HÖGSKOLAN
I GÄVLE

**INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH BYGGD MILJÖ**

# Studie av kolfiberförstärkningar i betongkonstruktioner

## *Teori, problematik och metodik*

*Mattias Nordlander*

Juni 2009

**Examensarbete i Byggnadsteknik, 15 poäng ( C nivå )**
**Handledare: Kjell Westberg**
**Examinator: Asima Norén**

# Förord

Ett jättestort tack till mina nära och kära som hjälpt mig att korrekturläsa arbetet. Tack för att ni alltid uppmuntrat och trott på mig. Jag vill också tacka min handledare Kjell Westberg för att han ställer upp och alltid är så glad och positiv. Tack Mia för att du fick mig på rätt spår.

Jag vill även tacka de som tagit sig tid att svara på mina intervjuer, jag uppskattar det verkligen. Ni har alla bidragit med intressanta vinklar som jag själv inte tänkt på.

Slutligen vill jag tacka Queen och Freddie Mercury för att ni vad som än händer håller humöret på topp.

**~DON´T STOP ME NOW, I'M HAVING SUCH A GOOD TIME~**

Mattias Nordlander

E-mail: mattias.nordlander@gmail.com

Gävle juni 2009

# Abstract

The goal of the thesis is to perform an investigation of CFRP (Carbon fibre reinforced polymers) by reviewing literature and performing an interview study. The thesis will discuss how a consultant should when facing products that is new to her/him

In recent years it has become more common to reinforce existing concrete structures using carbon fibre reinforced polymers. Another common method is to reinforce concrete elements with either beams or thinner sheets of steel. There are several reasons why a certain building or other types of construction need reinforcing. One reason being the scope of use changes. Compared to steel carbon fibre is a very light material that is able to support very big loads compared to its own weight. Because of its strength a layer of just a few millimeters of CFRP that is attached to a structure significantly increases its load capacity. The composite consists of carbon fibre that is attached to the concrete using epoxy to form the adhesive bond. It is of outmost importance that the CFRP is treated with care for it to work as intended. It is very resistant to corrosion but it may only be subjected to tension. If the fibre is compressed it might buckle.

CFRP may be used to strengthen a construction subjected to tension forces, shear forces or eccentric forces and finally longitudinal forces. There are three types of CFRP laminates, fabrics (or weave) and bars witch all can be applied in different ways. Calculation and installation of the products must be done with care to make sure that the reinforcement works as intended. Moisture and particles at the worksite must be removed. Otherwise they might interfere and prevent the adhesive to bond the CFRP to the concrete.

Currently there is no standardized way to use the products in Sweden. This makes it difficult to compare results from research because the tests are designed by differed research groups with their own criteria. An international test standard is also nonexistent. Reason behind why there currently is no standard might be that the methods still are relatively new to the market. It might also be because no one has taken it upon themselves to perform the work needed to produce a standard.

Constructors and entrepreneurs who use the products need to have the correct education to be suitable for handling CFRP. The design process might be a bit complicated and the conditions at the worksite need to be well prepared for the reinforcing system to bond to the concrete. Finally the reinforcement work is required to fulfill the laws and demands which are established in the Swedish law Byggnadsverkslagen.

The interviews was sent to employees within large Swedish corporations to investigate to what extent they use CFRP. Their general opinions about the products were also collected. The interviews show that generally CFRP is regarded as an expensive yet an exceptional method for strengthening: Also that a standard would help very the methods. In addition to this the interviews also show that education is a very important factor that needs to be considered.

The result of this thesis is suggestion for an education plan for consultants and entrepreneurs who is interested in using CFRP. Included in the result is also a plan that discuses how consultants should approach new products that they are not familiar with.

# Sammanfattning

Arbetet syftar till att genom en litteraturstudie samt ett antal kortare intervjuer som skickas ut via e-post göra en grundläggande undersökning av CFRP (Carbon fibre reinforced polymers) därtill hur användningen av förstärkningsmetoderna ser ut idag. Rapporten skall ta upp hur projektörer bör arbeta när de träffar på produkter som är nya på marknaden.

Att förstärka betongkonstruktioner med kolfiberförstärkning har blivit allt mer vanligt under de senaste åren. Även stålband eller stålbalkar används för att förstärka bjälklag och liknande konstruktionselement. Anledningen till att en byggnad eller annan typ av konstruktion måste förstärkas kan bero på ett flertal olika saker, bland annat om byggnadens användningsområde ändras.

Kolfiberförstärkning är i jämförelse med stål mycket starkt i förhållande till sin vikt. Tunna förstärkningar gör stor skillnad. Därför tar förstärkningen väldigt liten plats. Kompositen består av kolfiber som fästs mot betongens yta med härdplasten epoxi. Det är väldigt viktigt att både epoxin samt kolfibern behandlas på rätt sätt för att förstärkningen skall bli korrekt utförd. Kolfiberförstärkningen korroderar inte samt är mycket beständig. Dock kan endast dragkrafter tas upp, fibrerna bucklas om de utsätts för tryckkrafter. Kolfiberförstärkning kan användas för att ta upp dragspänningar i balkar orsakade av böjning eller skjuvspänningar orsakade av tvärkrafter. Pelare kan förstärkas mot spänningar orsakade av normalkrafter eller spänningar som uppkommer av böjning. Dimensioneringen samt monteringen av förstärkningen måste göras noggrant för att förstärkningen skall fungera tillfredställande. Faktorer som fukt och smuts på arbetsplatsen måste kontrolleras för att kompositen skall fungera optimalt.

I dagsläget finns ingen standardisering för produkterna i Sverige. Avsaknaden av en standard gör att det blir svårt att jämföra forskningsreslutat med varandra eftersom testen ställs upp av olika forskningsgrupper efter deras egna kriterier. Det saknas även en internationell standard för hur tester skall ställas upp. Det kan finnas flera anledningar till varför det fortfarande inte finns någon standard för kolfiberförstärkningar. Det kan bland annat bero på att metoderna fortfarande är ganska nya eller att det ingen tagit initiativ till att utforma en standard ännu.

Projektörer tillsammans med entreprenörer som handskas med materialet måste vara utbildade eftersom dimensioneringen av förstärkningen är ganska komplicerad samt att förhållandena på arbetsplatsen måste vara goda. Slutligen så måste förstärkningen vara korrekt utförd för att uppfylla Lag(1994:847) som innehåller tekniska egenskapskrav på byggnader.

I ett antal intervjuer som skickats ut till personer vid större svenska företag undersöks i vilken utsträckning kolfiberförstärkningen används. Även som vad olika aktörerna i byggbranschen anser om metoden att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber. Svaren visar att kolfiberförstärkningar är dyra jämfört med andra metoder dessutom att en standardisering av metoderna skulle behövas. Dessutom framkommer det hur viktigt det är med kunskaper samt utbildning i ämnet. Men också att CFRP är en populär förstärkningsmetod. Särskilt i trånga utrymmen.

Resultatet består av ett förslag till en utbildningsplan för projektörer och entreprenörer. I resultatet ingår även ett stycke för hur projektörer metodiskt bör arbeta när de ställs inför projekt där produkter de inte är bekanta med kan vara inblandade.

# Innehållsförteckning

**Förord** i

**Abstract** ii

**Sammanfattning** iii

**1. Inledning** 1

1.1 Bakgrund 2

1.2 Problemformulering 4

1.3 Syfte 4

1.4 Mål 4

1.5 Omfattning/begränsning 5

1.6 Målgrupp 5

**2. Metod och genomförande** 6

2.1 Litteraturstudie 6

2.2 Intervjustudie 6

2.3 Telefonintervjuer 7

**3. Teori** 8

3.1 Varför behöver konstruktioner förstärkas? 8

*3.1.1 CFRP och de byggnadstekniska egenskapskraven* 9

*3.1.2 Anvisningar från Boverket* 10

3.3 Härdplasten epoxi 11

3.4 Beskrivning av förstärkningsmetoder 12

*3.4.1 Kolfiberlaminat (Laminate bonding)* 12

*3.4.2 Kolfiberväv (Sheet bonding)* 13

*3.4.3 NSMR (Near surface mounted reinforcement)* 14

3.5 Förberedande arbete samt installation 14

3.6 Förstärkningssystem och dimensionering 16

*3.6.1 Grundläggande principer* 16

*3.6.1 Omslutning av betongpelare* 17

*3.6.2 Böjmomentförstärkning* 18

*3.6.3 Tvärkraftsförstärkning* 18

3.7 Krav på förstärkningen 19

*3.7.1 Fukt på arbetsplatsen* 20

3.8 Ackreditering, certifiering och standarder 21
*3.8.1 Ackrediteringsorgan 21*
*3.8.2 Certifiering av byggprodukter 21*
*3.8.3 Standardisering 22*
**4. Resultat 23**
4.1 Resultat från litteraturstudien 23
4.2 Resultat från intervjustudien 24
*4.2.1 Intervjusvar från forskare 24*
*4.2.2 Intervjusvar från leverantörer 24*
*4.2.3 Intervjusvar från beställare 25*
*4.2.4 Intervjusvar från projektörer 25*
*4.2.5 Intervjusvar från entreprenörer 27*
4.3 Förslag till en utbildningsplan 27
4.4 Metodik vid påträffande av nya produkter 31
**5. Diskussion 32**
**6. Slutsatser 34**
6.1 Förslag till fortsatta studier 34
**7. Referenser 35**
**8. Bilagor 37**
Bilaga A - Intervjuer 37
Bilaga B – Intervjusvar 42

# 1. Inledning

Inom alla områden i dagens samhälle finns en gemensam strävan att utvecklas. Detta är inte enbart tydligt i dagens samhälle utan strävan efter att utvecklas och bli bättre har alltid varit aktuell. Företag, organisationer, ja även länder söker ständigt efter metoder som kan förbättra en process eller skapa nya möjligheter. Det finns en mängd faktorer som driver denna utveckling. Ett företag vill att produkterna de levererar är slagkraftiga på marknaden, det är önskvärt att produkterna kostar mindre att tillverka samt att de ska kunna produceras i snabbare takt. Kort sagt, tjäna pengar. Ett land kan arbeta för att ge sina innevånare en bättre tillvaro. Utveckling kan ske genom att jordbruk utvecklas eller om nya vägnät upprättas som medför förbättrade transporter. Nya upptäckter som leder till nya förutsättningar gör att utvecklingen aldrig kommer stanna upp helt, med dessa nya upptäckter följer också nya problem

Även inom byggbranschen är denna strävan att utvecklas närvarande i allra högsta grad. Nya material och arbetssätt utvecklas kontinuerligt. Nedan följer tre starka drivkrafter som främjar utveckling inom branschen, vilket i sin tur leder till effektivare lösningar.

- Tid: Förutom beställare så vill entreprenörer också att projekt skall slutföras på kortast möjliga tid. En beställare vill att deras byggnader skall stå klara tidigt så lokalerna kan börja användas. Även underhåll och reparationer bör gå undan, ingen vill att verksamheter störs i onödan.
- Kostnad: Pengar är alltid inblandade för alla som driver en verksamhet. Saker skall vara billiga men samtidigt skall de fungera på ett tillfredställande sätt. Denna punkt är starkt sammankopplad med punkten tid eftersom det oftast kostar mer att producera saker snabbt. Tid är pengar?
- Hållbarhet: Detta är särkilt viktigt inom byggbranschen. Byggnader skall följa de lagar som finns i byggnadsverkslagen. Det är likaledes önskvärt att material har lång livslängd. Byggnader skall konstrueras på ett sådant sätt att en säker inomhusmiljö som inte är skadlig för brukarna skapas. Underhåll tillsammans med reparationer av en byggnad kostar självklart pengar, detta är också en starkt bidragande faktor varför livslängden hos material är så viktig. Det behövs produkter som håller länge och bibehåller sina egenskaper under hela sin livslängd.

Dessa tre nyckelord är starkt integrerade, de påverkar varandra i allra högsta grad. Arbeten skall gå snabbt men det kostar mer pengar, hållbarheten skall vara god men det kostar också mer. Underhåll skall utföras snabbt samt vara välgjort vilket i sin tur igen leder till kostnader. Nu kommer ordet utveckling tillbaka i bilden. Nya material och arbetssätt kan effektivisera både nybyggnation samt underhåll av stommar. Utveckling kommer dock inte som ett brev på posten utan den måste ha en början, någon måste ta klivet. Utveckling måste ständigt drivas framåt. Om dessa tre nyckelfaktorer kan uppfyllas går det att skapa ett mycket effektivare byggande.

Trots att det finns en mängd bestämmelser vilka reglerar hur en byggnad skall uppföras så går det inte att komma ifrån det faktum att både material och byggnader förr eller senare kräver underhåll eller reparationer. Alla byggnadsmaterial bryts förr eller senare ned, stål rostar, väder och vind belastar byggnadsdelar. Brukarnas dagliga användande medför slitage som slutligen måste åtgärdas. Olyckor som bränder, vattenskador och mekaniska skador kan allvarligt försämra en byggnads egenskaper. Nya lösningar på problem måste tas fram för att ge ett effektivare såväl som snabbare underhållsarbete som fungerar tillfredställande och uppfyller gällande normer.

Den på senare år mer utnyttjade kolfiberkompositen är ett bra exempel på utveckling. Låg vikt tillsammans med lätt hantering gör denna produkt till en kraft att räkna med när det gäller förstärkning av byggnadsstommar. Hållbarheten i detta material är mycket god. Till skillnad från stål så rostar inte kolfiber (Dejke, 2001). Den låga vikten gör det enkelt att hantera produkten i jämförelse med tunga stålbalkar som kan kräva flera personer eller maskiner för att sättas på plats. Millimetertunna kolfiberförstärkningar hanteras enkelt av en eller ett par personer. Kolfiber uppfyller inte alla nyckelord, det är mycket dyrt i förhållande till stål. Men ökad medvetenhet om produkten samt bredare användande påverkar efterfrågan vilket förhoppningsvis kan leda till att produkten blir billigare. Genom att sprida kunskapen om nya material gynnas utvecklingen vilket kan leda till enklare mer effektiva lösningar på problem som finns i våra byggnader och anläggningar.

När nya produkter letar sig in på marknaden måste de i flera fall också tampas med skepsis från de som arbetar i branschen. Motvilja till att använda det som är nytt finns i alla branscher. Denna motvilja känner nog de flesta kommit i kontakt med vid något tillfälle i arbetslivet. Nya uppfinningar kan kännas skrämmande. Av någon outgrundlig anledning så är denna skepsis ganska vanlig inom byggbranschen

Det kan möjligtvis kännas lite märkligt för vissa att använda förstärkningsmetoder som kolfiber i stora betongkonstruktioner. Konstruktörer är vana att använda stora, tunga stålbalkar därtill massiva betongblock för att bära tunga byggnadskonstruktioner. Tunna kolfiberförstärkningar är betydligt mindre vilket kan därför leda till viss osäkerhet eller kanske också motvillighet. Skillnaden med att sätta in en stålbalk som är flera decimeter tjock är i jämförelse med förstärkningar av kolfiber väldigt stor. Principen är den samma men inte materialen. Denna motvillighet är inte befogad, kolfiberförstärkningen håller precis lika bra som stålbalkar, men vanans makt är stor. Många gamla vanor som funnits i en bransch i otaliga år är svåra att bryta. Det behövs tid för att nya idéer skall få fästa. Det tar tid för dem att nå sin fulla potential.

## 1.1 Bakgrund

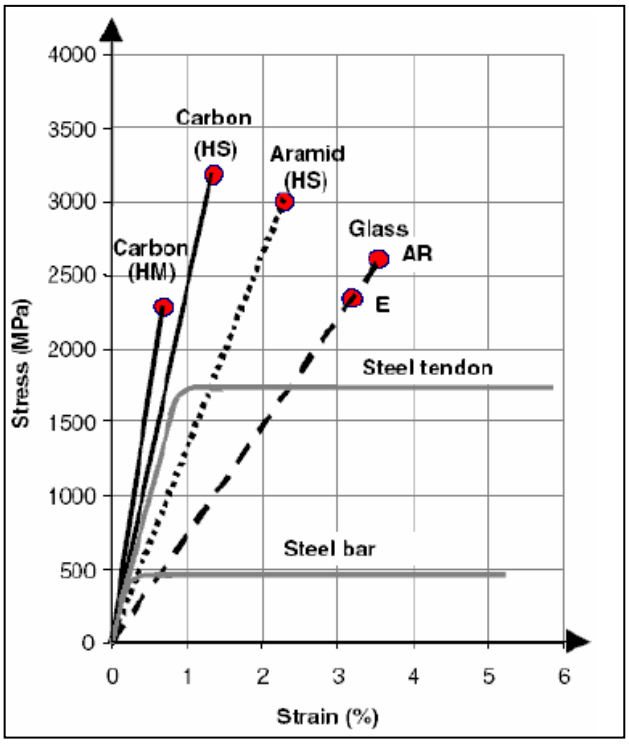
Kolfiber kan användas inom en mängd olika områden. Det är ett mycket starkt material med väldigt låg vikt som kan vävas i olika mönster eller sammanfogas till långa remsor. Kolfiber är inte ett speciellt nytt material, de första fibrerna togs fram i början av 1960-talet. Ett av de första användningsområdena var inom flygplansindustrin. Materialets potential insågs snabbt. Allt ifrån fiskespön, golfklubbor, segelbåtar, bilar och cyklar förstärks med eller byggs rentav helt i kolfiberkomposit. Inom bygg, anläggning och industri finns dessutom flera användningsområden.

CFRP (Carbon fibre reinforced polymers[1]) är kolfiber som tillsammans med en polymer bildar ett mycket starkt kompositmaterial. Det är denna komposit som vanligtvis används som förstärkningsmaterial.

Kompositen har precis som betong väldigt litet eller inget flytområde överhuvudtaget. De är material som ger spröda brott när sträckgränsen är uppnådd. Kolfiberförstärkningen ökar konstruktionens bärförmåga. Därför är det i regel i brottgränstillståndet som undersökningar görs. Om ett element förstärks så leder det dock till att styvheten i konstruktionen ökar vilket i sin tur medför att deformationerna minskar även i bruksgränstillståndet. Kolfiberkomposit med hög elasticitetsmodul kan dock vara önskvärt vid förstärkning av stålkonstruktionen där bruksgräns blir dimensionerande (Intervjusvar från Bo Westerberg, 2009).

[1] Förkortningen CFRP kommer i fortsättningen användas trots att det är en engelsk förkortning. Kolfiberförstärkning är ett korrekt svenskt ord som kan användas istället

Lager av kompositen som endast är en eller ett par millimeter tjockt kan ta upp stora laster i förhållande till dess vikt. Det finns olika typer av kolfiberkomposit. En mycket bra egenskap är att elasticitetsmodulen kan göras olika hög beroende på mängden fibrer som används. Genom att använda större mängd fiber så blir kompositen starkare. Styrkan i kompositen påverkas också av vilken polymer som används. Den starkaste polymeren är epoxi. Epoxi är också en polymer som används flitigt inom byggbranschen.




Figur 1O Lika fibrer samt ståls egenskaper (Carolin, 2001)

Polymerer kan också förstärkas med andra former av fibrer. Tillexempel fibrer av aramid eller glas men kolfibrerna av typen HS allra är starkast. Kolfiber är som syne mycket starkare än stål. De olika fibrernas förmåga att ta dragspänningar syns i figur ett. I diagrammet finns två typer av kolfiber, HS samt HM. HS står för high strenght. Komposit med lägre elasticitetsmodul men som klarar av större laster. HM står för high modulus. Komposit med högre elasticitetsmodul men sämre förmåga att ta laster. Figuren visar att om kolfibern har hög elasticitetsmodul (HM) så sjunker hållfastheten i materialet. Om mycket fibrer används så resulterar det i en starkare komposit. Leverantörer tillhandahåller olika system som lämpar sig olika väl beroende på omständigheterna.

Inom byggbranschen används i dagsläget CFRP som förstärkningsmaterial i främst betongkonstruktioner men det går också att förstärka murverk, stål- samt träkonstruktioner. Hur väl kolfiberförstärkningen lämpar sig för att förstärka de två senare materialen går att diskutera. Det finns betydligt enklare metoder för att förstärka dessa konstruktioner som dessutom är mycket billigare. Tillexempel så är det möjligt att förstärka sådana konstruktioner med stål men kolfiberförstärkning är helt klart ett alternativ. Användandet av kolfiberförstärkning inom branschen är relativt nytt, i Sverige har forskning kring ämnet bedrivits i snart 20 år. Likväl är det först på senare år som det börjat användas i större utsträckning men potentialen hos materialet är stor. CFRP kan användas i kombination med ett flertal olika betongkonstruktioner.

Det är främst vid reparationer och underhåll som CFRP utnyttjas. Vid nyproduktion finns i regel inget behov av kolfiberförstärkning eftersom hela konstruktionen utformas, om någon konstruktion sedan måste förstärkas direkt har något gått snett i dimensioneringen av konstruktionen. Innan dessa metoder togs fram så förstärktes betongkonstruktioner i regel med stålbalkar som fästes på undersidan av bjälklag eller ställdes bredvid befintliga betongpelare. Det fungerar utmärkt men medför vissa problem. Balkarna kan bli höga vilket medför att exempelvis rumshöjden i byggnader sänks till under rekommenderad höjd. Stålpelare kräver också utrymme, utrymme som kanske helt enkelt inte finns tillgängligt. Utanpåliggande kolfiberförstärkning är därför väldigt användbart i dessa fall eftersom rumshöjden inte behöver kompromissas, förstärkningen kräver i princip inget utrymme alls. Brandskyddet som måste användas i samband med CFRP är den del av systemet som kräver störst utrymme eftersom den helt måste omsluta förstärkningen.

Idéerna till arbetet uppkom när det uppdagades att CFRP metoderna som används i Sverige inte behandlas i några svenska normer. Exempelvis så finns inga anvisningar i varken BBR eller BKR. Inte heller existerar det någon certifiering eller standardisering av produkterna. Vägverket skriver dock att metoderna får användas vid förbättring av brokonstruktioner i sitt dokument BRO 2004. Förutsatt ätt de då följer anvisningarna i Björn täljstens design guide. Det är känt att metoderna används så det är inte ett problem men hur skulle det se ut om kunskaperna om produkterna kunde nå fler samt om dimensioneringen och monteringen kunde behandlas utförligare i redan kända svenska normer?

## 1.2 Problemformulering

Avsaknaden av internationella samt nationella standarder gör det svårt att jämföra forskningsresultat med varandra. Informationen om kolfiberförstärkning är ganska utspridd, i stort sett all denna information är skriven på engelska. Det är också svårt att som ny i ämnet förstå sig på hur CFRP fungerar och vad det har för användningsområden därtill vilka problem som bör belysas innan produkterna används. Mycket studier av olika litteratur är nödvändig innan ämnet blir överskådligt. Det är mycket viktigt att inblandade personer får särskilda kunskaper innan de börjar använda kolfiberförstärkning eftersom metoderna kan uppfattas som komplicerade samt att de kräver en noggrannhet som är högre än normalt. Nedan följer ett antal problem som skall utredas därtill diskuteras i arbetet.

- Vilka problem kan vanligtvis förknippas med dimensioneringen samt monteringen av kolfiberförstärkning?
- Vilka problem dyker upp när nya produkter introduceras på marknaden?
- Varför är standardisering därtill certifiering av produkter viktigt?
- Hur kan utbildning i ämnet läggas upp för att bli överskådlig och effektiv?

## 1.3 Syfte

Arbetet syftar till att läsaren skall kunna få upplysningar som annars måste samlas ihop från flertalet andra källor. Rapporten skall beskriva på vilka sätt det går att använda CFRP, i vilka fall det är lämpligt att använda dem samt om det finns eventuella problem som förknippas med kolfiberförstärkning. Rapporten skall även behandla vad som är viktigast att tänka på när kolfiberförstärkning används. Beskriva varför standardisering är så viktigt, samt varför standarder är så användbara kommer också undersökas i arbetet.

Rapporten skall ta upp hur projektörer bör arbeta när de träffar på nya produkter som används vid ändring av konstruktioner. Detta gäller inte enbart kolfiberförstärkning utan alltid när nya produkter kommer ut på marknaden. Metodiken skall ge exempel på hur projektörer bör arbeta när de kommer i kontakt med nya produkter. Slutligen kommer ett alternativ till en utbildningsmetod att diskuteras.

## 1.4 Mål

Målet med arbetet är preciserat i nedanstående punkter.

- Beskriva en metodik som kan hjälpa projektörer när de träffar på produkter de inte kommit i kontakt med förr. Beskriva hur utbildning skulle kunna gå till.
- Skapa ett dokument som kan fungera som en introduktion till ämnet.
- Väcka ett intresse för läsaren som sedan kan leda till utökade studier.
- Ge en sammanfattande bild av CFRP.
- Undersöka hur standardisering av produkter går till, varför standarder behövs. Hur standarder kan effektivisera användningen av produkter.

## 1.5 Omfattning/begränsning

I detta arbete behandlas endast kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner, arbetsbeskrivningar av de olika metoderna samt vilka problem som sammankopplas med användningen av CFRP. Hur konstruktioner utförda i andra material förstärks undersöks ej. Enbart svenska reglerverk tillsammans med normer såsom Byggnadsverkslagen och Boverkets dokument behandlas. Ingen hänsyn tas till Eurokoder eller dylikt.

## 1.6 Målgrupp

Arbetet riktar sig främst mot personer som är intresserade av att lära sig mer om CFRP, hur det kan användas i byggbranschen, det skall fungera i utbildningssyfte. Ett första steg för att sedan kunna gå djupare i ämnet. Därför är studenter en självklar målgrupp. Rapporten är skriven så att även personer utan tidigare kunskaper inom ämnet skall kunna få ökad förståelse för kolfiberförstärkning. Det krävs dock en viss kunskap för hur dimensionering går till samt hur konstruktionsteknik fungerar för att förstå vissa termer som används i arbetet. Därför är det lämpligt om läsaren har vissa kunskaper inom byggnadsteknik. Dokumentet skall ge en grundläggande insikt i hur produkterna används idag, likväl problem som uppstått under tiden som produkterna utvecklats. Slutligen syftar den till att öka medvetenheten om CFRP, rapporten skall visa att det är en användbar produkt som finns på marknaden, många är antagligen ännu inte medvetna om att produkten existerar. Eftersom metodiken kring hur personer skall bete sig när de kommer i kontakt med ett nytt material eller nya beräkningsmetoder behandlas blir projektörer också en målgrupp.

# 2. Metod och genomförande

## 2.1 Litteraturstudie

Under arbetets gång används ett flertal olika metoder för att komma fram till resultaten. Materialet som ingick i arbetet samlades in genom att göra diverse litteraturstudier. Ett flertal dokument som behandlar allt från hanteringen av produkterna till styrande dokument som reglerar hur konstruktioner får uppföras undersöks.

Det mesta materialet som behandlar själva kolfibern är skrivet på engelska. Detta medförde extra arbete eftersom språket var akademiskt och innehöll många ord vilka måste översättas. Risk för att faktafel skall komma med i rapporten är uppenbar om översättningen inte blir utförligt gjord. I samband med att arbetet tog form och gick framåt så uppkom nya problem. På grund av de nya problemen så krävs kontinuerligt ny information. Därför fortgick insamlandet och undersökningen av litteratur kontinuerligt under hela arbetets gång. Strävan att hela tiden lyfta fram de mest relevanta uppgifterna oberoende av vilken litteratur som undersöktes har genomsyrat hela litteraturstudien. Litteraturen bestod av.

- Dimensioneringsanvisningar och arbetsbeskrivningar.
- Avhandlingar, forskningsrapporter samt annat forskningsresultat.
- Vetenskapliga artiklar.
- Dokument från Boverket samt andra dokument som reglerar byggande i Sverige.

## 2.2 Intervjustudie

Intervjuer utformades också. Målet med intervjuerna var att försöka skapa en bild av i vilken utsträckning kolfiberförstärkning används. För att intervjuerna skulle spridas över så brett område som möjligt samt för att få svar från personer som verkar inom alla delar i byggbranschen har branschen brutits ned i fem olika aktörer. Dessa aktörer har olika roller vilket medför olika sätt att se på ämnet. Aktörerna sträcker sig från forskningsstadiet ända fram till monteringen av produkten, de lyder som följer.

- Forskare
- Leverantörer
- Beställare
- Projektörer
- Entreprenörer

Det är viktigt att skilja dessa aktörer åt på grund av att de har så väldigt olika roller. Tillexempel så är forskare intresserad av ny teknik samt utveckling. Leverantörer vill skapa en tilltro till sina produkter såväl som göra en vinst på försäljningen. Om nya produkter ska användas av projektörer vill de naturligtvis att de skall fungera eftersom de har ett ansvar gentemot sina beställare. Slutligen så vill inte entreprenörerna som arbetar på byggarbetsplatsen att konstruktioner skall rasa vilket kan skada deras anställda. Intervjuerna består av 4-5 frågor samt utrymme för att lämna egna kommentarer. Intervjuerna skickades ut via e-post, personen som tillfrågats kunde då själv besluta när det fanns tid att svara. E-post ansågs fördelaktigt jämfört med telefonintervjuer eftersom det inte fanns tillräckligt med tid under de två månader som detta arbete utfördes. Målet var att göra intervjuerna korta dessutom inte så omfattande. De skulle gå snabbt att fylla i, det antogs att svarsfrekvensen skulle bli

större om de svarande inte behövde lägga ned massa tid på att läsa igenom komplicerade intervjufrågor. Istället utformades frågor som var relevanta för arbetets problemformulering. Större mer omfattande intervjuer kan utföras för att få en djupare insikt, men då bör också antalet intervjuer ökas markant. Denna studie är avsedd att vare en grundläggande förundersökning.

Eftersom aktörerna har så olika roller i kedjan för hur produkten används så skräddarsyddes varje intervju med tanke på vilket av de fem grupperna den svarande tillhörde. Ett flertal frågor kunde dock användas i flera intervjuer, antingen exakt likadan eller genom att omformuleras till viss del. För att det skulle finnas en röd tråd i användes en fråga i alla intervjuer. Frågan är utformad så att den passar att ställa alla aktörer, den behandlar kolfiberförstärkning allmänt, frågan löd:

> *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etcetera?*

Trots mycket arbete så blev tyvärr inte svarsfrekvensen så stor. 18 mail skickades ut till att börja med, beroende på hur svarsfrekvensen från dessa mail såg ut togs beslut om hur undersökningen skulle gå vidare. Av dessa 18 mail inkom 5 svar. På grund av den låga svarsfrekvensen skickades inte fler intervjuer ut. En utförligare intervjustudie är en möjlighet om mer tid finns till förberedelse. Detta skulle kunna ingå i eventuella kommande arbeten

## 2.3 Telefonintervjuer

För att samla information om certifiering av produkter samt ackreditering av organ används telefonintervjuer. Personer vid relevanta organ kontaktas. Efter samtal med dem kunde mer information hittas. Det finns en uppsjö med dokument som behandlar detta område. Mängden dokument gör det svårt att ta reda på exakt vilka som är styrande samt på vilka sätt produkter kan certifieras. Ett antal organ har kontaktats. De organen är bland annat SWEDAC, Nordcert och SIS. Telefonintervjuerna fungerade mest som en grund för att kunna hitta mer fakta. Så många organ samt organisationer existerar. Det är svårt att leta reda på alla organ som kan vara intressanta genom att bara söka på internet eller i böcker. Precis som med litteraturstudien så tillämpas telefonintervjuer när nya problem uppdagades därför var dessa också en fortgående process genom hela arbetet.

# 3. Teori

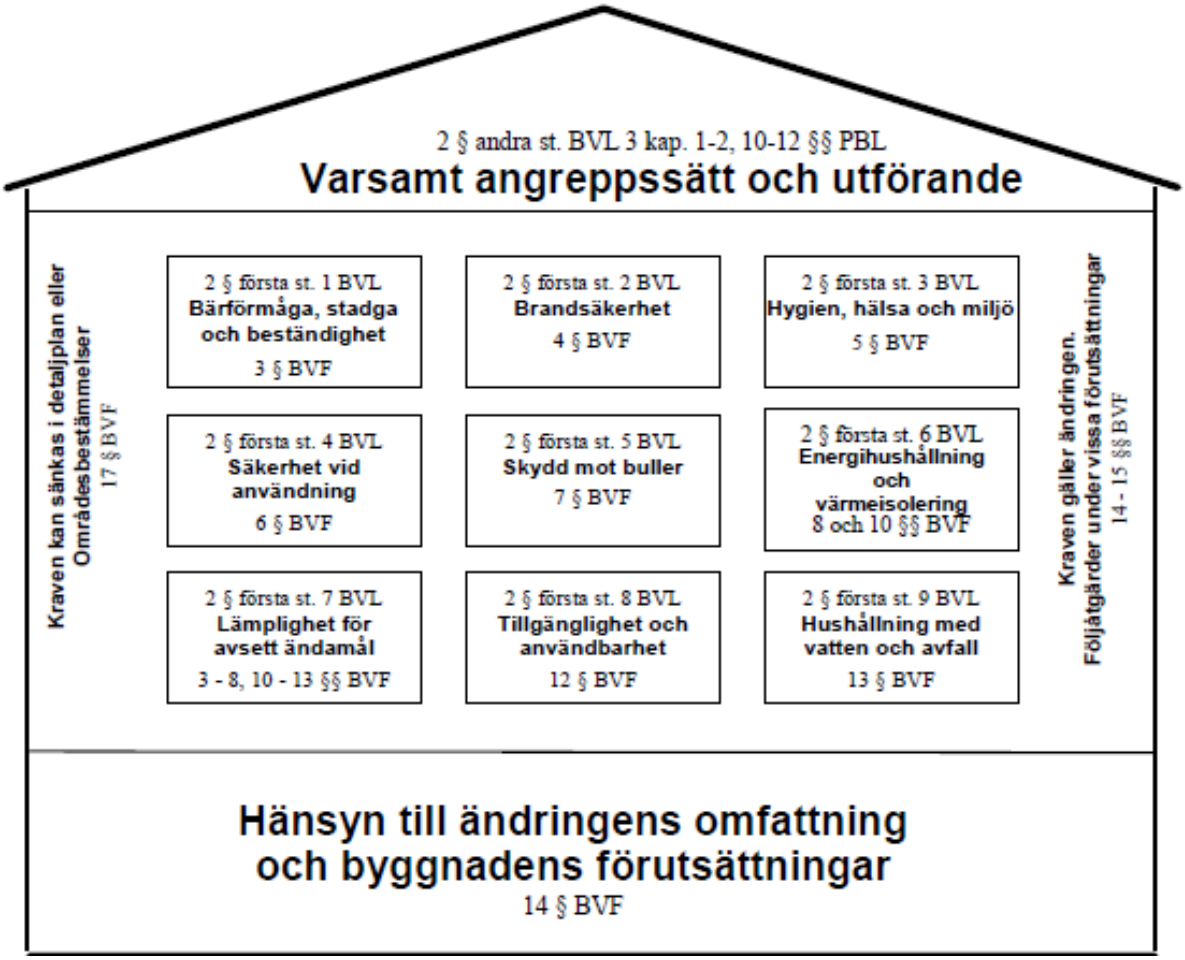
## 3.1 Varför behöver konstruktioner förstärkas?

Förstärkningsbehov av byggnadsstommar eller konstruktionselement kan uppkomma av en mängd olika anledningar. Nya installationer av maskiner eller liknande utrustning som ökar lasten i byggnadsstommar kan medföra att konstruktionen inte orkar med de nya lasterna. Slitage förekommer alltid, det är helt ofrånkomligt. Stort slitage som uppkommit genom normalt användande eller på annat sätt drabbat en konstruktion kan starkt försämra bärförmågan. Underhåll i form av förstärkning kan då bli aktuellt för att konstruktionen fortsatt ska uppfylla sin funktion. Om en byggnads funktion ändas så ändras dessutom kraven som ställs på byggnaden. Ändring av verksamheten i en byggnad kan ge upphov till nya krav på bärförmåga som den befintliga konstruktionen inte uppfyller. Kraven kan exempelvis vara bärförmåga

Ändring av byggnaders planlösning kan leda till att kraftbilden förändras. Detta medför att förstärkningar på den befintliga konstruktionen kan bli nödvändiga. En förändrad kraftbild uppstår också om bärande konstruktionselement rivs eller om stommen ändras på annat sätt. Då hittar lasterna nya vägar genom konstruktionen.

I Sverige styrs allt byggande av tre dokument Byggnadsverkslagen (BVL), Plan- och bygglag (PBL) samt Byggnadsverksförordningen (BVF). Den absolut viktigaste paragrafen i BVL, vilken egentligen heter Lag(1994:847) ”Om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m.” är § 2. Den tar upp nio tekniska egenskapskrav som en byggnad måste uppfylla. Om de egenskapskraven inte uppfylls är byggnaden helt enkelt inte utförd på ett korrekt sätt. Kraven skall uppfyllas både vid uppförande av nya byggnader samt vid ändring av befintliga byggnader. Dessa egenskapskrav finns för att säkerställa byggnadens kvalité för beställaren tillika brukarna. De nio egenskapskraven är följande.

- Bärförmåga, stadga och beständighet
- Brandsäkerhet
- Hygien, hälsa och miljö
- Säkerhet vid användning
- Skydd mot buller
- Energihushållning och värmeisolering
- Lämplighet för avsett ändamål
- Tillgänglighet och användbarhet
- Hushållning med vatten och avfall




Figur 2 De nio tekniska egenskapskrav som en byggnad måste uppfylla (Boverket, 2006)

### *3.1.1 CFRP och de byggnadstekniska egenskapskraven*

Av dessa nio tekniska egenskapskrav finns det vissa som påverkar förstärkning av konstruktioner mer direkt än vissa andra. De krav som är direkt relaterade till användandet av kolfiberförstärkning samt hur förstärkningen måste fungera för att uppfylla dem beskrivs nedanför.

1. *Bärförmåga stadga och beständighet*: Uppfylls inte detta krav så försvinner hela principen med att förstärka med kolfiber eftersom dess uppgift är att bära konstruktionen.
2. *Brandsäkerhet*: Förstärkningen är mycket känslig för brand! Den måste skyddas för att klara av kraven på brandsäkerhet.
3. *Hygien, hälsa och miljö*: Epoxi är inte väldigt farligt men kan orsaka irritationer på huden samt i ögon om personer som handskas med produkterna inte skyddar sig. Miljön på arbetsplatsen är därför viktig.
4. *Säkerhet vid användning*: Kolfiberförstärkningen måste utformas på sådant sätt att risken för att olyckor begränsas i så stor utsträckning som möjligt.
5. *Lämplighet för avsett ändamål*: Är kolfiberförstärkning den lämpligaste metoden att använda eller bör konstruktionen förstärkas på annat sätt? Ska konstruktionen förstärkas överhuvudtaget eller är det bättre att bygga nytt?

Dock kan även vissa av de andra tekniska egenskapskraven indirekt kopplas samman med användningen av kolfiberförstärkning. Eftersom kolfiberförstärkning kräver så lite utrymme kan det bli nödvändigt när äldre byggnader skall anpassas för personer med nedsatt rörelseförmåga. Nya laster

från hissar etcetera kan uppkomma när de egenskapskraven skall tillgodoses. I Boverkets byggregler (BBR) samt Boverkets konstruktionsregler (BKR) finns anvisningar hur byggnader bör uppföras för att de skall uppfylla de tekniska egenskapskraven som finns i Byggnadsverkslagen.

Användningen av kolfiberförstärkning i konstruktioner uppfyller de rekommendationer som finns om installationen utförs på rätt sätt. Även vägverket har tagit upp kolfiberförstärkning som ett alternativ vid förbättring av brokonstruktioner (Vägverket, 2004). Slutligen finns arbetsgången för kolfiberförstärkningen också beskriven i Svensk byggtjänst AMA (Allmän material och arbetsbeskrivning). Rekommendationerna i AMA finns under punkt ECB.52.

### *3.1.2 Anvisningar från Boverket*

Lasterna som används för att dimensionera konstruktioner återfinns i BKR kapitel 3. Vistelselast och samlingslast är exempel på två lastfall som har olika dimensionerande laster. Figur 3 visar lastvärden för de två. Reduktionsfaktorerna (Ψ) som gäller för de olika lastfallen visas också. Reduktionsfaktorerna visar hur lasterna skall minskas vid beräkning i bruksgränstillstånd. Därför är faktorerna inte speciellt aktuella här eftersom kolfiberförstärkningarna oftast beräknas i brottgränstillstånd. Bilden är tagen från BKR.

| *Lastgrupp*<br>Lokaltyp/utrymme | Utbredd last kN/m$^2$<br>Bunden lastdel | Utbredd last kN/m$^2$<br>Fri lastdel | | Koncentrerad last[1]<br>kN |
|---|---|---|---|---|
| | $q_k$ ($\psi = 1$) | $q_k$ | $\psi$ | $q_k$ ($\psi = 0$) |
| 1. *Vistelselast*<br>Rum i bostadshus och i hotell inklusive källarutrymmen.<br>Patientrum och personalrum i vårdanstalter.<br>Inredningsbara vindsvåningar. | 0,5 | 1,5 | 0,33 | 1,5 |
| 2. *Samlingslast*<br>Lektionsrum i skolor, rum i daghem, föreläsningssalar.<br>Kontorsrum utan arkiv.<br>Lokaler för restauranter, kaféer samt matsalar och kök i anslutning till dessa.<br>Laboratorier.<br>Fria utrymmen i bibliotek.<br>Utrymmen med fasta sittplatser i samlingslokaler såsom kyrkor, konsertsalar, teatrar och biografer. | 1,0 | 1,5 | 0,5 | 3,0 |

Figur 3 Värden för vistelselast och samlingslast (Boverket, 2003)

Om en byggnad vars funktion varit ett bostadshus ändras till skolsalar eller liknande så kommer lasterna vilka dimensionerar konstruktionen att öka. Nu blir det högst aktuellt med förstärkningar på grund av att konstruktionen är dimensionerad för de tidigare lägre lasterna vilket leder till att konstruktionen i sitt nuvarande utförande blir underdimensionerad på grund av att användningsområdet ändras.

När det blir aktuellt att förstärka ett konstruktionselement är det mycket viktigt att hela konstruktionen undersöks. Elementet som förstärks kommer att föra lasterna vidare i konstruktionen. Detta leder till att fler delar kan behöva förstärkas. Bara för att visa delar dimensioneras rätt finns det inget som säger att närliggande element också håller. Krafterna måste omhändertas för att sedan föras ned hela vägen till grunden. Om en grundlig utredning inte görs kan det innebära massa extra arbete som inte tagits hänsyn till från början. Om en byggnad ändras kan det också uppkomma följdkrav vilka måste uppfyllas. Detta kan ha med exempelvis handikappsanpassning att göra. Byggnaden måste alltid uppfylla de tekniska egenskapskraven som finns uppställda i BVL.

Boverkets allmänna råd vid ändring av byggnad (BÄR) beskriver på vilket sätt ändring samt underhåll av byggnader skall utföras. I den texten definiera begreppet *”Med underhåll avses inre och yttre åtgärder som behövs för att ett byggnadsverks egenskaper i huvudsak skall bevaras” (BÄR, 2006 ).*

Den andra stora lagen som reglerar byggande i Sverige är Lag(1987:10) Plan- och bygglag (PBL). I PBL kap 3 behandlas ett begrepp som kallas för varsamhet. Det betyder att ändringarna måste utföras varsamt så inte byggnaden förvanskas. Detta begrepp tydliggörs i BÄR, begreppet påverkar dock mest byggnader som har speciella uttrycksfulla karaktärsdrag vilka ej får förvanskas. Varsamhetskravet måste trots allt alltid beaktas. Det är en stark motivering till varför en förundersökning alltid är viktigt att utföra. I en kontrollplan bör det upprättas vad som skall göras därtill vilken kompetens som krävs för att utföra ändringarna.

Kraven på varsamhet får inte hindra att byggnadens tekniska egenskapskrav uppfylls. Förundersökningen skall fungera som ett hjälpmedel vid arbetet med byggnaden samt även utreda tekniken som finns i byggnaden. Beroende på hur omfattade projektet är så blir förundersökningen olika omfattande. Den bör dock alltid göras oberoende av hur stort projektet är. Hur nyttig förundersökningen är för det fortsatta arbetet förklaras mycket bra i BÄR.

Boverket (2006, sid 13)
*”Genom att en byggnads värden och kvaliteter har tydliggjorts på ett tidigt stadium kan möjligheterna att tillvarata dessa kontinuerligt prövas under hela den efterföljande projekteringen och onödiga konflikter undvikas”*

Rekommendationerna i BÄR är något av det viktigaste dokumentet för kolfiberförstärkning eftersom det används vid underhållsarbeten istället för vid nybyggnation. Därför bör projektörer alltid vända sig till anvisningarna i BÄR innan ändringsarbeten, allt för att undvika fel som kan innebära att arbetet fördröjs. Mer information om hur hållfastheten i byggnaden skall undersökas finns i ISO-13822 eller Boverkets handbok Dimensionering genom provning (BÄR, 2006).

**Allmänt råd**
**Vid byggsamråd bör alltid klarläggas hur varsamhetskraven avses att tillgodoses.**

Figur 4 Exempel på råd i BÄR (Boverket, 2006)

## 3.3 Härdplasten epoxi

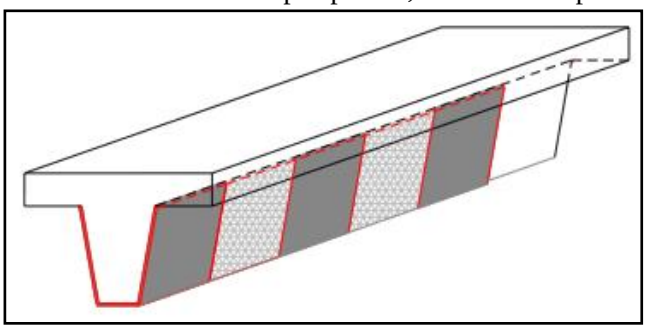
Epoxi är en mycket stark härdplast som härdar genom en kemisk reaktion mellan två ämnen[2]. När härdaren tillsätts är den kemiska reaktionen irreversibel vilket betyder att plasten som skapas kommer fortsätta att vara en plast. Den kan inte smältas ned igen. Många olika härdare finns att tillgå får att skapa epoxiplasten. Härdningstiden varierar beroende på en mängd faktorer. Det finns ett stort antal plaster med tillhörande härdare som alla ger olika egenskaper till epoxin. De lämpar sig olika väl beroende på vilket område de används inom. Bland annat inom bygg samt industri sektorn. Epoxi lämpar sig mycket bra som fästmassa (lim) när utanpåliggande förstärkningar som till exempel kolfiber eller stålplattor skall användas tack vare dess goda egenskaper att vidhäfta mot betong. Epoxin kan dessutom föra vidare både skjuvspänningar och dragspänningar inom sig själv samt mellan betongen och förstärkningen. Epoxin är känslig för både fukt och värme. Den bör blandas noga enligt leverantörens anvisningar innan den används. Hur lång tid en blandad mängd epoxi kan användas regleras av flera faktorer bland annat vilken härdare som användes, temperatur och den rådande relativa ånghalten. Den tidsperiod under vilken en sats epoxi kan eller rättare sagt bör användas inom kallas för potlife. För att uppnå total styrka så måste plasten få härda i sju dygn vid en temperatur av + 20°C. (Augustsson, 2004)

[2] Polymeren och härdaren

Det är under blandningen av epoxin, när den skall vidhäftas mot materialet och när den härdar som epoxin är känslig för fukt. När plasten härdat har den uppnått sina slutgiltiga egenskaper och betraktas som vattentät (Augustsson, 2004). Beroende på hur epoxin blandas är den också resistent mot kemikalier, särskilt alkaliska ämnen[3]. Cement tillverkas idag av kalksten (Burström, 2001) Detta gör att betong är ett basiskt material därför kommer inte epoxin att brytas ned även när den är i direkt kontakt med betongytan. En annan mycket bra egenskap är att epoxi fungerar som en isolator. Epoxins egenskaper att skydda mot elektricitet är viktigt eftersom kolfiber leder elektricitet. Om kolfibern kommer i kontakt med stål så kan det skapa galvanisk korrosion (Carolin, 2003).

## 3.4 Beskrivning av förstärkningsmetoder

Utanpåliggande förstärkning med kolfiberförstärkta polymerer kan utföras på ett antal olika sätt. I dagsläget så används tre metoder som lämpar sig olika väl beroende på vilken typ av konstruktion som skall förstärkas. Konstruktionselement som kan förstärkas är tillexempel plattor, balkar samt pelare. Det går även utmärkt att använda CFRP utomhus vid förstärkning av exempelvis brokonstruktioner. Förstärkningen kan dock endast ta dragspänningar, fibern kan ta spänningar >2500 MPa i dragriktningen (Ojha, 2001) men kolfiberförstärkningen bör som fastlagts aldrig ta tryckkrafter. Om kolfiberförstärkningen utsätts för tryck kommer fibrerna att bucklas, då går försträkningen sönder. Ett undantag är dock om fibern vävs eller fästs i flera riktningar, då kan den ta dragspänningar åt flera håll men den kan fortfarande inte ta tryckspänningar! Kolfibrer är med andra ord anisotropa vilket betyder att de endast kan ta påkänningar i en riktning.



Figur 5 Betongbalk förstärkt med CFRP (Rehabcon, 2000)

Kolfiberförstärkning används allt oftare i diverse projekt så erfarenheterna från dessa projekt ger mer kunskap om hur materialets korttids- samt långtidseffekter.

### *3.4.1 Kolfiberlaminat (Laminate bonding)*

Kolfiberlaminaten består av band alternativt remsor av kolfiber som kan ha olika tjocklek samt bredd. Banden kommer färdigtillverkade från leverantören. Förtillverkade betyder att kompositen skapas i tillverkningsprocessen. Laminaten framställs ofta genom såkallad pultrudering. Kolfibrerna[4] läggs i flera lager för att sedan behandlas med härdplasten epoxi. Slutligen dras kompositen genom en maskin. I maskinen finns en ugn som värmer epoxin vilket gör att plasten genomgår polymerisation (härdar). Laminaten som bildas har fibrer i en riktning, den kan alltså endast ta dragspänningar i en riktning. För att fibrerna skall kunna ta optimala påkänningar måste de ligga rakt. Laminaten skall ligga plant mot ytan där den skall fästas. Betongen måste därför slipas ned så den får en jämn yta. Laminaten kan inte användas om ytan är ojämn. Ett väl utfört förarbete på arbetsplatsen är ett måste för att förstärkningen skall fungera.

Kolfiberlaminaten kan fästas på undersidan av plattor eller balkar, runt balkar och pelare, eller längs med pelare som utsätts för böjmoment. Vidhäftningen mellan kompositen och betongen skapas också

[3] Basiska ämnen
[4] Pultrudering kan även göras med andra typer av fibrer.

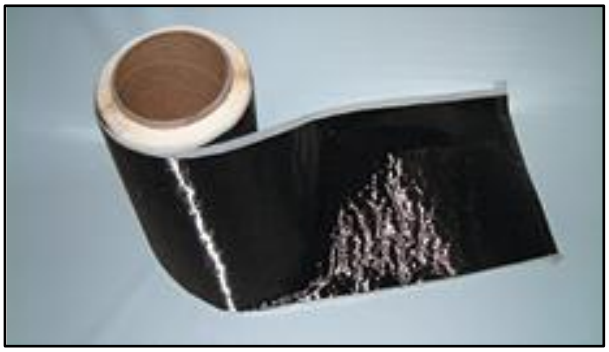
med hjälp av härdplasten epoxi. Det är mycket viktigt att vidhäftningen mellan materialen är god eftersom det är via den som krafterna överförs till kompositen. God vidhäftning krävs oberoende av vilken metod som används. När laminaten sitter korrekt på plats som den skall så ökar konstruktionens bärförmåga markant.

Det går likaledes att fästa laminaten i olika mönster för att uppnå önskad effekt. Om krafter behöver tas upp i flera riktingar i exempelvis betongplattor är det fullt möjligt att fästa laminaten i olika mönster. Laminaten limmas sällan ovanpå andra lager laminat utan sätts i så fall på andra sätt. Avståndet mellan banden bestäms i dimensioneringsprocessen. Även var de skall placeras på konstruktionen bestäms när förstärkningen dimensioneras.

Banden kan också fästas runt cirkulära konstruktionsdelar som tillexempel pelare för att ta upp krafter som annars skulle spjälkat pelaren. Det går såklart även att fästa banden runt rektangulära pelare men det medför att dimensioneringen av förstärkningen blir mer komplicerad vilket också kräver mer arbete. Det är möjligt att förstärka fyrkantiga pelare men kanterna måste slipas ned så hörnen får en radie (Westerberg, 2006).

### *3.4.2 Kolfiberväv (Sheet bonding)*

Till skillnad från kolfiberlaminat så färdigställs produkten inte i en fabrik utan kolfibeväven måste behandlas med epoxin på plats. Med andra ord så är laminaten färdig komposit när den levereras medans kompositen mellan kolfiberväven samt epoxin måste färdigställas för hand vid arbetsplatsen. Detta är den största skillnaden mellan de två metoderna. Väven består av ren kolfiber vilken är mycket tunnare än laminaten. Väven måste vara tunnare för att epoxin skall kunna väta alla fibrer. Om väven är för tjock kommer fibrerna inte samverka med epoxin. Metoden kallas också för wet lay-up eller hand-lay-up av just den anledningen att fibrerna blöts ned för att sedan läggas på plats för hand.



Figur 6 StoFRP sheet, kolfiberväv (Sto Scandinavia AB, 2009))

För att uppnå önskad styrka i väven fästs den därför i flera lager. Det kan krävas ganska många lager innan den uppnår samma tjocklek som laminaten. Efter att det första lagret väv fästs på betongen så läggs ytterligare epoxi på innan nästa lager väv appliceras. Processen repeteras tills önskat antal lager väv uppnåtts. Det är viktigt att alla fibrer i varje lager av väven väts av epoxin för att krafterna skall kunna överföras. Lagerantalet som behövs bestäms inte på plats utan när kolfiberförstärkningen dimensioneras. Fler lager leder självklart till en starkare konstruktion. Väven måste kontrolleras samt placeras rätt. Om flera lager används måste skarvarna överlappas minst med 200 mm, dessutom måste de även förskjutas Betongytan måste också bestrykas med primer för att fullgod vidhäftning skall uppstå. Primer kan också bli aktuellt om laminat används. Alternativt styr leverantörens krav på sina produkter när primer måste användas (Täljsten, 2006).

Det är fullt möjligt att kombinera både laminat såväl som väv i samma konstruktion. Om större konstruktioner skall förstärkas används den metod som är lämpligast på olika ställen, det hela beror på hur krafterna fördelas i konstruktionen. Detta är också en motivering till varför en utredning måste göras. Det finns ingen anledning att sätta upp förstärkningar där de inte gör någon nytta. Om hela

konstruktionen förstärks krävs större mängder kolfiberförstärkning, vilket kostar mer. Det tillhörande arbetet tar likaledes längre tid att utföra. Kolfiberförstärkning ger bättre arbetsmiljö tack vare dess låga vikt, är det inte tungt arbete att fästa även om arbetet utförs över axelhöjd.

Omslutningseffekten, när väven limmas runt hela pelaren eller balken kommer den att motverka expansion av konstruktionens tvärsnitt. Om en pelare omsluts hindrar kolfiberkompositen att pelaren spjälkas av normalkrafter. Metoden lämpar sig därför mycket väl för att förstärka pelare. Pelaren omsluts helt eller delvis för att minska kostnaderna omsluts endast de delar där de största påfrestningarna uppstår. Det går även att omsluta olika typer av balkar med kolfiberväv. Balkar som omsluts blir starkare mot tvärkrafter

Väven lämpar sig bättre än laminaten om konstruktionen som skall förstärkas inte är platt. Om ytan där förstärkningen skall fästas är mer eller mindre kurvig passar väven bäst. Laminaten fungerar absolut bäst om ytan är plan. Oberoende av vilken förstärkningsmetod som används måste dock alltid visst förarbete utföras

### *3.4.3 NSMR (Near surface mounted reinforcement)*

Metoden är den yngsta av de tre som tas upp här. NSMR har därför inte använts under lika lång tid. I Sverige säljer endast leverantören Sto Scandinavia AB dessa produkter. Även om det är den yngsta metoden fungerar den fortfarande lika bra som de två övriga metoderna, det finns även fördelar med NSMR. De är enklare att hantera än tillexempel kolfiberväven och kräver inte lika mycket förarbete. Denna metod skiljer sig också något från de andra genom att det inte är platta ark eller band som limmas på utsidan av betongen. Denna förstärkningstyp består av stavar i kolfiber.

För att stavarna skall kunna fästas i betongen läggs de i sågade spår som sedan fylls med epoxi. NSMR sitter med andra ord inte utanpå betongen som de övriga produkterna utan den fästs inuti betongen. Denna typ av förstärkning kan liknas vid vanlig armering av stål.

Figur 7 StoFRP bar, NSMR (Sto Scandinavia AB, 2009)

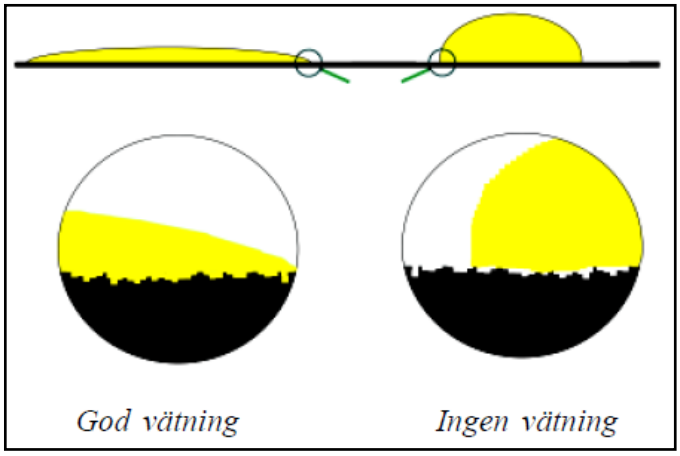
Tack vare att denna typ av förstärkning monteras inuti en konstruktion så ställs inte lika höga krav på betongens yta. NSMR behöver inte en lika jämn yta som laminat eller väv därför lämpar den sig väl om betongytan är väldigt ojämn. Djupet på spåren bestäms delvis av konstruktionens befintliga armering och dess täckskikt, men det beror också på vilken typ av stavar som används. Tjockleken på täckskiktet måste undersökas först eftersom om täckskiktet är för tunt kan spåren inte göras tillräckligt djupa. Täckskiktet bör vara minst 25 mm för att NSMR skall vara ett alternativ. Det bästa med denna metod är att spåren som sågas kan göras så pass djupa att det går att fylla igen utrymmet utanför förstärkningen med ett lager betong. Detta fungerar då som ett skydd för kolfibern. (Täljsten, 2006).

## 3.5 Förberedande arbete samt installation

Eftersom metoderna skiljer sig från varandra så krävs olika typer av förberedande arbete innan förstärkningen monteras. Dock finns det vissa faktorer som alltid måste tas hänsyn till oberoende av vilket av förstärkningssystem som används. Den metod som kräver minst förarbete är NSMR. Spåren sågas med en maskin vilket kräver inte mycket manuellt arbete. Det är fortfarande vikigt att spåren

som sågas rengörs innan förstärkningen fästs. Spåren rengörs lättast med vatten som sprutas under tryck. Sedan måste spåren torka helt eftersom fukten kan förstöra förstärkningen (Täljsten, 2006).

Epoxins viskositet måste anpassas till den metod som kommer användas. Vid NSMR så måste viskositeten vara högre. Det skall gå att trycka in epoxin i spåren utan att den rinner ut innan stavarna hinner monteras. Viskositeten är mycket viktig, under blandningen av epoxin finns inget utrymme för slarv. Om epoxin får fel konsistens kommer vidhäftningen att minska epoxins förmåga att väta underlaget samt förmågan att binda materialen sjunker Ytan där limmet ska fästas påverkar också förmågan att väta underlaget (Augustsson, 2004).




Figur 8 Olika vätning av vätskor med olika konsistens (Augustsson, 2004)

När kolfiberväv används så måste epoxins viskositet vara låg, den skall var mer flytande än vid NSMR. Epoxin måste blöta ned alla fibrer i väven. Om epoxin inte blandas på rätt sätt utan blir för trögflytande kommer den inte kunna spridas tillräckligt i väven (Carolin, 2004).

Innan kolfibern sätts på plats måste betongens yta undersökas. På ytan får inte finnas några kontaminationer på betongen som tillexempel rost, smuts, fukt eller liknande partiklar som kan försämra bindningen av kolfiberförstärkningen. Ibland kan det förekomma ett betydligt tunnare skikt betong närmast ytan som är svagare än resterande betong. Detta skikt måste också slipas bort för det är inte tillräckligt starkt. Ett test av ytans dragkraftsförmåga bör utföras. Ett sådant prov kalls också för ett ”pull-off” prov. Dragprovet är görs för att säkerställa att betongen är tillräckligt stark för att hålla förstärkningen. Om betongen är för svag kan påkänningarna leda till att betongen slits sönder. För att vara godkänd så måste betongen hålla för minst 1,5 MPa (Täljsten, 2006).

Det är också lämpligt att ytan damsugs eller blåses ren med tryckluft efter att ytan slipats. Det avlägsnar de allra minsta partiklarna. För att få en tillfredställande yta så måste betongen slipas, blästras eller på annat sätt jämnas ut. Ojämnheter i betongen får inte var högre än 1 mm (Ojha, 2001). Beroende på hur ytan ser ut så behövs olika mycket förarbete. Förutom att ytan måste vara ren så måste den också vara slät. En yta som inte är slät där det finns gropar, vassa kanter eller liknande skador måste åtgärdas. Som sagts tidigare så kan fibrerna bucklas eller på annat sätt skadas vilket medför att konstruktionens bärförmåga inte blir så hög som förväntat.

När ytan bedöms som tillräckligt god så kan arbetet med att fästa förstärkningen påbörjas. Epoxin påföres med en roller, i denna epoxi fästs sedan förstärkningen som också pressas fast med en roller. Slutligen så skrapas överflödig epoxi som runnit på sidan bort med en skrapa eller liknande (Ojha, 2001). Det är viktigt att CFRP laminaten hanteras varsamt, laminaten kan skadas vid oaktsamt hanterande.

Förstärkningen måste bindas helt mot betongytan. Det får inte finnas områden där laminaten inte fastnat. Det finns risk att hålrum av varierande storlek uppkommit. För att hitta eventuella fel så måste förstärkningen undersökas noggrant efter att epoxin härdat. Eventuella luftbubblor som kan ha formats i epoxin måste hittas igen och åtgärdas. Små bubblor som är mindre än 2 mm är oundvikliga eftersom

de uppkommer vid blandningen, men dessa är inte skadliga. Knackning är den vanligaste metoden som används. Knackning går helt enkelt ut på att ett föremål knackas mot förstärkningen, beroende på ljudet går det att hitta bubblor. Det finns mer komplicerade metoder som tillexempel värmetermografering men knackning används i störst utsträckning (Rehabcon, 2000).

Ytans jämnhet är viktig för att kolfibrerna inte skall skadas, ytans renhet är däremot främst avgörande för epoxin. Det är vidhäftningen (adhesionen) mellan materialen som är nyckeln till en väl monterad förstärkning. Svag syra som tillexempel utspädd saltsyra går också att använda som rengöringsmedel Om det finns orenheter på betongytan så hindrar det epoxin från att tränga ned i betongporerna där den slutligen förankras sig själv (Augustsson, 2004).

Ett av de största problemen med att förstärka en konstruktion med CFRP är fukt. Epoxin är mycket känslig för fukt. Miljön där produkterna skall användas måste undersökas innan arbetet börjar. Om det finns stora mängder fukt i luften kan den försämra epoxins härdningsprocess. Om inte epoxin tillåts härda korrekt kan också detta resultera i att bärförmågan sjunker. Även temperaturen påverkar härdningen. Leverantörernas rekommendationer för hur deras produkter används skall alltid följas även om andra rapporter och dokument säger annorlunda.

Slutligen så måste kolfiberförstärkningen liksom vanlig stålarmering förankras i konstruktionen. Förankringslängden för kompositen får vara max 250 mm. Erforderlig förankringslängd räknas ut. Om denna överstiger max längden kan kraften i förstärkningen inte förankras . Förankringen fungerar endast upp till denna längd. I händelse av att det beräknade värdet överstiger 250 mm måste mängden kolfiber ökas eller så måste kompositen förankras mekaniskt (Täljsten, 2006).

## 3.6 Förstärkningssystem och dimensionering

### *3.6.1 Grundläggande principer*

Dimensioneringen av bärande konstruktionselement är precis som alltid mycket viktig. Om konstruktioner samt förstärkningar underdimensioneras finns en uppenbar risk för ras eller att konstruktionen går sönder på annat sätt. För att inte tala om att det är emot lagen. Dimensioneringen av kolfiberförstärkning påminner om hur vanlig armering av stål dimensioneras, det krävs tillexempel förankringslängder därtill många värden används i båda fallen.

Partialkoefficienterna för laster samt säkerhetsklasserna enligt BKR används. I Sverige finns dock inga material eller utförandeberoende partialkoefficienter för CFRP i BKR. Vid dimensionering av kolfiberväv kan $\gamma_m$ sättas till 1,25 för den dimensionerande dragkapaciteten samt 1,1 för den dimensionerande styvheten. Vid dimensionering av kolfiberlaminat sätts $\gamma_m$ hållfastheten till 1,25 och koefficienten för E-modulen till 1,1 (Westerberg, 2006 & 2007).

I Täljsten 2006 föreslås en annan metod att komma fram till lämpliga partialkoefficienter $\gamma_m$ Denna koefficient beräknas matematiskt. Koefficienten påverkas av ett antal faktorer. Den slutgiltiga koefficienten varierar beroende på bland annat vilket system som används och lång- samt korttidslasterna som påverkar konstruktionen. Exempelvis så ger wet lay up metoden större partialkoefficienter än kolfiberbanden. Det beror på att systemet skapas för hand på arbetsplatsen. Laminatsystemen som kommer färdiga från fabrik produceras under mer kontrollerade former. Därför kan både partialkoefficienterna skilja sig åt beroende på vems produkter som används. Detta gäller även för dimensioneringsformlerna. Då även dimensioneringsanvisningarna skiljer sig mellan leverantörerna.

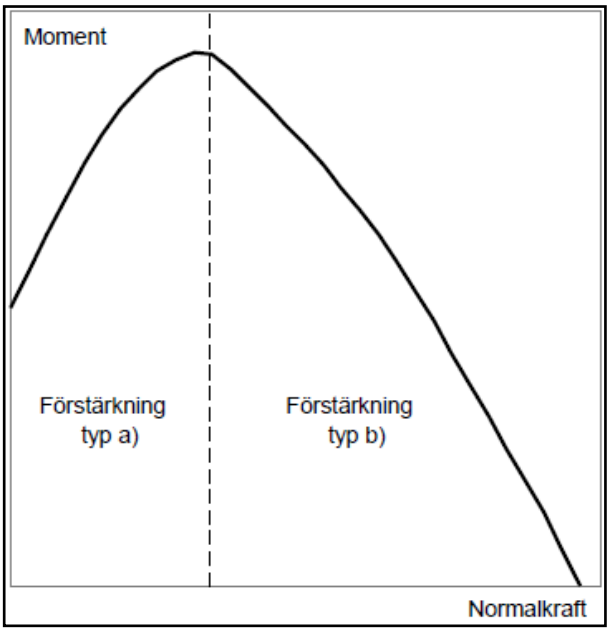
Det är viktigt att hålla reda på vilken dimensioneringsprincip som används för att missförstånd inte skall uppstå. Till skillnad från dimensioneringen av en stålbalk eller en betongpelare så är beräkningsgången för kolfiberförstärkning betydligt mer komplicerad. Den består av ett flertal steg där det är lätt att fel kan smyga sig in så projektören som utför arbetet måste vara mycket noggrann i sina beräkningar för att få ett korrekt resultat. Metoder för dimensionering skiljer sig också åt beroende på vilken typ av CFRP som används. Hur NSMR dimensioneras kommer inte tas upp i detta arbete, eftersom lämplig information inte fanns att tillgå. För utförliga grundläggande teorier, formler samt beräkningsexempel för de olika metoderna hänvisas läsaren till referenserna.

### *3.6.1 Omslutning av betongpelare*

Effekten bygger på teorierna kring poissons tal När något utsätts för tryck, exempelvis en pelare, så kommer dess längd att minska samtidigt som dess bredd ökar. I de fall då pelare eller balkar omsluts helt av kolfiberväv så används dessa beräkningsmetoder. Förstärkningen är till för att hindra ökningen i bredd vilket i sin tur hindrar att pelaren trycks ihop. Draghållfastheten i väven anges som kraft per längdenhet per lager väv i N/mm (Westerberg, 2006).

Här måste påpekas att beroende på formen av den konstruktionsdel som skall omslutas så bli beräkningarna olika komplicerade. Om en cirkulär pelare skall omslutas är det mycket enklare än om pelaren skulle vara fyrkantig. En fyrkantig pelare kräver betydligt mycket mer arbete.

Vid beräkning av dessa pelare måste speciella diagram användas. Det är också mycket viktigt att värdet i diagrammet räknas ut genom interpolering eftersom diagrammen är svåra att tyda. Interpoleringen ger också ett mycket mer exakt värde en ett värde som uppskattas ur diagrammet med blotta ögat. Dessutom ger interpolering ett exakt värde krafternas excentricitet spelar här en viktig roll i hur pelaren skall förstärkas. Desto mer excentrisk kraft desto bättre fungerar omslutningsprincipen.




Figur 9 Interaktionskurva som illustrerar vilken typ av förstärkning som bör användas i betongsnitt utsatt för tryck och böjning (Westerberg, 2006)

Excentriciteten är förhållandet mellan momentet och normalkraften i pelaren. Excentriciteten beräknas som $e = M_d/N_d$[5]. Om detta förhållande är 0 betyder det att kraften är helt centriskt men detta händer i stort sett aldrig. Enligt anvisningarna Boverkets handbok om betongkonstruktioner bör den som dimensionerar räkna med en minsta excentricitet om 20 mm. Sedan ingår självklart flera olika faktorer men för vidare utveckling av dimensioneringen hänvisas läsaren till referenserna.

Diagrammet visar vilken typ av förstärknings som är lämplig vid olika sorters belastning där typ a skapas av böjmoment som ger dragspänningar. Förstärkning av typ b blir aktuell vid stora normalkrafter. Det visar när man skall använda vilken typ av förstärkning. Om momentet som påverkar pelaren är högt, normalkraften låg, så bör pelaren förstärkas med laminatband som fästs längs med pelaren. Om

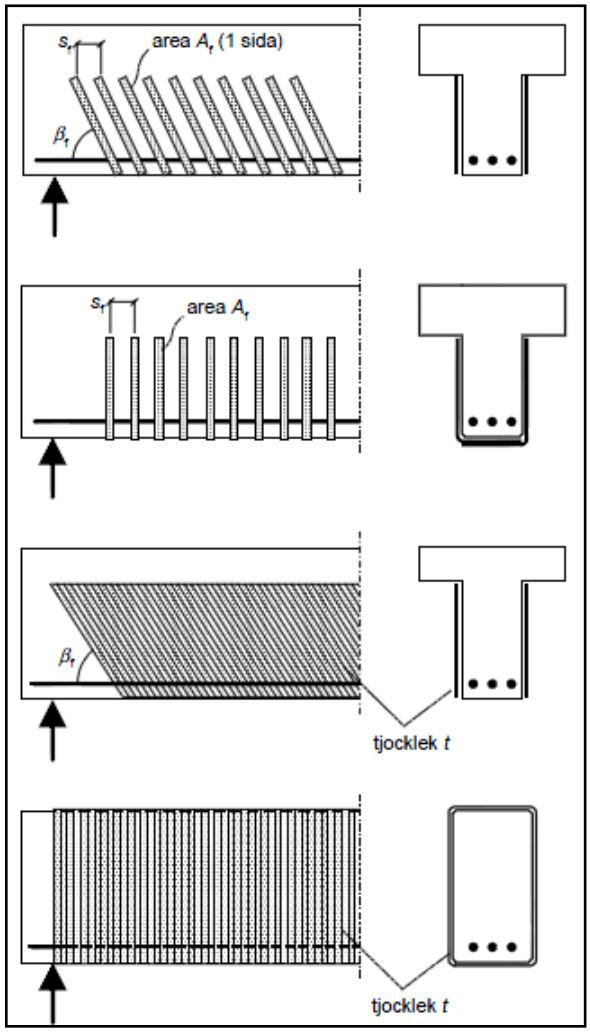
[5] Moment delat med normalkraft.

däremot normalkraften ökar så kommer slutligen den lämpliga förstärkningen övergå från längsgående laminat till väv som istället omsluter pelaren. Gränsen mellan de olika formerna av förstärkningar kan variera något beroende från fall till fall.

### 3.6.2 Böjmomentförstärkning

Laminaten limmas på undersidan av balkar eller betongplattor. Banden kan då ta upp spänningarna som skapas när ett konstruktionselement böjs. Laminaten går även att fästa längs med betongpelare för at förhindra böjning. Bandens hållfasthet mäts i MPa[6]. Metoderna för dimensionering av kolfiberlaminat vilka tar upp spänningar som skapas av moment är enklare än de som används vid omslutningseffekten. I dessa fall behöver inga diagram användas. Formen på elementet behöver inte has i åtanke eftersom förstärkningen limmas på undersidan.

När beräkningar för deformationer på grund av nedböjning utförs så finns det överslagsberäkningar att tillgå. Genom överslagsberäkningarna går det att beräkna momentkapaciteten i ett tvärsnitt av balken eller erforderlig area på förstärkningen (Westerberg, 2007). De fungerar jättebra men om mer noggrannhet krävs går det att utveckla beräkningsgången. Andra begrepp som också används inom denna typ av förstärkning som fungerar på samma sätt som vid armering är förankringslängd, även det balanserade armeringsinnehåll. Som sagt tidigare så är detta mycket enklare än att beräkna omslutning av en pelare. Detta känns därför som en naturlig startpunkt för dem som vill lära sig använda kolfiberförstärkning. Det finns ett litet undantag. Om mekaniska armeringsinnehållet överstiger den balanserade armeringen blir beräkningarna mer komplicerade.




Figur 10 Fyra sätt att förstärka en betongbalk för att klara större skjuvkrafter (Westerberg, 2006)

### 3.6.3 Tvärkraftsförstärkning

För att förstärka med kolfiber som skall ta upp tvärkrafter så går det att använda både väv eller laminat. Om väv används omsluts balken. Vid T-tvärsnitt är det lämpligast att använda laminat som endast sitter på balkens sidor alternativt görs banden något längre. Laminaten kan då också fästas längs sidorna tillika på balkens undersida. Det går att använda väv vid T-tvärsnitt. Då sågas hål i T-tvärsnittets ”skarv” där väven träs igenom för att sedan kunna dras runt och helt omsluta balken. Laminaten går att sätta vinkelrätt i balkens höjdled men det går även att sätta den i olika vinklar beroende på hur skjuvkrafterna ser ut i balken.

[6] MPa = N/mm$^2$

Genom att göra uträkningar för att därefter analysera hur skjuvsprickorna kommer se ut går det att sedan att planera hur laminaten skall sitta. Om en balk omsluts med kolfiberväv så sitter i regel fibrerna vinkelrätt med balken.

## 3.7 Krav på förstärkningen

När nya metoder och produkter börjar användas är det viktigt att faktorer som kan förstöra dem undersöks och utreds. I detta sammanhang är det särskilt viktigt på grund av att byggnader förväntas hålla i många år. Livslängden på byggnaden kan aldrig bli större än livslängden på elementen som ingår i byggnaden om de inte byts ut eller repareras. Faktorer som påverkar förstärkningar negativt förstör därför hela byggnadens livslängd. I en artikel som gavs ut för några år sedan i USA undersöktes inom vilka områden det fortfarande saknades information om fiberförstärkningar, inte bara kolfiber (Kandahari, Chin, Reynaud, 2000). I denna artikel uppmärksammans sju områden där det fortfarande finns luckor i informationen. Men eftersom detta var för nio år sedan har mer forskning utförts vilket medför att större mängd information finns att tillgå. Trots att mer information om hur problemen skall lösas finns tillgänglig så måste den användas på rätt sätt. De sju problemen som togs upp var

- Fukt.
- Basisk miljö.
- Utmattning.
- Effekter av temperatur.
- Krypning.
- UV- strålning.
- Brand.

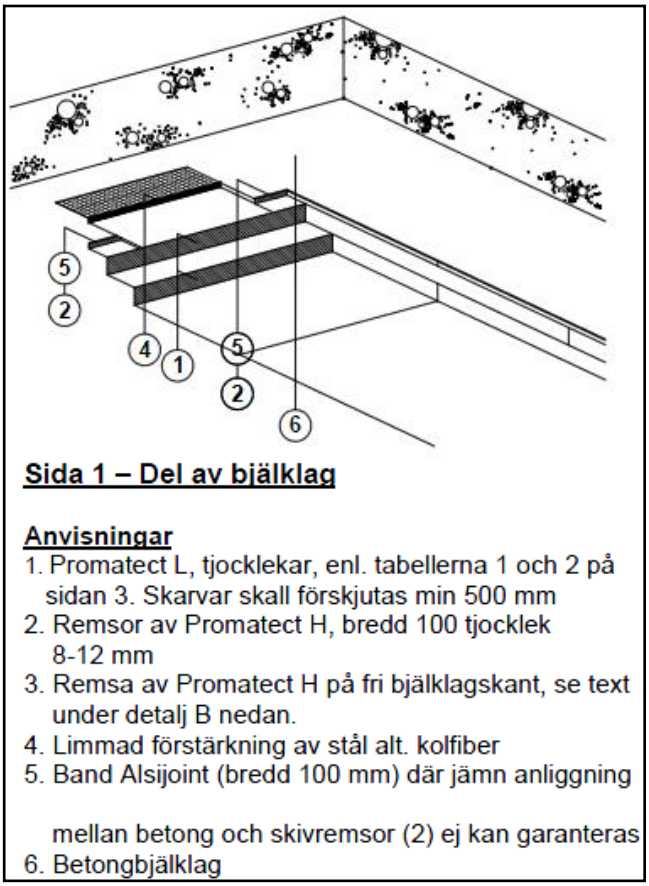
Fukten påverkar främst härdningen av epoxin samt dess vidhäftningsegenskaper som redogjorts tidigare i arbetet. Basisk miljö ingen stor riskfaktor. UV- strålningen kan dock ge kompositen försämrade egenskaper. Studier visar att förstärkningar gjorda med aramidfibrer drabbas betydligt hårdare än förstärkningar med antingen kolfiber eller glasfiber. Det finns också en studie som visar att ingen försämring uppkommer i någon av de olika fiberförstärkningarna (Dejke, 2001).

Som tur är så skyddas förstärkningar enkelt mot UV-strålning. Kompositen kan målas med skyddande färg eller byggas in med ett brandskydd som då också skyddar mot strålning. NSMR skyddas automatiskt mot strålning eftersom den byggs in i konstruktionen.

Temperaturvariationer samt hur förstärkningen beter sig i kallt klimat har undersökts av forskare (Green, Dent, Bisby, 2003). De utförde experiment på 27 balkar som förstärkts med kolfiberkomposit samt glasfiberkomposit. Balkarna utsattes sedan för 200 cykler där de först förs ned för att sedan återigen tinas upp. Efter denna undersökning kunde det konstateras att förstärkningen inte tog någon skada av de varierande temperaturförhållandena.

Som sagt så är kolfiberförstärkningen väldigt beständig, men den måste skyddas. Värme är ett stort problem när det gäller kolfiberförstärkning. Epoxi som finns i kompositen såväl som fogarna mellan kompositen och betongen är väldigt känsliga för värme. Redan vid temperaturer över 50°C kan dess hållfasthet påverkas negativt. Dimensioneringsanvisningarna gäller bara om temperaturerna ligger under denna gräns. De gäller därutöver inte om förstärkningen inte placeras i väldigt skadliga miljöer (Westerberg, 2006). Kolfiberförstärkningen måste byggas in eller på annat sätt skyddas i händelse av brand annars rasar konstruktionen om förstärkningen brister. Olyckslaster som brand är en av de värsta omständigheter som kan drabba förstärkningen. Byggnader är konstruerade med brandceller. Cellerna har krav på sig för att de skall hålla visst länge i avseende av brand. Brandskydd betecknas vanligtvis

med en kombination av tre bokstäver samt en siffra som beskriver hur lång tid brandskyddet kommer att hålla.




Figur 11 Brandisolering av kolfiberlaminat (Cembrit Tepro AB (2004)

De tre bokstäverna som används är R vilket står för bärförmåga, E vilket står för integritet samt slutligen I som står för isolering (Boverket, 2008). Företaget Cembrit Tepro AB är en leverantör av brandskydd till kolfiberförstärkning. Deras system Promatect är ett typgodkänt brandskydds system vilket fungerar för bland annat kolfiberförstärkning. Promatect har brandklassen EI 30-90(Cembrit Tepro AB, 2004)

Förstärkningen kan skyddas på olika sätt men som vanligt så bör leverantörens anvisningar alltid följas. Systemen bör alltid användas i sin helhet och inte kombineras med andra, de är utarbetade för att fungera i sin helhet. Om kompositen från en leverantör används tillsammans med epoxin från en annan så kan det skapa problem. Eftersom leverantörernas olika system har testas var för sig så kan de vara olämpliga att använda tillsammans med andra system.

### *3.7.1 Fukt på arbetsplatsen*

Betong innehåller från början en stor mängd byggfukt som måste torkas ut. Det kan sägas att betongen uppnått en tillräckligt låg fukthalt när dess relativa fuktighet inte överstiger den rådande luftfuktigheten i luften som finns runtomkring. Jämviktstillstånd mellan luften och betongen har uppnåtts. Det ställs en del krav på fukt samt temperatur som måste uppfyllas. Om inte dessa krav uppfylls måste åtgärder vidtas eftersom förstärkningarna annars blir felaktigt utförda. CFRP förstärkning bör inte sättas upp om temperaturen i luften är mindre än 5°C från daggpunkten. Temperaturen vid betongytan får inte understiga 10°C. Förutom detta så måste den relativa ånghalten i luften ligga under 80 % (Rehabcon, 2000). Vid lägre temperaturer kan inte epoxin härda korrekt. En separat värmekälla måste då användas för att öka temperaturen på arbetsplatsen. Ökningen av temperaturen leder också till att luftens mättnadsånghalt ökar vilket gör att den relativa luftfuktigheten sjunker om ingen mer fukt tillkommer.

Hur mycket fukt som luft kan innehålla innan kondens bildas varierar beroende på temperaturen. Varmare luft har större mättnadsånghalt och kan varm luft kan därmed innehålla mer fukt. Om lufttemperaturen sjunker men ånghalten i luften förblir densamma kommer slutligen mättnadsånghalten bli lika stor som den relativa ånghalten. Detta tillstånd kallas daggpunkten, om temperaturen sedan fortsätter sjunka kommer fukt att fällas ut i form av kondens (Sandin, 1990). Även olyckor kan reducera kolfiberns hållfasthet. Slag och stötar som orsakas av att den ytliga kolfibern blir påkörd eller liknande måste undvikas. Behoven av att förstärkningarna måste skyddas gör att NSMR

har fördelaktiga egenskaper jämfört med de andra typerna av förstärkning som sätts på utsidan av en konstruktion. Eftersom NSMR gjuts in i konstruktionen får de automatiskt ett bättre brandskydd än de övriga förstärkningstyperna.

Allt förarbete med att få betongen ren blir ogjort om kompositen själv blir nedsmutsad. Hanteringen är viktig även här. Undvik byggdamm, fettfläckar från fingrar samt liknande föroreningar som kan smutsa ned förstärkningen. Innan montering bör laminaten torkas av för att bli helt rena (Sika Sverige AB, 2006).

## 3.8 Ackreditering, certifiering och standarder

### *3.8.1 Ackrediteringsorgan*

I Sverige finns ett ackrediteringsorgan som heter SWEDAC, Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll. De sysslar med ackreditering av laboratorier, mätverktyg, organisationer m.m. Mats Hemer vid SWEDAC industri kontaktades för en telefonintervju. De får ackreditera organ vilket betyder att det organet som är ackrediterat uppfyller gällande krav som tillåter dem att certifiera produkter samt tillverkningen av produkter. Det ackrediterade certifieringsorganet får [7]sedan arbeta med certifiering. En ackreditering kan återkallas om det visar sig att ett organ bryter mot kraven som är standardiserade i SS-EN 45 011:1998 förutom ett par undantag, första styckena i 4:3 och 13.3 (SWEDAC, 2000). Beroende på bransch så ser kraven såklart olika ut. Om en produkt certifieras bestyrks den. Produkten får på så sätt ett bevis på att den uppfyller gällande normer. Certifiering existerar för att garantera kvalitén på varor eller tjänster, det är en säkerhet för beställarna. Certifikat existerar inom alla branscher i Sverige.

Figur 12 Ackrediterade verksamheter tillåts använda detta märke (SWEDAC, 2009)

### *3.8.2 Certifiering av byggprodukter*

Det finns ett flertal olika certifikat som brukas i Sverige. Den äldsta som för tillfället håller på att avvecklas kallas för ett typgodkännande. Typgodkännande är något som endast används i Sverige, inte i övriga EU länder. En nyare typ av certifiering som kallas för CE märkning används allt oftare. CE märkningen för byggprodukter heter 89/106/EEG. Boverket är den myndighet som är ansvarig för dessa märkningar. Enklaste sättet att förklara begreppet CE finns på SIS (Swedish Standards Institute) hemsida. Förklaringen lyder.

Swedish Standards Institute 2009, http://www.sis.se/DesktopDefault.aspx?tabname=%40CEMarkning, 090522 10:30)

*CE står för Communautées Européenes, Europeiska gemenskaperna på franska. Att det finns ett CE-märke på en produkt betyder att tillverkaren eller importören intygar att den uppfyller EU:s (Europeiska Unionens) hälso-, miljö- och säkerhetskrav. CE-märket är även ett handelsmärke, det betyder att en CE-märkt produkt kan säljas fritt inom EU. För att veta vad som gäller för varje produkt behöver du de föreskrifter som överför direktiven. De krav som EU:s direktiv har överförs till svenska regler. Även bruksanvisningen som medföljer produkten är på svenska. Motsvarande regler ska finnas i alla EU-länder.(SIS, 2009)*

Tillsammans med CE märkningen så finns också ett dokument där tillverkaren av en viss produkt också garanterar att produkten uppfyller de säkerhetskrav som är fastställda inom EU.

[7] http://www.swedac.se/sdd/System.nsf/(GUIview)/index.html

Slutligen finns något som kallas för harmoniserade standarder. Detta är det ”starkaste” dokumentet. Det reglerar hela användningen för produkter. Det är inte bara kolfiberförstärkning som saknar en harmoniserad standard, vanlig stålarmering har förlorat sin standard. Men till skillnad från kolfibern så har stålarmeringen CE märkningar vilket gör dem till bestyrkta material.

Certifiering av byggprodukter skiljer lite grann från produkterna i andra branscher. Det är inte produkten i sig som skall vara certifierad utan det är när den sitter på plats i konstruktionen som certifiering skall gälla. Produkten i sig kan vara certifierade men som sagt så måste konstruktionen där den ingår också vara certifierad. Om ett material har blivit certifierat så kallas det för att materialet har fått bestyrkta egenskaper. I Boverkets konstruktionsregler (BKR) går det att läsa under punkt 1:4 att material skall ha bestyrkta egenskaper för att de skall få användas i konstruktioner. Informationen om bestyrkta material i BKR baseras på fastställda lagar i BVL samt Boverkets författningssamling (BFS).

I dagens läge finns två ackrediterade organ vilka arbetar med certifiering av byggprodukter och tjänster. De företagen är Nordcert samt Swedcert. CE- märkning är ofta en senare fråga. Grunden till at CE-märka ligger ofta i standarder. Certifieringen baserar sig i många fall på på materialet som finns i standarden, enligt Samir Redah.

### *3.8.3 Standardisering*

Standardisering av produkter är viktigt för att de skall kunna jämföras med varandra. Provning av förstärkningens förmågor kan också standardiseras. Runt om i världen har det gjorts väldigt mycket forskning kring ämne om kolfiberförstärkning. Det finns dock ingen internationell standard som beskriver hur förstärkningens hållfasthet bör testas. Därför är det mycket svårt att jämföra resultaten från olika forskargrupper eftersom de utformar sina egna metoder för att utföra experimenten. Resultaten som tas fram kan då endast gälla för just det förstärkningssytem som användes vid varje test (Dejke, 2001). Enligt denna källa så eftersöks en sådan standard.

1:4 Byggprodukter med bestyrkta egenskaper

Med byggprodukter med bestyrkta egenskaper avses i denna författning produkter som tillverkats för att permanent ingå i byggnadsverk och som antingen

a) är typgodkända eller tillverkningskontrollerade enligt bestämmelserna i 18–20 §§ BVL,

b) har visats uppfylla kraven i 4, 5 och 6 §§ BVL (CE-märkta produkter),

c) har produktcertifierats av ett certifieringsorgan som ackrediterats för ändamålet och för produkten i fråga enligt 14 § lagen (1992:1119) om teknisk kontroll eller

d) har tillverkats i en fabrik vars tillverkning och produktionskontroll av byggprodukten fortlöpande övervakas, bedöms och godkänns av ett certifieringsorgan som ackrediterats för ändamålet och för produkten ifråga enligt 14 § lagen (1992:1119) om teknisk kontroll. Produkten ska åtföljas av en deklaration utfärdad av tillverkaren om överensstämmelse med specifikationen för byggprodukten. Specifikationen kan vara en standard eller fullständiga tillverkningshandlingar. *(BFS 2006:12)*.

Figur 13 Boverkets krav på hur produkter kan certifieras (Boverket, 2008)

En standard skulle innebära att de olika resultat som forskare runt om i världen kommer fram till kan jämföras. På så sätt är det möjligt att skapa enhetliga resultat som kan jämföras. Resultaten skulle också kunna appliceras på flera system vilket skulle kunna leda till att resultaten blir mer användbara. Annars måste varje system undersökas individuellt för att ta reda på dess hållfasthetsegenskaper. Forskning som följer en standard blir mycket mer användbar eftersom resultaten kan tillämpas i många fler situationer.

SIS arbetar med standardisering i Sverige. En standard beskriver hur produkter skall användas. Standarden fungerar som en riktlinje för alla som kommer kontakt med en viss produkt. Om standarden följs kan projektören vara säker på att krav som ställs är uppfyllda. Standardisering sker i alla områden, färdiga standarder går att köpa från SIS hemsida. Det är också möjligt att prenumerera

på standarder för att vara säker på att de alltid är uppdaterade. SIS säger på sin hemsida att om standarder används kan flera av nedanstående positiva följder uppnås

- Säkrare produkter
- Främjar internationellt samarbete
- Underlättar kommunikation
- Minskar miljöbelastning
- Främjar teknisk och ekonomisk utveckling
- Minskar onödig variation
- Säkrar viss kvalitet
- Underlättar uppfyllandet av regler och rekommendationer
- Minskar antalet olyckor

Om standarder tas fram kan kunskap inom ett ämne spridas samt riktlinjer som alla kan följa skapas. Detta kan i sin tur leda till större medvetenhet kring material. För tillfället finns ingen standardisering för kolfiberförstärkning i Sverige. SIS kontaktades ifråga om standardisering och vad denna avsaknad kan bero på. I ett telefonsamtal med Samir Redha diskuterades standardisering och varför det inte finns någon för kolfiberförstärkning. I detta sammanhang kan det även bli tal om ett flertal standarder eftersom både produkterna och dimensioneringen kan standardiseras. Samir förklarar att det är väldigt mycket arbete med att ta fram en standard och anledningar till att det inte finns någon kan vara svåra att svara på. Det kan dels bero på att kolfiberförstärkning är relativt nya metoder och att de inte ännu anses som vedertagna. Först när sätten att arbeta anses som vedertagna brukar det bli tal om att ta fram en standard.

En annan anledning kan vara att ingen ännu tagit initiativ till att skapa en standard. SIS har en kommitté bestående av experter från diverse områden. Inför denna kommitté kan förslag till standarder läggas fram, sedan tas besluter om en standard skall utformas i samråd med dessa experter. Om ingen tagit initiativen inom SIS eller från någon utomstående person till att en standard behöver utformas så startar inte arbetet, enligt Samir.

# 4. Resultat

Här redovisas resultaten av de olika studierna som gjorts i arbetet. Problemformuleringen kommer också att besvaras under denna rubrik.

## 4.1 Resultat från litteraturstudien

Förhållandena på arbetsplatsen är också mycket viktiga. Om inte korrekt förarbete utförts av en entreprenör med rätt kunskaper kan det få ödesdigra effekter. Smuts kan få förstärkningen att lossna och skador på kolfibern kan få dem att gå sönder. Betongen måste slipas och partiklar måste avlägsnas, eventuellt kan utspädd saltsyra användas för att ta bort föroreningar. Temperaturen måste vara högre än 10 grader och relativa ånghalten får inte vara högre än 80 %. Det krävs också kunskap om hur konstruktionen fungerar i sin helhet.

För att kunskapen om produkter och deras användningsområden ska kunna spridas så finns ett flertal alternativ tillgängliga för att uppnå det. Standarder är ett kraftfullt verktyg som bör användas för att stärka ett material. Standarderna ställer krav som måste uppfyllas och de garanterar att material har en hög kvalité och personer som kommer i kontakt med standardiserade produkter kan vara säkra på att så länge standarden följs så skall inga problem uppkomma. Om inte standarder finns får tilliten till leverantörer, projektörer och entreprenörer fungera som riktlinjer.

Förstärkningen kan som sagts tidigare även användas utomhus i brokonstruktioner. Möjligheten att använda dessa produkter utomhus bör vara en väldigt stor anledning till att fortsätta att utveckla metoderna. Stöd för lämpligheten att använda kolfiberförstärkning utomhus finns i den tidigare redovisade rapporten som undersökte hur förstärkningen betedde sig om den frös ned och tinades upprepade gånger.

För att produkter skall få en bred marknad krävs det att de är erkända och har ett rykte om sig att fungera tillfredställande. Även om kolfiberförstärkning används idag finns det uppenbarligen visst motstånd mot det eftersom personer anser att det är jobbigt att dimensionera förstärkningen.

## 4.2 Resultat från intervjustudien

### *4.2.1 Intervjusvar från forskare*

Bo Westerberg vid Tyréns AB har upprättat dimensioneringsanvisningar för kolfiberförstärkning till företaget Sika AB som är en leverantör av olika förstärkningssystem. Forskare ansågs behöva ingå i studien eftersom det är hos dem som framtagandet av nya material har sin börja. På frågan om hur kolfiberförstärkning kan utvecklas ytterligare svarade han.

Bo Westerberg (2009)
*Långtidsegenskaper. Inverkan på genomstansningskapacitet av kolfiberförstärkning på ovansidan av en platta*

Långtidsegenskaperna är något som alltid är relevant när det kommer till byggnader samt byggnadsmaterial. Det beror helt enkelt på att byggnader förväntas ha så lång livslängd. De tekniska egenskapskraven måste uppfyllas under hela denna livslängd. Svaret visar också på att det fortfarande finns outforskade områden inom kolfiberförstärkning.

Det finns inga brister i de metoder som används i dagsläget anser Bo. Men genom att utveckla användningsområdena såsom han föreslagit i det tidigare svaret så kan användningsområdena utvecklas.

Bo Westerberg (2009)
*Nej, det finns tillräckliga kunskaper för att använda det, men ytterligare kunskaper, t.ex. enligt ovan, skulle kunna göra att man kan ha ännu större nytta av det.*

### *4.2.2 Intervjusvar från leverantörer*

Michael Andersson vid Sika AB bidrog också med sina åsikter i ämnet. Han är av samma åsikt som Bo om att metoderna är tillräckligt starka och betrodda i dagsläget. Han anser också att en stor del av ansvaret för spridning kunskaperna i ämnet är upp till leverantörerna. Vill de att deras produkter skall användas finns flera faktorer som de behöver ta hänsyn till

Michael Andersson (2009)
*Kolfiber är en fantastisk produkt som möjliggör en helt annan flexibilitet när det gäller förstärkning. Utvecklingen är upp till oss leverantörer, utbildning av kunder, marknadsföring hos föreskrivare och slutförbrukare är avgörande faktorer.*

### 4.2.3 Intervjusvar från beställare

Torbjörn Zettergren vid Vasakronan anser i samråd med sina kollegor att

Torbjörn Zettergren (2009)
*Risker vid framtida ombyggnader att man inte uppmärksammar förstärkningen eller har för lite kunskap i samband med ändringar. Risk att man spikar, skruvar eller borrar igenom förstärkningen.*

Detta kan vara lätt hänt om reparationsarbetet inte dokumenteras korrekt. Eftersom kolfibern också bör byggas in för att skydda den mot olyckor, särskilt brand, så är det svårt att veta exakt var förstärkningen är placerad. NSMR kan vara särskilt svår att upptäcka av den orsaken att den sitter inne i betongen. Det är möjligt att se på betongen var förstärkningen sitter om färgen på den gamla betongen skiljer sig från färgen på den färska betongen som användes för att täcka förstärkningen. Med tiden kommer dock denna färgskillnad minska, eller om ytan målas eller på annat sätt täcks så blir det i stort sett omöjligt att veta exakt var kolfibern är placerad om arbetet är dåligt dokumenterat. Finns skyddet noga dokumenterat i ritningar där dess exakta plats redogörs för så blir förstå situationen mycket enklare. Om väv används blir det ännu enklare att oavsiktligt skada förstärkningen eftersom väven ofta omsluter hela konstruktionen.

Torbjörn Zettergren (2009)
*Förbättring skulle kunna vara utmärkandet av kolfiberförstärkningen på plats och i samband med det viss info.*

Därför blir inte enbart dokumenteringen av förstärkningens egenskaper efter installationen viktiga utan även fortsatt dokumentering av byggnaden. Inför kommande reparationer eller underhåll så bör därför förstärkningen som använts dokumenteras. Exempel på hur förstärkningen skall uppmärksammas kan vara.

- Informationsblad eller en skylt som sätts upp på en närliggande vägg. Samma princip som för nödutgångsskyltar. På skylten kan det också finnas information om vilka som utfört arbetet samt kontaktinformation.
- Måla förstärkningen i klara färger eller använda sig av orange tejp. Problematiskt om förstärkningen skall synas så lite som möjligt.
- Noggrant dokumentera var förstärkningen sitter tillika vilket typ det är i byggnadens ritningar. Kan bli problematiskt om det är en äldre byggnad där det inte finns några uppställda ritningar.
- Om det finns rumsfunktionsprogram eller liknande information från projekteringsstadiet kan dessa uppdateras med information om var förstärkningen sitter.

En plan för dokumentering ställas upp där det finns råd och anvisningar hur förstärkningen bör markeras. Detta kan åstadkommas genom att lägga till en ny rubrik i installationsmanualen från leverantören som beskriver dokumentering. Alternativt kan företag utforma sina egna dokument där de tar upp vad de anser är viktigast. Det absolut bästa vore om kolfiberförstärkning standardiserades. Då kunde en mall för dokumentering tas upp i standarden.

### 4.2.4 Intervjusvar från projektörer

Kostnaden är troligen den vanligaste orsaken till att en viss metod väljs bort. Detta har såklart inte bara med produkten att göra. Men eftersom det krävs utbildning kan det hända att de entreprenörer som har denna utbildning inte existerar på så många ställen. Konkurrensen blir därför väldigt liten. Den låga konkurrensen leder även till ökade arbetskostnader. Denna insikt bidrog Richard Lundmark vid Ramböll AB med. Finns konkurrens kommer priserna i att pressas.

Richard Lundmark (2009)
*Finns ringa erfarenheter och ingen bred kompetens i branschen – begränsar till enstaka entreprenörer vilket ger låg konkurrens.*

Mikael Hallgren vid Tyréns AB anser att metoderna är mycket användbara. De har använts i många projekt. Kolfiberförstärkningen har visat sig fungera mycket bra. Ett problem som han belyser är dock att metoden inte är speciellt lämpad för äldre betong eller betong som tagit mycket skada på grund av att den varit placerad i utsatta miljöer. Förstärkningen är beroende av att betongen i sig också håller. Skapar lasterna stora sprickor i betongen kan det leda till att förstärkningen utsätts för laster i tvärled som knäcker fibrerna vilket får dem att lossna från betongen. Även om förstärkningen provdras för att undersöka om betongen håller finns det ingen anledning att förstärka betong som är svag rakt igenom. Mikael anser också att en standardisering skulle hjälpa väldigt mycket.

Mikael Hallgren (2009)
*Förutom nackdelarna beskrivna ovan är nog den dåliga kunskapen om förstärkningsmetoden fortfarande den största bristen. Det gäller både utförande och konstruktion/projektering. Den allmänna (kanske felaktiga) uppfattningen av att metoden är komplicerad medför att det fortfarande är många byggherrar, entreprenörer och konstruktörer som drar sig för att använda eller rekommendera metoden*

Kunskap är enligt honom samt flera andra fortfarande det största problemet. För att fler skall känna sig bekväma i att hantera produkterna måste utbildning bedrivas i större skala. Om en standardisering också funnits skulle det underlätta. Är det kanske också så att den allmänt spridda åsikten att dimensionering av kolfiberförstärkning är mycket komplicerat inte stämmer? Då kan utbildningen utföras enligt gällande standard. Företag som levererar produkterna kräver att projektörer måste genomföra deras utbildning för att vara lämpade att hantera deras material, men är detta tillräckligt?

Richard är inne på samma bana som Mikael. Han anser att avsaknaden normer påverkar spridningen av kolfiberförstärkning negativt. Bilden börjar nu bil ganska tydlig att reglering av metoderna i erkända svenska normer samt handböcker starkt skulle bidra till en ökad användning av kolfiberförstärkning. Enligt honom är normerna de viktigast. Certifiering samt arbetsutförande beskrivningar i AMA kommer i andra hand.

Richard Lundmark (2009)
*Saknas regler i normer eller normanknutna handböcker (BKR, Eurokoder, BBK). Fastställda regler som ger allmänt accepterade säkerhetsmarginaler etc krävs för bred spridning*

Långtidseffekter på kolfiberkompositen är fortfarande ett område där information saknas. Det beror helt enkelt på att metoderna är så nya. Mer information kommer att kunna samlas in under tiden som åren går. Detta är ett av de stora problemen med nya material, produkter som ser ut att fungera kan sedan visa sig att inte var lämpliga överhuvudtaget. Ett bra exempel på ett material som först verkade lovande men sedan slutade användas är asbest. Asbestfibrerna är ett utmärkt isolermaterial som dock orsakar stora skador om de andas in. Därför är det jätteviktigt att förstärkningen dokumenteras och att de hålls under uppsikt tills vidare, vilket forskare också gör med diverse metoder. Även om förstärkningen fungerar jättebra i dagsläget är det svårt att säga hur de kommer bete sig om många år. Men som det är nu så finns det inget som tyder på att problem kommer uppstå om några år.

Om delar från olika leverantörer används kan det leda till stora problem om något går snett. Om det inte säkert går att fastställa varför en förstärkning inte fungerat som förväntat och delar från olika system använts kan det vara svårt det innebära problem med försäkringar.

### *4.2.5 Intervjusvar från entreprenörer*

Tyvärr inkom inga resultat från denna yrkesgrupp. Detta beror till viss del på tidsbrist. Åsikterna från denna aktör är dock precis lika viktiga. Om mer omfattande intervjustudier utförs bör denna grupp undersökas mycket mer utförligt än vad som gjorts i detta arbete.

## 4.3 Förslag till en utbildningsplan

Ett av de problemen som finns i dagsläget är att de som dimensionerar förstärkningen samt utför arbetet med att sätta fast förstärkningen inte har tillräckliga kunskaper. Företagen som säljer CFRP anordnar kurser för att utbilda dem som kommer använda deras produkter. Detta görs för att försäkra sig om att arbetet utförs på ett korrekt sätt. Leverantörerna kräver att kursen genomförs innan deras produkter får användas. Det är ett mycket bra initiativ att ordna kurser. Det är också en nödvändighet. Om leverantörernas produkter användes av någon som inte var lämpad i en konstruktion där förstärkningen sedan går sönder kommer leverantören att få väldigt mycket dålig publicitet. Dock finns det fortfarande personer som arbetar med produkterna som ej borde göra det.

Om en standardisering för metoderna tas i bruk kommer det att underlätta utbildningen av personal betydligt. Om en standardisering funnits hade projekterings- samt entreprenadföretag kunnat hålla i egna utbildningar för sin egen personal istället för att behöva skicka iväg dem till utbildningar som leverantörerna ansvarar för. På detta sätt så skulle ansvaret för spridande av information inte enbart ligga på hos leverantörerna. Om företagen som vill utbilda sina anställda fick hålla i sina egna utbildningar kunde de också utforma dem efter vad som passar bäst för dem. Men för att detta skall vara möjligt så krävs en standardisering som underlag till utbildningen. Om det inte finns ett sådan gemensam riktlinje med krav som måste uppnås finns en uppenbar risk att brister i utbildningarna uppkommer. En annan risk med att utbildningarna utformas på eget bevåg är att de inte är applicerbara mellan olika förstärkningssystem. En standardisering skapar en kontinuitet i utbildningen vilket är önskvärt. Finns ingen kontinuitet kommer problemet med att resultaten av utbildning samt forskning blir väldigt specifikt för en vidd metod. Det skulle så småningom kunna leda till att utbildningen inte enbart innehåller förstärkning med kolfiber utan även andra sätt att reparera och underhålla betongkonstruktioner. Personer som slutfört den skulle sedan kunna ansöka om att bli certifierade samt få bestyrkt på papper att de är kunniga inom området.

Diskussion om hur en standardiseras utbildning skulle kunna vara uppbyggd kommer nu att föras. Ett flertal steg som skall en förståelse för alla principerna därtill teorierna kring förstärkningen bör ingå. Innehållet i kursen kan modifieras beroende på vilken kunskap de anmälda har. Delarna som diskuteras anser jag är nyckelmoment som verkligen direkt berör ämnet.

Det måste även ställas krav på de personer som håller i utbildningen. Dessa krav skulle också kunna finnas i en standard för kolfiberförstärkning. Om det ska finnas en kontinuitet i utbildningen måste det även finnas en kontinuitet i kunskapen hos dem som lär ut.

<u>Moment 1: Föreläsningar</u>

Föreläsningarna börjar med att presentera kursen tillika vad den kommer handla om. Innehållet i detta moment skall beröra grundläggande teori kring betongkonstruktioner samt vilka dokument som bör undersökas innan de förstärks. Föreläsningarna bör ta upp vikten av att en grundlig utredning över konstruktionen görs och vikten av att dokumentera allt arbete som kommer utföras. Här läggs också lämpligtvis information om vad kolfiberförstärkning är för produkter. De olika systemen för förstärkning av böjning, tvärkraft och omslutning behandlas. Viktiga principer för att de olika systemen skall fungera diskuteras. Föreläsningarna tar kanske en eller ett par dagar. Både

projektörerna och entreprenörerna går tillsammans på dem för att få kunskapen om alla skeden i processen. De avslutas förslagsvis med en diskussion.

Moment 2: Fördjupning

När de inledande föreläsningarna är slutförda delas de anmälda in i två grupper. Projektörer för sig och entreprenörer för sig. Meningen med detta är att eftersom de har olika roller så skall de få tid till att fördjupa sig i det område som berör just dem. Detta moment bör övervakas av personer med större erfarenhet i ämnet. Deras roll är att bidra med hjälp, tips samt att kontrollera att de som går kursen förstår vad som pågår.

Projektörer: I detta moment fortsätter utbildningen med fördjupande beskrivningar av dimensioneringsanvisningar samt beräkningsgång för de olika metoder som finns tillgängliga. Alla system bör undersökas samt olika fall där systemen kan användas. Tid ges till att prova på beräkningarna, kursdeltagarna får känna sig för genom lämpliga räkneexempel. Eventuellt kan det vara lämpligt för deltagarna att prova på dimensioneringsanvisningar som utarbetats i andra länder för att jämföra resultaten och på så sätt ge större förståelse. Övningen avslutas med en genomgång av svaren på räkneexemplen. De kan jämföras med svaren som inkommit från kurstagarna. Vid en sådan genomgång så kan de vanligaste felen uppmärksammas. Varför felen uppstår samt hur de kan de undvikas går sedan att diskutera.

Entreprenörer: Teorin för denna grupp fokuserar mer på hanteringen av produkterna därtill hur montering av systemen går till. Här förklaras produkterna mer i detalj samt hur de skall fästas mot betongkonstruktionen. Till skillnad från projektörernas fördjupning så är denna mycket mer praktisk. I momenten ingår hur förarbetet med att slipa betongytan görs, hantering och blandning av epoxi. Själva monteringen av kompositen samt hur provning av den befintliga betongens hållfasthet behandlas också. Det skulle kunna vara lämpligt om betongplatta eller liknande fanns att tillgå där kursdeltagarna fick sätta upp olika former av förstärkning för att få en känsla för metoderna. Detta steg kan avslutas på samma sätt som för projektörerna. Den som övervakar arbetet bör undersöka hur förstärkningen utförts. Eventuella fel som uppdagas bör belysas eller diskuteras på annat sätt.

Moment 3: Tillämpning

Momentet är till för att vidareutveckla kunskaperna om metoderna som behandlades i förra momentet. Här kommer kunskaperna att användas i ett verkligt projekt. Grupperna kommer att slås samman igen. I detta steg vore det mycket bra om en riktig betongkonstruktion som behöver förstärkas finns tillgänglig. Beroende på konstruktionen kommer fokus troligen hamna på ett av systemen beroende på vad som skall förstärkas. En verklig situation medför ett större ansvar och motivationen höjs. Detta är en motivering till varför det är bättre att företag håller i sin egen utbildning enär de får in projekt. Annars bör utbildningen läggas hos något större institut som har tillgång till laboratorier eller liknande. Om inte projekt finns att tillgå är det en mycket mer fördelaktig lösning.

Förslagsvis har redan förarbetet med att utreda konstruktionen gjorts av den orsaken att det skulle innebära för mycket jobb. Projektörerna får de uppgifter som behövs. Sedan börjar de reda ut vilken typ av förstärkning som är lämplig samt i vilket utsträckning konstruktionen behöver förstärkas. Samtidigt så förbereder entreprenörerna arbetsplatsen inför det kommande arbetet. De måste se till att alla faktorer som smuts samt fukt har tagits om hand på rätt sätt samt att lämplig arbetsklädsel används. Arbetet övervakas precis som vanligt av kunniga personer. När dimensioneringen är färdig samtidigt som arbetet med monteringen börjar så ansluter sig projektörsgruppen till entreprenörerna där de även får ta del av monteringsarbetet. På det sättet får projektörerna information av hela

processen och får se sina beräkningar tillämpas. Detta moment kan avslutas med att de färdigmonterade förstärkningarna inspekteras.

Moment 4: Erfarenhetsåterföring

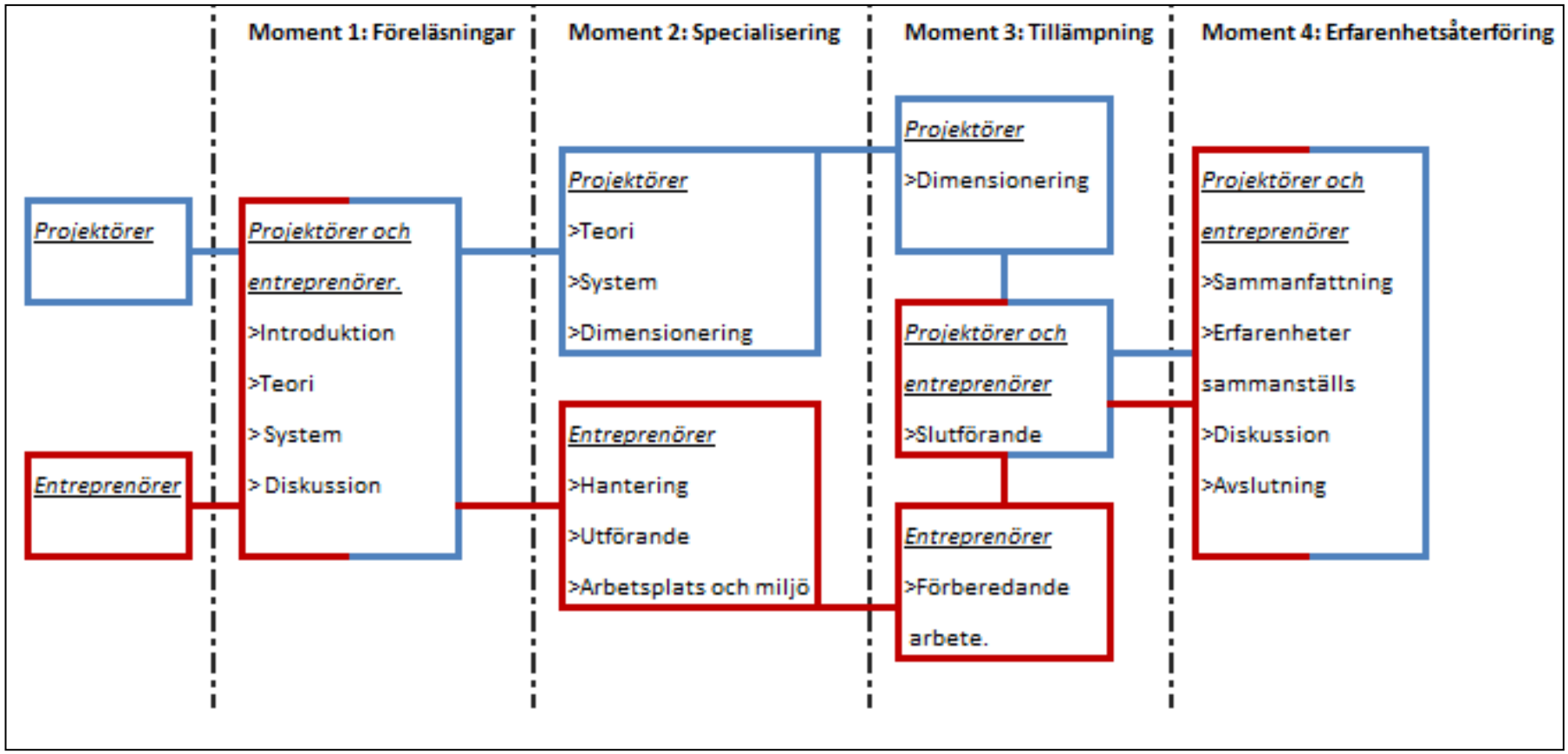
Efter avslutat arbete samlas de inblandade igen för att dela med sig av sina erfarenheter i en slutföreläsning. Här får entreprenörerna ta del av dimensioneringen för att de också skall få kunskap om hela processen. I slutföreläsningen kan den viktigaste informationen sammanfattas därtill delges de närvarande. Det kan även ingå en diskussion i mindre tvärgrupper bestående av projektörer tillsammans med entreprenör. Tvärgrupperna kan därefter återigen samlas för att delge sina åsikter om utbildningen. Kursen avslutas med en dokumentering av vad som varit bra eller dåligt så den kan utvecklas till nästkommande omgång kurstagare.

Problemet med verkliga projekt är att de ofta utförs av en enskild firma och inte flera olika. Varje företag har inget behov av att utbilda så många att ett kurstillfälle fylls. Men om en grupp med 5 projektörer samt 5 entreprenörer kan utgöra gruppen för en utbildning. Möjligheten att utbildningen kan kopplas samman med ett verkligt projekt tror jag att det skulle vara till stor nytta för alla inblandade.

Sammanfattningsvis kan utbildningen sägas innehålla och bidra med

- Grundläggande utbildning med föreläsningar. Kanske ett slutseminarium och diskussion i tvärgrupper där projektörer och entreprenörer kan dela med sig av sina åsikter.
- Praktisk tillämpning för både projektörer och entreprenörer.
- Erfarenhet som samlats i den praktiska tillämpningen skall delges de olika aktörerna för att skapa en medvetenhet om kritiska faktorer. Det ger kunskap över hela området.
- Slutlig montering tillika verklig användning av det som tagits upp i utbildningen. Denna träning kan ge bättre självförtroende samt tillit i sina egna kunskaper.
- Tack vare utvärdering på slutet av utbildningen kan den göras effektivare desto fler gånger den genomgörs

På detta sätt anser jag att en utbildning bör vara upplagd. Hur leverantörer gör i dagsläget och vad deras utbildning kostar i förhållande till det jag tagit upp här har inte undersökts. På sida 30 finns en schematisk bild som också beskriver utbildningsgången. Den ger en sammanfattande bild och är mer överskådlig än den tidigare texten som beskrivit stegen.




Figur 14 Schematisk bild som beskriver momenten i utbildningen, med system menas i detta fall olika typer av förstärkningar

Med en väl formulerad utbildning samt en standard som stödjer den så kan den råda bot på mycket av bristen på kunskap som för tillfället inom ämnet. Det finns som sagt utbildningar redan idag men de kan kännas mer specialiserade mot den egna leverantörens produkter, vilket det inte är något fel med. De vill självklart sälja sina produkter. Mer allmän utbildning kan vara önskvärd i vissa situationer.

## 4.4 Metodik vid påträffande av nya produkter

Det är väldigt för projektörer samt entreprenörer att arbeta metodiskt och systematiskt när de kommer i kontakt med material de inte varit i kontakt med tidigare. Om personal slänger sig in i ett ämne hals över huvud utan att egentligen veta vad det handlar om kommer problem ofrånkomligen uppstå senare i arbetet.

Om en projektör får i uppdrag att förstärka en byggnad bör denne alltid läsa igenom anvisningarna som finns i BÄR. De måste alltid följas när en byggnad utsätts för annan ändring än tillbyggnad. Förundersökningen är ett mycket viktigt steg som alltid bör göras för att undvika överraskningar senare i arbetet. Förundersökningen kan ligga som grund till det fortsatta arbetet. Förundersökningen kan också ge kunskap om vilka metoder som kan tänkas bli aktuella att använda vid arbetet. Om arbetet påbörjas med en viss metod som sedan visar sig vara väldigt olämplig tar det mycket tid att rätta till det problemet. Sådana saker kan förhindras med förundersökningen.

Sedan bör projektören sätta sig in i vad som skall göras och på vilket sätt målen skall uppnås. Konstruktionen bör utredas och den lämpligaste metoden för förstärkning bör väljas. Om förstärkning med kolfiber är aktuellt bör projektören alltid genomgå utbildning. Även om projektören har erfarenhet med tidigare förstärkningsprojekt där kolfiberförstärkning inte använts så krävs extra kunskaper på grund av att dimensioneringen av kolfiberförstärkning kräver en del extra arbetsmoment. Metoderna för att förstärka med kolfiber är så pass komplicerade att extra utbildning i princip är ett måste. Annars är risken för grova fel överhängande.

Om det visar sig att lämpliga åtgärder innefattar produkter projektören känner sig osäker på hur de fungerar så bör han/hon först och främst sätta sig in i hur produkterna fungerar, vilka dokument som anses som riktlinjer samt vilken utbildning som är relevant.

Dessa olika steg kan kännas självklara men det är ändå aldrig fel att uppmärksamma dem ytterligare. Om något steg försvinner ur processen av misstag kan det innebära försenade reparationer och större kostnader.

# 5. Diskussion

Ett problem som uppkommer kontinuerligt både i litteraturstudien och i svaren från intervjuerna är att det fortfarande är dyrt att använda kolfiber. Kostnaden för att utföra reparationer kan säkert avskräcka beställare från att använda kolfiberförstärkning. Trots allt vill beställare ha så billiga projekt som möjligt, även om en produkt är rätt för ett arbete så kan kostnaden få byggherren att välja andra billigare arbetssätt. Men å andra sidan så finn det ibland inga alternativ, som tillexempel när rumshöjden kommer att förstöras om balkar används. Beroende på om det skapas en bredare marknad för denna typ av förstärkning så kan priset sjunka. Men det kommer med största sannolikhet aldrig understiga priset för stålbalkar för de används i så många fler situationer. För beställaren är det den totala kostnaden som är mest intressant. I denna kostnad ingår både drift-, underhålls- och reparationskostnader. Den totala kostnaden för hela byggnadens livslängd är viktig.

Det kan bero på att förstärkningarna inte kan massproduceras i samma skala som stålbalkar som leder till att kolfibern blir dyrare. Balkar har trots allt ett betydligt bredare användningsområde. De kan nyttjas i betydligt fler situationer. Framförallt så används de vid nyproduktion. Kolfiberförstärkningen kommer inte konkurera ut stålbalkar utan jag tror att de snarare kommer fungera som ett komplement till redan befintliga förstärkningsmetoder.

Något jag inte träffat på i litteraturen är vad som händer om förstärkningen går sönder eller skadas. Hur dyrt är det att åtgärda trasiga förstärkningar? Går de ens att laga eller måste nya förstärkningar sättas på plats? Detta anser jag är mycket viktigt. Det borde finnas en plan eller någon form av riktlinje som beskriver förfarandet vid reparation av förstärkningen. Det står på flera ställen hur viktigt det är att dimensioneringen samt monteringen utförs korrekt, men vad händer om något går fel? Detta är något jag personligen skulle vilja veta mer om.

Totalt skickades 18 intervjuer ut, tyvärr inkom bara ett fåtal svar. Intervjustudien planerades att göra ännu bredare men på grund av den dåliga svarsfrekvensen från det första utskicket likväl tidsbrist så fortsatte jag inte jobba vidare på den. Men det var ingen dålig idé för de svar som kom in var mycket givande. Telefonintervjuer är ett alternativ men det är svårt att få tag i rätt person. Det märktes i telefonintervjuerna som gjordes för att undersöka standardiseringen. De som ringdes upp var mycket hjälpsamma men det är svårt att få tag i någon som har den verkliga informationen som söks. Därför ansåg jag att det inte var något jag kunde göra med större företag.

I svaren som inkommit från intervjuerna har dock en del intressanta frågeställningar uppkommit. Både vad gäller dokumentationen av arbetet samt när det lämpar sig att använda kolfiberförstärkning. Detta var en av de största fördelarna med att göra intervjuer, flera frågeställningar som jag inte reflekterat över kom på tal. Om intervjuerna kunde gjorts mer omfattande är jag helt säker på att ännu fler områden kunnat diskuteras. Ytterligare frågor och idéer hade med all säkerhet uppdagats i en större intervjustudie.

Det största problemet enligt mig är dock att det inte finns klara riktlinjer i standarder eller byggnormer. Som det påpekats i rapporten så utformas forskning och utbildningar av separata aktörer vilken leder till att resultaten inte kan jämföras med varandra. Forskningen borde kunna appliceras på alla produkter för att vara till så stor nytta som möjligt. Systemen fungerar såklart likadant men vad händer om något går fel? Kan det då uppstå problem när systemen som använts inte undersökts utan dimensioneringen samt monteringen baserats på testresultat från helt andra system? Detta kanske bara är jag som är skeptisk men ofta känns det som att personer vill ha nedskrivet svart på vitt att en

produkt är godkänd. Det verkar dock inte vara ett stort problem i detta fall, kolfiberförstärkning används som sagt mer och mer.

Men eftersom det står både i litteraturen samt svaren från intervjuerna att bristen på kunskap är ett problem tycker jag det är en väldigt stark motivering till att en standard skall upprättas. Personligen anser jag att det var väldigt svårt att hitta information om certifiering och standardisering för det fanns en uppsjö dokument som styr olika saker. Det kan hända att kolfiberförstärkning är certifierat i andra länder inom EU som sedan leder till att de blir godkända i Sverige. Jag har dock kontaktat personer och frågat om att få titta på certifiering men fått till svar att det inte finns någon i Sverige.

Det verkar som att uppfattningen om att det är svårt att använda kolfiberförstärkning inte är riktigt befogad. Såvitt jag vet så finns det väldigt få saker som är lätta i början plus. Sedan finns det problem som måste övervinnas oberoende av vilka metoder eller produkter som används. Känslan jag får är att de flesta inte riktigt fått upp ögonen för kolfiberförstärkning. Om ett antal år när kunskapen spridits ytterligare samt om en standard sammanställs tror jag att metoderna kommer användas i större utsträckning. Personer är bara rädda att ta klivet och använda sig av nya idéer.

# 6. Slutsatser

Kolfiberförstärkning av olika former är ett väldigt effektivt och användbart material. Den låga vikten och förmåga att ta stora laster gör den mycket lämplig att använda vid förstärkningsarbeten och andra reparationer. Särskilt där andra typer av förstärkningar som tillexempel stålbalkar inte är ett alternativ. Dra dock inte den förhastade slutsatsen att detta är någon form av mirakelmaterial som bara går att limma på hur som helst. En nyutexaminerad byggnadskonstruktör, inte heller redan etablerade konstruktörer bör ge sig på att använda kolfiberförstärkning utan vidare. För att förstärkningen skall fungera korrekt så måste flera aspekter uppfyllas.

Beräkningsgången för förstärkningen är i vissa fall komplicerad och tidskrävande. Även den enklaste form av förstärkning orsakad av böjdragmoment är svår att förstå för en person som är ny inom området. Flera olika dimensioneringsmetoder finns tillgängliga. Dimensioneringsanvisningarna ser olika ut beroende på vem som utformat dem, formler och liknande skiljer sig åt. För att få hålla på med detta material så bör både projektören som genomför dimensionering och entreprenörer som monterar produkterna genomgå utbildning. Företagen som levererar produkterna håller i undervisning som de kräver att projektörerna genomgår innan de anses lämpade att använda kolfiberförstärkning. Det går såklart att använda sig av datorprogram som exempelvis Microsoft Excel för att skynda på beräkningen. Även om datorprogram används måste konstruktören vara insatt i ämnet för att kunna dra vettiga slutsatser. Kort sagt metoderna bör inte användas av nybörjare som inte besitter tillräckliga kunskaper. När kunskaperna erhållits är det dock ett mycket användbart material.

Förhållandena på arbetsplatsen måste vara inom rekommenderade gränser annars kan förstärkningen försämras. Trots att kolfiberkompositen inte korroderar så påverkas den fortfarande av fukt. Det är inte kolfibern i sig som påverkas utan epoxin. Denna vidhäftare är mycket känslig för fukt. Fukten är det allvarligaste problemet vid montering av CFRP. Fukten försämrar vidhäftningen mellan betongytan och förstärkningen.

Även brand är en stor riskfaktor för kompositen. Detta beror också på att epoxin är känslig för höga temperaturer, kolfibern i sig är inte känslig för brand. Därför är det mycket viktigt att förstärkningarna brandskyddas för att klara av det tekniska egenskapskrav som ställ på brandsäkerhet.

## 6.1 Förslag till fortsatta studier

- Utförligare undersöka hur kolfiberförstärkning används ute på marknaden. Titta på i hur många projekt de använts och om det var på tal om att använda kolfiberförstärkning men det valdes bort vad beror det på.
- Påbörja arbetet med att ta fram en standardisering för kolfiberförstärkning och dimensioneringen av förstärkningen.
- Arbeta för att CE- märka produkterna och metoderna.
- Eftersom bristen på utbildning verkar vara så pass omfattande bör en ordentlig utbildningsplan tas fram. Denna utbildningsplan måste ha stöd i en standardisering.

# 7. Referenser


I. Augustsson, Curt (2004) *NM epoxihandbok upplaga 3.* Nils Malmgren AB.

II. Boverket (2003) *Regelsamling för konstruktion - Boverkets konstruktionsregler, BKR:* ISBN: 91-7147-740-3.

III. Boverket (2006) *Allmänna råd om ändring av byggnad, BÄR:* ISBN: 91-7147-984-8.

IV. Boverket (2008) *Regelsamling för byggande, BBR:* PDF: ISBN 978-91-86045–02-9.

V. Burström, Per-Gunnar (2001) *Byggnadsmaterial – Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper.* Studentlitteratur ISBN 91-44-01176-8.

VI. Carolin, Anders (2003). *Carbon fibre reinforced polymers for strengthening of structural elements*; Diss. Luleå: Luleå tekniska univ., 2003.

VII. Carolin, Anders (2001) *Strengthening of concrete structures with CFRP – Shear strengthening and full scale applications;* Licentiate thesis. Luleå university of technology, Division of structural engineering. ISSN: 1402-1757.

VIII. Cembrit Tepro AB (2004) *BRANDSKYDD AV KOLFIBERREMSOR; Byggteknisk anvisning Publ 216 BSAB: KFD. Produktpärm FIBERCEMENTSKIVOR flik 7.*

IX. Dejke, Valter (2001). *Durability of FRP reinforcement in concrete: literature review and experiments*. Lic.-avh. Göteborg: Chalmers tekn. högsk., 2001.

X. Green, Mark F; Dent, Aaron J.S; Bisby, Luke A (2003) *Effect of freeze-thaw cycling of the behavior of reinforced concrete beams strengthened in flexure with fibre reinforced polymer sheets* Canadian Journal of Civil Engineering, *30*(6), 1081-1088. hämtad 19, 2009, doi: 10.1139/L03-059.

XI. Kandahari, Vistasp M; Chin, Joannie W; Reynaud, David (2000) *Critical gaps in durability data for FRP composites in civil infrastructure.*

XII. Ojha, Aradhana (2001). *The execution of carbon fibre reinforced polymer strengthening work: study of external factors affecting the process*.

XIII. Rehabcon (2000) *ANNEX J Strengthening with carbon fibre; REHABCON IPS-2000-00063; EC DG ENTR-C-2 Innovation and SME Programme.*

XIV. Sandin, Kenneth (1990) *Kompendium i byggnadsfysik; Värme, luftströmning, fukt.* Avdelningen för byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola.

XV. Sika Sverige AB (2006) *Installationsmanual för SikaCarboDur-Systemet.*

XVI. Sto Scandinavia AB (2009) *http://www.sto.se/evo/web/sto/33992_SE-Produkter_system-Kolfiberfoerstaerkning.htm (25/5 2009, 09:15) Figur 6*
http://www.sto.se/evo/web/sto/33992_SE-Produkter_system-Kolfiberfoerstaerkning.htm (25/5 2009, 09:20) Figur 7

XVII. Sveriges regering (1987) *Lag(1987:10) Plan- & bygglag.*

xviii. Sveriges regering(1994) *Lag(1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk med mera.*

xix. SWEDAC (2000) *Styrelsens för ackreditering och teknisk kontroll föreskrifter for certifierings- och kontrollorgan (besiktningsorgan) för verksamhet enligt 18§ lagen (1994:847) om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m. (BVL).*

xx. Täljsten, Björn (2006). *FRP strengthening of existing concrete structures: design guidelines fourth edition*. Luleå: Division of Structural Engineering, Luleå Univ. of Technology [Avd. för konstruktionsteknik, Luleå tekniska univ.] ISBN 91-89580-03-6.

xxi. Westerberg, Bo (2006) *Förstärkning av betongpelare med omslutande kolfiberväv – Dimensioneringsanvisning*. Framtagna till Sika Sverige AB.

xxii. Westerberg, Bo (2007) *Förstärkning av momentkapacitet med pålimmade kolfiberband – Dimensioneringsanvisning*. Framtagna till Sika Sverige AB.

xxiii. Westerberg, Bo (2006) *Tvärkraftsförstärkning med pålimmade kolfiberband – Dimensioneringsanvisning.* Framtagna till Sika Sverige AB.

xxiv. Vägverket (2004) *Bro 2004, VV Publ 2004:56.*

xxv. Inkomna intervjusvar (2009):
*Bo Westerberg;* Bo.Westerberg@tyrens.se
*Torbjörn Zettergren;* Torbjorn.Zettergern@vasakronan.se
*Michael Andersson;* andersson.michael@se.sika.com
*Mikael Hallgren;* Mikael.Hallgren@tyrens.se
*Richard Lundmark;* Richard.Lundmark@ramboll.se

# 8. Bilagor

## Bilaga A - Intervjuer

Frågorna som skickades till de olika aktörerna i byggbranschen.

## Forskare

### Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn:

Er arbetsplats & befattning:

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
   **Svar:**

2) *För att utveckla användandet av kolfiber ytterligare, på vilket sätt, alternativt inom vilket område anser ni att mer forskning bör bedrivas?*
   **Svar:**

3) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
   **Svar:**

4) *Enligt svenska normer måste material vara bestyrkta tillexempel kraven i BKR 1:4, anser ni att kolfiber som förstärkningsmaterial kan leva upp till sådana krav? Finns det utrymme för förbättring?*
   **Svar:**

5) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
   **Svar:**

## Leverantörer

# Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn:

Er arbetsplats & befattning:

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
   **Svar:**

2) *För att utveckla användandet av kolfiber ytterligare, på vilket sätt, alternativt inom vilket område anser ni att mer forskning bör bedrivas? Kan era produkter bestyrkas/utvecklas ytterligare?*
   **Svar:**

3) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet i dagsläget?*
   **Svar:**

4) *Om tillverkningsprocessen och/eller produkterna av kolfiber certifierades av godkänt svenskt organ, skulle det enligt er ge en positiv tilltro till materialet eller är tilltron stark nog redan idag?*
   **Svar:**

5) *Om metoderna för användandet av kolfiber behandlades i större utsträckning i AMA, tror ni att detta skulle innebära en ökad efterfrågan eller på annat sätt hjälpa produkten?*
   **Svar:**

6) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
   **Svar:**

## Beställare

# Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn:

Er arbetsplats & befattning:

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
   **Svar:**

2) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni? Anser ni att det är användbart?*
   **Svar:**

*3)* *Känner ni tilltro till de metoder som finns tillgängliga i dagens läge? Finns det något ni anser måste förbättras?*
   **Svar:**

4) *Anser ni att förstärkning av betongkonstruktioner med kolfiber i dagens läge är tillräckligt beprövad? Måste materialet och metoderna bestyrkas i gällande svenska normer?*
   **Svar:**

5) *Om materialet och metoderna behandlades mer i AMA eller om det certifierades av ett godkänt svenskt organ, skulle detta leda till att ni känner större tilltro i att använda kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner?*
   **Svar:**

*6)* *Egna åsikter. Ordet fritt.*
   **Svar:**

**Projektörer**

# Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn:

Er arbetsplats & befattning:

1) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni?*
   **Svar:**

2) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc?*
   **Svar:**

*3)* *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
   **Svar:**

4) *Om materialet och metoderna behandlades mer i AMA eller om det certifierades av ett godkänt svenskt organ, skulle detta leda till att ni känner större tilltro i att använda kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner?*
   **Svar:**

5) *Om alternativet att använda kolfiberförstärkning dök upp i ett projekt, finns det något som skulle få er att tänka efter en extra gång innan ni bestämmer er för att välja denna metod?*
   **Svar:**

6) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
   **Svar:**

## Entreprenörer

# Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn:

Er arbetsplats & befattning:

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
   **Svar:**

2) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni?*
   **Svar:**

*3)* *Om användandet av kolfiber behandlades i större utsträckning i AMA, skulle det enligt er bestyrka metoderna och materialet i sig?*
   **Svar:**

*4)* *Om metoderna behandlades i AMA och/eller var certifierade enligt svenska normer, skulle det förstärka ert förtroende för metoderna samt skulle ni, alternativt de som installerar produkten känna sig säkrare på arbetsplatsen?*
   **Svar:**

5) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
   **Svar:**

*6)* *Egna åsikter. Ordet fritt.*
   **Svar:**

## Bilaga B – Intervjusvar

# Forskare

Ert namn: Bo Westerberg

Er arbetsplats & befattning:

Tyréns AB, Stockholm. Tekn dr, specialist på statik i allmänhet och betongkonstruktioner i synnerhet

KTH Byggvetenskap. Gästprofessor i Betongbyggnad

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
   **Svar:** Kolfiberkomposit har på senare år kommit till stor användning för förstärkning av betongkonstruktioner. Det kan vara fråga om tunna kolfiberband limmade på utsidan eller kolfiberstänger försänkta i spår frästa i täckande betongskiktet. En stor fördel jämfört med andra metoder är att förstärkningen tar liten eller ingen plats. Som jämförelse kan nämnas den vanliga metoden att placera en stålbalk under en betongplatta; detta är ofta enkelt men stjäl utrymme i höjdled och kan fordra särskilda stöd, som också tar plats. En annan fördel med kolfiberkomposit är materialets höga hållfasthet, som gör att man ofta kan åstadkomma en avsevärd förstärkning med liten materialåtgång. Detta förutsätter dock att det är brottgränstillstånd som är dimensionerande. Om bruksgränstillstånd är avgörande, t.ex. ifråga om nedböjningar, har man liten eller ingen nytta av den höga hållfastheten, eftersom utnyttjande av höga spänningar förutsätter stora deformationer. Det finns kolfiberkomposit med högre elasticitetsmodul än stål, vilket kan vara ett alternativ i sådana fall. Förspänning är en annan möjlighet att utnyttja höga spänningar utan stora deformtioner. Materialet är känsligt för höga temperaturer, vilket gör att förstärkningen måste brandskyddas om den måste fungera även vid brand. Ibland kan man dock visa att konstruktionen klarar sig utan förstärkning, med de lägre säkerhetsfaktorer och laster som gäller vid brand jämfört med normal dimensionering. I så fall kan man i princip avstå från att brandskydda förstärkningen. Sammanfattningsvis kan sägas att förstärkning med kolfiberkomposit är ett mycket intressant alternativ i många fall, i synnerhet när vanligt brottgränstillstånd ar avgörande för förstärkningsbehovet.

2) *För att utveckla användandet av kolfiber ytterligare, på vilket sätt, alternativt inom vilket område anser ni att mer forskning bör bedrivas?*
   **Svar:** Långtidsegenskaper. Inverkan på genomstansningskapacitet av kolfiberförstärkning på ovansidan av en platta.

3) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
   **Svar:** Nej, det finns tillräckliga kunskaper för att använda det, men ytterligare kunskaper, t.ex. enligt ovan, skulle kunna göra att man kan ha ännu större nytta av det.

4) *Enligt svenska normer måste material vara bestyrkta tillexempel kraven i BKR 1:4, anser ni att kolfiber som förstärkningsmaterial kan leva upp till sådana krav? Finns det utrymme för förbättring?*

**Svar:** Materialet som det ser ut i dag är tillräckligt bra för att kunna användas.Teknik för förspänning finns, men har ännu inte använts nämnvärt i Sverige, och här finns mer att göra.

5) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
**Svar:** Se ovan under 1).

## Leverantörer

Ert namn: Michael Andersson

Er arbetsplats & befattning: Sika Sverige AB, säljare Projekt, ansvar Kolfiber

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
**Svar: Tar liten plats, lätt att applicera, lång livslängd. Limmet känsligt för brand!**

2) *För att utveckla användandet av kolfiber ytterligare, på vilket sätt, alternativt inom vilket område anser ni att mer forskning bör bedrivas? Kan era produkter bestyrkas/utvecklas ytterligare?*
**Svar: Kolfiber går väl att utveckla något men limmet borde gå att göra mer motståndskraftigt mot brand.**

3) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet i dagsläget?*
**Svar: Nej**

4) *Om tillverkningsprocessen och/eller produkterna av kolfiber certifierades av godkänt svenskt organ, skulle det enligt er ge en positiv tilltro till materialet eller är tilltron stark nog redan idag?*
**Svar: Stark nog redan som den är**

5) *Om metoderna för användandet av kolfiber behandlades i större utsträckning i AMA, tror ni att detta skulle innebära en ökad efterfrågan eller på annat sätt hjälpa produkten?*
**Svar: Ja**

6) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
**Svar: Kolfiber är en fantastisk produkt som möjliggör en helt annan flexibilitet när det gäller förstärkning. Utvecklingen är upp till oss leverantörer, utbildning av kunder, marknadsföring hos föreskrivare och slutförbrukare är avgörande faktorer.**

**Med vänlig hälsning**
**Sika Sverige AB**
**Michael Andersson**

# Beställare

## Frågor angående användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner.

Ert namn: Torbjörn Zettergren

Er arbetsplats & befattning: Projektledare Vasakronan

1) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc.*
**Svar:Räddning då man har låga bygghöjder. Man slipper riva befintliga installationer i läge för förstärkningen. Kan användas vid alla typer av btg bara man gör rätt rengöring och förarbete.**
**Dyrare än stålbalkar. Risker vid framtida ombyggnader att man inte uppmärksammar förstärkningen eller har för lite kunskap i samband med ändringar. Risk att man spikar, skruvar eller borrar igenom förstärkningen**

2) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni? Anser ni att det är användbart?*
**Svar:Trångt med låga bygghöjder är den huvudsakliga orsaken till användandet av kolfiber. Det har visat sig vara användbart.**
**Vissa tankar kring livslängden kring limmet kvarsår. Info om långtidspåverkan.**

3) *Känner ni tilltro till de metoder som finns tillgängliga i dagens läge? Finns det något ni anser måste förbättras?*
**Svar:Ja, annars hade vi inte använt metoden.**
**Förbättring skulle kunna vara utmärkandet av kolfiberförstärkningen på plats och i samband med det viss info.**

4) *Anser ni att förstärkning av betongkonstruktioner med kolfiber i dagens läge är tillräckligt beprövad? Måste materialet och metoderna bestyrkas i gällande svenska normer?*
**Svar:Ja. Ett större omnämnande ger med självklarhet större till tro som en beprövad metod.**

5) *Om materialet och metoderna behandlades mer i AMA eller om det certifierades av ett godkänt svenskt organ, skulle detta leda till att ni känner större tilltro i att använda kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner?*
**Svar:Ja.**

6) *Egna åsikter. Ordet fritt.*
**Svar: Metoden löser många olika situationer vid låga bygghöjder. Den största användningen finns i samband med ombyggnation. Vid nyproduktion skulle nog metoden undvikas och andra lösningar bli aktuella.**

Vid frågor kontakta
Mattias Nordlander
Tel: 073-0756833
Mail: mattias.nordlander@gmail.com

## Projektörer

Ert namn: Mikael Hallgren

Er arbetsplats & befattning: Tyréns AB, konstruktör, specialist betongkonstruktioner samt kompetenssamordnare konstruktion och material

1) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni?*
   **Svar:** Tyréns har lång erfarenhet av förstärkningar med kolfiber i många projekt. Sikas dimensioneringsanvisningar om kolfiberförstärkningar har utarbetats på Tyréns av Bo Westerberg.
   Själv har jag medverkat i ett par projekt där jag bidragit med dimensioneringen av kolfiberförstärkningen. Jag har också medverkat i projekt där kolfiberförstärkning varit ett tidigt alternativ för förstärkning, men där det senare av olika skäl valts bort till förmån för förstärkning på annat sätt.

2) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc?*
   **Svar:** Fördelarna är bl.a. att kolfiberförstärkningen inte medför några förändringar av konstruktionsdelarnas tjocklek och därmed kan ”gömmas”. En annan fördel är att appliceringen, under rätt förutsättning, är lätt att utföra. Det behövs t.ex. inga tunga lyft för att få förstärkningsdelar på plats.
   En nackdel är att förutsätter en god betongkvalitet i ytan för att åstadkomma god vidhäftning. Det innebär att förstärkningsmetoden oftast inte kan användas lätt på äldre betongkonstruktioner utsatta för tuffa miljöexponeringar där betongytan vittrat pga frost, rost eller annat. Epoxymatrisens förmodade dåliga brandegenskap är också en nackdel. I vissa fall kan också priset avskräcka. Koncetrationen av giftiga kemikalier är en nackdel ur miljösynpunkt, och hälsorisken vid appliceringen är en annan nackdel ur arbetsmiljösynpunkt.

3) *Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
   **Svar:** Förutom nackdelarna beskrivna ovan är nog den dåliga kunskapen om förstärkningsmetoden fortfarande den största bristen. Det gäller både utförande och konstruktion/projektering. Den allmänna (kanske felaktiga) uppfattningen av att metoden är komplicerad medför att det fortfarande är många byggherrar, entreprenörer och konstruktörer som drar sig för att använda eller rekommendera metoden.

4) *Om materialet och metoderna behandlades mer i AMA eller om det certifierades av ett godkänt svenskt organ, skulle detta leda till att ni känner större tilltro i att använda kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner?*

**Svar:** Det skulle givetvis hjälpa, men jag tror också att metoden bör standardiseras för att öka användningen. Dessutom bör utbildningsinsatserna ökas för att råda bot på kunskapsbristen i

Ert namn: Richard Lundmark

Er arbetsplats & befattning:

Ramböll Sverige AB
Teknikområdesansvarig för Hus & Industri

1) *Vilka tidigare erfarenheter av att förstärka betongkonstruktioner med kolfiber har ni?*
**Svar:** Endast ett projekt, där vi förstärkte en balk för att höja böjmomentkapaciteten för förhöjda laster. Vi har dock en kollega, teknisk doktor, som studerat kolfiberdimensionering något mer ingående, Ulf Nilsson.

2) *Vad anser ni om användandet av kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner? Fördelar, nackdelar etc?*
**Svar:**
*Fördelar:*
Man kan armera utanpå befintlig konstruktion, behöver inte bila fram eller gjuta på.
Tar lite plats.
*Nackdelar:*
Ligger utanpå och är därmed utsatt för mekanisk åverkan.
Ger spröda brott.
Saknas regler i normer eller normanknutna handböcker (BKR, Eurokoder, BBK). Fastställda regler som ger allmänt accepterade säkerhetsmarginaler etc krävs för bred spridning.
Finns ringa erfarenheter och ingen bred kompetens i branschen – begränsar till enstaka entreprenörer vilket ger låg konkurrens.
Kräver goda kunskaper om betongen som skall förstärkas, på mikronivå. Med konventionella förstärkningar krävs inte fullt så ingående studier – förlänger insatstiden vid skyndsamma åtgärder.

*3) Anser ni att det för tillfället existerar brister inom området som hämmar/hindrar användandet av kolfiber i dagsläget?*
**Svar:** Se 2.

4) *Om materialet och metoderna behandlades mer i AMA eller om det certifierades av ett godkänt svenskt organ, skulle detta leda till att ni känner större tilltro i att använda kolfiber vid förstärkning av betongkonstruktioner?*

**Svar:** Certifiering skulle ge större tilltro, AMA-texter bidrar till större spridning i branschen, men normer för dimensionering är det viktigaste.