

**Förstudie till FoU-ramprojekt**

**Förbättring**

**av**

**befintliga broar**

## Förord

Föreliggande förstudie "Förbättring av befintliga broar" behandlar modeller för förbättring av broar, främst förstärkning, samt ger förslag på FoU-projekt.

Borlänge i mars 2000

Henrik Gabrielsson

Granskat:

Robert Ronnebrant

# Innehåll

Förord.....	2
Innehåll.....	3
Sammanfattning .....	4
1 Inledning .....	6
1.1 Bakgrund .....	6
1.2 Syfte .....	6
1.3 Avgränsningar .....	6
2 Förbättringsmetoder.....	8
2.1 Ökning av tvärsektionen .....	8
2.1.1 Betongbroar.....	8
2.1.2 Stålbroad.....	9
2.1.3 Träbroar.....	10
2.2 Förbättring genom pålimmad armering .....	10
2.2.1 Pålimmade stålplåtar .....	10
2.2.2 Pålimmade kolfiberlaminat eller väv .....	10
2.2.3 Pålimmade glasfiberlaminat.....	11
2.3 Förbättring genom yttre spännarmering.....	11
2.4 Förbättring av broars geometriska standard.....	12
2.5 Ekonomiska jämförelser av förstärkningsmetoder .....	13
3 Pågående och avslutad FoU .....	14
3.1 FoU i Sverige .....	14
3.2 FoU internationellt .....	15
4 Behov av FoU .....	17
4.1 Allmänt .....	17
4.2 Pålimmade förstärkningar.....	17
4.2.1 Allmänt.....	17
4.2.2 Kolfiberförstärkning - utförande .....	19
4.2.3 Kolfiberförstärkning - förspänning .....	20
4.3 Ökning av tvärsektionen .....	21
4.3.1 Allmänt.....	21
4.3.2 Betong .....	21
4.4 Yttre spännarmering.....	22
4.4.1 Allmänt.....	22
4.4.2 FRP - Fibre Reinforced Polymers .....	22
4.5 Geometrisk standard .....	22
4.5.1 Allmänt.....	22
Referenser .....	23
Bilaga A Improvement of the Load-bearing Capacity of Existing Bridges – A Review of Literature .....	24

## Sammanfattning

Dagens infrastrukturkonstruktioner blir allt äldre. För att klara ändrade krav på exempelvis större laster, ökade trafikmängder etc. krävs att allt fler broar renoveras och/eller förbättras. Tillåtna axel-/boggilaster och totalvikter på fordonen höjs och detta medför att broarna inte enbart kan renoveras. För att inte behöva införa restriktioner på tillåtna axel-/boggilast eller totalvikt på broarna och bibehålla framkomligheten krävs det att man antingen förbättrar eller bygger nya broar.

I denna förstudie har metoder för förbättring av broar studerats med fokus på trafikantens förbättring av framkomlighet och trafiksäkerhet. Förbättring av trafiksäkerhet behandlas i ramprojektet trafiksäkra broar. Framkomligheten för en befintlig bro kan förbättras genom en förstärkningsåtgärd eller genom förbättring av bron geometriska standard.

Förbättring av broars geometriska standard kan göras på olika sätt bl. a. genom att bredda, höja den fria höjden, förlänga bron m.m. Andra metoder kan vara lätta kompositbroar som hängs på befintlig bro. Utredning av nya metoder/system och existerande genom att utnyttja ny kunskap och nyutvecklade material som är mer kostnadseffektiva behövs.

För broar kan man använda tre olika förstärkningsmetoder.

- Ökning av tvärsnittet
- Pålimmad armering
- Yttre spännarmering

Ökning av tvärsnittet kan tillämpas på alla materialtyper. Det finns redan väl utvecklade metoder och teorier för detta. Nya produktionsmetoder som har utvecklats kan behöva undersökas, exempelvis om självkompakterande betong kan användas för pågjutningar.

Pålimmade armeringar har använts sedan början av 1960-talet då man började med att limma stålplåtar på konstruktioner som behövde förbättras. Under det senaste decenniet har kolfiberväv eller kolfiberlaminat börjat ersätta stålplåten pga. beständighet, mekaniska egenskaper, arbetsmiljöhänsyn och dessutom har utbudet av kolfibrer ökat och därmed har priset sjunkit. Det finns redan produktionsmetoder och en första teoribildning sammanfattade i en handbok, Täljsten (1999). Genom undersökning av egenskaper som påverkar utförandet och utveckling av metoden ytterligare kan metoden göras mer säker och därmed kan man tillgodoräkna sig större förstärkningseffekt.

Yttre spännarmering har använts länge, men den har historiskt sett haft problem med korrosionsskydd. Metoden har fått en renässans, speciellt inom nybyggnadsområdet där prefabricerade segment (lådbalkprofiler av betong) spänns ihop med mycket spännarmering. Metoder och teori finns

så att metoden kan tillämpas men nya material skulle kunna utnyttjas, exempelvis kolfiberspännarmering.

Av de metoder som behandlats i denna förstudie föreslås vidareutveckling av metoden pålimmade kolfiberlaminat. Två olika delprojekt föreslås, det ena med inriktning på säkring av utförandet och det andra för att vidareutveckla metoden genom förspänning för att höja förstärkningseffekten.

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

De befintliga broarna får allt större behov av förbättring pga. ändrade förutsättningar bl.a. högre trafiklast och större trafikmängder. I denna förstudie har broar studerats, men de metoder som beskrivs är allmänna och är snarare kopplade till byggnadsmaterialet än konstruktionstypen.

Vägverket ansvarar för närvarande för ca. 11500 broar, med spännvidd  $\geq 3,0$  m, och 78 % av dessa är betongbroar, 17 % stålbroar och 5 % är stenalvsbroar, Ronnebrant (1999). För att möta dagens krav på höjda axel-/boggilaster på fordon sker det en översyn av Vägverkets broar. För att säkerställa framkomligheten på våra vägar måste alla broar genomgå en klassning så att rätt tillåten last kan bestämmas på samtliga broar.

En förbättring av broar kan ske på olika sätt. Det mest ekonomiska sättet är en så kallad administrativ uppklassning. Detta innebär att man använder förfinade beräkningsmodeller för att på så sätt verifiera en högre tillåten last. Denna kan/måste i vissa fall även kompletteras med materialprover, dvs. provning av aktuella materialparametrar. Detta behandlas i ramprojektet "Utvärdering av broars tillstånd och tillåten trafiklast".

Ett annat sätt är att göra en förstärkning av de egenskaper som brister, t.ex. av böjmomentkapaciteten. I kapitel 2 beskrivs en del förstärkningsåtgärder

Vidare kan man förbättra broars geometriska standard genom exempelvis breddning eller höjning av brobanan.

## 1.2 Syfte

Metoderna för förbättring av broar med hänsyn till nya samhällskrav, exempelvis förstärkning för högre trafiklast, är inte tillräckligt utvecklade.

Genom att systematiskt utreda och utveckla förbättringsmetoder kan funktionstiden för befintliga broar förlängas. Om man kan förlänga brons livslängd genom en förbättringsåtgärd kan detta innebära avsevärda samhällsekonomiska besparingar.

## 1.3 Avgränsningar

Förbättring innebär här förbättring av de funktioner som vänder sig till trafikanten, dvs. framkomlighet och trafiksäkerhet. Förbättring av konstruktionen med hänsyn till beständighet tas inte med här utan

behandlas i ramprojektet ”Optimala standarder”. Vidare kan förbättring med avseende på framkomlighet och trafiksäkerhet delas upp i följande:

**Framkomlighet**

- Förbättring av bärighet, vanligen kallad förstärkning
- Förbättring av den geometriska standarden, dvs. breddning och ökning av fri höjd

**Trafiksäkerhet**

- Förbättring av trafiksäkerheten behandlas i ramprojektet ”Trafiksäkra broar”

Förstudien behandlar främst förstärkningsmetoder.

## 2 Förbättringsmetoder

De vanligaste förbättringsmetoderna med avseende på bärförmåga kan delas in i tre grupper:

1. Ökning av tvärsektionen
2. Pålimmad armering
3. Yttre spännarmering

Nedan följer en beskrivning av de olika metoderna. Sist i kapitlet diskuteras förbättring av den geometriska standarden.

### 2.1 Ökning av tvärsektionen

Denna metod kan användas för broar av alla typer av material, stål, trä och betong. En sammanställning av metoden följer där för- och nackdelar lyfts fram.

#### 2.1.1 Betongbroar

En ökning av tvärsektionen för betongbroar kan ske på tre olika sätt. Den första är pågjutningar av den gamla konstruktionen exempelvis en brobanepatta eller kantbalk som behöver bytas eller brobanor som behöver breddas pga. ändrade trafikkrav. Denna typ av metod har traditionellt använts relativt mycket och det finns många exempel.

**Tabell 1. Sammanställning av metoden ökning av tvärsektionen för betongkonstruktioner.**

	Armerad pågjutning. Fiberarmerad.	Sprutbetong med eller utan fibrer	Kringgjutning med eller utan ny armering.
Åtgärder för följande egenskaper	Höjning av kapaciteten; normalkraft, moment och tvärkraft.	Höjning av kapaciteten; normalkraft, moment och tvärkraft.	Höjning av kapaciteten; normalkraft, moment och tvärkraft.
Fördelar	Välbeprövad enkel.	Relativt välbeprövad.	Välbeprövad teknik.
Nackdelar	Avstängningar av trafik. Tidskrävande.	Vidhäftningsproblem mellan gammal och ny del. Svår att utföra.	Tidskrävande. Kostsam.



Den andra förbättringsmetoden för ökning av tvärsektionen är med sprutbetong, med eller utan fibrer, exempelvis på underkant platta, frontmurar, vingmurar eller landfästen.

En annan metod är kringgjutning av den gamla konstruktionen med eller utan ny armering. Exempelvis bropelarna på "Ölandsbron".

## 2.1.2 Stålbroar

För stålbroar är ökning av sektionen en enkel metod. Om dragkapaciteten för stålbalkar är för liten kan man öka dimensionen av det dragna stålet relativt enkelt. För det mesta svetsas eller bultas ytterligare stål till befintlig stålkonstruktion. Vanligtvis är det äldre stålkonstruktioner som ska förbättras, vilka inte klarar av svetsning, men skruvförband kan alltid användas.

Vidare kan det för stålkonstruktioner vara de olika instabilitetsfenomenen vippning, buckling eller knäckning som behöver åtgärdas. I dessa fall kan den otillräckliga kapaciteten ofta åtgärdas med avstyvningar av olika slag.

I vissa fall har betong använts för förstärkning av stålkonstruktioner. Exempelvis har betong fyllts i stålörskonstruktioner för att höja styvheten av konstruktionen. Vidare är kringgjutning av stålprofiler en metod för att öka styvheten.

**Tabell 2. Sammanställning av metoden ökning av tvärsektionen för stålkonstruktioner.**

	Bultning, svetsning eller limning av plåtar	Avstyvningar av liv eller vid knutpunkter	Gjutning av betong i eller runt stålkonstruktioner
Åtgärder för följande egenskaper.	Höjning av kapaciteten för normalkraft moment och tvärkraft.	För låg kapacitet för instabilitetsproblem. Vippning, buckling eller knäckning.	För låg tryckspänningskapacitet eller styvhet.
Fördelar	Välbeprövad och relativt enkel att utföra.	Välbeprövad och enkel att utföra.	Väl beprövad teknik. Igjutning av stålprofiler är enkla att utföra.
Nackdelar	Avstängningar av trafik. Tidskrävande.		Kan vara tidskrävande.

### 2.1.3 Träbroar

Metoden ökning av tvärsnittet kan också användas för träbroar. Metoden är beprövad och relativt enkel att utföra på träbroar. Den behandlas inte vidare i denna förstudie.

## 2.2 Förbättring genom pålimmad armering

Pålimning av yttre dragarmering på betongkonstruktioner började att tillämpas i början av 1960-talet då stålplåtar limmades med epoxi. Denna metod har blivit allmänt accepterad och de första förstärkningarna har nu klarat av en 20-års period med bibehållen förstärkningseffekt. Detta visar att förstärkningen uppfyller minimikravet för livslängd.

Utvecklingen och den ökade användningen av kolfiber har lett till minskade materialpriser och därmed har detta material börjat användas istället för stålplåtar i vissa förstärkningar. Kolfiber har en del fördelar som gör den mycket lämplig som pålimmad armering, Carolin (1999).

### 2.2.1 Pålimmade stålplåtar

Stålplåtar limmade mot betongkonstruktioner började användas i Schweiz i början av 1960-talet. Sen dess har metoden spridit sig och används nu över hela världen. I Sverige påbörjade Vägverket utveckling av metoden under senare delen av 1980-talet och därefter accepterades metoden som en förbättringsметод, Täljsten (1994).

Metoden har sedan dess använts för att förbättra broar som inte haft tillräcklig moment- och/eller tvärkraftskapacitet, exempel ges i Carolin (1999). Även förstärkning för vridmoment har studerats, Täljsten (1998).

### 2.2.2 Pålimmade kolfiberlaminat eller väv

Kolfiber är ett material som har en hög hållfasthet och samtidigt är mycket lätt. Priset på kolfibrer sjunker och därför har det blivit ett ekonomiskt alternativ till att limma på stålplåtar.

Det finns flera olika utprovade system av kolfiberförstärkning på marknaden idag. Det är viktigt att systemen är väl utprovade. Dessa system kan antingen innehålla en kolfiberväv eller ett kolfiberlaminat som limmas med ett epoxilim till den konstruktionsdel som behöver förstärkas. En kolfiberväv består av enbart kolfibrer som limmas med en epoxi, oftast i ett antal lager mot en yta som är jämn. Kolfiberlaminat innebär att kolfibern redan är limmad i en matris som i sin tur limmas mot konstruktionsytan som ska förstärkas. Formen på kolfiberlaminatet kan göras eller måste göras innan det limmas på plats i motsats till

kolfiberväven som kan vara lös ända tills den limmas mot den aktuella konstruktionen.

Båda metoderna används idag för förbättring av konstruktioner. I Sverige har metoden exempelvis använts för förstärkning av bropelare i Sundsvall, förstärkning av en järnvägsbro i Luleå, Carolin och Täljsten (1999), förstärkning av en brobanepatta i Kalmar, Olofsson och Hallin (1998). Metoden bedöms som snabb och smidig av beställare och entreprenörer.

En handbok för förstärkning med kolfiber har nyligen utarbetats. I den finns beskrivet hur man dimensionerar för böjning, tvärkraft och vridning. Vidare beskrivs materialet och utförandet av förstärkningsmetoden, Täljsten (1999).

Det finns fortfarande en del frågeställningar som bör undersökas för att vidareutveckla metoden. En första teoribildning har verifierats men denna kan förbättras. Utförandet bör vidareutvecklas exempelvis stänger man inne fukt i konstruktionen om stora ytor limmas med epoxi på en konstruktions undersida. Detta kan innebära en snabbare nedbrytning av betongen och vidhäftningen mellan betong/komposit. För att använda metoden på brobanepattornas ovansida där en isolering och beläggning läggs ovanpå bör höga temperaturers påverkan undersökas.

### **2.2.3 Pålimmade glasfiberlaminat**

Pålimmad armering av glasfiberarmerad plast förekommer också, men på grund av låg hållfasthet och styvhet har metoden inte använts så mycket. Metoden har använts på betongpelare i Kalifornien, USA, som förstärkning av pelarnas seismiska kapacitet. Glasfiberlaminatet tillverkas för att passa en viss pelardiameter och limmas sedan på plats ibland i kombination med glasfiberlinor.

## **2.3 Förbättring genom yttre spännarmering**

Spännarmering som förstärkning kan appliceras både på betong-, stål- och träkonstruktioner. Att använda yttre spännarmering kan ge en förstärkning av moment-, tvärkraft- och/eller vridmomentkapaciteten. Problem med yttre spännarmering kan vara att skydda denna mot korrosion och att få en god överföring av krafterna till den redan befintliga konstruktionen.

För betongbroar gjuts ofta anslutande konstruktionsdelar för att få till kraftöverföringen till den gamla konstruktionen. I dessa delar måste man se till att t.ex. spjälkarmeringen är tillräcklig och att långtidsdeformationerna inte blir för stora så att spännkraften minskar med tiden. Alternativt kan man utföra ett spänsystem som kan

kontrolleras och efterspänns ytterligare efter relaxation i stålet och efter betongens krympning och krypning.

För stålbroar kan denna metod också tillämpas. I det fallet kan det vara relativt enkelt att få till överföringen av kraften till den gamla konstruktionen.

För träbroar kan denna metod användas med spännarmering på utsidan med hjälp av klackar som fästs på den gamla konstruktionen. Man kan även applicera spännarmering för att spänna ihop träkonstruktioner som påverkas genom uttorkning exempelvis tvärspända brobanepplattor av trä.

I alla fall då yttre spännarmering används är det av stor vikt att förlägga kabelföringen så att så stor momentkapacitetsökning som möjligt erhålls. Detta kan i vissa fall leda till att placeringen ligger under befintlig konstruktion, vilket kan leda till minskad fri höjd under konstruktionen.

Korrosionsskyddet av utanpåliggande spännarmering har utvecklats under senare år och kan numera anses vara tillfredställande.

## 2.4 Förbättring av broars geometriska standard

Förbättring av broars geometriska standard kan göras genom att bredda bron eller genom att höja den fria höjden för trafik under eller på bron. En annan metod är att förlänga bron.

Fria höjden under bron kan antingen ökas genom en sänkning av befintlig vägprofil under bron eller genom en höjning av överbyggnaden. Det senare görs genom att byta lager eller göra någon typ av pågjutning på pelarna.

Breddning av broar kan göras genom konstruktioner/-sdelar som hängs in i befintlig bro eller som konstruktioner/-sdelar som ges en egen grundläggning. Utredning av nya metoder samt av existerande med nya och utvecklade material som är kostnadseffektiva behövs.

Ett specialfall av breddning är ombyggnad där hela eller delar av överbyggnaden byts ut. Mer kostnadseffektiva metoder behöver tas fram.

Förbättring av korsande förbindelses geometriska standard kan ibland göras genom att bron förlängs. Metoder som är anpassade för olika brotyper är dåligt utvecklade.

Fri höjd på bron begränsas vanligen av transversaler. Begränsade öknings av fria höjden kan åstadkommas genom flyttning av transversaler.

## 2.5 Ekonomiska jämförelser av förstärkningsmetoder

Ekonomiska jämförelser mellan olika metoder måste göras på speciella objekt för att kunna ge en rättvis bild. Pålimmade kolfiberlaminat eller kolfiberväv har hittills inte använts så mycket. Ett försök att jämföra ekonomin för olika förstärkningsalternativ finns i Olofsson och Hallin (1999). Där jämförs dessa olika åtgärder:

- Ny- eller ombyggnad
- Yttre spännarmering
- Armerad pågjutning
- Pålimning av stålplåt
- Pålimning av kolfiber

Vid denna jämförelse blev pålimning med någon typ av yttre armering det billigaste alternativet. Armerad pågjutning och yttre spännarmering kommer därefter. Vid dessa beräkningar antogs en livslängd på förbättringsåtgärderna på 20 år.

## 3 Pågående och avslutad FoU

Behovet av att få fram väl fungerande förbättringssystem är stort. Metoden att öka tvärsnittet för konstruktionen är välbeprövad och går att tillämpa på alla material. Metoden att limma på olika typer av yttre armering börjar bli allt mer intressant pga. sjunkande priser på kolfibermaterial. En utförande- och dimensioneringshandbok har tagits fram på initiativ av bl.a. Vägverket. Metoden med yttre spännarmering är väl beprövad och kan användas för alla typer av material.

### 3.1 FoU i Sverige

De olika FoU-projekt som redan nu pågår i Sverige inom detta område finns delvis sammanfattade i en rapport av KTH och LTU. I denna rapport, som är beställd av Banverket, beskriver professorerna Elfgren, Holmgren, Silfwerbrand och Sundquist sin syn på forskningsbehovet inom området uppgradering av järnvägsbroar i betong, Elfgren et al. (1999). I rapporten delar man upp termen uppgradering i

Analys - förbättrade analysmetoder

- bättre materialmodeller

- modifierade partialkoefficienter

Verkliga egenskaper - de verkliga lasterna och dess statistiska variation

- hur lasterna påverkar konstruktionerna

- hur lasterna påverkar modellerna

- de befintliga konstruktionernas status och aktuella materialegenskaper, exempelvis oförstörande provning

Förstärkningsåtgärder - kompletterad inbördad armering

- utanpåliggande armering

- pålimning av stål eller fiberkompositer med epoxi

- pågjutning av förstärkning

- sprutbetong

Följande FoU-projekt relaterade till området förbättringsmetoder nämns i rapporten.

LTU konstruktionsteknik

- Tryckhållfasthetsutveckling hos betong - avslutas 1999

- Förstärkning och reparation av betongkonstruktioner med avancerade fiberkompositer - avslutas 2002

KTH Byggnadsstatik

- Cementbaserade bindemedel för kolfiberförstärkningar - Pågår

– Pågjutningar på brobaneplattor – Pågår.

Andra FoU-projekt som pågår eller som nyligen har avslutats relaterade till detta ämnesområde är

- Ett stort EU-projekt för självkompakterande betong, SCC, pågår där svenska universitet och företag deltar. I detta projekt undersöks också om stålfibrer kan användas i självkompakterande betong. Kunskapen från detta skulle kunna användas vid pågjutningar eller breddning av brobanor.
- Vid LTU och Swedish Institute of Composite SICOMP AB i Piteå pågår ett samarbetsprojekt där man ska undersöka om man kan konstruera och producera gång- och cykelbroar i fiberkompositmaterial. Detta skulle också kunna resultera i att lätta påhångsbroar kan utvecklas för GC-banor på redan befintliga broar.
- Vid pågjutningar måste man ha kontroll på töjningar och spänningar som uppkommer av skillnaderna mellan ny och gammal betong. Vid LTU har den unga betongens egenskaper och hur de egenskaperna utvecklas och påverkar konstruktionens framtid undersökts under en längre tid. Nyligen publicerades metoder för att beräkna töjningarna i betongen vilka utgör en del av basen för beräkningar av temperaturspänningar som kan uppstå mellan ny och gammal betong.

## 3.2 FoU internationellt

Internationella forskningsinsatser inom detta område har sammanställts i litteraturstudien av Anders Carolin (1999) som finns med som Bilaga A i denna rapport. Några av de projekt som framkommit i detta arbete redovisas nedan.

Vid ett seminarium i en doktorandkurs i ämnet, som samarrangerades mellan LTU, KTH, LTH och NORUT, gavs två presentationer av inbjudna professorer, Brühwiler från Lausanne MSC och Labossière från Sheerbroke Canada.

Brühwiler leder ett forskningscentra i Schweiz som koncentrerar sig på underhåll, konstruktion och säkerhet. Här pågår forskning inom krypning och krympning av betong vilket ger bättre modeller för beräkningar av pågjutningar.

Labossière från Sheerbroke i Canada leder forskning av pålimmade fiberkomposit. Man har undersökt olika sorters pålimmade fibermaterial på pelare och balkar. Pelarna lindades med fibrer och balkarna har provats med längsarmering och tvärkraftsarmering. Metoden bedöms ha stora möjligheter. För att ytterligare utveckla metoden undersöker man även beständighetsegenskaper; frostprovningar, fukt och uttorkningsförsök och fältstudier för att undersöka kompositens beständighet. Följande punkter ska undersökas vidare

- bättre samverkan mellan ägare av broar

- bättre ingångsdata
- kostnaderna
- strategi för uppläggnings/produktionsmetoder
- detaljlösningar till metoderna
- bättre samverkan mellan forskningsområdena för modeller, statik och material

Arbetet vid Sheerbroke som redovisades här ligger inom samma område som det som pågår och pågått vid LTU under ett antal år.

Vid universitetet i Sheffield har man undersökt om självkompakterande betong kan användas vid pågjutningar av nya täckskikt på pelare. Detta hör till beständighetsproblemen men resultaten kan även användas vid pågjutningar. Resultatet visar på att detta är en möjlig produktionsmetod för att förbättra pelare eller andra konstruktionsdelar där betong ska flyta in i trånga utrymmen. Vidare poängteras att det är mycket viktigt att ha kontroll på töjningar och E-modul för det nya materialet för att få bästa samverkan mellan ny och gammal betong.



## 4 Behov av FoU

### 4.1 Allmänt

Det behov av FoU som har identifierats i arbetet med föreliggande förstudierapport har sammanställts som delområden och FoU-projekt under ett antal rubriker som följer. Delområdena och FoU-projekten har i kapitel 4.2 - 4.5 placerats i prioriteringsordning.

### 4.2 Pålimmade förstärkningar

#### 4.2.1 Allmänt

Att limma på en utanpåliggande förstärkning är en relativt ny metod varför det fortfarande finns områden som skulle kunna göra metoden mer effektiv. Stålblåtar är det material som hittills har använts mest men pga. sjunkande priser har det blivit möjligt att använda kolfiber. Att använda kolfiber istället för stålblåtar ger en mängd förbättringar för metoden. Vid utförandet är kolfibers vikt en fördel och dess mekaniska egenskaper samt beständighetsegenskaper ger incitament för att utveckla metoden vidare.

Det finns en mängd olika områden som genom en noggrannare undersökning skulle kunna förbättra metoden med pålimmade kolfiber ytterligare. Följande tänkbara områden kan förbättra metoden.

A) Utförande i kallt klimat - sträng kyla

Detta speciellt med tanke på våra nordliga förhållanden. Är förstärkningseffekten lika stor när det är - 35 °C, som vid 20 °C? Måste speciell hänsyn tas till låga temperaturer?

B) Behandling av underlag innan förstärkning

I dag läggs ett stort arbete ner på att jämna till betongytan. Skulle detta kunna undvikas om större ojämnheter tilläts? Vilka problem kan uppstå med kraftöverföringen mellan fibrer och betong? Kan det bli stora normalkrafter vinkelrätt mot belastningsriktningen som gör att laminatet belastas i en ogynnsam riktning? Vilken är begränsningen? En mindre undersökning av detta har gjorts, men mer behövs för att få tillförlitliga resultat.

C) Förspänning av väv och laminat

Om man kunde spänna fibermaterialet innan pålimning skulle den utnyttjas bättre och ge en större förstärkningseffekt/avlastning av den befintliga konstruktionen. Metoder för detta kan ge en bättre utnyttjandegrad av förstärkningen. En utredning kan visa på möjliga ytterligare satsningar för att få fram en användbar metod.

D) Inverkan av yttre klimat vid applicering

Vilken effekt har hög fuktighet och låg temperatur, eller om betongytan är kraftigt kloridinfekterad eller karbonatiserad? En mindre undersökning av detta har gjorts när det gäller luftfuktighet och temperatur, Godonou & Liljenfeldt (1999). En bredare studie skulle kunna ge de betingelser som är viktiga att ta hänsyn till.

E) Katodiskt skydd

Det är möjligt att använda kolfiber som katodiskt skydd samtidigt som konstruktionen förstärks. En grundläggande studie skulle behöva utföras.

F) Förstärkningar av del i system

Detta är kanske en av de mest angelägna punkterna. Hur påverkas ett system när en del i det förstärks? I dag förstärker vi balkar och pelare i laboratoriet för försök etc. där alla är statiskt bestämda. Hur skulle en förstärkning av t.ex. en pelare i en balk/pelare system uppföra sig? Finns det risk att krafter överförs till en annan del av konstruktionen som skulle kunna ge upphov till ett ännu farligare brott?

G) Beräkningsmodeller

Även om det finns beräkningsmodeller som är beskrivna i en handbok vore det värdefullt att utveckla teorierna och modellerna ytterligare. Det finns exempelvis behov när det gäller tvärkraftsförstärkning och laminatens ortotropi. För att öka förståelsen för metoden och de beräkningsmodeller som används borde FEM-beräkningar utföras som sedan jämförs med de analytiska modeller. Speciellt borde man studera redan utförda försök och de konstruktioner som redan förstärkts med kolfiberkompositen.

H) Partialkoefficienter

Kan samma partialkoefficienter användas vid förstärkning och reparation som vid nybyggnad, då speciellt med kompositer. Det kan vara både intressant och nödvändigt att undersöka vilka partialkoefficienter som ska användas vid förstärkningsarbetet. Det pågår en del forskning allmänt på området bland annat med att titta på materialkoefficienter för befintliga byggnader. Man borde kunna dra nytta av dessa undersökningar också i detta område.

I) Nya lätta kompositkonstruktioner

Vägverket borde intressera sig för möjligheterna att använda kompositer i delar eller hela brokonstruktioner. I USA har man redan provat att byta ut ett betongdäck mot ett kompositdäck på en del äldre broar. Även broar helt i kompositmaterial har utförts. En litteraturstudie borde kunna utreda dessa möjligheter.

J) Uppfräsning av spår i betongytan

Man skulle kunna fräsa upp spår i betongytan och placera kompositstavar i dessa spår. Höjden under t ex bron förändras inte samtidigt som

kompositen inte är beroende av täcksikt. Hur påverkas befintlig armering av lokalt minskade täcksikt? Finns det en risk i detta utförande? En lokal förstärkning av brobanan genom att limma kolfiberlaminatet i uppfrästa spår har genomförts på Uddevallabron.

#### K) Påkörningsskydd

Vid förstärkning av broar med trafikerad undersida finns risk för påkörning (har skett vid järnvägsbron som förstärktes i Luleå). Man skulle behöva utveckla ett påkörningsskydd, ex.vis av stålprofiler/nät eller aramidfiber som är segt och klarar av att ta upp påkörningslasten. Alternativt skulle man kunna ha förvarningssystem som varnar när bron blivit påkörd.

#### L) Lokala trycklaster

Om man ska använda pålimmade kolfiberlaminat på ovansida brobanaplatta, då momentkapaciteten är för låg över stöd, kan det vara av stor vikt att undersöka vilken påverkan lokala tryckkrafter på laminaten kan få? Kan man acceptera lokala tryckskador, stansning av laminatet, på en brobanaplatta som förstärkts kontinuerligt över hela bredden?

Metoden med kolfiberväv eller kolfiberlaminat har visat på stor potential och bör studeras för att utveckla metoden vidare. Från de områden som beskrivits ovan har några valts som förväntas föra metoden vidare. Det första delprojektet innefattar en del problem med utförandet och det andra delprojektet behandlar huruvida det är möjligt att applicera spända kolfiber som pålimmade förstärkning. Nedan är delprojekten beskrivna med förslag på etapper och finansiering.

## 4.2.2 Kolfiberförstärkning - utförande

I detta delprojekt ingår att undersöka inverkan av olikheter i utförandet.

- Betongytans ojämnheter dvs. limskiktets tjocklek på vidhäftningen mellan betong och kolfiber och krökningar av kolfibern.
- Betongens relativa fuktighet och temperaturen vid limning.
- Vid förstärkning av betongbroars ovansida ska en isolering och beläggning läggas på ovanpå förstärkningen. De lokalt höga temperaturerna vid beläggningsarbetet bör undersökas.
- Undersökning av härdning under dynamiska laster pga. att förstärkningen appliceras utan att stänga av trafiken.
- Undersökning av eventuella skador pga. att pålimningen ger upphov till större fuktinnehåll i betongen. Pålimningen bildar en diffusionsspärr som eventuellt kan ge större sannolikhet för skador.

Om man kombinerar delarna ovan bör man kunna få ner totaltid och kostnader. Total tidsåtgång för detta delprojekt bedöms till 2,5 år. För att få en noggrannare bedömning måste projektet preciseras ytterligare.

Följande etapper föreslås med etapputvärderingar där man avgör om och i så fall hur projektet ska drivas vidare.

**Tabell 3. Grovplanering för föreslaget forskningsprojekt ”Kolfiberförstärkning - utförande”.**

Etapper	Aktivitet	Tid	Kostnad
Inledande studie	Litteraturstudie av de tre problemområdena, pilotförsök med betongytans ojämnheter.	0,5 år	150 kkr
Laboratorie försök	Vidare studie av betongytans ojämnheter, temperatur, relativ fuktighet, vidhäftningsförsök på förstärkning utsatt för höga temperaturer samt härdning under dynamiska laster. Samordnade försök där alla problemområden studeras i laborieförsök.	1 år	400 kkr
Försök på olika tillämpningar	Undersökningar av befintliga förstärkningar, kompletterande laborieförsök, samt mätningar av egenskaper på tillämpningar.	1 år	300 kkr

Projektet kommer att leda till säkrare och eventuellt snabbare produktionsmetoder som i sin tur ger lägre kostnader med säkrare resultat. Implementering av de framtagna kunskaperna sker i samband med revideringar av normer etc.

### 4.2.3 Kolfiberförstärkning - förspänning

Detta delprojekt ska leda till att kolfibern utnyttjas bättre och ger en högre förstärkningseffekt. För att bättre kunna utnyttja kolfiber materialets högre materialegenskaper ska nya appliceringsmetoder utvecklas. Två metoder föreslås undersökas ytterligare.

- Förspända kolfiberförstärkningar, utveckla spännsystem för kolfiberväv och kolfiberlaminat. Jämförelse av förstärkningseffekterna mellan ospänd och spänd kolfiberförstärkning.
- Applicering vid avlastade konstruktioner. En teknik för upplyftning av konstruktionen ska provas ut i jämförelse mellan ospänd och ”spänd” kolfiberförstärkning.
- Utveckling av beräkningsmodeller för uppspända kolfiberförstärkningar.

Om man kombinerar delarna ovan bör man kunna få ner totaltid och kostnader. Total tidsåtgång för detta delprojekt bedöms till 2,5 år. För att få en noggrannare bedömning måste projektet preciseras ytterligare. Följande etapper föreslås med etapputvärderingar där man avgör om och i så fall hur projektet ska drivas vidare.

**Tabell 4. Grovplanering för föreslaget forskningsprojekt ”Kolfiberförstärkning - förspänning”.**

Etapper	Aktivitet	Tid	Kostnad
Inledande studie	Litteraturstudie av de tre problemområdena.	0,5 år	50 kkr
Laboratorie försök	Vidareutveckling av spännsystem, studie av spännkraftens inverkan på vidhäftning, fläkspänningar mm. Laboratorieförsök av egenskaper.	1 år	200 kkr
Försök på olika tillämpningar samt teoriutveckling	Framtagande av dimensioneringsmetod för förstärkningar med uppspänd kolfiber.	1 år	300 kkr

Med en metod för uppspanning av pålimmade armeringar kan en större förstärkningseffekt erhållas där kolfibern utnyttjas bättre. När en metod har utvecklats, provats och dokumenterats kan denna rekommenderas för implementering i Vägverkets verksamhet. Speciella regler förknippade med metoden bör skrivas in i gällande normer och metoden bör beskrivas i en allmän handbok.

## 4.3 Ökning av tvärsektionen

### 4.3.1 Allmänt

Den första metoden som sammanfattas i kapitel 2.1 Ökning av tvärsnitt kan användas på samtliga material typer. Ökning av tvärsnittet är relativt välbeprövat och de metoder som finns är relativt väldokumenterade och teoretiskt underbyggda, men trots detta skulle satsningar på vissa områden leda till en förbättring av metoden. De problemområden som bedöms som intressanta förbättrar denna metod för betongbroar.

### 4.3.2 Betong

Vad gäller pågjutningar av betong är det viktigt att kunna beskriva de spänningar som uppstår mellan de gamla och nya konstruktionsdelarna,

hit hör bl.a. temperaturspänningar. För att kunna göra detta måste man kunna beskriva betongens krympning och krypning på ett korrekt sätt.

Fiberarmerad sprutbetong i kombination med armeringskorgar som fästs med infästningar i den gamla konstruktionen kan vara ett alternativ för att höja böjmoment- och tvärkraftskapaciteten.

Även relativt nya koncept bör kunna utvecklas eller undersökas. Kringgjutning av tryckta stålflänsar eller att fylla högpresterande betong i stålkonstruktioner för att höja konstruktionens styvhet och normalkraftsupptagande förmåga. Ett annat område är användning av självkompakterande betong.

## **4.4 Yttre spännarmering**

### **4.4.1 Allmänt**

Yttre spännarmering har använts en längre tid och det finns väl beprövade metoder. Den konventionella metoden är relativt väl utvecklad, både utförande och teori finns redan. Området har fått en renässans men då mest vid nyproduktion där kablarna förläggs i stora prefabricerade lådsektioner, Naaman och Breen (1990). Anledningen är att korrosionsskyddet nu anses ha utvecklats.

### **4.4.2 FRP - Fibre Reinforced Polymers**

En ny intressant utveckling är att använda kolfiberarmering istället för konventionella spännlinor. Kolfiberarmering har högre draghållfasthet och därmed behövs färre enheter. Korrosion existerar inte på kolfiberarmering. Finns det andra tänkbara nedbrytningsmekanismer? Högre hållfasthet ger större uppspänningskrafter vilket innebär att förankringar och kopplingar måste utvecklas. Det pågår en hel del forskning för att få till dessa detaljer men ännu finns inga färdiga koncept.

## **4.5 Geometrisk standard**

### **4.5.1 Allmänt**

Förbättring av broars geometriska standard kan göras genom att bredda, förlänga eller höja bron. Alla åtgärder där bron behöver byggas om och/eller till är kostsamma. För samtliga av dessa områden gäller att mer kostnadseffektiva metoder behöver tas fram. Metoder som är anpassade för olika brotyper är dåligt utvecklade. Ett sätt kan vara att utveckla system med lätta kompositbroar som kan hängas på broarna för att göra befintlig gång- och cykelbana tillgänglig för breddning av körbanor.

## Referenser

Carolin Anders and Täljsten Björn (1998): Strengthening of a Concrete Railway Bridge in Luleå with Carbon Fibre Reinforced Polymers – CFRP. Load bearing capacity before and after strengthening. Luleå University of Technology, Div. of Structural Engineering, Technical Report 1999:18, Luleå 1998, 61 + 12 pp.

Carolin Anders (1999): Improvement of the Load-Bearing Capacity of Existing Bridges – A Review of Literature. Luleå University of Technology, Div. of Structural Engineering, Technical Report, Luleå 1999, 21 + 6 pp.

Elfgren Lennart, Holmgren Jonas, Silfwerbrand Johan och Sundquist Håkan (1999): Uppgradering av järnvägsbroar i betong – Forskningsbehov. Kungliga Tekniska Högskolan och Luleå Tekniska Universitet, KTH Teknisk rapport 1999:15 och LTU Skrift 99:02, Banverket.

Godonou & Liljenfeldt (1999): Effects of Weather on Durability of Bonding in Concrete Structures Repaired with CFRP. 8<sup>th</sup> International Conference on Structural Faults plus Repair 99, London UK, 13-15 July 1999.

Naaman Antoine och Breen John (1990): External Prestressing in Bridges. American Concrete Institute, SP-120, Detroit USA, 1990.

Olofsson Erik och Hallin Daniel (1998): Förstärkningsmetoder för broar. Chalmers Tekniska Högskola, Institutionen för konstruktionsteknik, Avdelningen för stål och träbyggnad, Int.skr. S 98:11, 104+7 sid.

Ronnebrant Robert (1999): Vägverkets broar – förvalta och bevara. CBI:s informationsdag 1999, sammanfattningar. Cement och betong institutet, Stockholm 1999, sid 53-56.

Täljsten Björn (1994): Plate Bonding – Strengthening of Existing Concrete Structures with Epoxy Bonded Plates of Steel or Fibre Reinforced Plastics. Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Luleå 1994, Doktorsavhandling 1994:152D, 190pp.

Täljsten (1998). Förstärkning av betongkonstruktioner med stålplåt och avancerade kompositmaterial utsatta för vridning. Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Luleå 1998, Teknisk rapport 1998:01.

Täljsten Björn (1999): Förstärkning av befintliga betongkonstruktioner med kolfiberväv eller kolfiberlaminat – Dimensinering, material och utförande. Luleå Tekniska Universitet, Avdelningen för Konstruktionsteknik, Luleå 1999, Teknisk rapport 1999:12, 119+14 pp.

# **Bilaga A Improvement of the Load-bearing Capacity of Existing Bridges – A Review of Literature**