

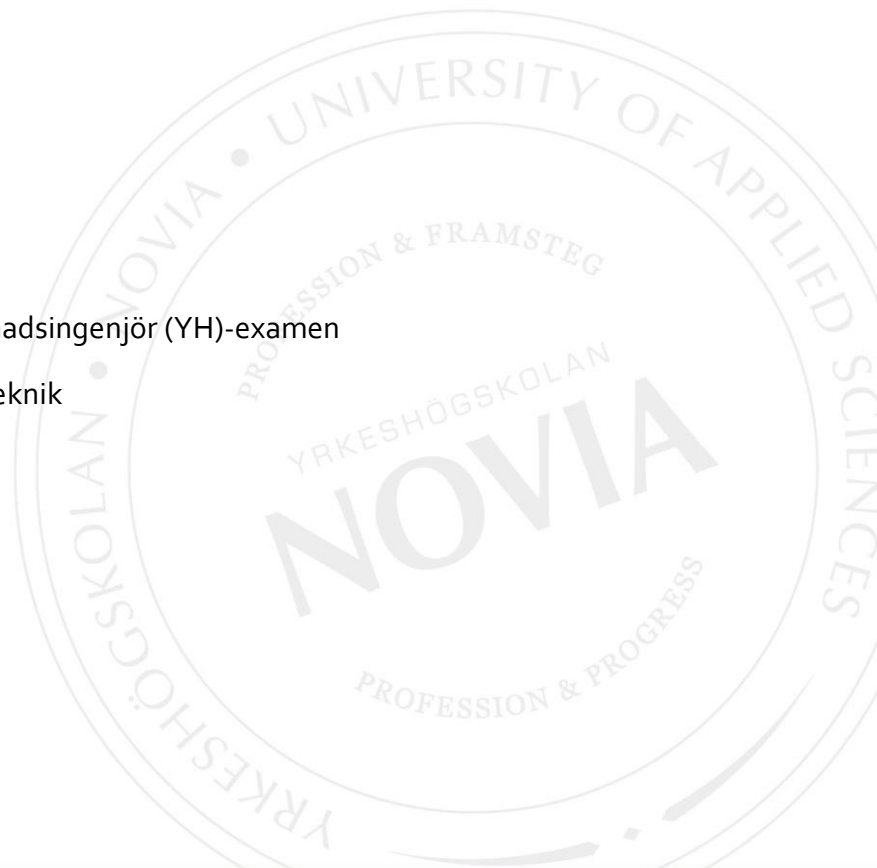
# Kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner

Thomas Fyrqvist

Examensarbete för byggnadsingenjör (YH)-examen

Byggnads- och samhällsteknik

Raseborg 2018



## EXAMENSARBETE

Författare: Thomas Fyrqvist

Utbildning och ort: Byggnads- och samhällsteknik, Ingenjör YH, Raseborg

Inriktningsalternativ/Fördjupning: Projektering och byggnadskonstruktion

Handledare: Johan Degerlund

Titel: Kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner

---

Datum 05.04.2018

Sidantal 24

Bilagor 0

---

### Abstrakt

Finlands byggnadsbestånd består till stor del av fastigheter byggda av betong. Byggandet var som störst under 1960–1980-talet. Den planerade livslängden för bostadshus läggs huvudsakligen till 50 år. På så vis har ifrågavarande konstruktioner kommit till slutet av sin livslängd, då olika renoveringsåtgärder blir aktuella. På grund av byggnadsbeståndets ålder är ungefär hälften renoveringsbyggande, då andra halvan består av nybyggande.

Lagstiftningen gällande konstruktioners bärighet samt hållfasthet har blivit märkbart striktare under de senaste årtiondena. Äldre konstruktioner uppfyller inte nödvändigtvis de nuvarande kraven. För dessa fall är i efterhand monterade kolfiberförstärkningar, vilka förbättrar bärigheten märkbart, eventuellt en lämplig lösning. På marknaden finns olika kolfiberförstärkningsprodukter med olika användningsändamål tillgängligt. I arbetet behandlas de allmännaste av dessa produkter. Som källor för arbetet har det använts litteratur gällande ämnet, lagar och byggbestämmelsesamlingar, tidigare publikationer samt produkttillverkarens produktbeskrivningar. Examensarbetet är begränsat till vissa produkter och fokuserat i första hand på hur de fungerar i betongkonstruktioner.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: Kolfiber, Fiberförstärkningar, Betong

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Thomas Fyrqvist

Koulutus ja paikkakunta: Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Insinööri AMK, Raasepori

Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot: Rakennesuunnittelu

Ohjaaja(t): Johan Degerlund

Nimike: Hiilikuituvahventaminen betonirakenteissa

---

Päivämäärä 05.04.2018

Sivumäärä Liitteet o

---

### Tiivistelmä

Suomen rakennuskanta koostuu hyvin pitkälti betonista valmistetuista kiinteistöistä, joiden rakentaminen oli tavallisinta vuosina 1960-1980. Asuintalojen suunnitelluksi käyttöikäksi annetaan pääsääntöisesti 50 vuotta. Näin ollen edellä mainittuun ryhmään kuuluvat rakenteet ovat tulleet käyttöikänsä päähän, jolloin erilaiset korjaustoimenpiteet ovat ajankohtaisia. Rakennuskannan ikääntymisen vuoksi noin puolet Suomessa tapahtuvasta rakentamisesta on korjausrakentamista, kun toinen puoli muodostuu uudisrakentamisesta. Rakenteiden kantavuutta ja kestävyyttä koskeva lainsäädäntö on myös kiristynyt merkittävästi viimeisinä vuosikymmeninä, jolloin vanhat rakenteet eivät välttämättä täytä enää nykyisiä vaatimuksia sellaisenaan. Tällaisissa tapauksissa betonirakenteen pinnalle jälkeempään asennettavat kantavuutta olennaisesti parantavat hiilikuituvahvikkeet ovat oiva ratkaisu. Markkinoilla on tarjolla useita erilaisia hiilikuitu- ja komposiittivahviketuotteita mitä erilaisimpiin käyttökohteisiin. Opinnäytetyössä käsitellään näistä tuotejärjestelmistä yleisimmät ja keskitytään varsinkin tuotteisiin, jotka soveltuvat hyödynnettäväksi rakenteiden leikkaus- ja taivutuskestävyyden parantamisessa. Työn lähteinä on käytetty alan kirjallisuutta, lakeja ja määräyskokoelmia, aikaisempia julkaisuja sekä tuotevalmistajien tuotekuvauksia. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään vain tiettyjä tuotteita sekä keskittymään ensisijaisesti niiden käyttämiseen betonirakentamisen saralla.

---

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: Hiilikuitu, Kuituvahvistukset, Betoni

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Thomas Fyrqvist

Degree Programme: Construction and civil Engineering, Raasepori

Specialization: Structural Engineering

Supervisor(s): Johan Degerlund

Title: Carbon fibre reinforcement of concrete structures

---

Date 30.04.2018

Number of pages

Appendices 0

---

### Abstract

The Finnish building stock consists mainly of real-estate built in concrete, which were mostly built during the years 1960-1980. The lifespan of a residential building is usually 50 years. Therefore, has the structures in question come to the end of their planned lifespans, at which time renovation becomes relevant. Because of the aging of the building stock, about half of the construction market consists of renovation and the other half of building new structures. Legislation regarding a construction's load-carrying-capacity as well as strength, has become much stricter over the past decades, which means older structures might not pass the current requirements. Post-construction installation of carbon fibre reinforcements is an ideal solution when load carrying capacity is required. There are lots of different carbon fibre reinforcements available on the market. In this thesis the most common product systems are brought up. Primary sources are literature regarding the subject, laws and the national building code of Finland, earlier publications as well as manufacturers' product descriptions. This thesis is limited to the most common products focusing mainly on their behaviour on concrete structures.

---

Language: Swedish

Key words: Carbon fibre, Fibre reinforcements, Concrete

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Betong och Finlands byggnadsbestånd .....	2
3	Byggnadens livscykel.....	3
3.1	Planerad livslängd.....	4
3.2	Renoveringsbyggande .....	5
4	Allmänt om fiberförstärkningar .....	6
4.1	Fiberkompositer .....	9
4.2	Varför använda kolfiberförstärkningar? .....	10
5	Förstärkningssystem .....	12
5.1	NSMR.....	12
5.2	Väv.....	14
5.3	Laminat.....	15
6	Användning av fiberförstärkningar .....	15
6.1	Ett praktiskt exempel på användningen .....	18
7	Allmänt om belastningar .....	19
7.1	Tvärkraft.....	21
7.2	Böjmoment.....	24
8	Förstärkning mot tvärkraft .....	27
9	Förstärkning mot böjspänning .....	30
9.1	Förankring med komposit .....	31
10	Standarder och anvisningar .....	32
11	Kvalitetskrav/ Utförandet.....	34
12	Sammanfattning.....	36
13	Källor .....	37

## 1 Inledning

Arbetet strävar till att undersöka kolfiberprodukternas användningsmöjligheter i samband med renoveringsbyggande av bostadshus. Kolfiberprodukterna skulle kunna skapa nya möjligheter via ökad kännedom om deras existens inom byggbranschen. En del av arbetets syfte är också att fungera som informationskälla om kolfibers potentiella fördelar. Vid sidan av fördelarna har det också behandlats produkternas lämplighet som förstärkning av betongkonstruktioner, genom att kritiskt fundera över hur realistisk användningen av dem är. Det kan vara en utmaning att få nya metoder att bli allmänna i byggnadsbranschen men med tillräcklig information kan man påverka situationen.

Förr byggdes mycket betongförorter. Då livslängden börjar närma sig sitt slut, blir det aktuellt att fundera på nästa skede för byggnadens livscykel: är byggnaden i skick för att rivras eller går den att renoveras. Att förstärka konstruktioner i efterhand ses ofta som krävande och dyra projekt. Detta är dock inte alltid så, nya materiallösningar kan möjliggöra ett enkelt förstärkningsarbete för ett rimligt pris. Att ta i bruk nya metoder kan vara krävande, vilket är orsaken till att det bör finnas tillräcklig mängd information tillgängligt. Arbetet strävar till att ta reda på samt föra fram fördelar samt nackdelar med kolfiberförstärkningar i samband med renoveringsbyggande. Eftersom efterfrågan för dessa produkter i nybyggande är relativt liten, har det i arbetet bestämts att endast behandla kolfiberförstärkningar i renoveringsbygge. Det ingår en massa lagar samt bestämmelser för produkterna samt för förstärkning av konstruktioner. Av dessa bestämmelser har det i arbetet förts fram de mest centrala punkterna gällande förstärkningsarbete. Som källor för arbetet har det använts facklitteratur inom branschen, internet publikationer, produktinformation samt Finlands byggbestämmelsesamling.

## 2 Betong och Finlands byggnadsbestånd

Betong är världens mest använda byggnadsmaterial och i Finland används det årligen ca 5 miljoner kubikmeter. På grund av urbaniseringen, i synnerhet från och med 1960-talet framåt växte byggandet av bostadsbyggnader av betong samt förorter (bild 1) märkbart. En stor del av Finlands byggnadsbestånd är tillverkat av betong. Eftersom byggnadernas planerade livslängd är 50 år, är det nu i tur att renovera byggnader byggda på 1960–1980-talet. Som man kan se i diagram 1 byggdes mycket stor del av Finlands nuvarande byggnadsbestånd på 1970–1980-talet. Här bör noteras att över hälften är bostadsbyggnader, där man kan anta att konstruktionerna till stor del är betongelement. På grund av detta är renoveringsbyggandets andel av husbyggandet i Finland 50%. (Betoniteollisuus Ry)



Bild 1, Betongförort i Myrbacka på 1970-talet (Peda.net)

Under de senaste årtionden har man i samband med renovering av gamla betongkonstruktioner börjat ersätta stålarmering med andra material, vilket har lett till att bland annat kolfiberförstärkningars användning samt utveckling har ökat kraftigt. För dessa förstärkningar används oftast termen FRP. Förkortningen kommer från engelskans Fibre Reinforced Polymers. Dessa förstärkningar består oftast antingen av kolfiber, glasfiber, aramidfiber eller olika kombinationer av kol- och glasfiber. Det största marknadsområdet för de ifrågasvarande materialen är de existerande konstruktionerna i samband med renovering. Nuförtiden finns det mycket betongkonstruktioner vars teoretiska livslängd kommit till ände, vilka måste renoveras för att uppnå de ständigt allt mer striktare krav, i vilket fall förstärkningar som monteras på konstruktionens yta skapar en ny och lätt möjlighet att förlänga konstruktionens livslängd. I nybygge har dessa inte uppnått likadan popularitet, vilket är anledningen till att i detta arbete har valts att behandla

kolfiberförstärkningarnas användning endast i samband med renoveringsbygge. (Täljsten, B., 2016)

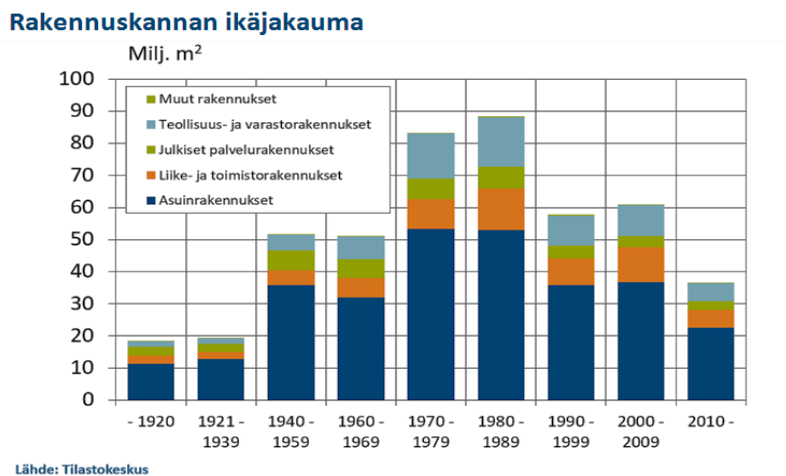


Diagram 1; Betongens användning under olika decennier (Statistikcentralen)

### 3 Byggnadens livscykel

Normalt planeras 50 års livslängd för en betongkonstruktion. I specialfall kan planerade livslängden läggas till 100 år eller till och med 200 år. Betongkonstruktionens egenskaper ska uppfylla kraven enligt vald exponeringsklass, utan renoveringsåtgärder, under hela betongkonstruktionens livslängd. För den hållbara utvecklingen är det viktigt att skapa långvariga och hållbara konstruktioner. Ändå under byggnadens teoretiska livslängd eller omedelbart efter den bör ofta konstruktionens skick granskas, i samband med vilket det kan upptäckas behov för förstärkning av konstruktionen. Betongkonstruktionens hållbarhet beror på flera faktorer, av dessa är de vanligaste:

- Använd hållfasthetsklass
- Vatten-bindemedelförhållande
- Cementens mängd och typ
- Använda tillsatsämnen och deras egenskaper
- Armeringens täcksikt
- Armering
- Yttre påfrestningsfaktorer

(Betoniteollisuus ry., Betonin käyttöikä)



Vid renovering av betongkonstruktioner finns det olika renoverings principer och metoder. Renoveringsmetoder är bl.a. tätning av ytan, reglering av fukten, förstärkning av konstruktionen, tålighet mot fysikaliska och mekaniska påfrestningar och kemikalisk hållbarhet. Detta arbete behandlar huvudsakligen förstärkning av betongkonstruktioner. (BY 41 2016 s. 11)

Förstärkning av konstruktioner innebär en ökning av deras bärförmåga från deras ursprungliga nivå. Ifall bärförmågan har minskat som följd av olika skador, kan inte metoderna kallas för förstärkning. Förstärkningsmetoderna förbättrar de vågräta konstruktioners böj- och tvärkapacitet samt lodräta konstruktioners tryckhållfasthet, samtidigt som den minskar böjning och sprickning som förekommer i betongkonstruktioner. Vid förstärkning kan kolfiberförstärkningar limmas på ytor där det förekommer endera drag- eller skjuvspänning. Förstärkningarnas material är ofta kolfiber och limmet epoxi. (By 41 2016 s. 87, 88)

### **3.1 Planerad livslängd**

Som grundprincip för planering av en konstruktions livslängd är beställarens valda mål för livslängd, som bestäms bland annat enligt konstruktionens användningsändamål. Planeraren bestämmer enligt den eftersträvade livslängden vilken den planerade livslängden blir, ändå så att för de viktigaste bärande konstruktionerna planeras egna livslängder. Det utsatta kravet för livslängden är längre desto svårare en eventuell reparation av byggnadsdelen i senare skede skulle bli. Byggnadens användbarhet tar inte slut då teoretiska livslängden kommer till sitt slut, om byggnadsdelarna är i skick kan användningen fortsätta utan några som helst åtgärder. I planerna för livslängden sätts ofta 50 år, men det hindrar inte användningen av en byggnad fast de följande 200 åren. Det är närmast frågan om konstruktionens hållbarhet i helhet med hjälp av alla renoveringar. Planerade livslängden är alltså bara en tidsperiod, inom vilken konstruktionen antas hålla de utsatta funktions kraven utan renoveringar. Vid planering av livslängden tas först i beaktande exponeringsklassen, vilken betongkonstruktionen är utsatt för inom användningstiden. Betongkonstruktionernas exponeringsklasser X0, XC, XD, XS, XF ja XA.

X0	Ingen korrosion
XC	Korrosion p.g.a. karbonatisering
XD	Korrosion orsakad av klorider (inte havsvatten)
XS	Korrosion orsakad av klorider från havsvatten
XF	Korrosion orsakad av frysning-upptining
XA	Kemiskt angrepp

(By 51 Betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu, 2007)

### **3.2 Renoveringsbyggande**

Begreppet renoveringsbyggande innebär all sådan verksamhet, som försöker förbättra eller underhålla byggnaden eller delar av konstruktioner. Renoveringsbyggande kommer att bli aktuellt när man vill förnya eller ändra byggnadens ursprungliga användningsändamål. Med renoveringen vill man förbättra byggnadens användning, ekonomi, säkerhet, inomhusmiljö eller estetik. Renoveringsbyggande är sådan engångs verksamhet, som strävar till att förbättra byggnadens konstruktioner fastän användningsändamålet hålls det samma. Renoveringsprojektet startar då det upptäcks skador i konstruktionen, det har beslutats att ändra på bygganden eller tillbyggas. Planeraren för renoveringsbyggandet väljer lämpliga renoveringsåtgärder. Dessutom ska han dokumentera renoveringen, där det framgår mängd samt kvalitetskraven. Examensarbetets viktigaste del bildas av förstärkning av konstruktioner, med vilka man strävar till att öka konstruktionens bärighet från dess ursprungliga bärighet. Med i efterhand monterade förstärkningar kan man märkbart öka konstruktionsdelens tvär- och böjhållfasthet. (Norokivi, T., 2016 och Tilastokeskus)

## 4 Allmänt om fiberförstärkningar

Utvecklingen och forskningen av kolfiber har huvudsakligen skett i Japan och i USA under de senaste 30 åren. I Europa har användningen hittills varit marginell. Kolfiber är en relativt ny uppfinning och tillämplighet inom byggnadsbranschen har undersökts i flera decennier. (Dagdony, M., Rashid, T, 2017)

Kolfibern kan tillverkas på flera olika sätt. Dessa processer liknar varandra medan kolfibers materialegenskaper kan variera. Ca. 80–95% av kolfibern är kol, men idag används det också rayon, polyacrylonitril eller viskoelastiska polymer i tillverkningen. Kolfiber är en oorganisk fiber vars diameter är 5-15 $\mu$ m. Materialets styvhet beror på tillverkningsmetoden och råmaterialet. Materialets styvhet baserar sig på fiberns ordnade kristallstruktur. Styvheten kan också påverkas genom tillverkningstemperaturen. Den kolfiber som tillverkas av polyacrylonitril är den dyraste, men det anses vara bästa materialet för att utnyttja i fiberförstärkningar. (Dagdony, M., Rashid, T, 2017)

Den använda kolfiberförstärkningens elasticitetsmodul måste motsvara det använda armeringsstålet. Kolfiberförstärkningens elasticitetsmodul är huvudsakligen 150 000–300 000 N/m<sup>2</sup> och stålets 210 000 N/m<sup>2</sup>. Kolfiberförstärkningarna är lätta vilket framkommer tydligt vid jämförelse av materialens densitet, eftersom stålets densitet är 7850 kg/m<sup>3</sup> där kolfibers är 1600 kg/m<sup>3</sup>. Vid planering av förstärkning av betongkonstruktioner är det nödvändigt att observera att kolfibers höga hållfasthet endast är i fibrernas riktning. Produkternas mått kan variera beroende på den använda produkten samt användningsområdet, medan banden är oftast 50–150 mm breda, varpå tjockleken är 1,0–1,5 mm.

Oberoende av kolfiberkompositens huvudsakliga höga hållfasthet måste man ta i beaktande materialens dåliga mekaniska hållbarhet. I objekt där förstärkningen är utsatt för mekanisk påfrestning, måste förstärkningen skyddas för att försäkra hållbarheten. Limmen som används vid fastsättningen av förstärkningarna kan också skadas, då den är utsatt för UV-strålning, vilket är orsaken till att de också bör skyddas mot för mycket solstrålning. (Norokivi, T, 2016)

Kolfiberkompositens egenskaper skiljer sig från stålets i flera aspekter. Till exempel är kompositen anisotropisk vilket är ett viktigt karaktärsdrag. Därför kommer kolfiberkompositens riktning i förhållande till en skjuvspricka att påverka effektiviteten av förstärkningen. En annan viktig egenskap hos kolfiberkompositen är att de är linjärt elastiska

till brott. De har ingen flytgräns till skillnad från stål, vilket innebär att kolfiberkompositen inte ytterligare kan deformeras och bära last efter att maxlasten uppnåtts. (Andy Häggman, 2003)

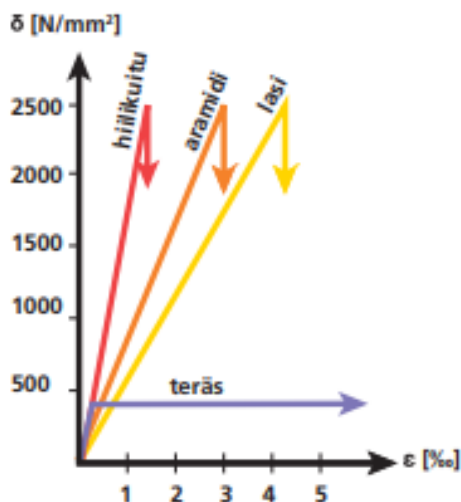


Bild 2, olika fibersorternas E-moduler jämfört med vanlig byggstål (Sto)

Limförstärkning används huvudsakligen som olika betongkonstruktioners böj- och tvärförstärkning. Limförstärkning behandlas i europeiska CEN standarden 1504 (Betonirakenteiden korjaus ja suojaus), där det bl.a. har satts bestämmelser för limmets egenskaper. Med limningsmetoden kan man väsentligen förstärka till exempel betongbalkars, plattors eller pelares böj- och tvärhållfasthet. För förstärkningen finns det tillgängligt band- eller tygformade produkter gjorda av kolfiber eller andra kompositmaterial. Kolfiberband är tillverkade genom att limma parallella fibrer ihop med epoxibaserad matris. I tygprodukterna är fibrerna vävda vinkelrätt åt två håll, då tyget är mycket tunt, vilket möjliggör limning av flera lager på varandra. Limning av bandtypers förstärkningar sker ofta med s.k. trycklimning, där epoxilimmet används både på betongens och bandets yta, varefter förstärkningen fästs genom tryckning. Limning av tygformade produkter sker med lamineringslimning, då man bildar laminerad flerlagrig matris. (Tiehallinto, 2007)

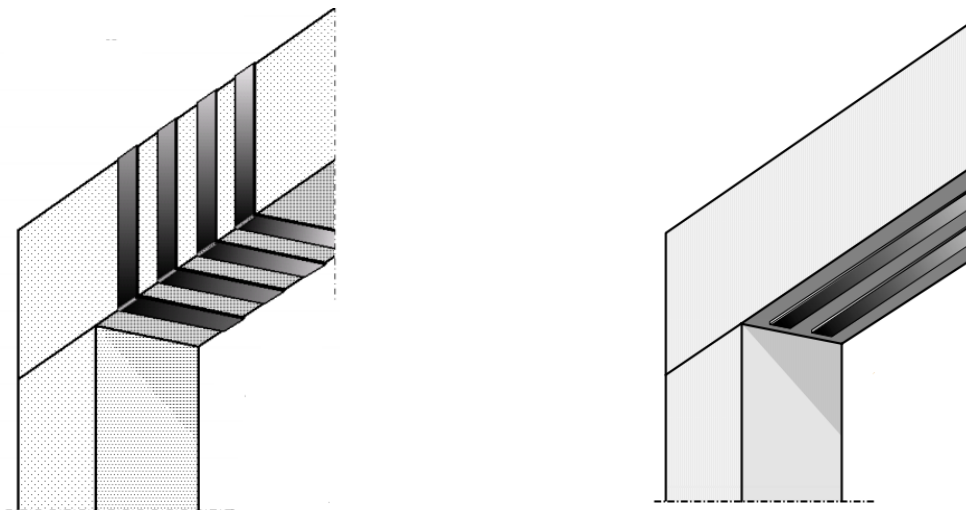


Bild 3, Förstärkning mot böjmoment (höger) och mot tvärkraft (Tyréns; B. Westerberg/Sika Oy 2007)

Vid planering av limförstärkning måste vissa huvudprinciper beaktas, varav den viktigaste är att det är tillåtet att lyfta den förstärkta konstruktionens tvärsnitts böjkapacitet högst 50 %. Vid planering av förstärkning måste det före monteringen försäkras att måtten i ritningarna stämmer, eftersom ifall de avviker från verkligheten kan slutresultatet bli osäkert.

Kolfiberkomponenternas goda egenskaper jämfört med vanligt kamstål:

- Låg vikt
- Oändlig längd
- Hög draghållfasthet samt styvhet
- Bra väder- och kemikaliebeständighet
- Bra brandmotstånd
- Snabb montering
- Litet skyddsskikt

Kolfiber är så lätt att man kan bära det utan dyra och långsamma maskiner. För kolfiberförstärkningar eller deras användning finns inga enskilda standarder och informationen om produkter är ofta utspridda över olika källor, vilket försvårar datainsamling samt anskaffning av jämförbara resultat. Huvudsakliga meningen med det här examensarbetet är att samla ihop denna utspridda information och med hjälp av detta få en mer omfattande bild av möjligheterna att använda kolfiberförstärkningar i

betongkonstruktioner. Användning av kolfiberförstärkningar är jämförelsevis sällsynt, och den som upptar ett sådant projekt måste vara väl insatt i ämnets väsentliga detaljer gällande planeringsaspekten. Vid granskning av laster samt spänningar är det oerhört viktigt att vara medveten om att kolfiberförstärkningar endast håller dragspänning. Ifall förstärkningen blir utsatt för märkbar tryckkraft, kan konsekvensen vara förlust av bärigheten. I efterhand monterade kolfiberförstärkningar i betongkonstruktioner kan framkomma till exempel i industriobjekt, där lasten på konstruktionen ökar märkbart. Det finns i praktiken tre olika metoder för kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner. Oberoende av vilken förstärkningsmetod som används måste betongkonstruktionernas skick undersökas innan projektet påbörjas.

#### **4.1 Fiberkomposit**

Fiberkomposit fås genom att man förser matrismaterialet med fiber. Egenskaperna för fiberkompositen är beroende av fibern samt vilket matrismaterial som använts. Fibern ger stryka och styvhet och är elastiskt upp till brott. I drag blir också matrismaterialet linjärelastiskt upp till brott p.g.a. fibern.

Draghållfastheten för fiberkomposit är avsevärt högre än tryckhållfastheten. Den låga tryckhållfastheten hos fibern beror på instabilitet hos de enskilda fibrerna. Detta kan jämföras med trä som belastas i tryck där fibrerna lätt bucklar iväg från varandra. Fibrerna är oftast i en riktning för de komposit som används i byggbranschen. För en sådan fiberkomposit är materialegenskaperna givna i fiberns riktning, vilket innebär att det har stor betydelse hur kompositen är belastad jämfört med fiberriktningen. Enligt undersökningar reducerar en 30° avvikelse från fiberriktningen 70% av draghållfastheten för kolfiber och 35% för glasfiber.

Fiberkomposit har mycket bra utmattningsegenskaper jämfört med stål. Utmattningsegenskaperna för kolfiber är mycket bra, medan det för glasfiber är goda endast under spänningsnivåer på 25 % av statiska hållfastheten. Detta gäller också för krypning, vilket kolfiber inte i praktiken visar någon tendens för (även vid större spänningsnivåer).

## 4.2 Varför använda kolfiberförstärkningar?

Inget byggnadsobjekt håller för evigt, vilket leder till förstärkningsarbete kommer att bli aktuellt i något skede av konstruktionens livstid. Orsaken till förstärknings behov av konstruktioner kan bland annat vara förändring av förhållanden eller kraven för bärighet under tidens lopp, dessa kan vara till exempel parkeringshus som var planerade att hålla mindre fordons laster. Av förhållandena kan i synnerhet ökad last samt skador orsakade av väder eller vanligt användande orsaka behov av förstärkning i efterhand. (STO)

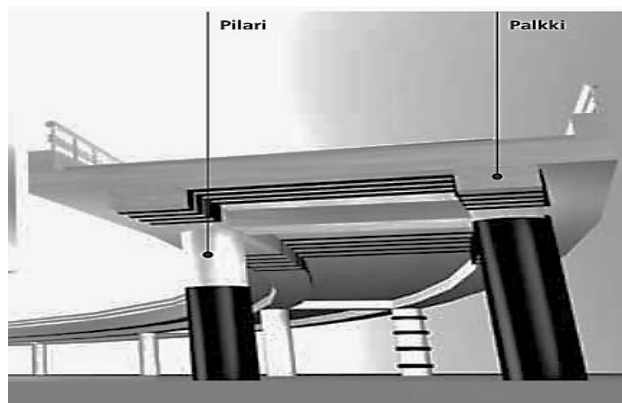


Bild 4, Laminatförstärkning i en brokonstruktion (STO)

Tidigare använda metoder (vanligt armeringsstål) för förstärkning av konstruktioner i efterhand hade många olika problem, eftersom dessa metoder ökade märkbart konstruktionens egenvikt samt minskade tillgängliga utrymmet. Ifrågavarande problem kan effektivt undvikas genom att använda kolfiberförstärkningar vilka är lätta samt lämpliga för många användningsområden. Användning av kolfiber som förstärkningsmaterial stödjer dess låga värmeutvidgningskoefficient, utmärkta korrosionsbeständighet samt goda hållbarhet. Kolfiberförstärkningar ökar konstruktionens bärighet märkbart tillika som de är lätta att montera och hålla osynliga. Kolfiberförstärkningar är tillgängliga i många olika former, vilka varierar beroende på användningsområdet. Till exempel kolfiberförstärkningar tillverkaren STO erbjuder bland annat laminat-, stav- och vävformade produkter (bild 5).

(STO)

**Fördelar:**

- Låg vikt
- Hög draghållfasthet
- Hög styvhet
- God beständighet
- Lätt att montera
- Korrosionsbeständighet
- Tar lite utrymme → lätt hantering
- Kräver litet underhållsarbete

(Dagdony, M., Rashid, T, 2017)

**Nackdelar**

- Kompositer är utsatta för mekaniska skador
- Kolfiber kan påverkas av den omgivande miljön
- Epoxilimmet är känsligt för höga temperaturer (över 55 °C)
- Dyrt

(Dagdony, M., Rashid, T, 2017)



## 5 Förstärkningsystem

Det förekommer ett flertal förstärkningsystem varav NSM stav, laminat och väv är de vanligaste. Systemet är beroende på vilken konstruktion det är fråga om samt förstärkningsändamålet. (Dagdony, M., Rashid, T, 2017). Vid förstärkning med kolfiber kan det användas till exempel kolfiberväv, kolfiberstavar eller kolfiberkompositer. Dessa skiljer sig från varandra enligt hur fibrerna är hopbundna. Vid Kolfiberband, såsom stavar, är fibrerna bundna med epoxibaserad matris, medan de i väv är bundna med 90 graders vinkel. Vid användning av kolfiberförstärkningar är det viktigt att komma ihåg att kolfibers höga hållfasthet endast är i fibrernas riktning. Ifall det behövs förstärkas åt två håll, måste det användas sådant material som har fibrer åt två håll, eller limma kolfiberband lagervis åt olika håll. (Norokivi, T., 2016)

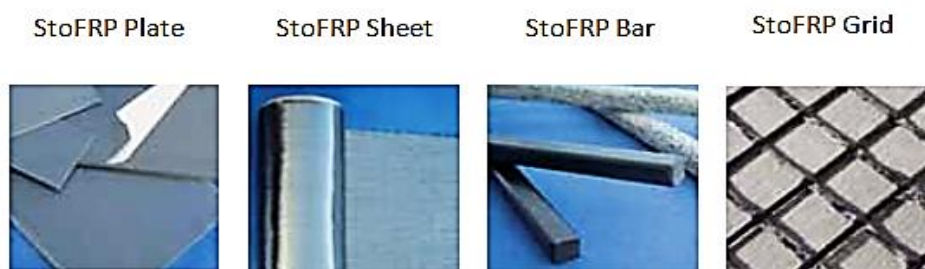


Bild 5, STO olika produkter

Meningen med användning av kolfiberförstärkningar är att försäkra att konstruktionen har tillräckligt kapacitet mot böj- och tvärkrafter. När konstruktionen vill förstärkas mot böjmoment, monteras kolfiberförstärkningen på den sidan som är utsatt för dragkraft. I flesta fall placeras förstärkningen på undersidan av balken eller plattan där böjmomentet är som störst. Om konstruktionen vill förstärkas mot tvärkraft sätts kolfiber (väv) runt hela konstruktionsdelen. (Dagdony, M., Rashid, T, 2017)

### 5.1 NSMR

NSMR eller är en teknik som utvecklades i Luleås tekniska universitet och det står för Near Surface Mounted Reinforcement. Tekniken går ut på att det i betongens täckskikt gjuts eller limmas fast stavar, täckskiktet måste överstiga 20 mm, då man använder 10 mm stavar.

Stavarna kan vara rektangulära, kvadratiska och runda, de är av en viss dimension och det sågas upp spår som är anpassade till dem. Dimensionen bestäms enligt typen av konstruktion och dess tjocklek på täcksikt. Efter sågning är det mycket viktigt att spåren rengörs så snabbt som möjligt. Rekommenderat är att förse spåren med primer innan man limmar. Det sätts 1–10 mm tjockt limlager i spåret och på staven, varefter den trycks på plats. (B. Täljsten, 2016)

Andra metoden är att gjuta fast stavarna. Då används högpresterande polymerbruk istället för epoxilim och staven är försedd med kvartssand. (B. Täljsten, 2016)

Syften med NMSR kan vara flera, dessa kan vara bättre brandmotstånd eftersom stavarna är nedsänkta i täcksikt, om det finns risk för mekanisk påverkan eller om man helt enkelt vill dölja förstärkningen. NMS har också bättre kraftöverföring och förankring än väv och laminat. Vid förstärkningsarbetet måste följande arbetsmoment följas:

- Olja och fett måste avlägsnas, annars finns det risk att de trycks in i betongen i sågningsskedet
- Rengöring efter sågning, helst högtryckstvätt på 100–150 bar
- Primer appliceras och härdar innan limning
- Ett tixotrop epoxilim appliceras i spåret. Limmet måste ha sådan konsistens att det inte rinner ut
- Montering av NSM-stav omedelbart efter att limmet appliceras

Efter förstärkningen måste limningsresultaten kontrolleras. Detta görs genom att kolla om det finns hålrum, blåsor eller missfärgningar. Ifall det är hålrum ska dessa fyllas genom epoxinjektering, vid stora hålrum kan arbetet bör göras om.



Bild 6, Förstärkningsarbete (Sto)

## 5.2 Väv

Kolfiberväv kan användas som förstärkningsmetod för betong-, stål- och träkonstruktioner. Kolfiberväv monteras på en befintlig konstruktions yta. Metoden ökar konstruktionens bärlighet och den kan användas som renovering eller förstärkning av tillverknings- eller konstruktionsfel. Materialet är böjligt och lätt att hantera utan att det går sönder. Väven kan användas både på jämna och bågiga konstruktioner, t.ex. i pelare som förstärkning av böjmoment och/eller tvärkrafter och som hörnförstärkning av öppningar. Metoden ökar inte märkbart konstruktionens mått. Väv är framställt av kolfibertyg som har en draghållfasthet över 4000 Mpa. Vävsystemet används mest i samband med tvärkraftförstärkning eller konstruktioner där man måste beakta konstruktionens böjda struktur. Andra vanliga områden är krökta ytor som t.ex. pelare. Systemet kan ha fiber i en eller flera riktningar. (STO)

För väv färdigställs kompositen mellan kolfiberväven och epoxin på arbetsplatsen för hand. För att väven ska uppnå full styrka bör alla fibrer vätas av epoxin. Väv kan till exempel användas vid förstärkning av balkar. I sådana fall kan balken helt omlindas av väv vilket gör att balken kan uppta större tvärkrafter. (Nordlander, M, 2010)

Vid hantering av väv måste man vara försiktig, fibern får inte skadas eller smutsas ner. Det ställs större krav på förarbetet för väv än för stavar och laminat, t.ex. ytan måste vara jämnare vid applicering. För väv används ett lättflytande lim. Innan primer får appliceras måste betongytan endera sandblästras eller slipas så att eventuell målning eller smuts försvinner. Smuts, ojämnheter samt bubblor bör undvikas eftersom de kan försvaga konstruktionen. Därefter rollas ytan med lim. Väven monteras i limmet varefter ett nytt lager lim appliceras.

Processen kan upprepas upp till max 4 lager väv, vått i vått, åt gången. Maximalt lager för härdad komposit är 12. (STO och Täljsten, B., 2016)

### 5.3 Laminat

Laminat används mest vid förstärkning av jämna ytor såsom balkar och bjälklag, men också i samband med håltagning. Laminat produceras i fabrik, där det framställs med så kallad pultrudering. Detta innebär att det väts flera lager av kolfiber med epoxi. Därefter dras de genom en maskin där epoxin härdar. Antalet lager kolfiber det sätts utgör styrkan för laminatet. Laminat fästs vid underkanten på en konstruktion, till exempel en balk. Detta gör att balken kan ta upp mycket större dragspänning i underkant. (Nordlander, M, 2010)

Det är vanligt att laminatsystemen består av kolfiberlaminat samt tixotrop tvåkomponents epoxilim. Det är rekommenderat att även stryka primerlim mot betongytan, eftersom vissa betongytor kan suga det tunna limskiktet och på så vis skapa en störd zon i limningen. För att försäkra att laminatens ytor är rena är de ofta försedda med skyddande peel ply som tas bort innan limningen. Limmet uppnår ca 80-procentig hållfasthet efter ett dygn i +20 °C och full hållfasthet efter 4–7 dagar. (Täljsten, B., 2016)

## 6 Användning av fiberförstärkningar

**Kolfiberförstärkningar kan användas i följande konstruktionsdelar:**

- Pelare
- Balkar
- Väggar
- Plattor

Betongkonstruktioner kan förstärkas mot skjuvspänning på flera olika sätt. Olika förstärkningsmetoder är presenterat i bild 7. Ursprungliga betongbalkens tvärsnitt visas i övre vänstra hörnet. Ifrågavarande konstruktionen kan förstärkas genom att avlägsna en del av betongen och gjuta ny betong efter att det satts förstärkningsremсор. (a). Tvärsnittet kan

också försäkras genom användning av spännstål, som kan vara förspända. (b). Det kan borras hål i konstruktionen för spännstålets montering. (e). Som konstruktionens förstärkning kan också användas stålfiber innehållande sprutbetong (c), Med epoxy sammanfästa stålskivor (d) eller förspända stålremсор (f). Det finns också många olika metoder att placera förstärkningen i konstruktionen. (Sto)

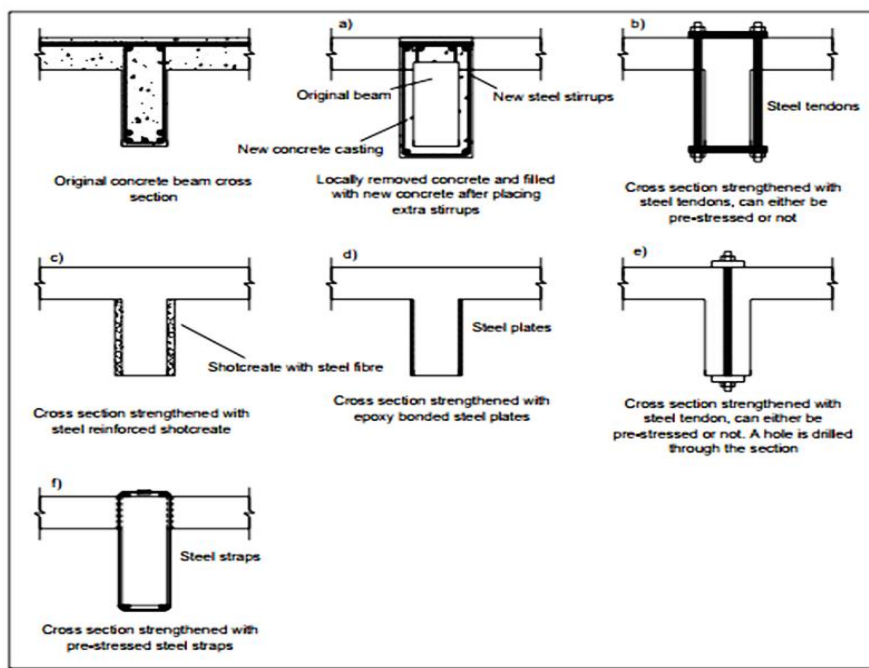


Bild 7, Förstärkning mot skjuvspänning (Sto)

Olika typer kolfiberförstärkningar existerar, dessa är till exempel väv, stavar och laminat. Skillnaden mellan förstärkningstyperna är geometrin samt användningsområdet, förstärkningstyperna kan även skilja sig enligt materialkvalitén, elasticitetsmodulen samt draghållfastheten.

Stavarna är rektangulära och det skall fräsas spår i betongen där de ska limmas. Detta gör att kraftöverföringen förbättras för staven då tre sidor av förstärkningen vidrör betong. Staven skyddas också mot yttre påverkan ifall betongen har tillräckligt stort täckskikt till armeringen. Stavar är lämpliga att använda till exempel vid förstärkning av balkar mot böjmoment.

I vissa fall kan det krävas extra flexibilitet av förstärkningen, sådana delar är bågar och hörn. För sådana situationer är väv mycket lämpligt. Ett exempel på detta kan vara vid förstärkning av en rund pelare eller tvärkraftförstärkning runt en balk.

Laminat är i form av tunna remsor, vilka monteras i olika skikt utanpå betongen. Detta leder till att laminat går snabbt att montera och kan vara ett alternativ ifall man inte kan använda kolfiberstavar på grund av betongens täckskikt. (Larsson, N., Ternner, E., 2015)

Fiberförstärkningar kan utnyttjas i olika bärande konstruktioner så som pelare, väggar och balkar. FRP matta är ofta lämpligare som förstärkning mot skjuvspänning på grund av materialets flexibilitet samt mångsidighet som lager. Mattorna kan användas som förstärkning till exempel i situationer där det har gjorts för stora öppningar i betongen vilket leder till skador i konstruktionen på grund av för stora skjuvkrafter. FRP (fiber reinforced plastic) är fiberbestående förstärkningsmaterial, som kan i synnerhet användas i betongkonstruktioner som inre förstärkning som armeringsnät och stänger eller som på utsidan fästa för att förstärka betong, trä eller murade konstruktioner. FRP förstärkningar har använts redan på 1970-talet, visserligen mycket småskaligt. Den egentliga undersökningen och utvecklingen av materialet påbörjades på 1980-talet i Europa, när man ville uppfinna alternativ till stålarmering. Undersökningar i Japan på 1990-talet, främjade stort användandet av FRP förstärkningar. Japan var det första landet som publicerade planeringsanvisningar för FRP förstärkta betongkonstruktioner. I konstruktioner kan också användas CFRP (carbon fibre reinforced polymer) laminat, vilka fästs på ytan av konstruktionen. Vid användning av FRP förstärkningar som förstärkning av skjuvkrafter har anisotropiska beteendet stor betydelse. Vinkeln mellan fibern och sprickan är också betydande faktor. Fördelarna med FRP är hög hållfasthet, låg vikt samt motstånd mot korrosion. Som nackdelar kan ses materialets höga kostnad jämfört med vanlig armering, känslighet för mekaniska skador samt svaga brandmotstånd. (Källa: Prince Engineering)

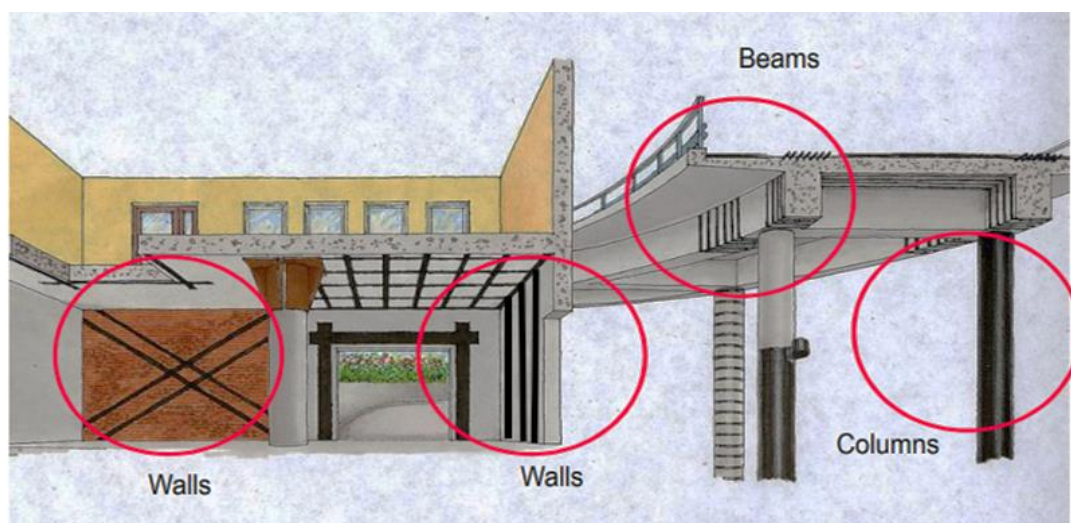


Bild 8, Användningsområdet för kolfiberförstärkningar (Sto)

## 6.1 Ett praktiskt exempel på användningen

Kolfiberprodukterna kan användas mångsidigt i olika betongkonstruktioner. Materialtillverkaren Sto Finexter Oy har i sina material presenterat några olika objekt där kolfiberförstärkningar har använts. Som exempel har jag valt parkeringshuset Sickla Allé i Stockholm.

En kort tid efter att parkeringshuset var färdigt, upptäcktes det sprickor i de bärande betongtvärbalkarna. Undersökningarna visade att balkarna var underdimensionerade, vilket betyder att de kräver mer armering för att bära lasterna. Som alternativ lösning diskuterades det mellan NSMR (stav) och laminat. Beställaren bestämde sig för NSMR eftersom det både löste problem och blev vackrare slutresultat.

Först granskades ritningar samt beräkningar av objektet. Beräkningarna visade tydligt att förstärkning av balkarna krävdes. NSMR stavarna var möjliga att använda eftersom betongbalkarnas täckskikt var mer än 20 mm. Därefter markerade man var man skulle såga. Sågen som användes var en betongsåg med dubbla sågblad. Spåren putsades, sedan applicerades primer (StoPox 452 EP), varefter rektangulära NSMR staven monterades. Överlopps lim skrapades bort.



Bild: Parkeringshuset



Bild: Betong tvärbalken



Bild. sågade spåren



Bild: Försätrkta balken

## 7 Allmänt om belastningar

Ett Sådant fysikaliskt fenomen som orsakar spänning i en konstruktion räknas som belastning. De laster som tas i beaktande vid konstruktionsplanering, delas in i permanenta- och variabla laster. (Vänttilä, J., 2016). Laster på konstruktioner räknas enligt eurokoderna. Vid granskning av gamla konstruktioner bör beaktas förändringar i räknemetoderna genom åren. Både lasternas varaktighet samt inverkningstid bör tas i beaktande vid beräkning av laster.

- Permanent
- Variabel
- Olyckslaster

(Sto Finexter Oy)

### **Permanent last**

Som permanent last räknas byggnadsdelars egenvikt samt andra oföränderliga laster som belastar konstruktionen. Egenvikten räknas vanligtvis enligt byggnadsmaterialens, tillbehörens samt byggnadsdelarnas nominellamått, då materialens genomsnittliga densitet kan användas. Den permanenta lasten är summan av alla oföränderliga laster. Detta utgörs av alla byggnadsdelars egenvikt, jordbelastning samt jordtryck. Den statiska belastningen är på grund av detta till stor del beroende av det använda byggnadsmaterialet. De permanenta lasterna belastar troligtvis konstruktionen under hela dess livslängd och deras förändring över tiden är väldigt liten. Permanent last har beteckningen G eller g i beräkningar och konstruktionsritningar. (Betoniteollisuus och Sto)



## Variabel last

Variabel last är beroende av konstruktionens storlek samt belägenhet. Den kan vara en kombination av flera olika laster, människor, inredning, förrådsmaterial, fordon, maskiner samt vinden. Variabel last har beteckningen  $Q$  eller  $q$  i beräkningar. (Betoniteollisuus, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan och Sto)

## Olyckslaster

Vanligtvis kortvarig men märkbart stor last, vilket osannolikt sker under en konstruktions planerade livslängd. Olyckslast har beteckningen  $A$  vid beräkningar. (Betoniteollisuus, Betonirakenteiden suunnittelu eurokoodien mukaan och Sto)

Betongens egenskaper kännetecknas av att draghållfastheten är betydligt mindre än tryckhållfastheten. Då betongen blir utsatt för drag innebär det att även vid mindre belastningar uppstår sprickor. Betongkonstruktioner armeras för att motverka sprickbildning samt brott i konstruktionen, oftast med stål men andra material kan vid behov utnyttjas. Armeringens uppgift är att överföra dragkrafter (genom vidhäftning och kontaktryck) i de dragna delarna av konstruktionen efter att betongen spruckit. Vid behov kan också armeringen förstärka konstruktionens tryckhållfasthet. Armeringsbehov som för laster till upplag kan vara aktuellt i en konstruktion, en sådan armering kallas för tvärkraftarmering. Dessa tvärkraftarmeringar är vertikala eller lutande byglar. Då speciella krav ställs på en betongkonstruktion, kan det vara tvunget att använda annat armeringsmaterial än stål. Ett sådant exempel kan vara när det krävs god korrosionsbeständighet på armeringen samt då förstärkningen inte får leda elektricitet. I dessa undantagsfall kan kolfiber, glasfiber eller syntetiska fiberkompositer användas. (A. Häggman, 2003)

## 7.1 Tvärkraft

Tvärkraft är en snittstorhet som förekommer vid dimensionering av en konstruktion. Konstruktionen bör dimensioneras så att kraftöverföringar är möjliga, då möjliggörs lastöverföringen från konstruktionen till stöden. Betong har låg draghållfasthet vilket leder till sprickbildning när konstruktionen överbelastas. Tvärkraft kan orsaka olika typer sprickor till exempel sneda livs- samt böjskjuvsprickor. Det måste finnas ett kraftöverförandesystem vid dimensionering. Trots sprickor bör systemet vara i jämvikt med yttre lasterna.

Att dimensionera en förstärkning mot tvärkraftbrott är relativt enkelt jämfört med böjbrott. Problemet som vanligen uppkommer är att dimensionerna på balken inte godkänner tillräcklig förankringslängd. Det finns två lösningar till detta, tvärkraftförstärkningen kan förankras mekaniskt, eller så måste förstärkningen lindas runt balken så att den formar en kringomslutande bygel. Av dessa metoder är omslutningen den effektivare ifall det är arbetstekniskt möjligt. Ifall balken är ingjuten i bjälklaget ovanför kan endast så kallad U-förstärkning användas. (Larsson, N., Ternér, E., 2015)

I det flesta fall måste konstruktionen tvärkraftarmeras. Brott orsakad av tvärkraft kan i praktiken delas i två huvudtyper, skjuvglidbrott och livtryckbrott. (A, Hägglund, 2003)

En byggnadsdel är sällan enbart utsatt för tvärkraft, utan i de flesta fall blir konstruktionen samtidigt utsatt för böjmoment. Böjmomentets storlek och riktning är beroende av konstruktionen. (Andy Hägglund, 2003)

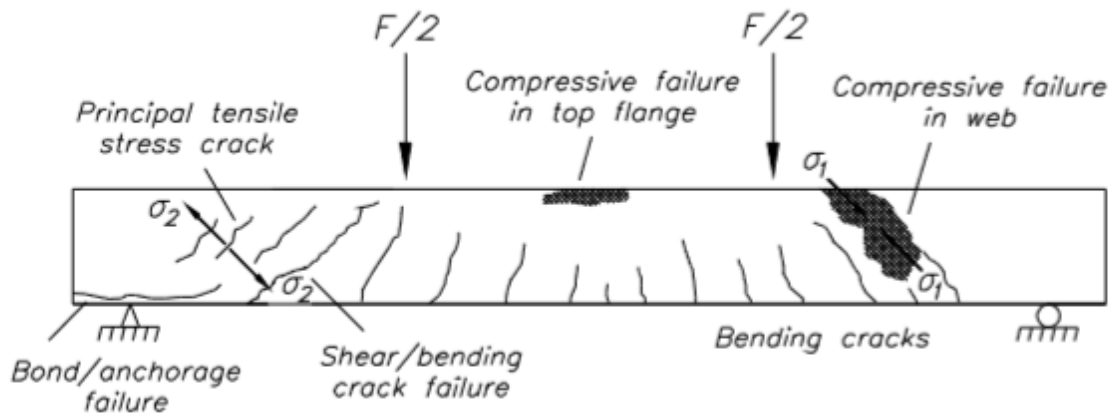


Bild 10, Olika typer tvärkraftsbrott i betongbalk

När betongkonstruktionens tvärkraftskapacitet räknas måste följande saker tas i beaktandet:

- armeringsmängder
- betongens hållfasthetsklass
- konstruktionens mått och form
- Fördelning av moment och tvärkraft
- Över eller underkantens lastangrepp

(Bokverkets handbok om betongkonstruktioner)

Som följande presenteras beräkning av bärförmågan för en otvärkraftarmerad konstruktion enligt eurokod, med avseende på skjuvglidbrott och livtryckbrott. Enligt Eurokod SFS-1992-1-1, tvärkapacitet på konstruktion enligt följande ekvation:

(1) Leikkauskestävyyden  $V_{Rd,c}$  mitoitusarvo lasketaan kaavasta

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d$$

vähimmäisarvon ollessa

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$$

missä

$f_{ck}$  on betonin lieriölujuuden ominaisarvo 28 vuorokauden ikäisenä yksikkönä MPa

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$  missä poikkileikkauksen tehollinen korkeus  $d$  on millimetreinä

$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0,02$

$A_{sl}$  on tarkasteltavasta poikkileikkauksesta momentin itseisarvon pienenemissuuntaan vähintään mitan  $(b_d + d)$  verran ulottuvan vetorausituksen pinta-ala (ks. kuvaa 6.3)

$b_w$  on poikkileikkauksen pienin leveys vedetyllä korkeudella [mm]

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0,2 f_{cd}$  [MPa]

$N_{Ed}$  on kuormituksesta tai jännevoimasta aiheutuva poikkileikkauksen normaalivoima [N] ( $N_{Ed} > 0$  puristuksessa). Pakkosiirtymätilan vaikutusta normaalivoimaan  $N_{Ed}$  ei tarvitse ottaa huomioon.

$A_c$  on betonipoikkileikkauksen pinta-ala [mm<sup>2</sup>].

Tvärarmerade balkens tvärhållfasthet fås genom att välja det mindre värdet av formlerna 6.8 och 6.9 (SFS-EN 1992-1-1 s.88).

(3) Kun rakenneosassa on vertikaalinen leikkausraudoitus, leikkauskestävyys  $V_{Rd}$  on pienempi kaavoista (6.8) ja (6.9) saatavista arvoista:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \quad (6.8)$$

HUOM. Jos käytetään kaavaa (6.10), pienennetään kaavassa (6.8) olevaa mitoituslujuutta  $f_{ywd}$  arvoon  $0,8 f_{ywk}$ .

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (6.9)$$

Där:

$A_{sw}$  on leikkausraudoituksen poikkileikkausala

$s$  on hakojen jakoväli

$f_{ywd}$  on leikkausraudoituksen myötölujuuden mitoitusarvo

$v_1$  on leikkausvoiman vaikutuksesta halkeilleen betonin lujuuden pienennyskerroin

$\alpha_{cw}$  on kerroin, jonka avulla otetaan huomioon poikkileikkauksen puristusjännitystilän vaikutus.

Det finns ett alternativt uttryck för tvärkraftkapaciteten för områden utan böjsprickor (d.v.s. områden där dragspänningen inte överstiger betongens draghållfasthet). Istället bestäms tvärkraftkapaciteten för ett sådant område enligt formeln 2:

$$V_{Rd,c} = \frac{I \cdot b_w}{S} \sqrt{(f_{ctd})^2 + \alpha_1 \sigma_{cp} f_{ctd}} \quad (6.4)$$

missä

$I$  on jäyhyysmomentti

$b_w$  on poikkileikkauksen leveys painopisteakselin kohdalla, kun suojaputket otetaan huomioon kaavojen (6.16) ja (6.17) mukaan

$S$  on painopisteakselin yläpuolella olevan pinta-alan staattinen momentti painopisteakselin suhteen

$\alpha_1 = l_x / l_{pt2} \leq 1,0$  tartuntajänteissä  
 $= 1,0$  muuntyyppisissä jänteissä

$l_x$  tarkasteltavan poikkileikkauksen etäisyys voimansiirtopituuden aloituskohdasta

$l_{pt2}$  on jänteen voimansiirtopituuden yläraja-arvo kaavan (8.18) mukaan

$\sigma_{cp}$  on normaalivoimasta ja mahdollisesta jännevoimasta painopisteakselille aiheutuva betonin puristusjännitys  $\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$ , yksikkönä MPa,  $N_{Ed} > 0$  puristuksessa).

Källa för ekvationen: SFS

## 7.2 Böjmoment

Böjning innebär inom tekniska mekaniken, mekanisk förändring av konstruktions geometrin som följd av böjmomentet, vilket orsakar böjning av huvudaxeln. Denna böjning kan vara en- eller dubbelaxlad. (Sto Finexter Oy)

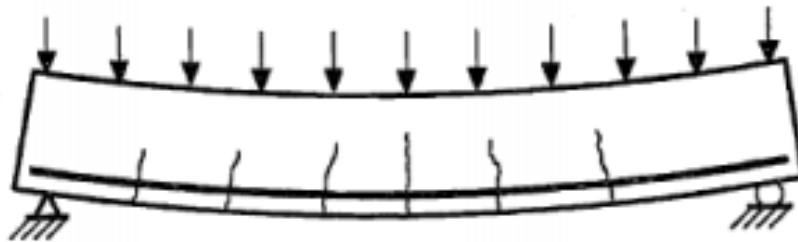


Bild 11, Sprickor orsakade av böjning (Larsson, N., Ternér, E., 2015)

Då en armerad betongbalk blir utsatt för belastning kommer den att deformeras. Syftet med på utsidan limmade kompositer är att förhöja böjmomentkapaciteten i strukturen. Förstärkningen för böjhållfasthet monteras alltid på den sida som blir utsatt för drag, detta

innebär undre kant för fältmoment och övre kant för stödmoment. (Larsson, N., Ternér, E., 2015)

Det finns två steg för dimensionering av förstärkning mot böjbrott. Det första är att granska nuvarande skicket på konstruktionen, undersöka betongens över- och underkant samt kolla armeringens spänningstillstånd. Andra steget är att dimensionera förstärkningen för konstruktionens underskott i bärförmågan. (Larsson, N., Ternér, E., 2015)

Det finns sju typer brott som kan uppkomma i en betongbalk vid böjbelastning:

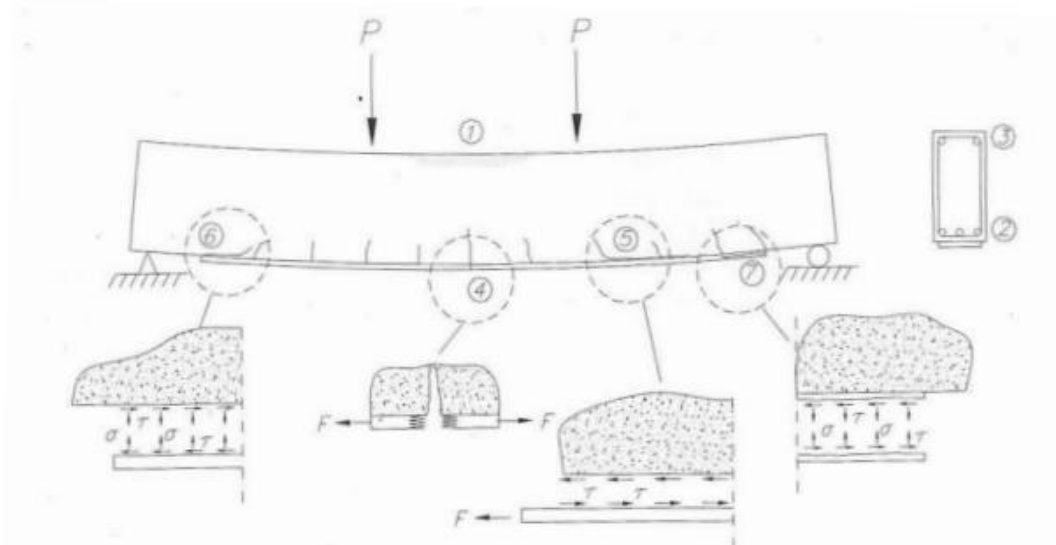


Bild 12, Brottstyper (Täljsten, B., 2016)

1. Tryckbrott i betongen
2. Flytning i dragarmeringen
3. Flytning i tryckarmeringen
4. Dragbrott i laminatet
5. Interlaminär sprickbildning, vidhäftningsbrott
6. Fläkbrott vid ände på komposit, omfattar även eventuellt interlaminärt brott i kompositen

(P, Bängtsson och Barbaranelli, A, 2017)

Laminat limmas på balkar och plattors undre sidor, för att uppta spänningar som bildas då konstruktionen böjer sig. Det går också att fästa laminat längs pelare för att förhindra knäckning. Det finns överslagsberäkningar tillgängliga, vid beräkning av deformationer orsakade av nedböjning. Med hjälp av överslagsberäkningarna kan momentkapaciteten i ett tvärsnitt av balken, samt nödvändig area för förstärkningen beräknas. (Nordlander, M, 2010)

## 8 Förstärkning mot tvärkraft

Tvärkraftsbrott är en mycket invecklad process och därför ska utföraren ha kunskap om olika brottmod. Tvärkraftskapaciteten hos en betongkonstruktion är beroende av betongen, armeringen och tvärkraftförstärkningen (Täljsten, B., 2016)

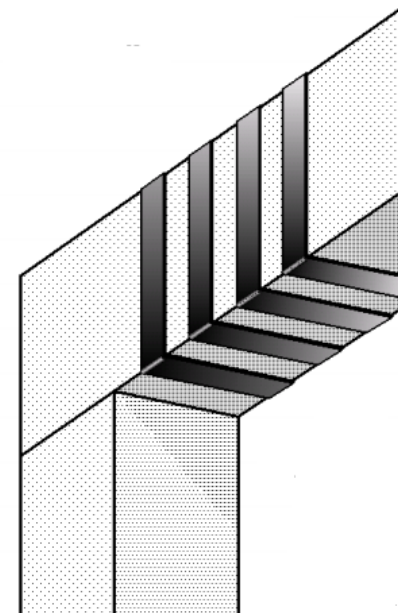


Bild 13, Förstärkning mot tvärkraft (Tyrens)

För att kunna förstärka betongkonstruktioner mot tvärkraft måste man ha en förståelse för olika typers tvärkraftbrott, hur de uppkommer och beter sig. För en betongbalk med konventionella byglar kan tvärkraftbrotten delas in i följande:

### **Livskjuvbrott:**

Det uppkommer i de områden där balken inte blir utsatt för sprickor orsakade av böjning. Brottet sker då huvudsakligen dragspänningen överskrider betongens draghållfasthet. Brottet är ofta ett resultat av bristfällig skjuvarmering, eller att den fattas helt och hållet.



### **Böjskjuvbrott:**

Brottet börjar med sprickbildning från böjning och fortsätter med skjuvsprickning. Sprickan växer från konstruktionens dragzon och fortsätter mot tryckzonen. Det slutliga brottet är krossning eller spjälkning av tryckzonen. Tvärkraftmotståndet förbättras av skjuvarmeringen samt yttre förstärkningar, som överskrider den spruckna zonen. Som dragstag fungerar skjuv- och böjarmeringen och tryckbelastningen tas upp av betongen samt sneda antagna betongsträvorna. (B. Täljsten, 2016)

### **Tryckbrott i balklivet:**

Brottet kan ske då skjuvarmeringen är överdimensionerad, då stålarmingen inte når sträckgränsen förrän betongens tryckhållfasthet överskrids. (B. Täljsten, 2006, 2016)

### **Flytning i byglarna:**

Man kan ifrågasätta ifall flytning räknas som en form av brottmod. Men i den stunden då flytning sker, uppstår det sprickor i betongbalken. De flesta normer utgår från att alla byglar flyter samtidigt. Detta antagande stämmer inte helt eftersom stål har en väldefinierad flytgräns och fastän deformationen är delad paraboliskt, delar sig spänningarna jämt efter att flytning och därför är det simpelt att räkna byglarnas andel av tvärkraften. (B. Täljsten, 2006, 2016)

### **Förankring med byglar:**

Den övre ändan av skjuvsprickan når ofta mycket nära balkens tryckta yta. Spänningen i byglarna är nära eller lika stor som sträckgränsen vid den punkten där en bygel korsar sprickan. På grund av detta är det viktigt att bygeln är förankrad på rätt sätt i betongbalkens drag- och tryckzon. (B. Täljsten, 2006, 2016)

### **Förstärkning för ökad skjuvkapacitet**

Förstärkning av konstruktioner med FRP är vanligt och det finns många olika typer av betongkonstruktioner som kan behöva förstärkning mot skjuv. Det vanligaste sättet att förstärka mot skjuv är att linda väv i runt sidorna på konstruktionen. Ifall det inte är böjd yta, kan också laminat användas

Då oskadade betongkonstruktioner förstärks, kommer inte förstärkningen att belastas före betongkonstruktionens bärförmåga överskrids och sprickbildning sker. För maximalt utförande av förstärkningssystemet bör den vara virat runt hela balken.

(Strengthening for increased shearforce, version 2006 by Björn Täljsten)

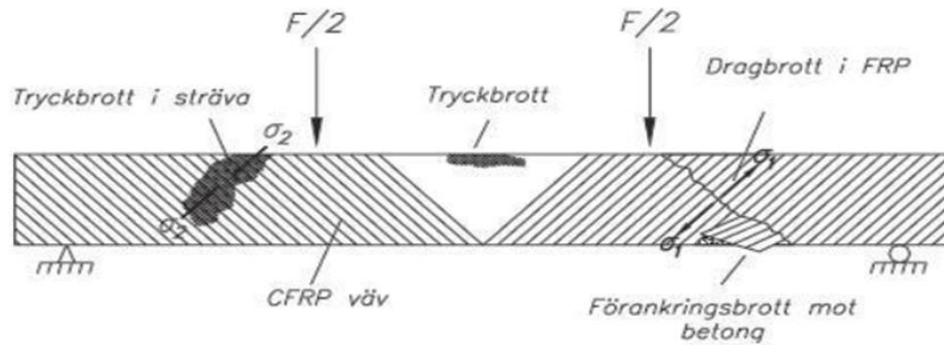


Bild 14, Tvärkraftbrott för FRP system (Täljsten, B)

### **Fiberbrott i FRP:**

Fiberbrott uppstår då fibrernas kritiska töjningskapacitet överskrids. Brottet kännetecknas ofta av en utbredning av sprickan där kompositen delvis går sönder, detta är allmännare för väv. Brottet är ofta sprött. Fibrernas riktning mot de största huvudspänningarna påverkar duktiliteten.

### **Förankringsbrott:**

Förankringsbrott av FRP kan ske då betongens ytdraghållfasthet är för låg eller ifall förankringsarean är för liten för att överföra skjuvkrafterna mellan armeringen och betongen. För att undvika att dessa skall ske, kan man vira väv runt hela balken, för att skapa FRP bygel.

(Strengthening for increased bending moment, version 2006 by Björn Täljsten)

(Strengthening of Concrete Structures by the use of CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymers, Björn Täljsten 2006)

## 9 Förstärkning mot böjspänning

Kompositmaterialens allmännaste användningsområde är vid förstärkning av konstruktioner. Detta görs på grund av att kompositmaterialen har en ökad momentkapacitet. Förstärkningen limmas mot betongens yta, och kan vara i form av väv eller laminat. Stavar kan också limmas i betongens täckskikt, då använder man sig av en s.k. NSM-metod.

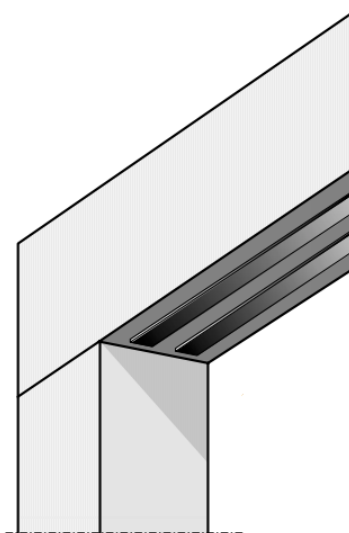


Bild 15, Böjmomentförstärkning med kolfiberlaminat (Sika)

Vid bestämning av användning av väv eller laminat måste man fundera på användningsområdet. Väv passar bättre där det behövs mera flexibilitet, t.ex. pelare, krökta ytor eller i samband med håltagning. Laminat är däremot lämpligare för plana ytor, dessa kan då vara väggar och bjälklag. I båda fallen måste betongens lösa ytskikt avlägsnas så att ballasten kommer fram. Detta görs endera med blästring eller slipning. Både före och efter blästringen/slipningen måste dock ytan rengöras. Därefter appliceras primer som passar förstärkningssystemet. Efter att primern har härdat appliceras lim och väv. Denna metod gäller dock endast för väv, vid användning av laminat sätts limmet endast på laminatet. För att försäkra att limtjockleken blir rätt är det rekommenderat att använda en limpåstrykare.

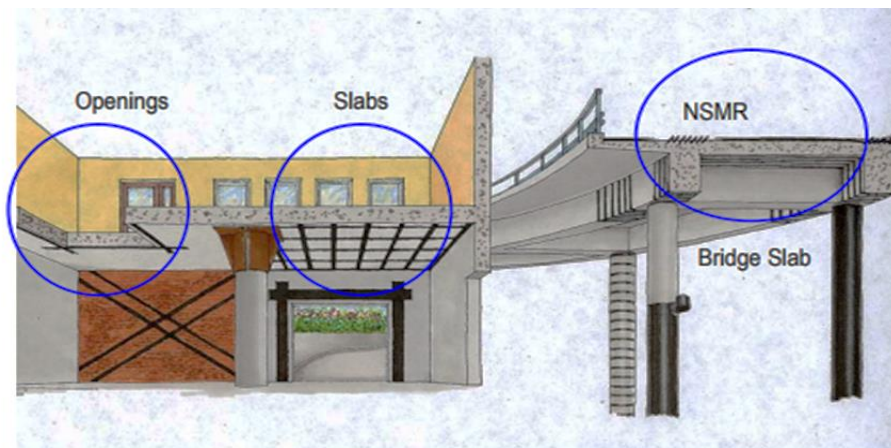


Bild 16., Sto användningsområden

## 9.1 Förankring med komposit

Vid förankring av komposit är det viktigt att dimensionera tillräckligt långa förankringslängder. Det räcker dock inte alltid, ibland måste även mekaniska förankringar användas. Kompositens förankringslängd är beroende på limningen och betongens kvalitet samt förstärkningsmaterialets egenskaper.

Vid förstärkning med komposit är det alltid betongen som är den svagare delen, såvitt förstärkningen är korrekt monterad. Detta innebär att kompositens hela kapacitet inte kan utnyttjas eftersom det skulle leda till sprickbildning i betongen. Det har visat sig att sprickbildningen börjar då kompositens last motsvarar 400–500 MPa spänning.

På samma sätt som för förankring av vanligt armeringsstål kan man använda balkens momentkurva för att beskriva förändringar i dragkraften i kompositen. Eftersom tvärkraften orsakar lutande sprickor, måste dragkraften korrigeras med förskjutningsmättet  $a_l$  (se bild 17).

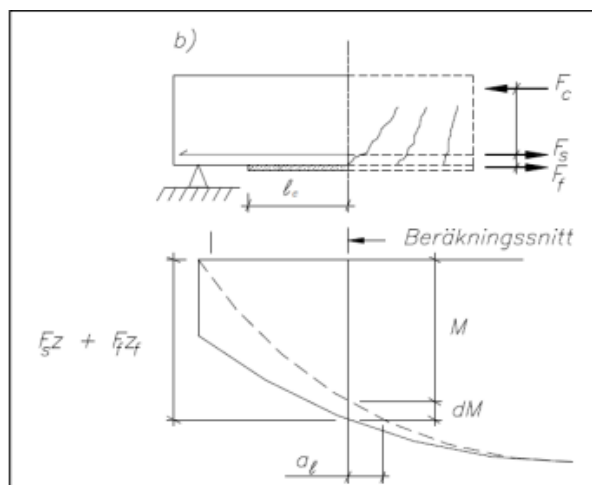


Bild 17. Förankringslängd, Täljsten 2006

(kompositförstärkning av betong) (FRP Strengthening of concrete structures for flexure)

(Larsson, N., Terner, E., 2015)

## 10 Standarder och anvisningar

Syftet med en standard är att beskriva hur en produkt används på rätt sätt. Det finns inga standarder för nordiska kolfiber produkter. Brist på standarder leder till problem vid jämföring av olika forskningsresultat, eftersom forskningsgrupperna ställer upp testen enligt deras egna kriterier. Även internationell standard för testet saknas. Orsaken till detta kan vara att metoderna är relativt nya eller så har ingen ännu tagit initiativ till att skapa en standard. (Nordlander, M, 2009)

Syftet med en standard är att beskriva hur en produkt används på rätt sätt. Ifall kolfiberförstärkningar hade en standard, kunde olika produkter samt forskningsresultat enkelt jämföras med varandra. I dagsläget är det mycket svårt att jämföra resultat med varandra. Detta beror på att ett test som vid en tidpunkt utförs behöver ha någon koppling till liknande test vid andra tidpunkter. Eftersom det inte finns någon standard kan en forskning endast gälla det förstärkningssystem som användes. Förutsättningarna för olika resultat kan skilja sig, detta leder till att det kan bli svårt att använda dem på andra system. De flesta upplever metoderna för kolfiberförstärkning som komplicerade och är därför osäkra att arbeta med det. För att denna osäkerhet skulle minska, borde kolfiberförstärkning tas upp i finska normer, och både metoderna och produkterna borde standardiseras. (Nordlander, M, 2009)

Kolfibers egenskaper och användning som förstärkning av betongkonstruktioner behandlas dock allmänt i vissa olika standarder:

EN 2561	Carbon fibre reinforced plastics - Unidirectional laminates - Tensile test parallel to the fibre direction
ASTM 3039	Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials
ISO 527-5	Plastics - Determination of tensile properties - Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites
SFS-EN 1504-4	Products and systems for the protection and repair of concrete structures

## 11 Kvalitetskrav/ Utförandet

Innan påbörjning av förstärkning måste den befintliga konstruktionen kartläggas så att man får nödvändig data för förstärkningsarbetet, detta innefattar t.ex. betongens hållfasthet. Därefter kan planering av förstärkningsarbetet påbörjas. Genomförande av förstärkningsarbetet samt klimatet måste följas upp.

Den delen av betongkonstruktionen där kolfiberförstärkningen skall monteras, bör ha tillräcklig hållfasthet. På så sätt undviks att förstärkningen utförs i sådana områden där armeringskorrosion orsakad av skador förekommer. Alltså kräver det reparation av byggdelarna innan montering av kolfiberförstärkningen. (N., Larsson., Turner, E., 2015)

En specifik kvalitetsplan är rekommenderad för projektet. I planen ska framgå kontrollpunkterna som måste följas och dessutom ska förstärkningsarbetet dokumenteras. Detta dokument ska vara indelat i tre stycken faser; före förstärkning, under förstärkning och efter förstärkning. I första fasen ska det dokumenteras orsakerna till förstärkningsbehovet. Under förstärkning ska framgå vilka material som använts. I efter förstärkningsfasen ska framgå möjlig negativ påverkan som måste åtgärdas, detta kan vara t.ex. kontroll av ihålligheter.

Orsaken till att man måste dokumentera material som använts är att de måste gå att spåras. Dessa material är då primer, lim och kolfiber. Vid mottagning måste det kollas att produkterna följer specifikationer enligt datablad.

Innan renoveringsplaneringen bör följande saker undersökas så noggrant som möjligt:

- konstruktionens ålder
- byggnadens/konstruktionens historiska värde
- konstruktionernas laster, både nuvarande laster och nya laster
- Skador i konstruktionen

Vid förstärkningsplanering bör den förstärkta konstruktionens anslutna delar komma ihåg. Till exempel vid förstärkning av en enskild balk bör beaktas, ifall den överför laster till närliggande konstruktion eller ändrar anslutningarnas funktion. Detta kan leda till skador i andra konstruktioner och på så vis förstöra hela meningen med förstärkningen. (Norokivi, T., 2016)

Det är obligatoriskt innan alla förstärkningsarbeten att kontrollera konstruktionens tillstånd, för att kunna bestämma ifall det överhuvudtaget går att förstärka den. Hur noggrann kontrollen bör vara kan variera, men åtminstone måste konstruktionen kontrolleras utförligt okulärt, det måste göras ett draghållfasthetsprov och så måste det också sökas de ställen där armeringen släppt från betongen. Fast betongens tillstånd vore tillräckligt bra för att uppfylla kraven, är det ofta nödvändigt att slipa eller reparera betongen innan inledning av förstärkningsarbetet. På så sätt kan det säkras att kolfibrernas vidhäftning är bra mot betongen. Efter slipning samt blästring av betongen läggs primer, vilket görs för att betongens porer ska öppnas. Till sist bör det monteras någon form av brandskydd för att säkra att konstruktionen hålls oskadad vid brand och värme. (Larsson, N., Ternner, E., 2015)

Limning med epoxilim är en stor del av arbetet med kolfiberkomposit. Problemet med epoxilimet är dess allergiframkallande vilket måste beaktas vid arbetsprocessen. För att undvika kontakt med epoxilimet, måste skyddsutrustning användas.

Kolfiber är ett mycket lätt material, därför kan arbetet utföras utan lyftanordningar på höga höjder. På grund av dess vikt förblir konstruktioners egenvikter nästan oförändrade (P, Bängtsson och Barbaranelli, A)

Orsaken till oviljan att använda kolfiberförstärkningar är troligtvis att metoderna är relativt nya, vilket har lett till att de inte inses som universella. Kunskapen om en korrekt metod för hantering och dimensionering är inte tillräckligt utbredd. Detta leder till att användningen begränsas. För att användning och utveckling av kolfiberförstärkning ska gå framåt, krävs det utbildning samt att erfarna arbetare delar med sig sin kunskap. (Nordlander, M., 2009)



## 12 Sammanfattning

Kolfiberförstärkningar är väldigt användbara men mycket okända. Med rätt kunskap erbjuder kolfiberprodukter smidiga lösningar till renoveringsbyggande. Men på grund av bristfällig kunnskap har kolfiberprodukterna stannat i skymning. I nuvarande situation används kolfiberförstärkningar endast för speciella ändamål där andra lösningar inte är lämpliga.

Med olika kolfiberförstärkningssystem kan man utnyttja kolfibers egenskaper i flera olika konstruktionsdelar. Till exempel med laminat produkter kan man höja konstruktionens böjmomentkapacitet märkbart jämfört med vanligt armeringsstål. Kolfibers draghållfasthet samt elasticitetsmodul är mångfaldigt bättre än armeringsstålets. Dessutom har kolfiber flera utmärkta egenskaper som skulle lämpa sig bra till renoveringsbyggande men materialets fulla potential utnyttjas inte.

För det första borde man förbättra arbetskunnigheten inom användningen av kolfiberprodukter och för det andra borde standardisering ske för produkterna. Också materialets höga pris förhindrar utvecklingen, eftersom renoveringsprojektens ekonomiska lönsamhet måste tas i beaktande. Nödvändig information med tanke på dimensioneringen är mycket utspridd i olika källor och det är svårt att skapa en helhets bild av ämnet. På grund av detta har det i arbetet förts fram de centralaste teoretiska synvinklarna.

Allra viktigaste är att ha en basbild hur olika förstärkningsmetoder fungerar samt i vilka konstruktioner det är lämpligt att använda kolfiberprodukter för att förbättra böj- eller tvärkraftkapaciteten. Förhoppningsvis kan kolfiberförstärkningar i framtiden erbjuda smidiga lösningar till renoveringsbyggandet i en större skala än idag.

## 13 Källor

*Betoniteollisuus Ry.*, Beonin Historia

<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/> (Hämtat 29.03.2018)

*Betoniteollisuus Ry.*, Käyttö talonrakentamisessa

<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-talonrakentamisessa/> (Hämtat 29.03.2018)

*Betoniteollisuus Ry.*, Betonin käyttöikä

<https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-kayttoika/>

*Boverkets* handbok om betongkonstruktioner, BBK 04

[https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2004/boverkets\\_handbok\\_om\\_betongkonstruktioner\\_bbk\\_04.pdf](https://www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2004/boverkets_handbok_om_betongkonstruktioner_bbk_04.pdf) (Hämtat 26.03.2018)

*Björn*, Täljsten; Strengthening of concrete structures for shear, Technical university of Denmark

*Bängtsson, P och Barbaranelli, A.*, 2017., KOLFIBERFÖRSTÄRKNING - En jämförelse mellan kolfiberförstärkning och traditionella förstärkningsmetoder., Örebro Universitet

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1115864/FULLTEXT01.pdf>

*Dagdony, M., Rashid, T.*, 2017., Kolfiberförstärkning av betongkonstruktioner med avseende på böjning och tvärkraft

<https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1146241/FULLTEXT01.pdf> (Hämtat 28.03.2018)

Hägglund., Andy., 2003., Betongbalkar förstärkta med kolfiberkomposit: tvärkraft

[www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1023705/FULLTEXT01.pdf](http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1023705/FULLTEXT01.pdf) (Hämtat 01.04.2018)

Larsson, N., Ternner, E., 2015., Förstärkning av betongkonstruktioner med kolfiber med avseende på olika brottstyper., Uppsala Universitet

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:839043/FULLTEXT01.pdf>

Nordlander, Mattias., 2010., Kolfiberkomposit förstärker betongkonstruktioner., Högskolan i Gävle

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:306794/FULLTEXT01.pdf>

Nordlander, Mattias., 2009., Studie av kolfiberförstärkningar i betongkonstruktioner., Högskolan i Gävle

<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:223327/FULLTEXT01.pdf>

Norokivi, T., 2016., Betonipalkkien eri vahvistusmenetelmät

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/118569/Norokivi\\_Tomi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/118569/Norokivi_Tomi.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hämtat 26.03.2018)

*Peda.net.*, Betongförort i Myrbacka på 1970-talet.

<https://peda.net/yl%C3%B6j%C3%A4rvi/peruskoulut/viljakkalan-koulu/aineet/hjy/7-luokka/epookki-7-822/1js1lnko/kkh/mkjk> (hämtat 21.03.2018)

Petterson, F., 2014., Tvärkraftsdimensionering av armerad betong- En utredning av beräkningsförfarandet., Uppsala Universitet

<https://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:752618/FULLTEXT01.pdf> (hämtat 26.03.2018)

*Prince Engineering*; FRP Reinforcement for Structures

SFS-EN 1504, 2006, Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 1: Määritelmät

SFS-EN 1992-1-1, 2015., EUROKOODI 2: BETONIRAKENTEIDEN SUUNNITTELU. OSA 1-1: YLEISET SÄÄNNÖT JA RAKENNUKSIA KOSKEVAT SÄÄNNÖT

STO., Tekninen tietolehti, sheet., Betonirakenteiden hiilikuituvahventaminen – Menetelmäkuvaus

Suomen Betoniydistys r.y. 2007., By 51 betonirakenteiden käyttöikäsuunnittelu., Suomen betonitieto Oy. Helsinki

Suomen Betoniydistys r.y. 2016., By 41 betonirakenteiden korjausrakenteet., Suomen betonitieto Oy. Helsinki

Suomenrakentamismääräyskokoelma, Osa B1 Rakennusten vähimmäiskuormat, kantavat rakenteet ja pohjarakennus, määräykset.

Täljsten., B., 2006., Strengthening for increased bending moment, version 2006

Tiehallinto., 2007., Betonirakenteiden liimausvahventamisohjeet., Edita Prima Oy, Helsinki

Tilastokeskus; rakennuskannan ikäjakauma (Bild)

Tilastokeskus; Käsitteet ja määritelmät

<http://www.stat.fi/keruu/rako/kasitteet.html> (Hämtat 26.03.2018)

Vänttilä, J., 2016., Kuormat, rungon jäykistäminen ja rakennesuunnittelu, Luentomateriaali (Noppa)

Westerberg, B., Tyréns/Sika Oy 2006 Förstärkning av momentkapacitet med pålimmande kolfiberband – Dimensioneringanvisning

Westerberg, B., Tyréns /Sika Oy 2007 Tvärkraftförstärkning med pålimmande kolfiberband – Dimensioneringanvisning