

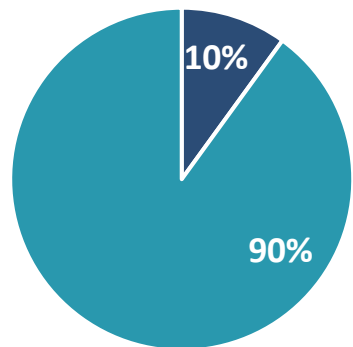
Forfattere: Morten Frost Kamphøener | Nordisk Markedschef & Jacob W. Schmidt | Associate Prof. ved AAU

# Kulfiberforstærkning af betonkonstruktioner

- Materialet og egenskaber
- Anvendelse
- Montage
- Design
- Eksempler

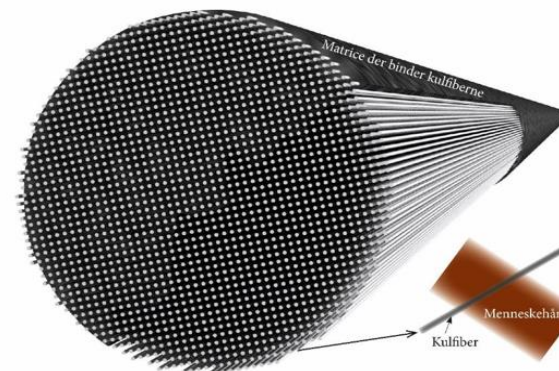
# Materialet og egenskaber

## Produktion af kulfiber råmateriale

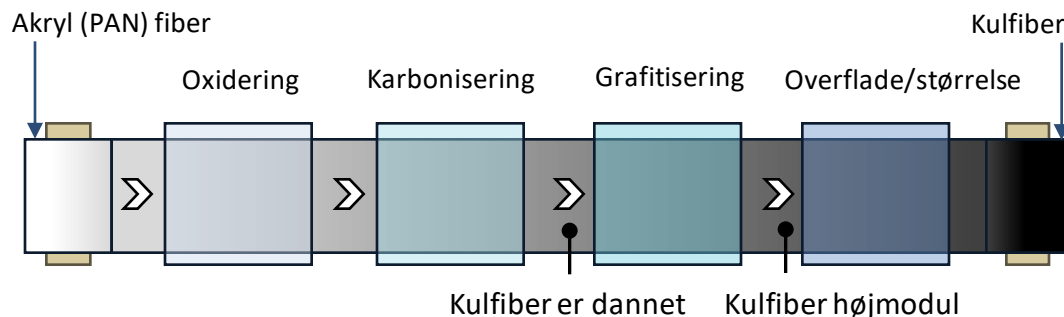


- Rayon (cellulose)
- PolyAcryloNitrile

Ultratynde kulfiberstreng (ca. 0,005-0,010 mm i diameter)



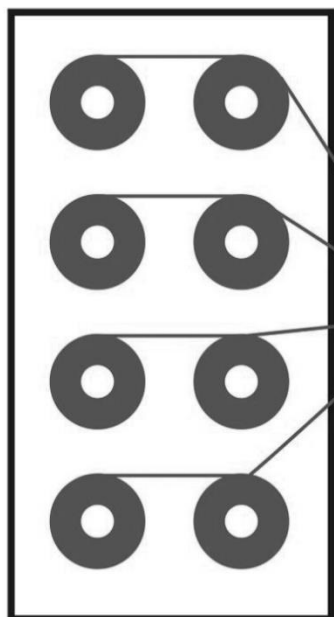
Råfiber karakteriseres ved 1K/3K/6K/9K/12K/15K/18K/24K/48K/etc. Tallet indikerer antal streng i tusinder pr. tråd



kilde [CompositesWorld](https://www.compositesworld.com)

# Materialet og egenskaber

Kulfibertråde



Matrice (komposit)

## pultruderingsproces

Profilering



Hærdning

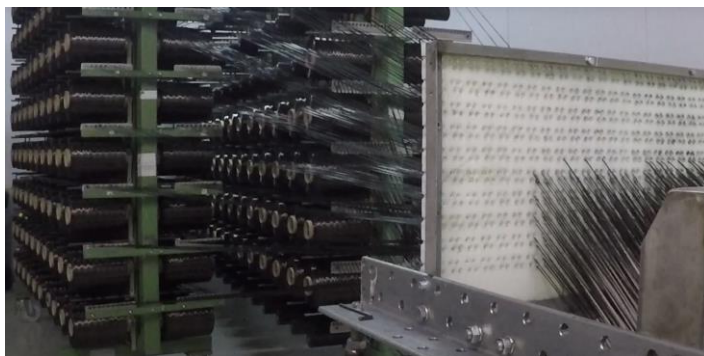
Trækkere



Sav

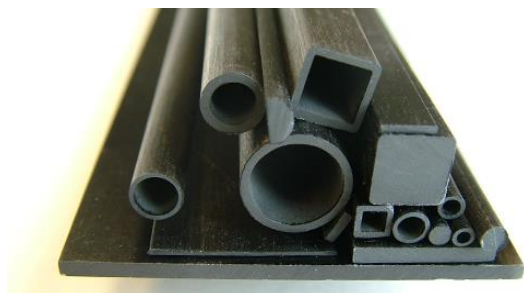


**CFRP produkter**  
(Carbon Fiber Reinforced Polymer)

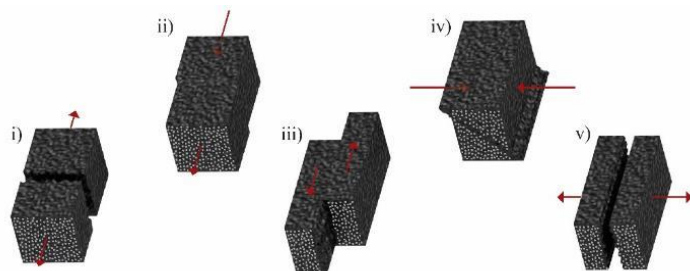


# Materialiet og egenskaber

## CFRP produkter (Carbon Fiber Reinforced Polymer)



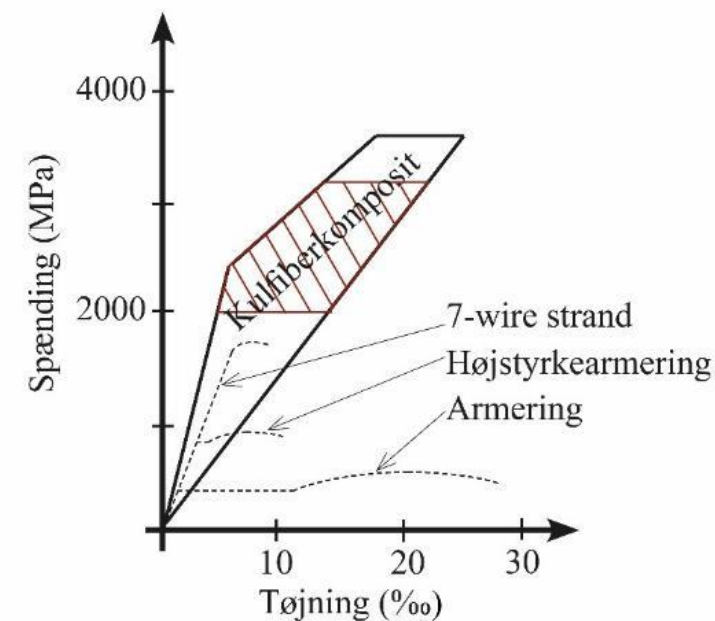
Anisotropiske egenskaber



Kulfiberkompositers brudtyper ved forskellige kraftpåvirkninger i forskellige retninger.

### Egenskaber

- Linear elastisk til brud
- Høj brudstyrke
- Designfleksibel
- Lav vægtmasse
- Korrosionsfri materiale



E-modul [GPa]	Brudspænding [MPa]	Brudtøjning [‰]	Temperaturudvidelseskoefficient [x10 <sup>-6</sup> /°C]
200-260	2000-3300	9-16	-1 to 0
160-170		14-18	

# Anvendelse



A Simpson Strong-Tie® Company

# Kulfiberprodukter

## Kulfiberlaminater

Kulfiberkompositplade som limes direkte på betonoverfladen.

Externally Bonded (EB)



## Kulfiberstænger

kulfiberkompositstang som limes i spor i betonens dæklag

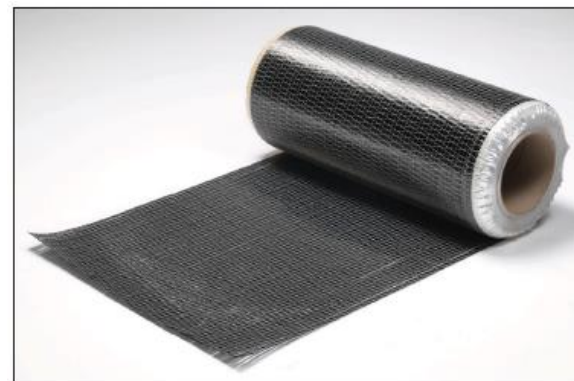
Near surface mounted (NSM)



## Kulfiberdug

Vævet kulfiberdug som limes direkte på betonoverfladen.

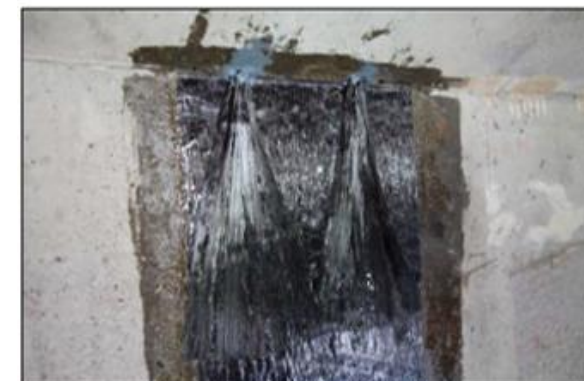
Externally Bonded (EB)



## Kulfiberankre

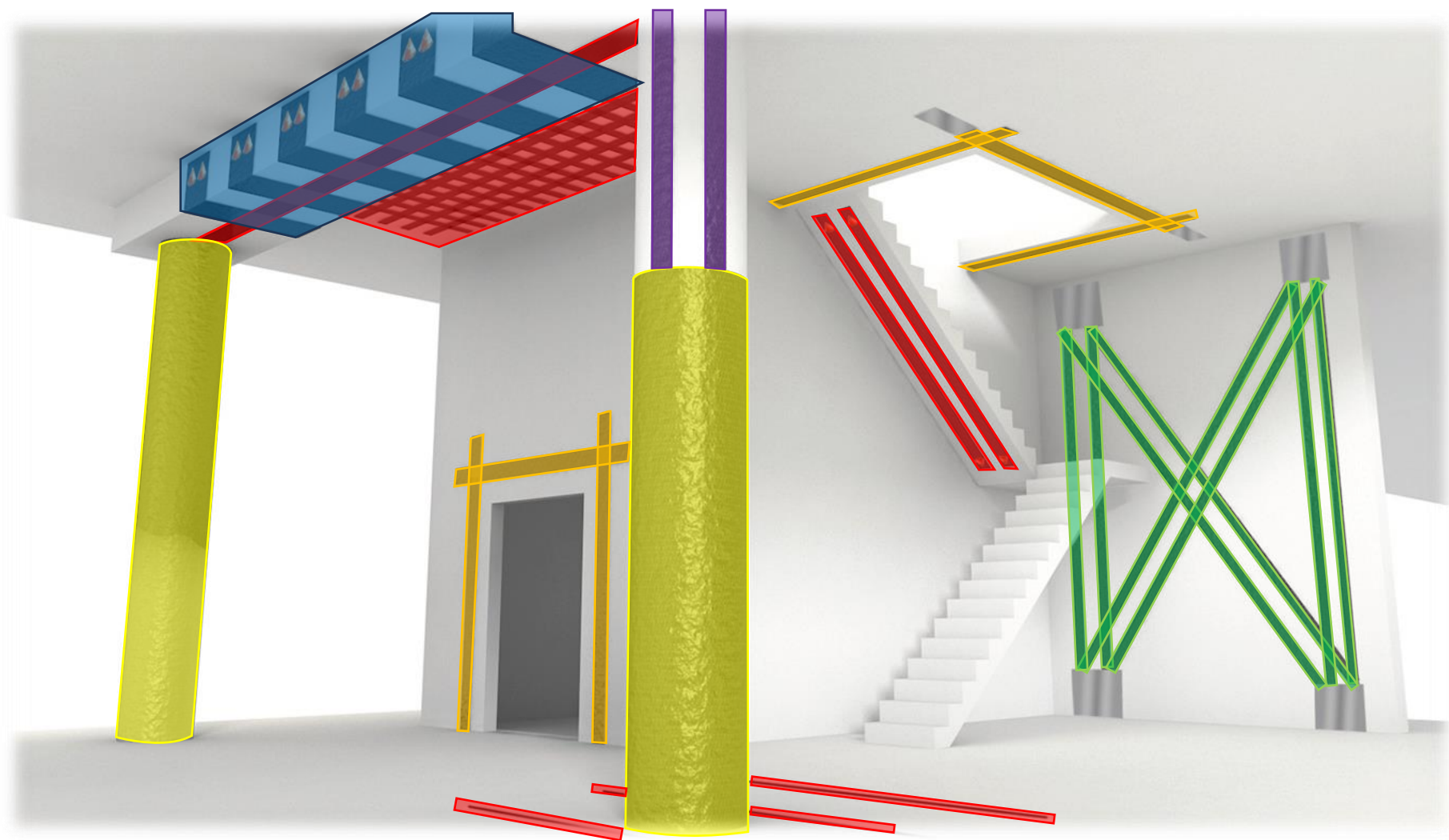
Kulfibertråde samlet indlimes delvist i beton og på kulfibervæv.

Anchoring



# Anvendelse

- Lastforøgelse
- Moment og nedbøjning
- Forskydning
- Normalkraft
- Udknækning
- Hultagning
- Stabilitet



# Anvendelse

## Last forøgelse

- Bøjningsmoment og nedbøjning
- Forskydning
- Trykstyrke
- Udknækning





# Montage

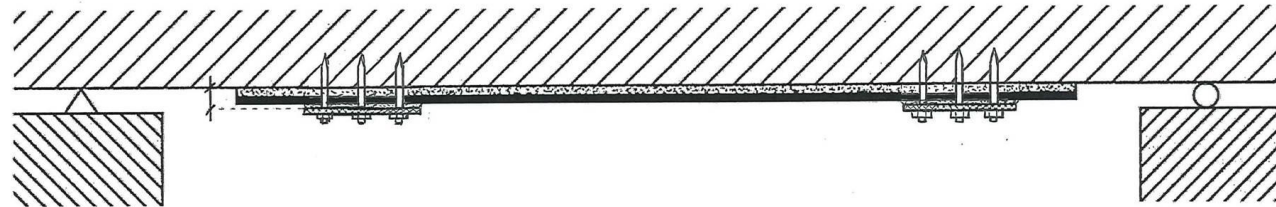


A Simpson Strong-Tie® Company

# Montageproces - kulfiberplader



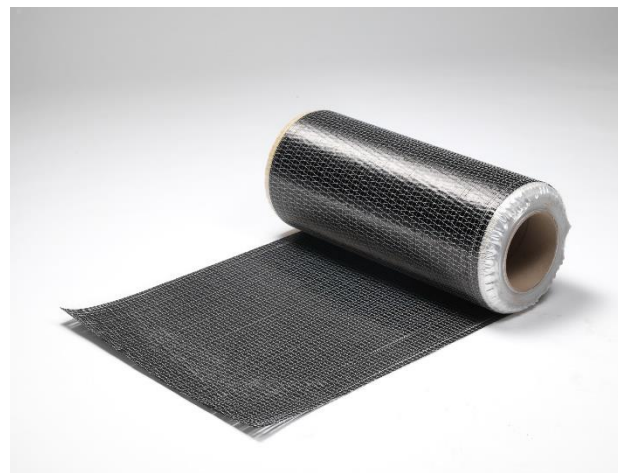
# Montageproces – forspændte kulfiberplader



# Montageproces – indlimning af kulfiber



# Montageproces - kulfiberdug





A Simpson Strong-Tie® Company

# Design

# Normer og guidelines

Eurocode behandler pt. ikke kulfiberforstærkning.

I kommende opdatering af betonnormen EC2 behandles kulfiberforstærkning i annex J og Ja

International Concrete Federation i *FIB bulletin 90*

Da der ikke findes nogen norm for arbejdet, er det omfattet af:

BR18, kapitel 15, §352.

DS/EN 1504 – serien

- 1504-4 Konstruktiv forstærkning ved pålimning af armering
- Check CE mærkning + DoP på limprodukter

## Nationale guidelines

- Tyskland
- Schweiz
- Italien
- Frankrig
- UK
- Holland
- USA



## Kulfiberforstærkning introduceret i nyt afsnit i betonhåndbogen

20 Reparation af beton

20.1 - Reparation (17 sider)

20.2 - Overfladebeskyttelse (32 sider)

20.3 - Reparatjonsmørtler og beton (15 sider)

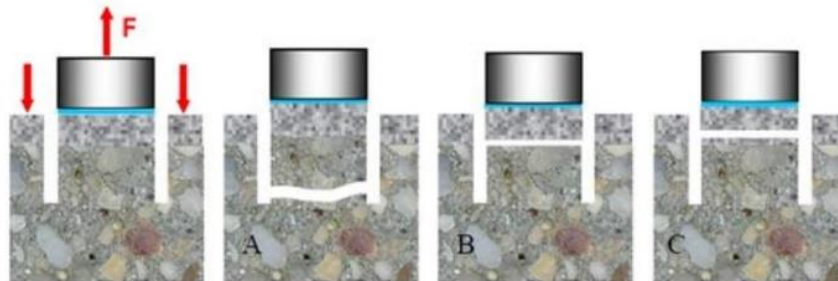
20.4 - Kulfiberforstærkninger af betonkonstruktioner (16 sider)

# Design

## Vigtige forudsætninger

- Kendskab til konstruktionens statiske system forinden og efter forstærkningen.
- Information om eksisterende konstruktions geometri.
- Eksisterende armeringsdimensioner, placering og kvalitet.
- Tilstandsvurdering af betonen. (Kap. 18 i betonhåndbogen + DS/EN1504-9)
- Information om betonens tryk- og trækstyrke. (Kap. 10.1+10.2 i betonhåndbogen)
- Aftrækstyrken jf. DS/EN 1542

- DS11990 Bæreevnevurdering af eksisterende konstruktioner



**Ferstærkning af beton med S&P FRP laminat**  
Nødvendig information om projektet

Projekt: \_\_\_\_\_ S&P Designcenter Nordic  
S&P Designcenter  
SE-503 79 Gäddede  
Tel: +46 (0)31 730 41 40  
Fax: +46 (0)31 730 41 40  
E-mail: info@snp.se  
Web: www.snp.se

Placering: \_\_\_\_\_ Kontaktperson: \_\_\_\_\_  
Firma: \_\_\_\_\_ Mob: \_\_\_\_\_ e-mail: \_\_\_\_\_  
Tit: \_\_\_\_\_

1) Beräkningsmodell  Fritt upptaget balk  Känslig balk  
 Anslutnings- / Måttarm  Stödmoment  
 Komplex (reglerat moment)

2) Tvärsnitt = Läga för befintlig armering

Bjälklag T-balk R-balk

Spännvidd: \_\_\_\_\_ m

3) Bef. betonghållfasthet (ex. B25, C35/45, etc.):  
Uppmätt draghållfasthet: \_\_\_\_\_

4) Bef. armerings kvalitets-hållfasthet:  
Armering vid dimensionerande moment: \_\_\_\_\_  
Armering vid uppbyggnad: \_\_\_\_\_  
Tvärkraftarmering: \_\_\_\_\_

5) Beräkningar/Analyse – värtigen bifoga följande information:

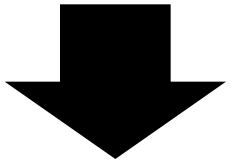
- 1) Skissa på befintlig och ny beräkningsmodell med spännviddet och position av last.
- 2) Moment diagram för installationsödet. Befintligt utseende med endast egenvikt ( $\gamma = 1,0$ ).
- 3) Momentdiagram i brott (ULS) av ny beräkningsmodell. Efter förstärkning och fullt belastat.  
a) Max moment i fullt  
b) Max moment över stöd
- 4) Momentdiagram i karakteristisk lastkombination af det nye fullt belastet system (permanent och ryttelast med  $\gamma = 1,0$ ).
- 5) Tvärkraftdiagram i brott (ULS) av ny beräkningsmodell. Efter förstärkning och fullt belastat.



# Design

## Brudmekanismer

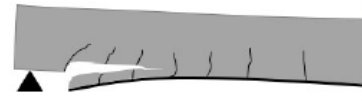
- Delaminering ved endeforankring
- Afskalling af betondæklag
- Delaminering forårsaget af
  - Forskydningsrevner
  - Bøjningsmoment revner
  - Kombination af forskydning og bøjningsmoment
- Sprødt brud



**Reduceret udnyttelse af kulfiberens kapacitet grundet brud initieres typisk i overgang mellem limen og betonen (afskalningsbrud).**



*Endeafskalning, hvor laminat løsriver i enden af yderste betonlag tæt på overgang mellem beton og epoxyklæberen til kulfiberen.*



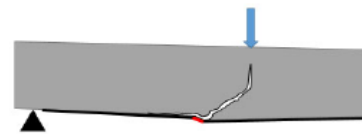
*Dæklagsseparering, hvor dæklag løsriver fra ende af kulfiberkompositten.*



*Interlaminar afskalning ved forskydningsrevne*



*Interlaminar afskalning ved bøjningsrevne*



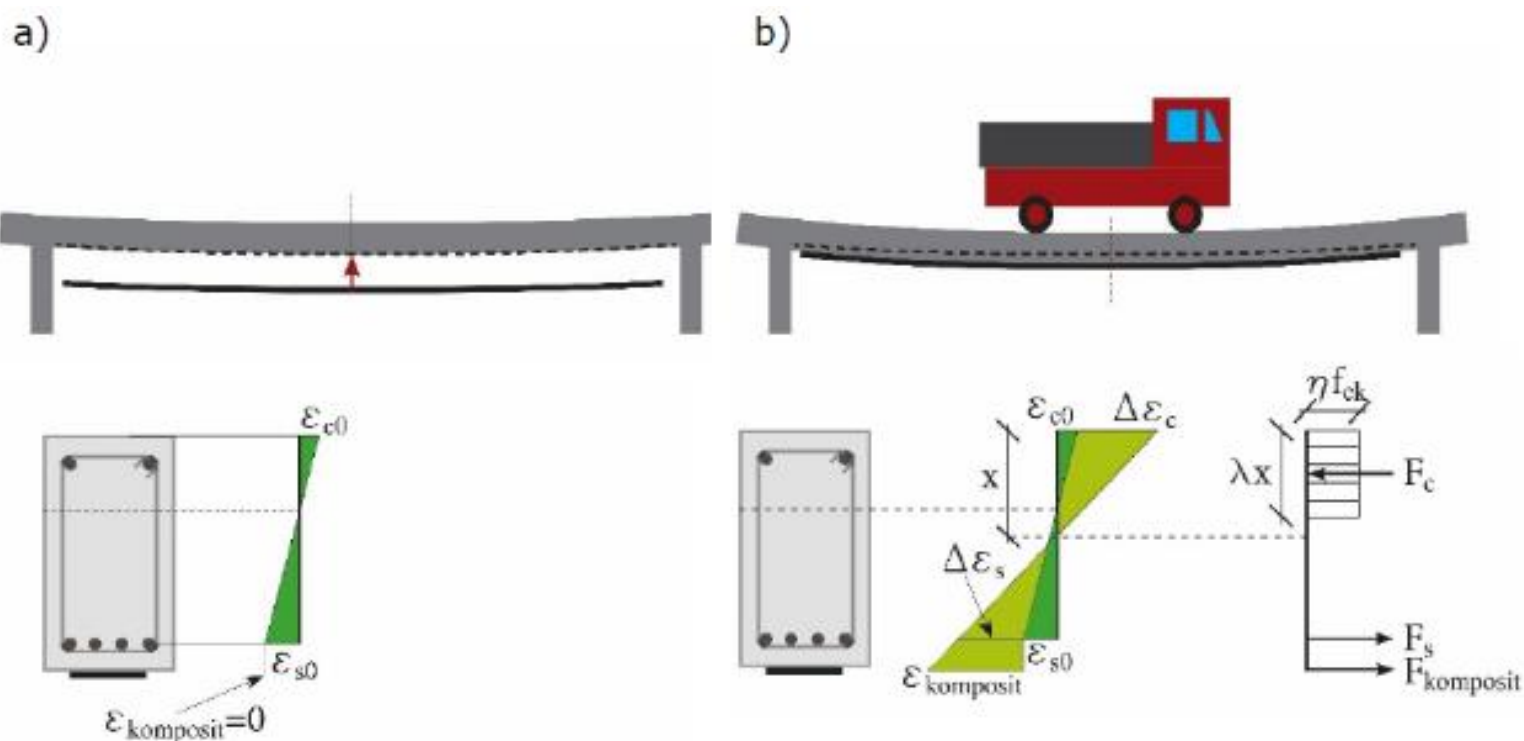
*Interlaminar afskalning ved bøjnings- og forskydningsrevne*



# Design

Kulfiber kræver en tøjning for at udvikle en kraft

$$F = EA * \varepsilon$$



# Design

Ved design med kulfibersystemer anvendes en begrænsning af tøjningsniveauet i kulfibersystemet.

Tøjning i CFRP ved afskaliningsbrud

$$\varepsilon_{komposit,u} = 1,6\% \text{ (Standard Modul)} / 1,35\% \text{ (Høj Modul)}$$

Udnyttelsesgrader ift. ULS (SM)

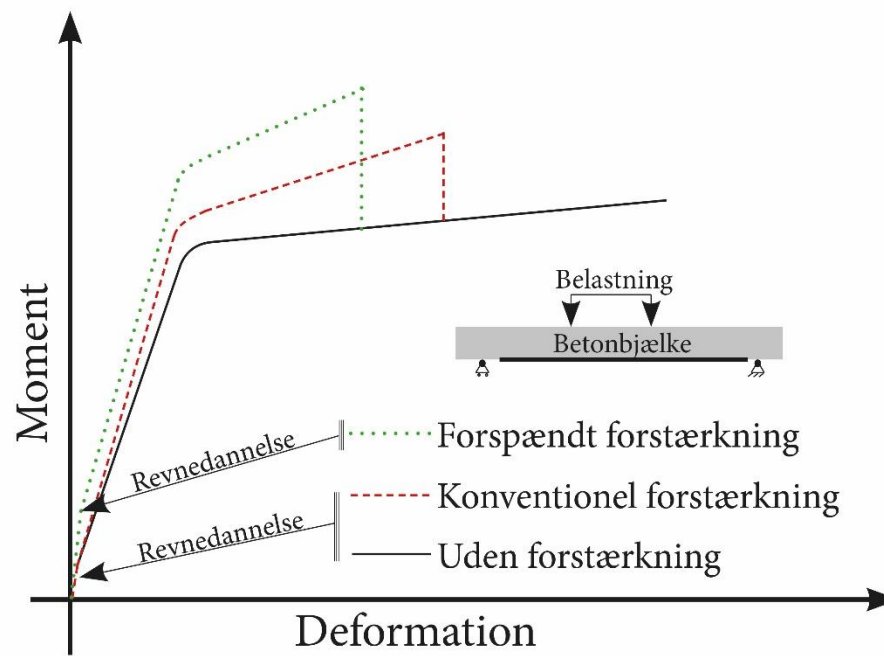
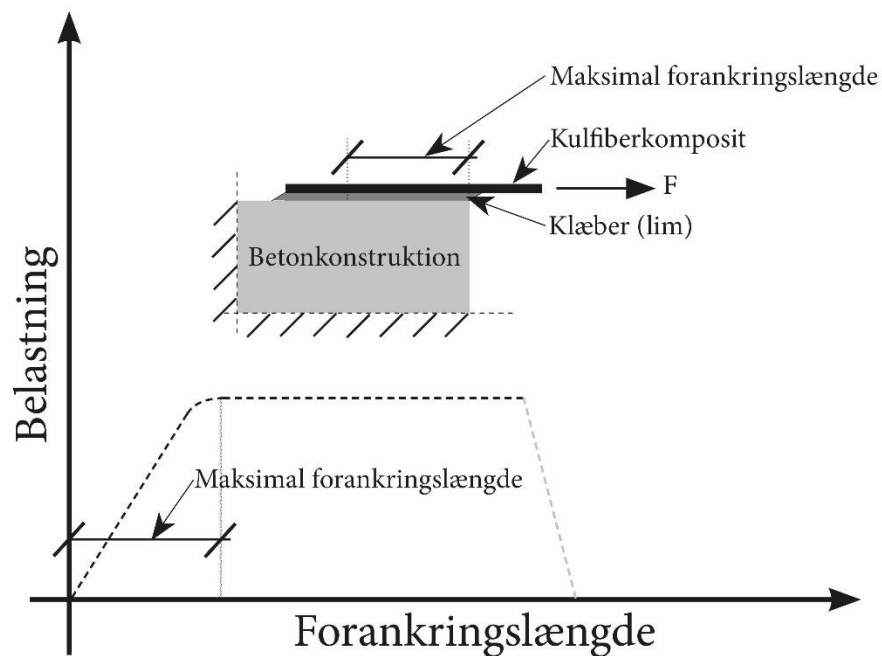
- |                   |   |         |
|-------------------|---|---------|
| • Passiv EB-CFRP  | $\Delta\varepsilon_{komposit,EB,limit} = 0,75\%$  | ~ 50%   |
| • Passiv NSM CFRP | $\Delta\varepsilon_{komposit,NSM,limit} = 0,95\%$   | ~ 60%   |
| • Aktiv CFRP      | $\varepsilon_{komposit,aktiv,limit} = \varepsilon_{fp} + \Delta\varepsilon_{komposit,aktiv} \approx 1,15\%$ | 75-100% |

Mekanisk forankring  
Aktiv i SLS og ULS

Lim  
Aktiv i ULS

# Design

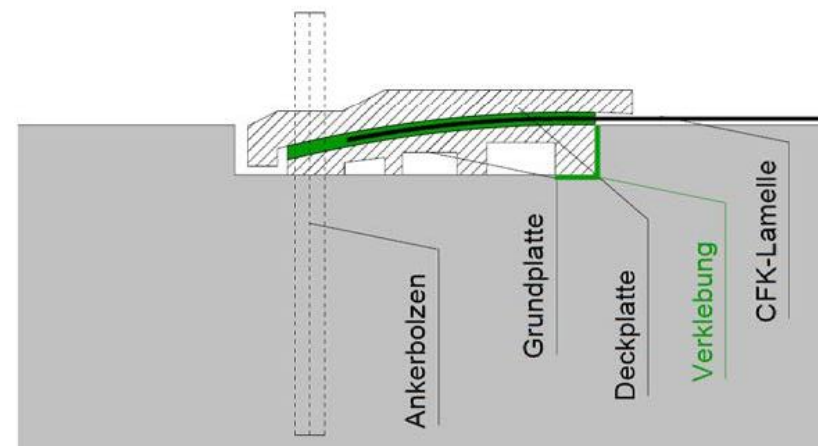
Ved design med kulfibersystemer anvendes en begrænsning af tøjningsniveauet i kulfibersystemet.



# Design

## Forankringsystem for kulfiberplader:

S&P ende-forankring	Lamelle-bredde	Tilladt forankrings-kraft	Plade-bredde	Pladelængde
Type 50	50 mm	75 kN	120 mm	Grundplade: 125 mm
Type 60	60 mm	90 kN	130 mm	
Type 80	80 mm	120 kN	150 mm	
Type 90	90 mm	135 kN	160 mm	Dækpladen: 155 mm
Type 100	100 mm	150 kN	170 mm	
Type 120	120 mm	180 kN	190 mm	
Type 150	150 mm	225 kN	220 mm	



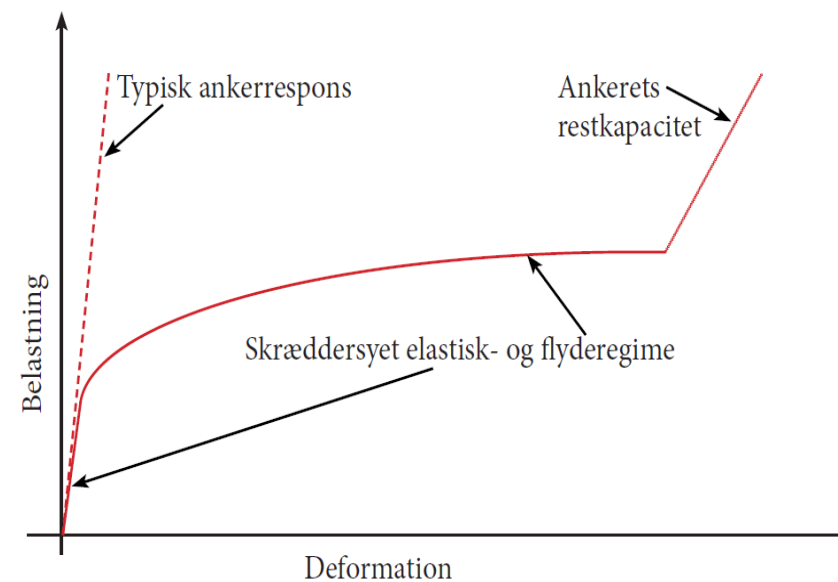
# Design

Eksempel på forankringssystem for kulfiberstang d8mm:



*Med et dette system kan vi øge duktilitet signifikant og forstærkningsrespons kan designes.*

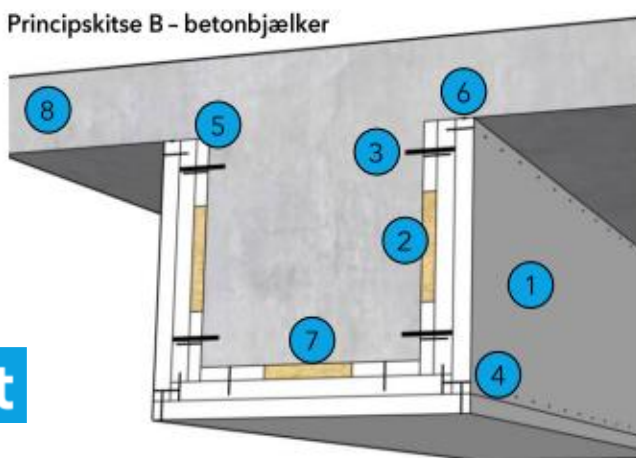
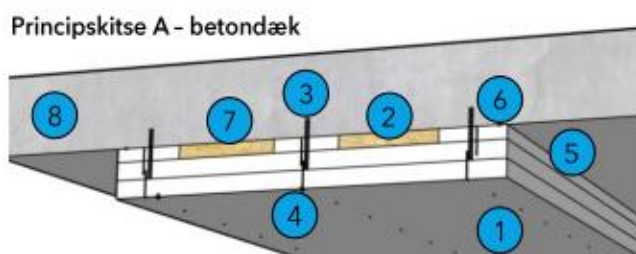
## Anker respons,



# Design

Ved design med kulfibersystemer skal man desuden tage højde for følgende:

- Brand = Check eksisterende konstruktion er sikret iht. brandklassekrav, hvis ikke skal der brandbeskyttes.



## Konstruktion

- 1 PROMATECT®-L500 plade(r)
- 2 30 mm Rockwool Lamelmåtte, densitet 50 kg/m<sup>3</sup>.
- 3 Fischer Ekspressøm FNH
- 4 Klammer
- 5 30\*150 mm PROMATECT®-L500 strimler
- 6 PROMASEAL®-A fugemasse
- 7 Kulfiber-eller metalbånd, bredde 20-375 mm
- 8 Beton, densitet min. 2250 kg/m<sup>3</sup>

## Forudsætninger

- ✓ 1-sidet brandpåvirkning
- ✓ Indendørs montering
- ✓ Arealer: 320-1200 mm bredde, længde ubegrænset.
- ✓ Testet iht. EN 13381-3:2015 (Assm. PHA11129A)
- ✓ Brandeksponeringstid & temperatur, se tabel A-B.

Check Lim produkternes tekniske datablad og find  $T_g$

$T_g$  = glasomdannelsesstemperatur

Diverse FRP software programmer checker for brandtilfældet.

kilde

**Promat**

# Design

Ved design med kulfibersystemer skal man desuden tage højde for følgende:

- UV lys = Ved UV påvirkning dækkes overfladerne med en UV bestandig maling eller mørtel.
- Fugtindhold i betonen (check produktkrav for epoxy produkterne).
- Er konstruktionen indendørs/udendørs? Temperatur og luftfugtighed har betydning for montagen.
- Ved forstærkningsdesign beregnet med design software skal man være opmærksom på de anvendte tekniske produktdata i softwaren, danner grundlag for dimensioneringen fra de forskellige leverandører.

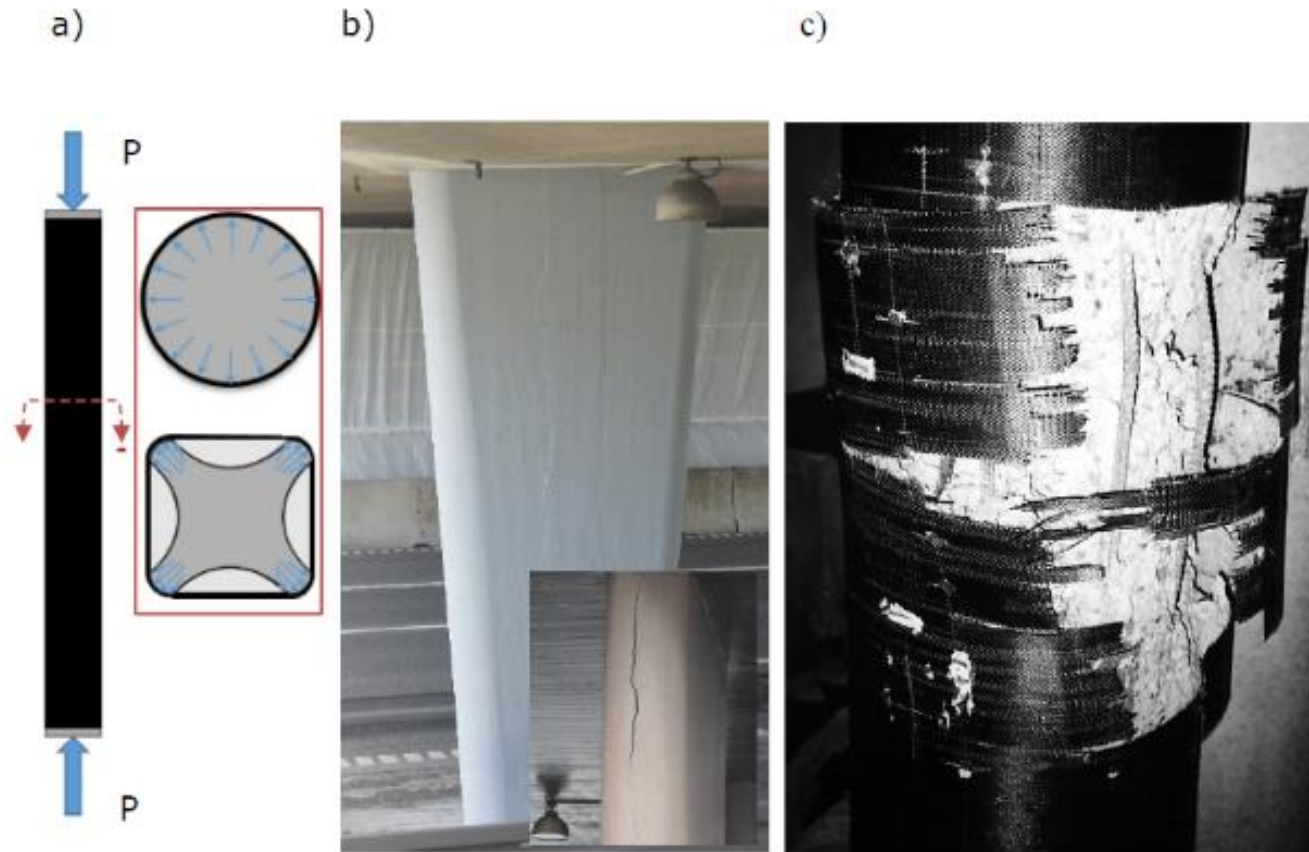




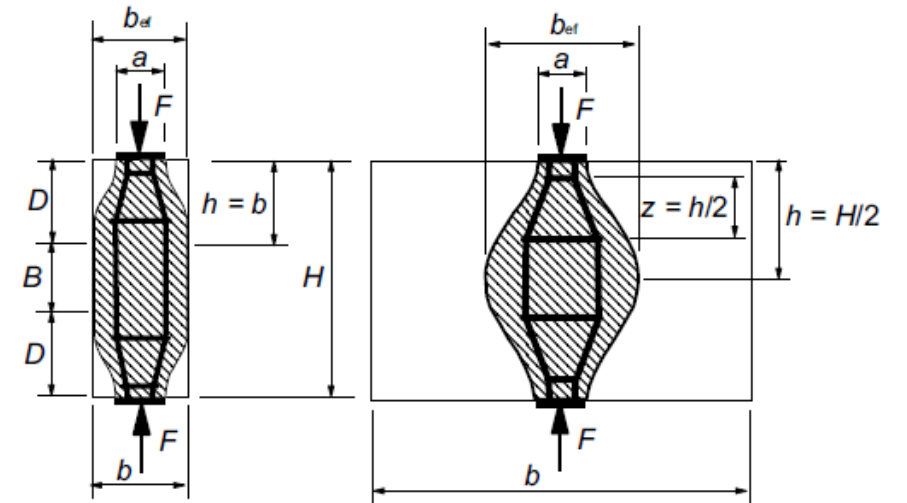
A Simpson Strong-Tie® Company

# Design af søjleforstærkning

# Forstærkning af søjler



## Trækbånd i henhold til EN1992-1-1 6.5.3



$$b_{ef} = b$$

$$b_{ef} = 0,5H + 0,65a; a \leq h$$

B – Kontinuitetsområde

D – Diskontinuitetsområde

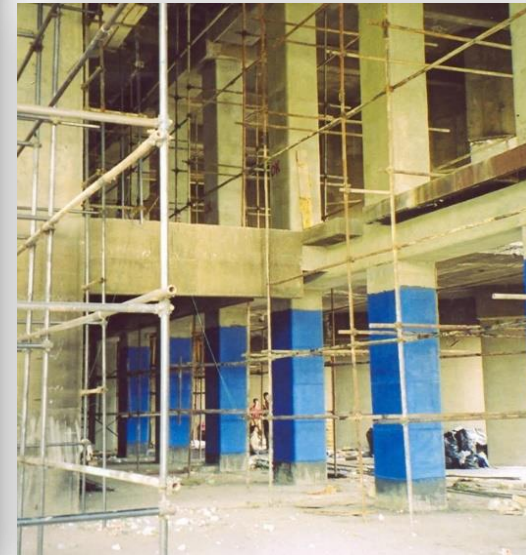
a) Partiell diskontinuitet

b) Full diskontinuitet



A Simpson Strong-Tie® Company

# Eksempler









# KAP. 20.4

## Kulfiberforstærkning af betonkonstruktioner

Udarbejdet af  
Morten Frost Kamphøener | Nordisk Markedschef  
& Jacob W. Schmidt | Associate Prof. ved AAU

*I samarbejde med*

