanstöd varierar markant. I alla länder utom Sverige och Schweiz har man barriärer mellan körbanan och brostöden.

På materialsidan är det framförallt spännarmerad betong som har ökat sin andel. Trenden pekar på högre kvalitet för såväl betong som stål.

De flesta länder beaktar synintrycket vid val av brotyp och broutformning. Trenden pekar på längre livslängder, mellan 50-120 år önskas. Endast få länder tar hänsyn till livscykelkostnader. Förebyggande underhåll för att minska kostnaderna för reparation och underhåll har ökat i omfattning. Kostnaderna för arbetskraft ökar. Kostnaden för armering minskar relativt sett mer än kostnaden för betong. Stålprierna fluktuerar dock. Byggkostnaderna för en genomsnittlig bro är mycket högre i Japan än i Europa och Québec.

Diskussioner kring olika faktorer som har ändrats alt. kan komma att ändras förs i *Sundquist, 1999*. De faktorer som behandlas närmare är:

- Laster
- Fordons- och körfältsbredder
- Farter
- Förbättrade fordon
- Trafiksäkerhet

Traditionellt sett har trafikvolymen ökat med åren, likaså tillåtna trafiklaster.

En vanlig anledning till att vägar (och broar) breddas är att trafiken kräver mer utrymme. Snabbare och mer trafik behöver bredare och fler körfält. Inget pekar för närvarande på att körfältsbredderna ska ökas pga. trafiken i sig. Däremot kan trafiksäkerhetsaspekter medföra krav på större spännvidder eller brobredder, *Sundquist, 1999*.

De tillåtna farterna har successivt ökat under 1900-talet för att stagnera och tom. minska på senare tid, *Sundquist, 1999*. Ökad fokusering på miljöhänsyn och trafiksäkerhet medför troligtvis att farterna inte kommer att öka i framtiden.

Moderna fordon är tyngre än tidigare fordon men konstruktionsutformningen, med t.ex. ökad fjädring och dämpning, medför att slitaget, vid en given statisk last, troligtvis är lägre idag än för några decennier sedan, *Sundquist, 1999*. Utvecklingen förutspås fortsätta.

Ökade krav på trafiksäkerhet kan t.ex. medföra uträtning av vägvagnsvid varvid de befintliga broarna kanske måste ersättas för att passa in. En ökad satsning på trafiksäkerhet kan också medföra ökade brobredder och ett ökat minimiavstånd mellan körfält och styva hinder, dvs. längre spännvidder för bro över väg eller järnväg. Exempel på trafiksäkerhets-

höjande åtgärder är olika sorters räcken och barriärer som också eventuellt kan innebära att bron eller underliggande väg behöver breddas.

Användning av högpresterande material i broar medför att konstruktören ställs inför nya utmaningar. Nya konstruktionslösningar och brotyper ger oss oprövade konstruktioner som kan kräva nya gränstillstånd för dimensionering vilket påpekas i *Podolny, 1998*. De nya gränstillstånden kan komma att beakta människans upplevelser av konstruktionerna, t.ex. känslighet för vibrationer och klaustrofobiska reaktioner på ”tubkonstruktioner”. Även risker för lokala eller globala instabilitetsproblem kan öka då konstruktörens styvhet och robusthet minskar vilket måste tas hänsyn till.

2.3 Hur ser den optimala bron ut?

2.3.1 Allmänt

Förr i tiden byggdes en bro där hindret var som smalast och bron blev så enkel som möjligt att bygga. Till bron anslöts vägen. I takt med att kunskapen har ökat, kan allt mer komplicerade byggen genomföras, och bron utgör numera sällan en begränsning för vägens linjeföring. De förutsättningar som därmed ges innebär att bron inte kan optimeras separat utan som en del av vägsystemet. Beroende på vilka krav som ställs och vilka förutsättningarna är kommer den optimala bron att se olika ut från fall till fall. Sådana förutsättningar kan vara vägens linjeföring, hur undergrunden ser ut, i vilket landskap bron ska placeras, klimat, miljökonsekvenser etc.

För att möjliggöra optimering av framtidens broar måste erfarenheter av befintliga broar tillvaratas. Vilka effekter olika val som görs avseende brotyp, material och detaljutformning har på möjligheten att uppfylla vart och ett av de ställda kraven bör klarläggas. Vid utformning av nya broar ska denna kunskap kunna användas som underlag för att bedöma prestandan hos traditionella och nya brotyper, material eller tekniska lösningar. Allmänt accepterade mål och mått för värdering av nya brotyper, nya material eller nya tekniska lösningar saknas. I *Ehlen, 1997*, påpekas detta behov och det ges exempel på hur livscykelkostnader kan användas för att ekonomiskt värdera olika alternativa utformningar mot varandra. De olika kostnaderna har klassificerats, och kostnadsjämförelserna kan därför göras utifrån olika synvinklar för att belysa intressenters perspektiv.

Statistik över befintliga broar, t.ex. *Vägverket, 1998*, kan bidra med underlag för val av optimal bro. Erfarenheter av befintliga broar finns tyvärr bristfälligt dokumenterade i skrift. I SAFEBRO däremot finns en stor mängd erfarenheter av svenska broar, under senare år, lagrade digitalt.

I framtiden kan vi alltså konfronteras med såväl förbättring och objektsanpassning av befintlig kunskap som utveckling av ny. Intressanta delområden som beskrivs närmare i denna förstudie är:

- brotyper,
- material,
- detaljutformning, och
- kontrollsystem och intelligenta broar.

Brotyp avser här typ av bro t.ex. rörbro, platttrambro, balkbro, bågbro etc. Även utformningen av bron i stort avses, t.ex. placering av stöd i förhållande till spännvidder, antal balkar för en balkbro, geometrisk utformning av koner, slänter och vingar, etc. Material avser material i huvud- och sekundärbärverk. De traditionella materialen betong, stål och trä får sällskap av fler, framförallt sammansatta material. Detaljutformningen avser övrig utformning och dimensionering, t.ex. avstyvningar kontra tjockare liv, typ av lager, övergångskonstruktioner, beläggning, räcken, etc.

Kontrollsystem för broar innefattar sådana system som automatiskt registrerar olika sorters uppgifter. Intelligenta, eller smarta, broar avser broar med inbyggda system som motverkar negativa influenser av olika laster eller dylikt.

Det är viktigt att behålla helhetssynen genom hela planerings- och projekteringsfasen. Det är en kombination av brotyp, materialval och detaljutformning etc. som tillsammans ger den optimala bron. Det krävs kunskap om vilka konsekvenser beslut vid olika tidpunkter får för möjligheten att optimera bron. För att den färdiga bron verkligen ska bli optimal krävs medvetenhet och förståelse för detta vid såväl planering, projektering, byggande som vid förvaltning. En optimal bro bör dimensioneras och utformas med hela denna process i åtanke, och bör också ha någon slags skötselinstruktion där det beskrivs hur den ska skötas.

Andra faktorer som är viktiga är själva arbetsutförandet och de risker som förknippas med varje delmoment. Ju mer komplicerad en konstruktion är att utföra, ju högre kompetens krävs för arbetsstyrkan. Det är viktigt att beakta alla yttre och inre faktorer som kan påverka det slutliga resultatet så att sannolikheten ökar att bron blir optimal även i färdigt skick, inte endast teoretiskt.

I Region Skåne har Thomas Bruneby infört ett nytt begrepp, utformningsritning, i broprojekteringsprocessen i avsikt att uppnå optimal broutformning. Med utformningsritning avses en ritning som tas fram som ett första steg och stäms av med projektledare innan projekteringsarbetet fortsätter. Utformningsritningen lägger fast brotyp, spännvidd, fri brobredd, fri höjd, korsningsvinkel samt vägbanors profiler. Följande punkter ska beaktas: anpassningsbarhet/framtida förändringar, ekonomi, produktionsvänlighet, beständighet, estetik, miljö, trafiksäkerhet samt drift och underhållsvänlighet. Till utformningsritningen hör ett tekniskt PM där vald utformning dokumenteras och motiveras med hänsyn till ovanstående punkter. Ett antal utformningar bör diskuteras innan arbetet fortskrider.

Utformningsritningen med tillhörande tekniskt PM kan ses som en vidareutveckling av de broskisser som arbetas fram i arbetsplaneskedet enligt *Vägverket, 1994b*. Genom att ge dessa broskisser ett större innehåll kan broförslagen konkretiseras i ett tidigare skede och utgöra mer värdefullt underlag för beslut. Förfarandet har tillämpats på ett antal broar i Region Skåne med goda resultat. Arbetsinsatserna i projektens tidiga skede ökar, varför tid och pengar måste avsättas för detta.

Utveckling av beräkningsmodeller möjliggör bättre utnyttjande av material. Framförallt behövs nya eller anpassade beräkningsmodeller för nya material och materialkombinationer. Beräkningsmetoderna utgör endast modeller av verkligheten och därför läggs extra säkerhet både på modellen och på de ingående värdena. Ju mer exakt verkligheten kan beskrivas, ju mindre blir modellosäkerheten. Utveckling av modellerna så att de blir mer exakta medför därför att marginalerna i beräkningarna kan minska. Utnyttjande av verkliga värden på materialparametrar etc. bidrar också till med verkligheten mer överensstämmande resultat vilket kan utnyttjas positivt.

2.3.2 Brotyper

Olika brotyper har olika förutsättningar att uppfylla de olika sorters krav och egenskaper som efterfrågas för en optimal bro. För varje typ av krav eller egenskap finns det någon eller några brotyper som har bättre förutsättningar än de andra att uppfylla dessa. Med den sammansatta kravbildningen blir det svårare att avgöra vilken brotyp som är mest optimal i varje enskilt fall. Verktyg för att värdera olika brotyper med avseende på krav och egenskaper beskrivna i avsnitt 2.2 saknas.

Långtidsegenskaper och samhällsekonomiska kostnader förknippade med underhållsåtgärder och reparationer har stor betydelse. I litteraturen förordas vissa brotyper som ekonomiskt fördelaktiga. Bland dessa kan nämnas broar som är kontinuerliga över stöd och som saknar övergångskonstruktioner, jfr t.ex. *Pritchard, 1992*. I Sverige har vi sedan länge beaktat dessa aspekter i den utsträckning det är möjligt, och de kan numera betraktas som ett standardutförande.

En ökad fokusering sker också på de miljömässiga och trafiksäkerhetsmässiga effekterna av olika brotyper.

I nuläget existerar i Sverige ett antal olika brotyper, mer eller mindre vanliga. Runt om i världen finns ytterligare exempel på brotyper, mer eller mindre anpassade till lokala förhållanden vad gäller klimat, råvaror, nedbrytningsmekanismer osv. Utvecklingen går framåt och nya brotyper utvecklas och befintliga förbättras. I *Podolny, 1998*, beskrivs t.ex. olika sorters tub- och rymdramkonstruktioner.

Broar med olika registrerings- och kontrollsystem liksom intelligenta broar, eller smarta broar, tillhör delvis FoU-ramprojektet "Utvärdering av broars tillstånd och tillåten trafiklast" men har här ändå getts ett eget avsnitt, 2.3.5.

En ökad grad av förtillverkning kan vara ett medel för att uppnå högre kostnadseffektivitet. Genom en mer kontrollerad miljö med inomhusklimat borde bättre precision och jämnare kvalitet kunna erhållas. Undersökningar som hittills gjort tycks dock peka på motsatsen, jfr. t.ex. *Siwowski, 1995*. En kunskapsinventering av förtillverkning för broar har gjorts i *Sundquist, 1999b*.

Genom att spänna armeringen kan sprickbildningen i betongen kontrolleras och därigenom ökar konstruktionens beständighet och bärförmåga. Konstruktionen kan spännas i en, två eller tre riktningar. Extern spännarmering har också vunnit gehör. Extern spännarmering är åtkomlig för inspektion och lätt att byta ut. Användningsområdet har främst varit förstärkning av befintliga konstruktioner. Extern armering anses vara ett viktigt steg mot ökad industrialisering i byggandet enligt en intervjuundersökning, *Andersson och Lindblad, 1998*. Extern armering där kablar läggs in senare skapar även ökad flexibilitet hos konstruktionen.

Alla brotyper bör värderas utifrån samma krav. Särskild riskanalys kan dock erfordras för nya, obeprövade brotyper, då dessa är förknippade med en större osäkerhet och risken kan vara större att oväntade händelser inträffar.

För respektive brotyp bör optimal utformning, med avseende på antal stöd, spännvidder osv., väljas. Tidigare prioriterades låg investeringskostnad vid beslut angående utformningen. Nu krävs ett större helhetsperspektiv, och vilken utformning som är optimal i varje enskilt fall beror på kravbilden. Sambandet mellan broutformning och förmåga att uppfylla olika sorters krav behöver undersökas närmare.

Traditionellt har broutformningen valts utifrån olika premisser. Vissa av dessa gäller fortfarande som huvudkrav, men då kravbilden har utökats kommer även andra faktorer att spela in. Väglinjen och geometrin runt brofästet har t.ex. stor betydelse för utformningen av slänter, vingmurar, erosionsskydd osv. Spännvidder och antal stöd har traditionellt valts baserat på investeringskostnaden. Trafiksäkerhetsaspekter kan t.ex. medföra att avståndet mellan infrastrukturkonstruktionerna och trafikens körfält bör öka i framtiden. Optimalt antal balkar för en balkbro beror på laster, material, möjlig konstruktionshöjd etc., men även på t.ex. nedbrytningsförlopp och reparationsvänlighet. Många ytterligare exempel kan ges.

Med datorernas hjälp har möjligheter skapats för bl.a. omfattande beräkningar och lagring av stora mängder data. Avancerade program för olika ändamål utvecklas allt eftersom. Strategier för att med hjälp av informationsteknologi välja optimal utformning av broar har behandlats i *MacLeod och Hartvig, 1999*.

2.3.3 Material

De traditionella bromaterialen är framförallt betong, stål och trä. Även andra material såsom t.ex. sten och aluminium förekommer. Olika mate-

rial har olika egenskaper och möjligheter och därför är de mer eller mindre lämpade beroende på de rådande förutsättningarna.

Det sker nu mycket forskning på materialsidan. De traditionella materialen förbättras och får sällskap av nya. Intressanta material som uppmärksammas i litteraturen, jfr t.ex. *Sundquist, 1999, Burroughs et al., 1997, Small och Cooper, 1998, Kulicki, 1998, och Podolny, 1998*, är t.ex.

- högpresterande material,
- självkompakterande betong,
- kompositer av olika slag och
- korrosionsresistent armering.

Dessutom har träbroar efterfrågats alltmer p.g.a. miljöskäl. Träskyddsmedel innehåller mer eller mindre miljöfarliga komponenter, vilket varit ett motargument, men utveckling sker mot mer miljövänliga metoder.

De högpresterande materialen innefattar framförallt stål, betong och aluminium. Med högpresterande material avses inte endast material med bättre hållfasthet, utan även material med andra förbättrade egenskaper. Exempel på sådana egenskaper kan vara t.ex. bättre beständighet, arbetbarhet eller duktilitet. För att ett material ska kallas högpresterande behöver egentligen endast en egenskap vara bättre än vad den vanligtvis är för det materialet, även om det oftast är flera egenskaper som avses.

Högpresterande betong och stål har på grund av sina utmärkta egenskaper och möjligheter uppmärksammas på många håll. Högpresterande aluminium är mindre uppmärksammat, i varje fall i Norden. Aluminium spås en ljus framtid av *Podolny, 1998*. Huvudargumenten anges vara låg vikt, hög styrka, överlägsen korrosionsresistans, återanvändbarhet och kort byggtid.

Självkompakterande betong kan anses ingå i de högpresterande materialen även om det här står som en egen punkt. Självkompakterande betong omsluter armeringen effektivt utan att betongen behöver vibreras. Ibland kallas denna betong för vibreringsfri betong. Självkompakterande betong innebär bl.a. lägre kostnader för platsgjutna konstruktioner, bättre arbetsmiljö och ett jämnare gjutresultat, och stora förhoppningar på detta material finns inför framtiden, jfr t.ex. *Andersson och Lindblad, 1999, och Sundquist, 1999b*.

Olika sorters kompositmaterial är på stark frammarsch. Avancerade armeringsmaterial har utvecklats bestående av kontinuerliga fibrer inbäddade i en matris av en polymer. Materialen kan vara i form av stänger, linor, nät eller olika profiler. Fibrerna utgörs av kol-, aramid- och/eller glasfiber som impregnerats med epoxi-, polyester- eller vinylesterharts. Dessa material kallas allmänt för FRP, Fiber Reinforced Polymer. De är starka, omagnetiska, har låg densitet och är resistent i miljöer där stål inte är det. I Sverige har olika sorters kompositer framförallt använts till reparationer och förstärkning.

Korrosionsresistent stålarmering kallas ibland felaktigt rostfri armering. Armeringen har en mycket hög motståndskraft mot korrosion. Korrosionsresistent stålarmering har många förespråkare, nackdelarna består främst av brist på erfarenhet och ett högre pris vid investeringstidpunkten.

De nya högpresterande materialen medför i allmänhet att smidigare och slankare konstruktioner, som är både estetiska och ekonomiska, kan göras. Det finns dock svårigheter med att föra in nya material på marknaden. De nya materialen kräver ofta nya innovativa konstruktionslösningar och slankare tvärsnitt för att komma till sin rätt. Konstruktionsregler och handböcker är anpassade till de traditionella materialen, vilket innebär en begränsning vid tillämpning av de nya materialen. En övergång till funktionskrav i normer och standarder samt användning av livscykelkostnader, LCC, för att jämföra kostnadseffektivitet medför en ökad möjlighet för nya material och detaljlösningar att konkurrera med de traditionella, jfr. *Ehlen, 1997*.

2.3.4 Detaljutformning

Detaljutformningen avser övrig utformning, t.ex. val av avstyvningar kontra grövre stålplåtar, utformning av lager, övergångskonstruktioner, beläggning, räckesutformning, fogar, ingjutningsdetaljer, avvattningssystem, målningssystem etc.

Mycket har hänt på detaljutformningsområdet på senare tid. Användandet av övergångskonstruktioner har minskat, bättre övergångskonstruktioner och lager har utvecklats, bättre system för skydd mot erosion och nya målningssystem har utvecklats. Medvetenheten om detaljutformningens betydelse har ökat.

Detaljutformningen påverkar i hög grad brons livscykelkostnader varför särskild omsorg bör ägnas åt denna. Statistik över livslängder och kostnader för olika detaljer eller detaljutformningar skulle underlätta val vad gäller lämplig utformning.

Detaljutformningen har stor betydelse för brons beständighet, dvs. brons förmåga att motstå nedbrytning. Med en genomarbetad detaljutformning kan många problem undvikas. Utformningen av detaljer bör ske med särskild avsikt att underlätta för underhållsåtgärder och reparationer, etc.

I Sverige har vi ett speciellt klimat med stora temperaturskillnader och relativt riklig nederbörd. Sedan 60-talet har vi saltat våra vägar vintertid för att öka trafiksäkerheten. Trafiksäkerheten har ökat, men salt och vatten påskyndar nedbrytningshastigheten hos infrastrukturkonstruktionerna varför en medveten detaljutformning är nödvändig. Mycket forskning har skett inom detta område, och kunskapen har ökat. Överflödigt vatten leds bort och brobanor och utsatta konstruktionsdelar skyddas med olika sorters barriärer. Konstruktionerna bör utformas så att det inte uppstår fickor där smuts och vatten kan ansamlas eftersom smuts och överflödigt vatten

påskyndar nedbrytningen. Efter vintersäsongen bör konstruktionerna därför tvättas rena från salt och smuts.

En stor del av beständighetsproblemen har sitt ursprung i tösaltningen. Saltet påverkar även vegetationen negativt. Mängden salt har på senare år kunnat minska, dels genom att salta vid rätt tillfälle, dels genom i vilken form och blandning saltet påförs. Flera försök har gjorts att byta ut saltet mot andra material eller metoder, jfr t.ex. *Yehia och Tuan, 1998*, och *Small och Cooper, 1998*.

2.3.5 **Kontrollsystem och intelligenta broar**

Olika sorters inspektions- eller kontrollsystem utvecklas för att öka kunskapen om broars tillstånd och tillståndsförändring. Dessa system bygger på att bron förses med instrumentering där olika sorters data automatiskt registreras. Kontrollsystemen kan vara tillfälliga, t.ex. för att bekräfta förväntade värden eller erhålla statistisk spridning, eller permanenta om så anses nödvändigt. Dessa kontrollsystem ger en ökad kunskap om konstruktionernas tillstånd och funktion. Då förändringen av tillståndet registreras löpande kan underhåll och reparationer planeras och sättas in vid optimal tidpunkt. Kontrollsystemen bidrar därmed till ett mer effektivt underhåll av konstruktionerna. Detta område hör till FoU-ramprojektet "Utvärdering av broars tillstånd och tillåten trafiklast".

Kontrollsystemen innebär att bron förses med instrumentering där olika typer av sensorer monteras på bron. Dessa sensorer mäter t.ex. temperatur, sättningar, förskjutningar, sprickor, spänningar, vind, acceleration och korrosion. Uppgifterna registreras automatiskt. På detta sätt kan en stor mängd information erhållas för vidare bearbetning. Informationen innehåller både spridningen inom varje dataområde, med även kopplingen mellan olika sorters data.

Intelligenta broar, eller smarta broar, är broar där uppgifterna från kontrollsystemen används för att påverka konstruktionen. Uppgifter från sensorerna behandlas i ett kontrollsystem och signaler skickas till aktiverare som ger motreaktioner på bron. Exempel på tillämpningar kan vara system för att erhålla vindstabilitet, jfr *Podolny, 1998*.

I *Jensen och Pedersen, 1999*, betonas nödvändigheten av att diskussionerna om ett eventuellt kontrollsystem sker på ett så tidigt stadium i projekteringsfasen som möjligt, eftersom det kommer att påverka konstruktionens alla faser.

Beslut gällande införande av kontrollsystem och kontrollsystemets omfattning baseras vanligtvis på mer eller mindre lyckade kompromisser mellan de olika parter som är inblandade i beslutet. Därför föreslås i *Jensen och Pedersen, 1999*, att en kostnads-nyttoanalys genomförs, där nyttan av systemet i form av ökad kunskap, inkomst eller sparade kostnader jämförs med livslängdskostnaden för kontrollsystemet. Därvid måste varje typ av påverkan på de olika faserna, från projektering, dimensionering,

byggande, överlämnande, förvaltning, underhåll, reparation, förstärkning och rivning beaktas.

3 Pågående och avslutad FoU

3.1 Allmänt

Begreppet ”Optimala nya broar” i det breda spektrum som här avses har inte förekommit tidigare, vilket också påpekas i *Sundquist, 1999*. Någon forskning som behandlar detta område i det större perspektivet har därför inte kunnat hittas. Däremot sker en hel del forskning inom mindre, mer avgränsade områden.

De internationella trenderna pekar fortfarande på ökad beständighet och minskat reparations- och underhållsbehov. Bl.a. märks en ökad användning av integrerade landfästen och broar som är kontinuerliga över stöd och utan övergångskonstruktioner. Avsikten är att minska underhållsbehovet på framtidens broar. Många av dessa trender har redan uppmärksamats i Sverige och det tillhör nu praxis att beakta dessa aspekter.

Estetik, miljöhänsyn och ökad trafiksäkerhet har också uppmärksamats. Som trafiksäkerhetshöjande åtgärd kan nämnas ökat avstånd mellan trafik och brostöd.

De ökande kostnaderna för arbetskraft gör att efterfrågan på mer industriella lösningar för broar ökar.

På materialsidan forskas det mycket. Möjligheten att använda nya material undersöks. Rationella metoder för att jämföra dessa med traditionella efterfrågas. Forskning pågår om möjligheten att använda kompositer i allt större omfattning. Frågeställningar som är aktuella är beständighet och risken för spröda brott. Högpresterande material, såsom stål och betong forskas det mycket om, men även högpresterande aluminium nämns.

För att nya material ska komma till sin rätt krävs nya brotyper eller nya tekniska lösningar. Med funktionsbaserade krav kan dessa nya material utnyttjas optimalt och därmed konkurrera på ekonomiska grunder.

Mycket forskning bedrivs i syfte att klarlägga de faktorer som påverkar broars livslängd, kostnader och möjlighet att uppfylla olika sorters krav. Forskningen bedrivs i allmänhet som fördjupning inom mindre områden vilka hör hemma i andra ramprojekt. De stora frågorna, hur broar ska optimeras för att uppfylla alla de olika sorters krav som ställs nu och i framtiden, behandlas i mindre omfattning. Det har därför varit svårt att identifiera den forskning som endast hör hit.

3.2 Sverige

På Chalmers, Institutionen för byggnadsmekanik, pågår Per Kettils doktorandprojekt ”Optimerade byggnadskonstruktioner genom integration av datorverktyg i en adaptiv designprocess”. Projektet avser att integrera ingenjörs kreativitet med datorbaserade geometri- beräknings- och visuali-

seringsverktyg i en adaptiv designprocess. Kettil avlade licentiatexamen under 1999, *Kettil, 1999*. Projektet beräknas avslutas år 2001.

På Chalmers, Institutionen för byggnadsmekanik, pågår också försök med simulering och visualisering av konstruktioner i en VR-kub. Uddevallabron har t.ex. studerats på detta sätt.

På LTU, Institutionen för Väg och vattenbyggnad, arbetar Hans Pétersson med sitt doktorandprojekt "Broar med integrerade landfästen". Pétersson forskar på en typ av landfästen där brobanan grundläggs direkt på pålarna. Modellen har tidigare i ett fåtal fall använts i Sverige, men den används i t.ex. USA, Canada och Storbritannien.

På KTH, Institutionen för Byggkonstruktion, pågår Lutfi Ays doktorandprojekt "Den armeringsfria bron". Projektet avser att utveckla och industrialisera broutformning och brobyggande med hjälp av spännarmerad och fiberarmerad högpresterande betong. Projektet beräknas löpa till och med år 2001.

På Chalmers, Institutionen för Betongbyggnad pågår Peter Harryssons doktorandprojekt "Industrialised bridge construction". Målet med projektet är att utifrån dagens konventionella brobyggnadsprocess skapa en mer industrialiserad byggprocess för brobyggnad. Projektet beräknas löpa till och med år 2004.

Mycket forskning pågår kring självkompakterande betong. Vägverket Produktion driver ett pågående FoU-projekt på CBI "Vibreringsfri betong, användningsteknik" som fokuserar på utförandefrågor. Projektet påbörjades 1999 och ska avslutas under år 2001. Projektet bygger vidare på ett tidigare projekt som redovisats i en uppdragsrapport om självkompakterande betong för brogjutningar, *Billberg et al., 1999*.

Svenska betongföreningen startade under hösten 1999 en arbetsgrupp, med Rolejs Tepfers, Chalmers, som ordförande. Målet med kommittéarbetet är att utifrån en bedömning av framtida trender och behov identifiera viktiga FoU-områden kopplade till betongkonstruktioner armerade med FRP material. Arbetet skall utgöra stöd och ge inspiration för dem som planerar den framtida utvecklingen med FRP-material. FoU-områden vilka bör bedrivas och prioriteras under kommande 5-årsperiod ska identifieras.

3.3 Europa

Brite-Euram-projektet BRPR-CT96-0366 "Rational production and improved Working Environment through using Self Compacting Concrete" startades 1997 och involverar många olika parter men drivs med NCC, Marianne Grauers, som huvudprojektledare. Huvudsyftet med projektet är att utveckla ett nytt produktionssystem med minskade produktionskostnader för självkompakterande betong. Både traditionellt armerad självkompakterande betong och stålfiberarmerad självkompakterande betong ingår i projektet. Projektet ska vara avslutat sommaren år 2000.

Inom bl.a. COWI-consult i Danmark utvecklas kontroll- och styrsystem för broar, jfr *Jensen och Pedersen, 1999*. Även frågor angående utveckling av rationella metoder för att välja optimalt kontrollsystem behandlas. För dessa frågor hänvisas till förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd", *Vägverket, 2000d*.

3.4 Världen

Nya högpresterande konstruktionsmaterial har haft svårt att på lika villkor konkurrera med traditionella material. Genom införande av funktionskrav och LCC-modeller skapas verktyg för att värdera för och nackdelar med dessa nya material. Dessa frågor har behandlats i *Ehlen och Marshall, 1996*, och *Ehlen, 1997*. Livscykelkostnader har beräknats och jämförts för brobanelplattor av olika sorters kompositmaterial och av traditionell armerad betong.

På Nebraska Department of Roads forskas på olika alternativ till konventionell tösaltning, t.ex. uppvärmning vid rätt tidpunkt av ledande skikt i brofarbanan, *Yehia och Tuan, 1998*.

3.5 Angränsande förstudier

Under år 1998 och 1999 har ett stort antal förstudier bedrivits på Vägverket för att få ett samlat grepp om behovet av FoU. I vissa fall blir gränsdragningen mellan förstudierna mer eller mindre tydlig.

För att bedöma kostnadseffektiviteten för olika utformningar behövs metodiker i form av modeller och verktyg. Livscykelkostnadsmodeller, LCC-modeller, utgör exempel på modeller för att beakta samtliga kostnader under livslängden. Frågor kring modeller för att beräkna livslängdskostnader för broar behandlas i förstudien "LCC-modeller (bro)", *Vägverket, 1999a*, som har bedrivits i nära samarbete med denna.

En ökad trend mot att basera kravbilden på rena funktionskrav och att minska på de ställföreträdande kraven medger större frihet vid utformning av bron. För att verifiera att bron uppfyller kraven, införs verifikationsmetoder med tillhörande acceptkriterier. Detta behandlas i förstudien "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper", *Vägverket, 2000b*.

En optimal ny bro ska uppfylla kraven på tillgänglighet och framkomlighet. Tillgänglighet och framkomlighet behandlas dels i förstudien "Utvärdering av tillåten trafiklast", *Vägverket, 1998a*, och dels i förstudien "Förbättring av befintliga broar", *Vägverket, 2000a*.

Mycket forskning har bedrivits inom området beständighet men ett enhetligt betraktelsesätt för att uppnå optimal standard saknas. I förstudien "Optimala standarder (bro)", *Vägverket, 1999b*, behandlas optimal beständighet och hur normernas krav ska specificeras för att detta ska uppnås. I förstudien "Mätning och utvärdering av broars tillstånd", *Vägver-*

ket, 2000d, behandlas metoder för mätning och utvärdering av broars tillstånd.

Efterfrågan på kunskaper om och möjligheter att utforma broar mer estetiskt har ökat. De estetiska frågorna angående broar behandlas i förstudien "Broars gestaltning", *Vägverket, 2000c*. I förstudien undersöks vilka områden som är mest intressanta att studera vidare för att erhålla estetiskt tilltalande broar.

Antalet döda och svårt skadade i trafiken är oacceptabelt stort, varför trafikmiljön måste göras säkrare. Enligt olycksstatistiken utgör broarna en större fara för trafikanterna än vägen i övrigt. Frågor kring hur broarna och områdena i anslutning till broarna ska utformas för att öka trafiksäkerheten behandlas i förstudien "Trafiksäkra broar", *Vägverket, 1998c*.

En större miljömedvetenhet kräver att även våra broar är miljöanpassade. Detta problemområde behandlas närmare i förstudien "Miljöanpassade broar", *Vägverket, 1998b*.

Broförvaltningssystemet SAFEBRO behöver ses över i sin helhet. Systemet behöver också bl. a. ökad användarvänlighet och förfinade hjälpmedel för planering och uppföljning. FoU-behovet för broförvaltningssystemet SAFEBRO har därför behandlats i "Vidareutveckling av SAFEBRO", *Vägverket, 1999c*.

4 Inkomna FoU-ansökningar

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

Eftersom ramprojektet ”Optimala nya broar” inte har varit öppet för ansökningar har inga riktade ansökningar kommit in. Däremot har en ansökan om forskningsmedel adresserad till ett annat ramprojekt, men som torde höra hemma i detta ramprojekt, kommit in. Projektet som avses är AL 90 A, B 98:2727 ”Optimerade byggnadskonstruktioner genom integration av datorverktyg i en adaptiv designprocess”, Per Kettils doktorandprojekt, insänt av professor Nils-Erik Wiberg, Chalmers, Institutionen för Byggnadsmekanik. Projektet avser att integrera ingenjörs kreativitet och datorbaserade geometri-, beräknings- och visualiseringsverktyg i en adaptiv designprocess. Projektet syftar till att flytta fram ”State of the art” då det gäller design av byggnadskonstruktioner, speciellt broar.

5 Behov av utredning

5.1 Allmänt

”Optimala nya broar” är ett stort och brett område, där övergripande forskning och utveckling inte har genomförts i någon större utsträckning. Många stora uppgifter finns därför att ta tag i, och dessa kräver både överblick och detaljseende. Skillnaden mellan utredning och forskning kan här bli lite flytande beroende på hur kända olika samband är.

Genom att samla de erfarenheter som finns av befintliga broar i Sverige och i andra länder med liknade klimat och trafiksituation, med prognoser inför framtiden, kan underlag utarbetas som planerings- och projekteringsstöd. Detta är ett omfattande arbete och nya uppgifter tillkommer ständigt. Hur man får fram dessa uppgifter, och håller dem aktuella, är exempel på frågor som behöver utredas närmare.

Delområden i behov av utredning har presenterats i prioritetsordning i avsnitt 5.2-5.3. Det är av stor vikt att befintligt material och befintliga erfarenheter kartläggs och görs åtkomliga så att ytterligare behov av utredning respektive forskningsinsatser kan identifieras.

5.2 Översyn av broprojekteringshandboken

Broprojekteringshandboken, *Vägverket, 1996*, är i första hand ett hjälpmedel för broprojektörer, men den används och uppskattas även av andra. Handboken behöver dock en översyn och den kunskapsinventering som gjorts i denna förstudie bör arbetas in i handboken. Handboken behöver också ses över så att strukturen bättre överensstämmer med väghållningsprocessen.

I Region Skåne har Thomas Bruneby infört ett nytt begrepp ”utformningsritning” i broprojekteringsprocessen i avsikt att uppnå optimal broutformning. Med utformningsritning avses en ritning som tas fram som ett första steg och stäms av med projektledare innan fortsatt projekteringsarbete. Utformningsritningen lägger fast brotyp, spännvidd, fri brobredd, fri höjd, korsningsvinkel samt vägbanors profiler. Följande punkter beaktas: anpassningsbarhet/framtida förändringar, ekonomi, produktionsvänlighet, beständighet, estetik, miljö, trafiksäkerhet samt drift och underhållsvänlighet. Till utformningsritningen hör ett tekniskt PM där vald utformning dokumenteras och motiveras med hänsyn till ovanstående. Utformningsritningen med tillhörande tekniskt PM kan sägas vara en utveckling av de broskisser som ska tas fram i arbetsplaneskedet enligt *Vägverket, 1994b*. Om detta är ett lämpligt förfarande som leder till bättre genomtänkta konstruktioner bör utredas närmare.

Eftersom de ”Rosa böckerna”, *Vägverket 1993 och 1994a-d*, som behandlar Vägverkets planering och projektering av vägar, troligtvis står inför en omarbetning bör frågan om utformningsritning med tillhörande tekniskt PM beaktas vid denna omarbetning.

5.3 Samordning av databaser

Kostnader för reparationsåtgärder på Vägverkets broar finns lagrade i kalkyldatabaser. Vid flera av Vägverkets regioner har kalkylunderlag arbetats fram som kan användas för att ta fram t.ex. underhålls- och reparationskostnader för olika brotyper eller brodelar. Varje region har sin egen databas och de är inte samkörda. Det vore intressant om materialet blev tillgängligt som underlag för alla som har med projektering av Vägverkets broar att göra. Därför föreslås att en utredning görs där om, och i sådana fall hur, denna samordning bör göras.

6 Behov av FoU

6.1 Allmänt

Forskning inom ”Optimala nya broar” i det breda spektrum som här avses har troligtvis inte förekommit tidigare, vilket även påpekas i *Sundquist, 1999*. Behovet av forskning och utveckling är därför stort.

Det behov av FoU som har identifierats efter arbetet med föreliggande förstudierrapport har sammanställts som FoU-projekt och delområden under ett antal rubriker som följer. FoU-projekten och delområdena har i 6.2 –6.6 inplacerats i prioritetsordning.

6.2 Metodik för optimal utformning av broar

En metodik för optimal utformning av broar, där varje krav ska beaktas, bör utarbetas. I metodiken ska beaktas att de olika kraven kan, beroende på omständigheter, behöva viktas olika från fall till fall. För att välja optimal utformning måste kraven på något sätt kunna sammanvägas. Det kan vara lämpligt att detta görs manuellt.

Metodiken ska även kunna användas för att värdera nya utformningar, material osv. mot befintliga. För att detta ska vara möjligt att genomföra måste kravbildens göras tydligare, jfr avsnitt 6.3.

Metodiken omfattar såväl modeller som olika sorters hjälpmedel t.ex. datorprogram med tillhörande databaser. Utveckling av ett system för projektering av optimala nya broar bör följa Vägverkets systemutvecklingsmodell. Rubricerat delområde föreslås innefatta initieringsfasen, analysfasen och utformningsfasen. I initieringsfasen diskuteras idéer och olika möjligheter kartläggs. Analysen syftar till att besvara frågan om vad som ska tillverkas, medan utformningen besvarar frågan om hur systemet ska utformas. Därefter följer tillverkningsfasen då själva programmeringen och andra förberedelser som behövs för att införa ett nytt informationsbehandlingssystem görs. Själva tillverkningsfasen behandlas inte i detta utvecklingsprojekt.

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

Systemet skall vara lättanvänt men ändå genomsnittligt. Med genomsnittligt avses att konsekvenserna av olika val skall kunna förstås relativt en-

kelt. Detta innebär bl.a. att beräkningsmoduler skall finnas tillgängliga och att delresultat skall visas.

6.3 Tydligare kravbild

Vägverket har av tradition framförallt ställt krav på hållfasthet, ekonomi och beständighet. Till dessa har även andra krav beaktats mer eller mindre genom åren. Vägverket har ett helhetsansvar för att de nya broar som byggs blir "samhällsoptimala". I detta begrepp ingår hela den kravbild som beskrivits i avsnitt 2.2, t.ex. uppdelad enligt följande:

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

men även:

- optimal livslängd,
- flexibilitet och
- robusthet.

En precisering av vad som avses med respektive krav och egenskap är nödvändig för att bedöma i vilken utsträckning nya broar blir samhällsoptimala. Genom att bättre beskriva vart och ett av kraven och vad de innebär, med mål och mått, ges större möjligheter att utröna i vilken utsträckning respektive krav uppfylls för olika brotyper, material och detaljer.

Hur kan kraven komma att förändras i framtiden? Olika typer av möjliga förändringar bör utredas, och sannolikheter för att förändringarna kommer till stånd bör bedömas. Modeller för hur kraven hittills har förändrats, samt prognoser inför framtiden bör göras. Bedömningar bör göras av vilken inbördes rangordning olika sorters krav kan komma att ha i framtiden, beroende på olika omständigheter som t.ex. typ av väg, trafiksituation eller geografiskt läge.

Modeller för den ekonomiska värderingen av de olika kraven behandlas i en annan förstudie, "LCC-modeller (bro)" och kunskap som erhålls i de FoU-delområden som föreslagits där kommer att bilda underlag vid utformning och dimensionering av optimala nya broar.

6.4 Systematisk kartering av erfarenheter

Med en tydligare kravbild enligt avsnitt 6.3 kan en kartläggning ske av hur befintliga broar, och på sikt även nya broar, uppfyller kraven.

Systematisk kartering av erfarenheter av befintliga:

- brotyper,
- material och
- detaljutformningar,

vad gäller konsekvenser av tidiga val för möjligheten att uppfylla olika sorters krav är önskvärd. Karteringen bör avse hur varje enskilt krav kan uppfyllas. Erfarenheterna bör samlas i en databas som uppdateras allteftersom. På detta sätt skapas kunskapsunderlag för att utforma nya broar optimalt. Den kunskap som finns hos olika aktörer på marknaden bör tas till vara och arbetas in som underlag.

Någon form av värderingsmall för värdering av hur nya oprövade brotyper, material och detaljutformningar behöver utvecklas så att nya idéer på ett objektivt sätt kan jämföras med befintliga.

Denna systematiska kartering av erfarenheter ska fungera som underlag för FoU-delområdet som beskrivs i 6.2, "Metodik för utformning av optimala nya broar".

6.5 Utveckling av optimala konstruktionslösningar

Ibland krävs nya grepp för att möta förändrade krav. När förbättring av befintlig teknik eller befintliga metoder inte räcker till krävs ett nytänkande. Utveckling av optimala konstruktionslösningar avser därför mer okonventionella grepp för att nå kraven på optimala nya broar. Med utveckling av optimala konstruktionslösningar kan här t.ex. avses

- nya brotyper och detaljutformningar,
- industrialiserat brobyggande, eller
- IT-baserade verktyg för utformning och dimensionering.

Nya material eller materialkombinationer kan medföra att de konventionella lösningarna vad gäller brotyper, detaljutformning, beräkningsmetoder eller utförande inte är optimala och kanske inte heller tillräckliga, varför forsknings- och utvecklingsinsatser kan behövas inom det området. Utveckling av flexibla dvs. anpassningsbara broar är ett sätt att möta förändrade krav och ett intressant forskningsområde för att nå målet optimala nya broar.

Utveckling av metoder för industriellt brobyggande kan eventuellt kan vara ett sätt att få fram billigare konstruktioner med jämnare och för-

hoppningsvis bättre kvalitet, jfr *Sundquist, 1999b*. Forskningsinsatser inom området föreslås se till hela byggprocessen från planeringsskedet till rivning av bron, och under beaktande av den kompletta kravbilden, för att utröna om och när prefabricering kan leda till mer optimala broar.

Utformning och dimensionering av broar innebär att allt mer omfattande beräkningar måste utföras. Vartefter mängden krav ökar, ökar också kraven på beräkningsmängden. Datorernas frammarsch innebär att stora datamängder kan bearbetas och lagras. En mängd olika program har utvecklats, men integrationen dem emellan är otillfredsställande. Utveckling av IT-baserade verktyg för utformning och dimensionering innebär förbättrade möjligheter att nå målet optimala nya broar. Forskningsinsatser inom området behövs.

6.6 Trafikanternas upplevelse

Undersökningar över hur trafikanterna upplever olika broutformningar ur kanske framförallt estetisk synpunkt, men även vad gäller trafiksäkerhet/trygghet saknas. Undersökningar av detta slag kan behandlas med "stated preference" och förslagsvis vara lämpliga som examensarbeten vid de tekniska högskolorna, *Sundquist, 1999*. Broarkitekter, landskapsarkitekter och trafikpsykologer kan vara till hjälp i detta arbete. Detta delområde hänförs till det kommande FoU-ramprojektet "Broars gestaltning och kulturhistoria".

7 Referenser

- Andersson och Lindblad (1998) "Industrialiserat brobyggande mot 2000-talet", Examensarbete 95, KTH, Institutionen för Byggkonstruktion, Brobyggnad, Stockholm 1998.
- Billberg, Petersson, Norberg, Sundbom och Ysberg (1999) "Vibreringsfri betong för brogjutningar enligt BRO 94", Öppen uppdragsrapport nr. 99002, CBI, 1999.
- Boyes, D. S. (1995) "Policy traffic management and available options", Bridge Modification, 23-24 March 1994, Thomas Telford, London, 1995, p. 1-11.
- Burley, E. och Rigden, S. R. (1997) "The use of life cycle costing in assessing alternative bridge design", Proc. Instn Civ. Engrs Mun. Engr, 121, p. 22-27, March 1995.
- Burroughs, Lockwood och Price (1997) "Innovative Prestressed Steel Composite Short- to Medium-Span Bridges", Transportation Research record 1594, Bridges, Other structures and Hydraulics and Hydrology, Transportation Research Board, National Research Council, 1997.
- Ehlen, M. (1997) "The Life-Cycle Costs of New Construction Materials", Journal of Infrastructure Systems, Vol. 3, No. 4, p. 129-133, December, 1997.
- Ehlen, M. A. och Marshall, H. E. (1996) "The Economics of New Technology Materials: A Case Study of FRP Bridge Decking", U.S. Department of Commerce, NISTIR 5864, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899.
- Jensen och Pedersen (1999) "Design of Structural Monitoring Systems", Proc. IABSE-konferens Cable-Stayed Bridges – Past, Present and Future, 2-4 juni, Malmö, Sweden 1999.
- Kettil (1999) "Adaptive Structural Design – Integration of Computational Tools for CAD, Adaptive FEM and Optimization", Publikation 99:1, Chalmers, Inst för Byggnadsmekanik, Göteborg 1999.
- Leeming, M. G. (1993) "The application of life cycle costing to bridges", Bridge Management 2, Thomas Telford, London, 1993.
- MacLeod och Hartvig (1999) "Issues and Strategies for Evaluation of Structural Design Options", Structural Engineering International 3/99, s. 201-205.
- Nilsson, L.-O. och Rostam, S. (1995) "Brobyggnad – Betongteknologins spjutspets. När kan branschen leva upp till funktionskrav?", *Brobyggardag Göteborg 30 januari 1995*, Brosamverkan Väst.
- PIARC, (1996) "Type of Structures Selected For New Bridges", PIARC Committee on Road Bridges, World Road Association, 11.06.B, 1996.

Podolny, W (1998) "Technology of the Future", TR News 194, Special Issue: Highway Bridges – Progress and Prospects, januari-februari 1998.

Potter (1998) "Program Management Issues", TR News 194, Special Issue: Highway Bridges – Progress and Prospects, januari-februari 1998.

Pritchard (1992) "Bridge design for Economy and Durability", Thomas telford, London 1992.

Sarma och Adeli (1998) "Cost Optimization of Concrete Structures", Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 5, May, 1998.

Small och Cooper (1998) "Condition of the Nation's Highway Bridges – A look at the Past, Present, and Future", TR News 194, Special Issue: Highway Bridges – Progress and Prospects, januari-februari 1998.

Siwowski (1995) "Improving the Durability of Precast Concrete Bridges", Proc. IABSE Symposium Extending the Lifespan of Structures, San Fransisco, 1995, p. 1277-1282.

Sundquist (1999) "Optimala nya broar", Teknisk rapport 1999:8, KTH, Institutionen för Bygghkonstruktion, Brobyggnad, Stockholm 1999.

Sundquist (1999b) "Industrialisering av betongbrobyggandet", Teknisk rapport 1999:12, KTH, Institutionen för Bygghkonstruktion, Brobyggnad, Stockholm 1999.

Vägverket (1993) "Förstudie i vägprojektering", Vägverket Publ. 1993:8, Borlänge 1993.

Vägverket (1994a) "Redovisning av vägutredning: handbok", Vägverket Publ. 1994:71, Borlänge 1994.

Vägverket (1994b) "Redovisning av arbetsplan: handbok", Vägverket Publ. 1994:72, Borlänge 1994.

Vägverket (1994c) "Redovisning av bygghandling och relationshandling: handbok", Vägverket Publ. 1994:73, Borlänge 1994.

Vägverket (1994d) "Information om vägprojekt: handbok", Vägverket Publ. 1994:74, Borlänge 1994.

Vägverket (1996) "Broprojektering: en handbok", Vägverket Publ. 1996:63, Borlänge 1996.

Vägverket (1998) "Brotyper", Publ. 1998:114, Borlänge 1998.

Vägverket (1998a) "Utvärdering av tillåten trafiklast", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1998.

Vägverket (1998b) "Miljöanpassade broar", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1998.

Vägverket (1998c) "Trafiksäkra broar", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1998.

Vägverket (1999a) "LCC-modeller (bro)", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1999.

Vägverket (1999b) "Optimala standarder (bro)", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1999.

Vägverket (1999c) "Vidareutveckling av SAFE BRO", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 1999.

Vägverket (2000a) "Förbättring av befintliga broar", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 2000.

Vägverket (2000b) "Verifieringsmetoder för upphandling av broars egenskaper", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 2000.

Vägverket (2000c) "Broars gestaltning", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 2000.

Vägverket (2000d) "Mätning och utvärdering av broars tillstånd", Förstudierapport, Vägverket, Avdelningen för bro och tunnel, Borlänge 2000.

Yehia och Tuan (1998) "Conductive Overlay for Bridge Deck Deicing", ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, p. 382-390, maj-juni 1999.