

Opgradering af betonkonstruktioners bæreevne med kulfiberkompositter



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

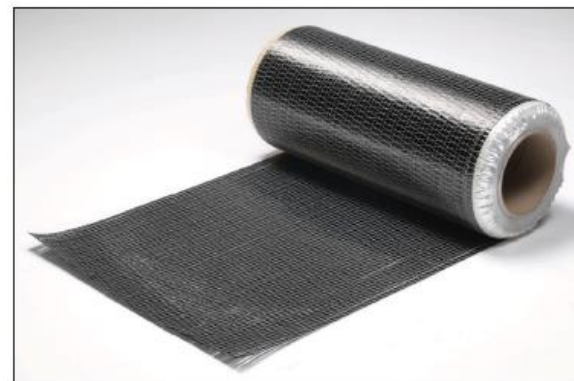
Near surface mounted (NSM)



Kulfiberdug

Vævet kulfiberdug som limes direkte på betonoverfladen.

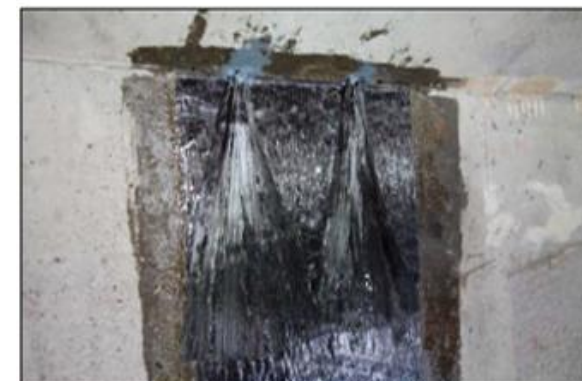
Externally Bonded (EB)



Kulfiberankre

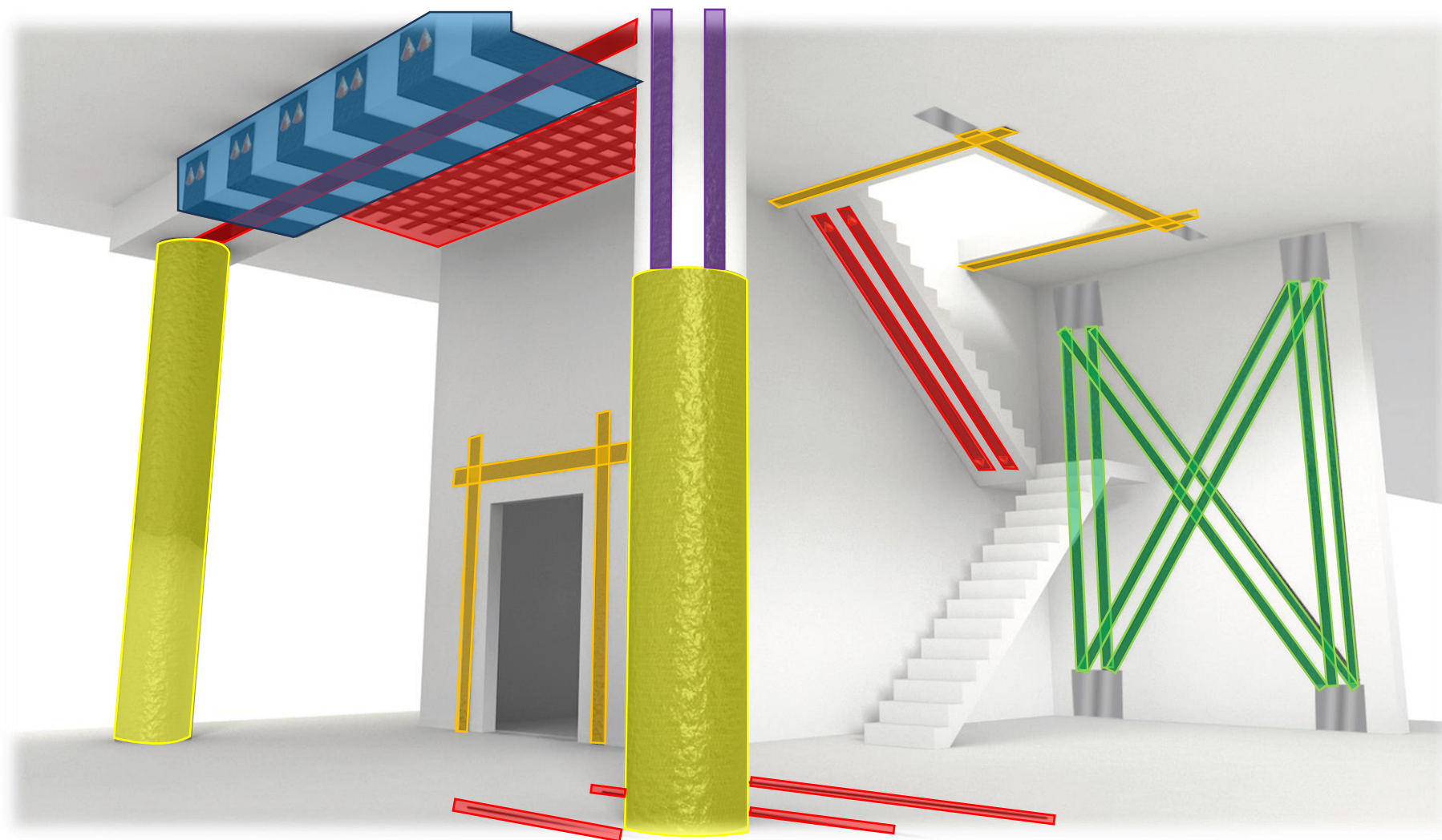
Kulfibertråde samlet indlimes delvist i beton og på kulfibervæv.

Anchoring



Forstærkningseksempler

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



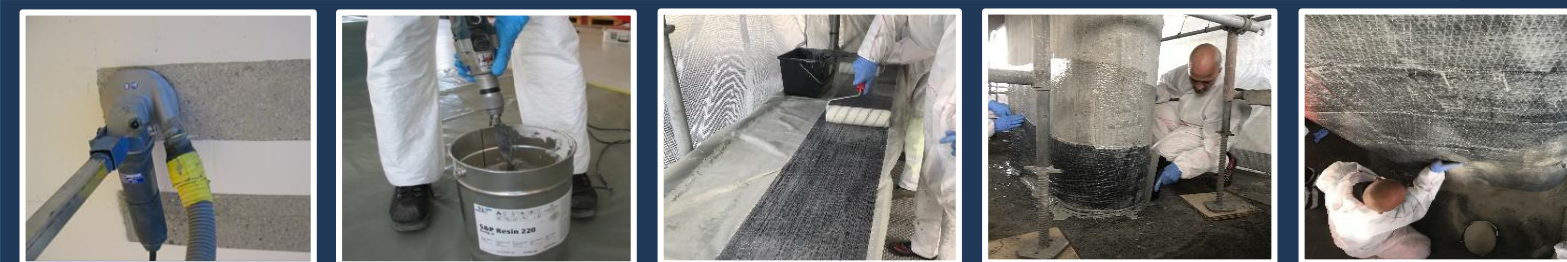
Forudsætninger for kulfiberforstærkning

- Valg af CFRP system
- Leverandør

- Korrekt projektering
- Rådgiver

Alle CFRP-forstærkningssystemer består af en kombination
• Korrekt udførelse
blevet testet sammen og dermed danner grundlaget for en

• Kvalitetssikring
Designgrundlaget er derfor ikke valid, hvis man blander kulfi
blevet testet sammen. Eksempelvis ved anvendelse af prod
producenter.



Normer og guidelines

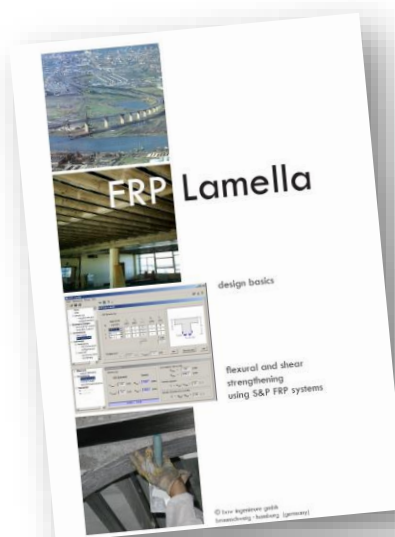
Eurocode behandler pt. ikke FRP-forstærkning, men...

International Concrete Federation i *FIB bulletin 14*



Nationale guidelines

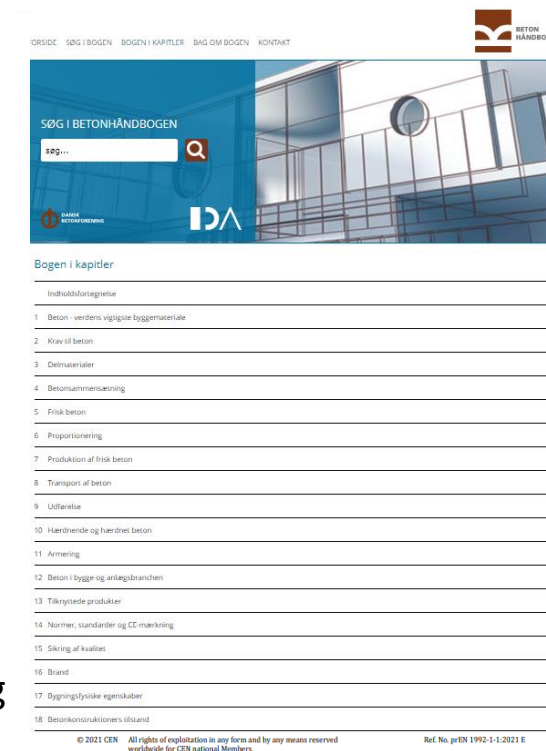
- Tyskland
- Schweiz
- Italien
- Frankrig
- UK
- Holland
- USA



DS/EN 1504 – serien

- 1504-4 Konstruktiv forstærkning ved pålimning af armering
- CE mærkning af limen

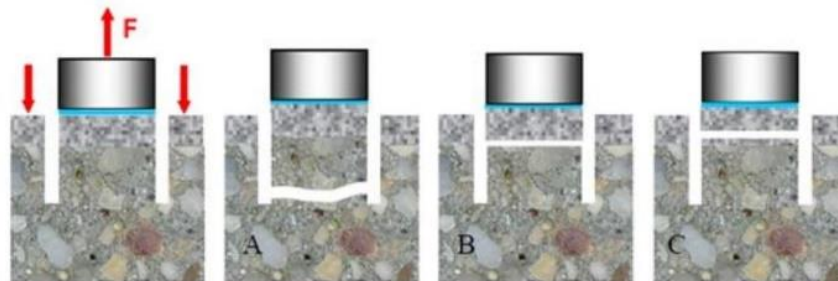
Kulfiberforstærkning behandles i nyt afsnit i betonhåndbogen



Forudsætning for dimensionering

- Kendskab til konstruktionens statiske system inden og efter forstærkning.
- Information om eksisterende stålarmering: Dimensioner, placering og kvalitet.
- Tilstandsvurdering af betonen.
- Information om betonens tryk- og trækstyrke.
- Moment- og forskydningsdiagram (inden og efter)

- DS11990 Bæreevnevurdering af eksisterende konstruktioner



Förstärkning av betong med S&P FRP laminat
Nödvändig information om projektet

Projekt: _____
Position: _____
Firma: _____ Kontaktperson: _____
Titel: _____ Mob: _____ e-mail: _____

1) Beräkningsmodell ☐ Fritt upplagd balk ☐ Kontinuerlig balk ☐ Andspänn, ☐ Mittspänn, ☐ Stödmoment ☐ Konsol (negativt moment)

2) Tvärsnitt + Läge för befintlig armering

Balklag T-balk R-balk

Spännvidd: _____ m

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

4) Bef. armerings kvalitet/hållfasthet:
Armering vid dimensionerande moment: _____
Armering vid upplag: _____
Tväkraftsarmering: _____

5) Beräkningar/Analys – vänligen bifoga följande information:

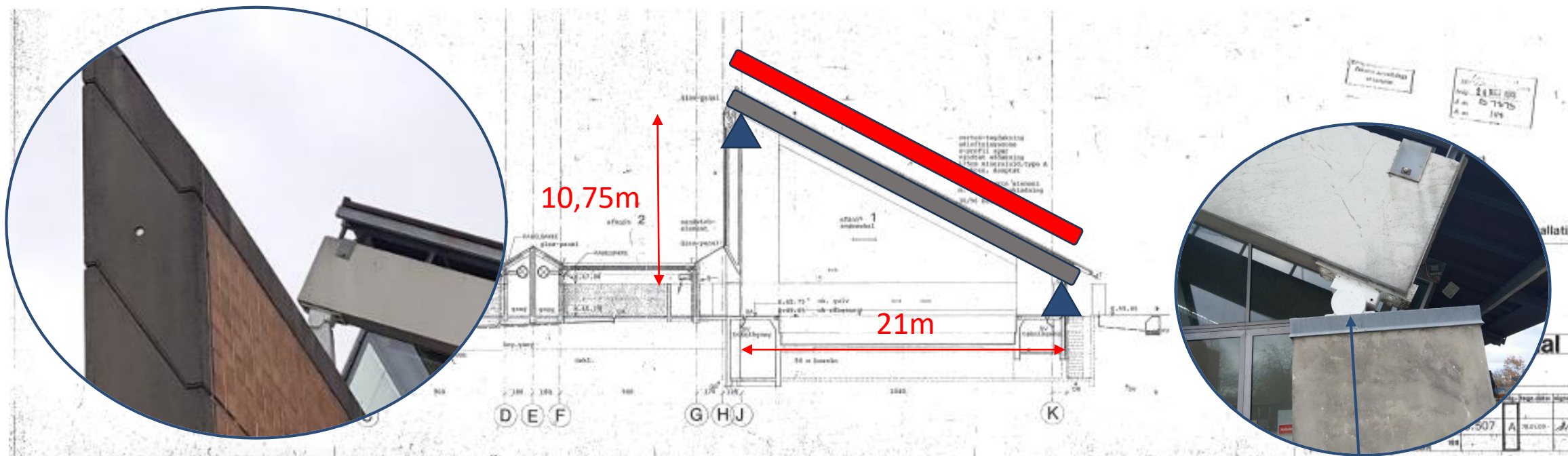
- 1) Skiss på befintlig och ny beräkningsmodell med spännvidd och position av last.
- 2) Moment diagram för installationsskedet. Befintligt utseende med endast egenvikt ($\gamma = 1.0$).
- 3) Momentdiagram i brott (ULS) av ny beräkningsmodell. Efter förstärkning och fullt belastad.
a) Max moment i fält
b) Max moment över stöd
- 4) Momentdiagram i karakteristisk lastkombination af det nye fullt belastet system (permanent og nytte last med $\gamma = 1.0$).
- 5) Tvärcraftsdiagram i brott (ULS) av ny beräkningsmodell. Efter förstärkning och fullt belastad.



A Simpson Strong-Tie® Company

Projektreferencer

Farum Park Svømmehal



Energioptimering
af tagkonstruktion
(isolering)

+

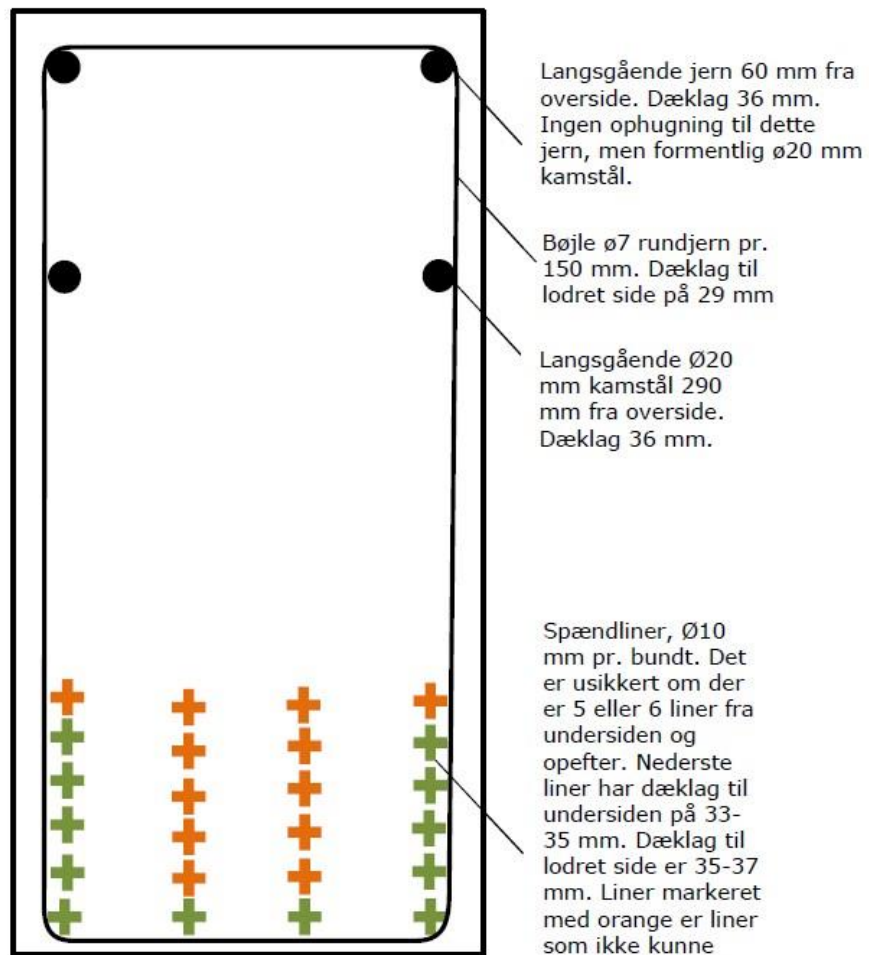
Installering af
solceller på tag

=

Forøget egenvægt
på tagkonstruktion

Simpelt
understøttet

Beton tværsnit



- $B \times H = 300 \times 960 \text{ mm}$
- Betonkvalitet: C45/55
- Armering:
 - $\varnothing 10$ liner, $P_{ok} = 1090 \text{ MPa}$
 - Alt. 1) 12 stk (grøn)
 - Alt. 2) 20 stk (grøn+orange)

Alt 2 blev valgt !

*Rådgiveren fastsætter altid
konditionerne til beregning af
bæreevneforstærkningen.*

Beregning af kulfiberforstærkning

- Dimensioneringsprogram: FRP Lamella



FRP Lamella

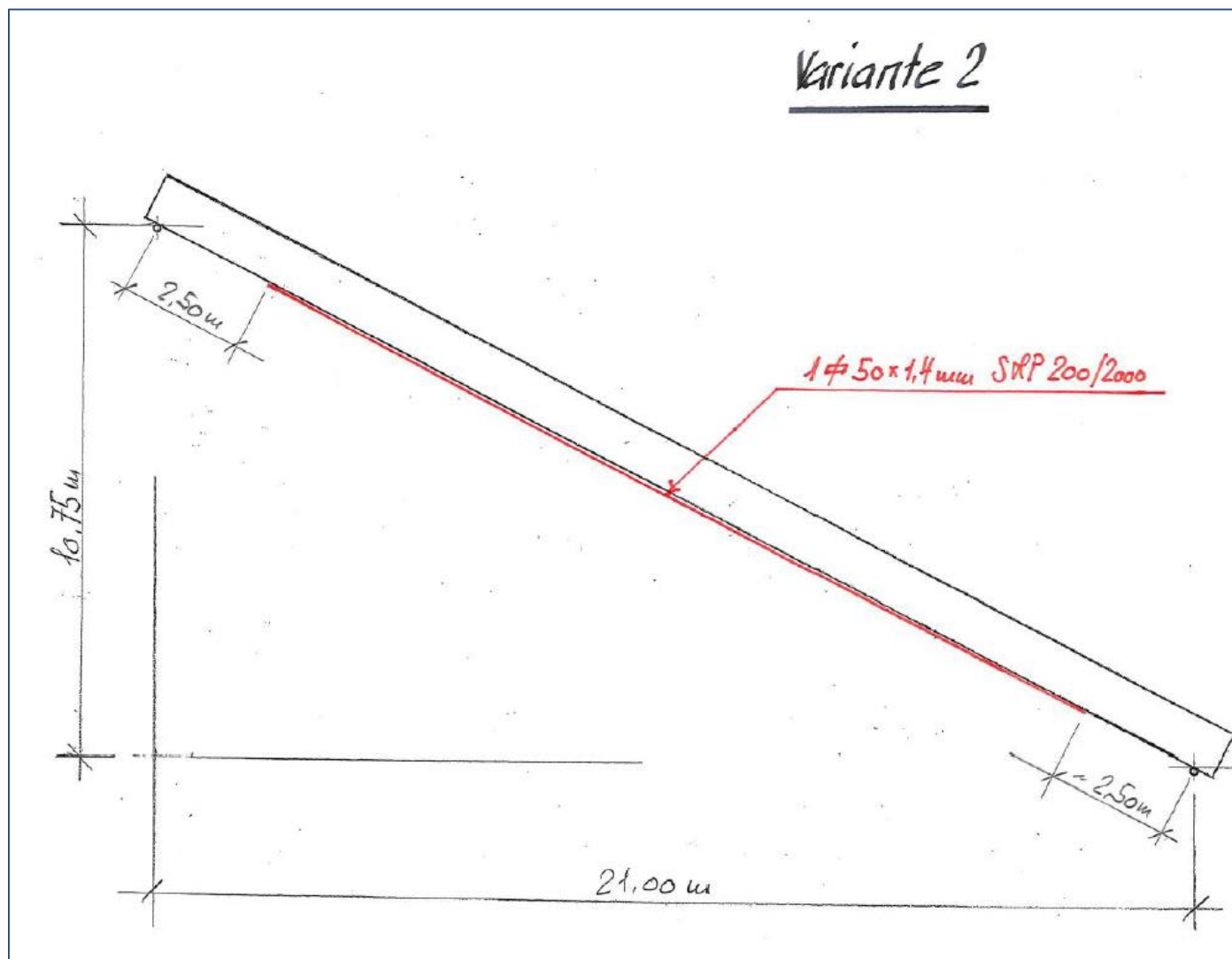
FRP Lamella er et dimensioneringsprogram til bøjnings- og forskydningsforstærkning med S&P FRP-systemer.

FRP Lamella bruges både til dimensionering af forstærkningstiltag og til udfærdigelse af bevislig dokumentation som et led i statiske beregninger. For en given belastning beregner programmet det nødvendige antal S&P CFRP-lameller, S&P konsollameller og S&P C-Sheets (kulfiberdug).

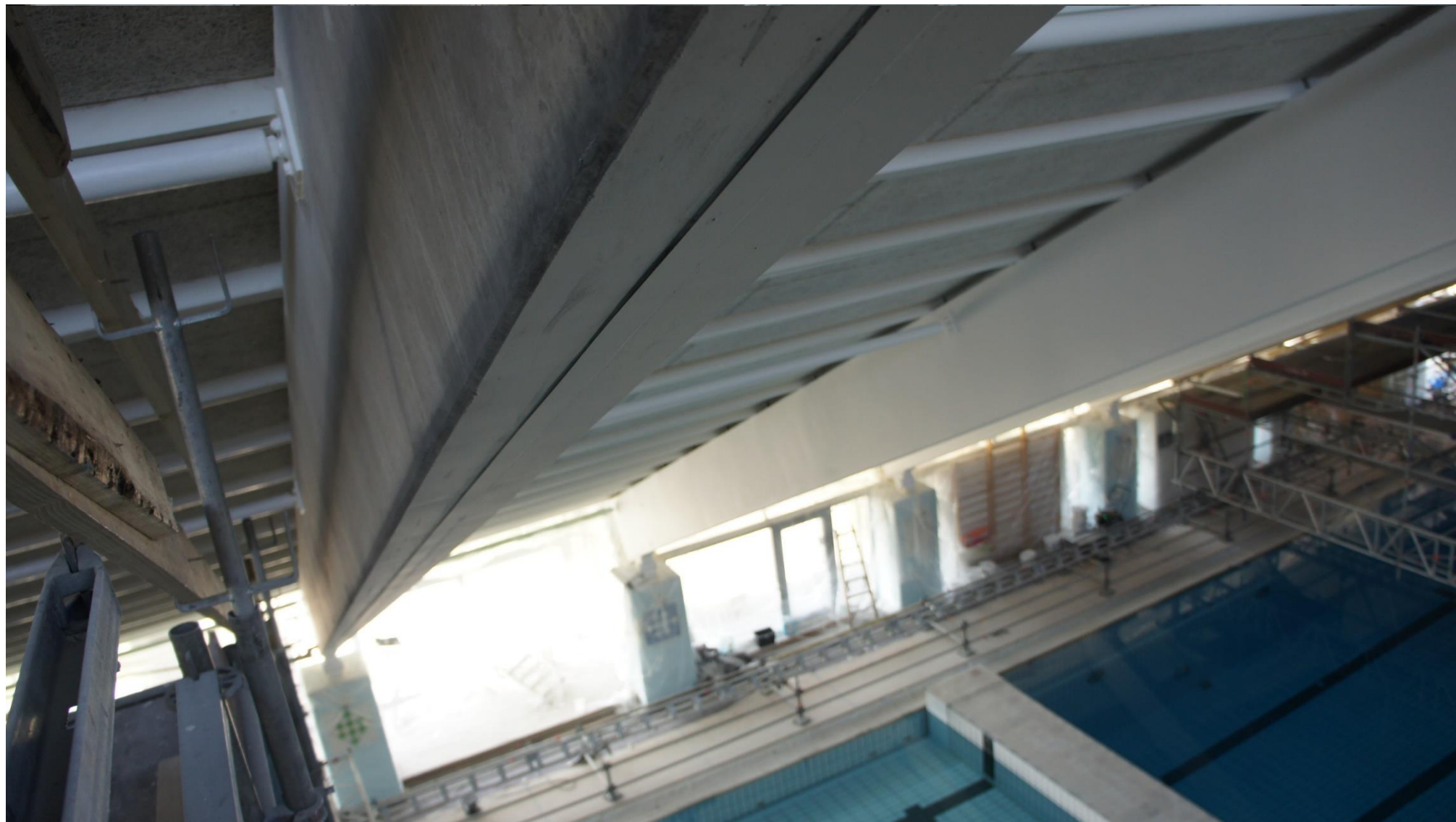
ADVARSEL

Ved forstærkningsdesign beregnet med producentens eget software kan man i princippet kun anvende produkter fra producenten, da det er de tekniske produkt data der danner grundlag for dimensioneringen i softwaren.

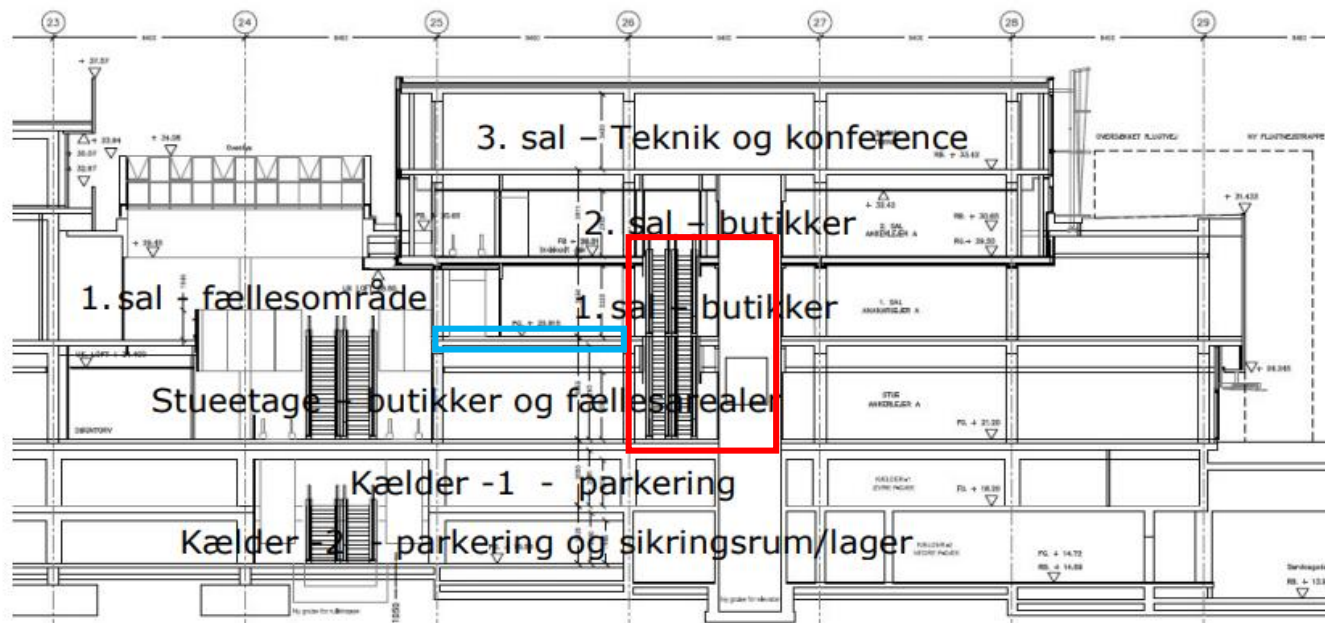
Forstærkningsløsning



Monteret kulfiberlaminat



Lyngby Storcenter



Figur 5: Snit i ombygningsområde efter ombygning

1 område ud af 3 forstærkede områder



Figur 1: Luftfoto af center med ombygningsområde

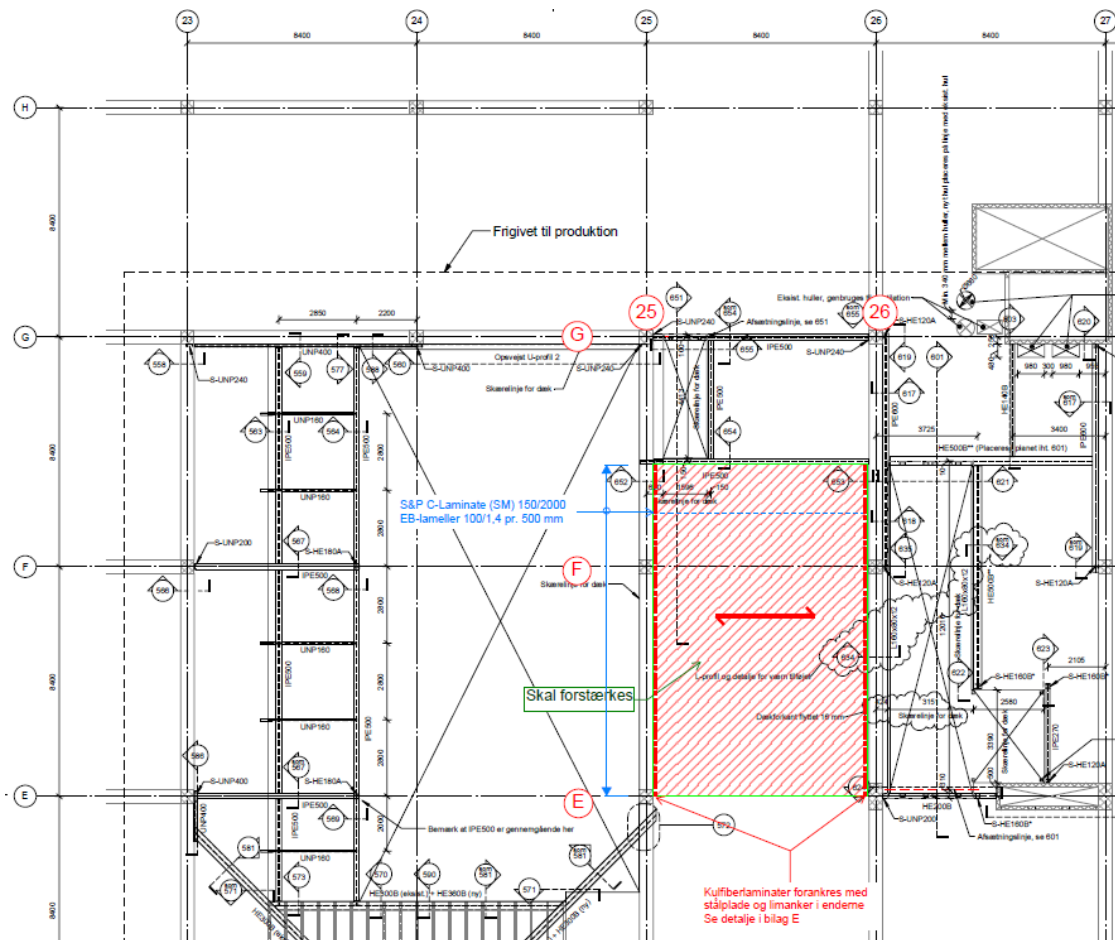
Forstærkning blev udført som en systemleverance

Dokumentationskrav iht. BR18, kapitel 32, model c

Konstruktionsklasse: KK3

Udførelsesklasse: EXC3

Forstærkning af betondæk



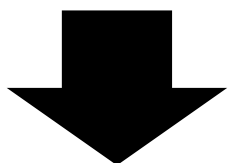


A Simpson Strong-Tie® Company

Forspændt kulfiber

Brudmekanismer

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



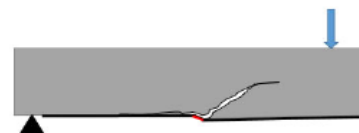
**Lav udnyttelse af kulfiberens kapacitet:
< 50% af trækstyrken i ULS**



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



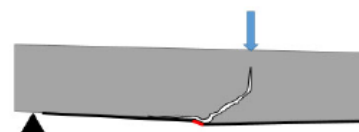
Dæklagsseparering, hvor dæklag løsriver fra ende af kulfiberkompositten.



Interlaminar afskalning ved forskydningsrevne



Interlaminar afskalning ved bøjningsrevne



Interlaminar afskalning ved bøjnings- og forskydningsrevne

Kulfiber kræver en tøjning for at udvikle en kraft

$$F = EA * \varepsilon$$

Deformation
(Slapt armeret)

Forspændning

Aktiv i ULS
 $\varepsilon_{lim} = 0,75\%$

Maksimal
udnyttelse
ULS < 50 %

Limforankring

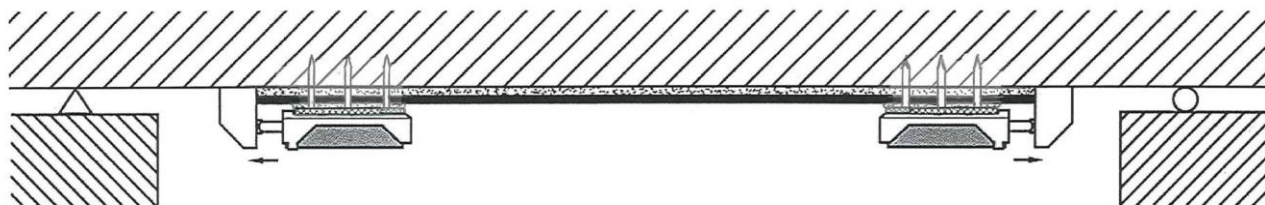
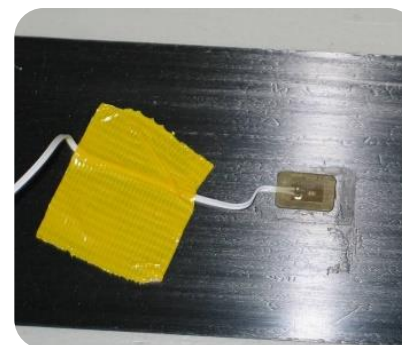
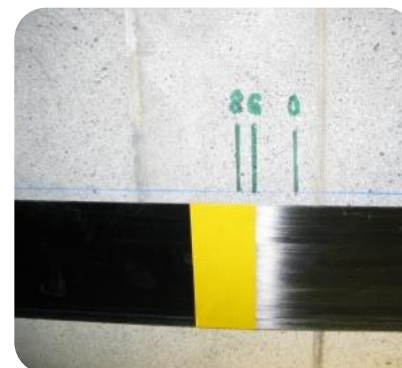
Aktiv i SLS
 $0,4\% < \varepsilon_p < 0,6\%$

Aktiv i ULS
 $\varepsilon_{lim} = 1,15\%$

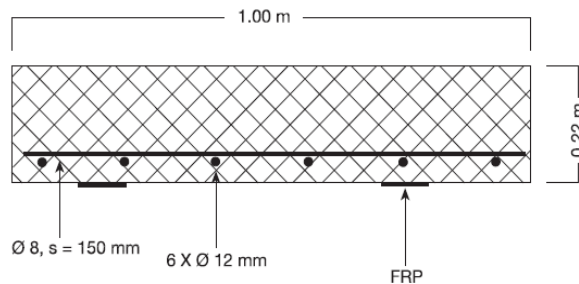
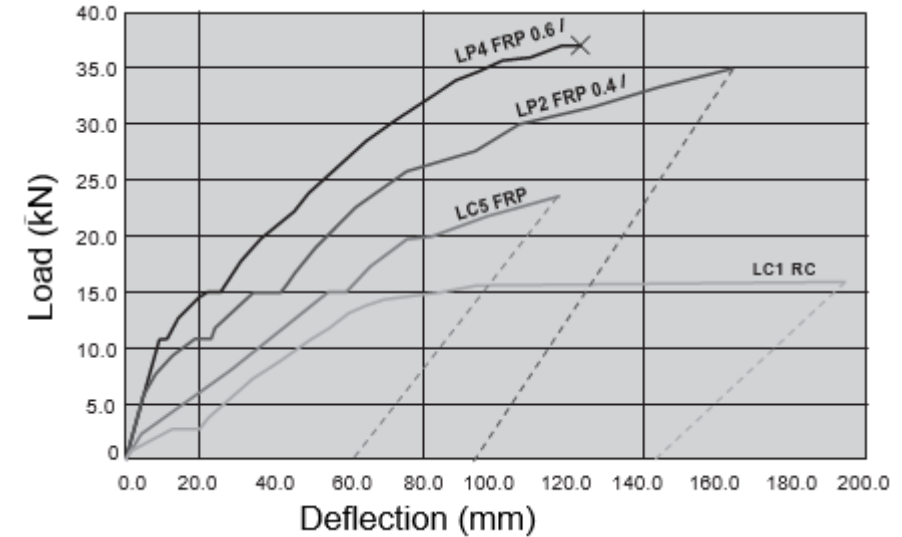
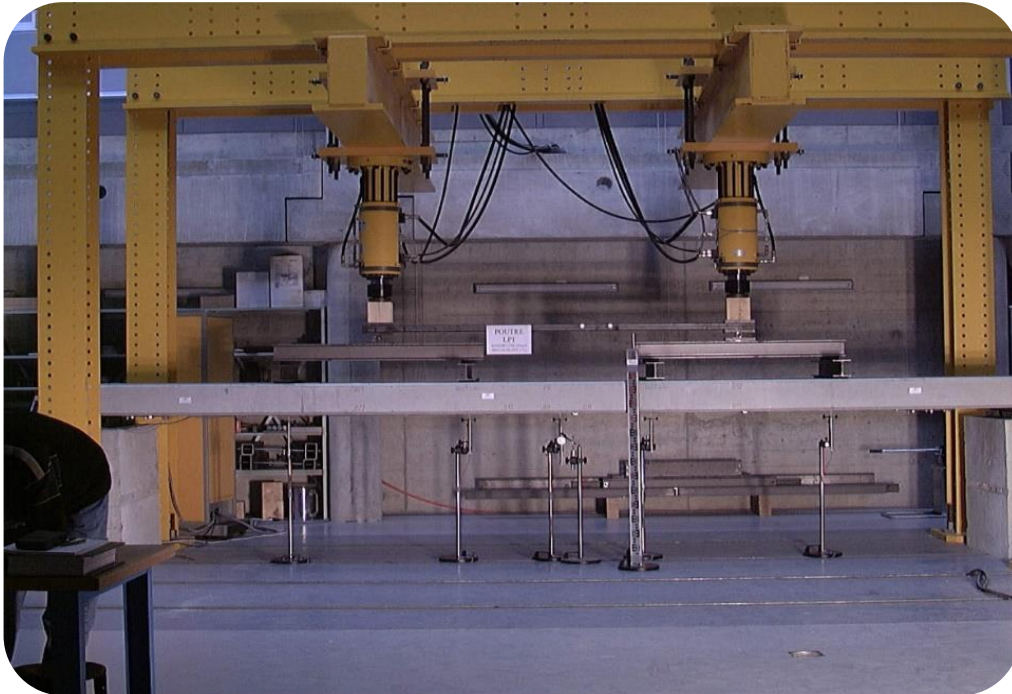
Maksimal
udnyttelse
ULS ~ 75 %

Mekanisk +
limforankring

Forspænding af kulfiberlaminater



Forspænding af kulfiberlaminater



S&P Laminate CFK	Concrete slabs	Failure load (kN)	Failure moment (kNm)	Failure moment (relative to LC1=100)
–	LC1 Reference	16.4	82.6	100
2 x 80/1.2	LC5 FRP	24.0	109.4	132
2 x 80/1.2	LP2 FRP 4‰	35.3	150.1	182
2 x 80/1.2	LP4 FRP 6‰	37.9	159.4	193

NÆSTE GENERATION AF KOMPOSIT FORSTÆRKNING

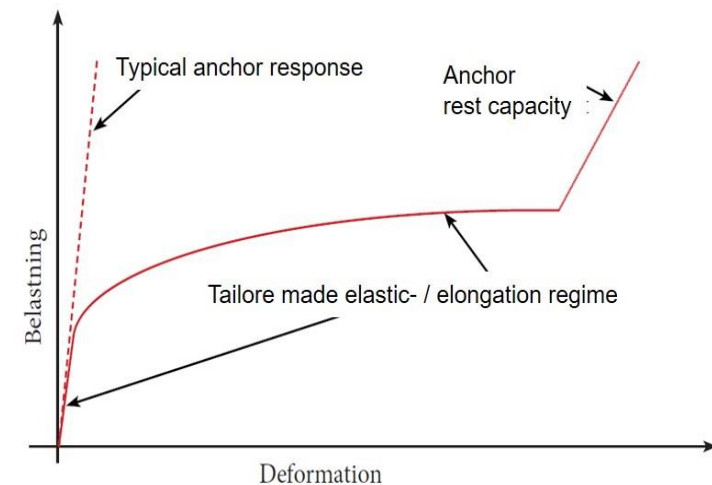


Duktilt forspændingssystem til kulfiber



- Responsstyret forstærkningseffekt
- Øget udnyttelse af kulfiberens materialestyrke
- Høj systemduktilitet (brudvarsling)
- Mere miljøvenligt (mindre kemi)
- Genbrugsvenligt (afmonterbart)

Anchor response, trend curve



Bæreevneforstærkning af bro

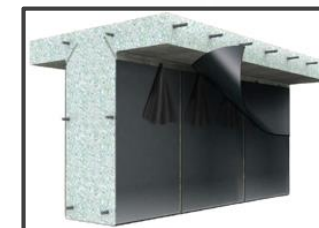
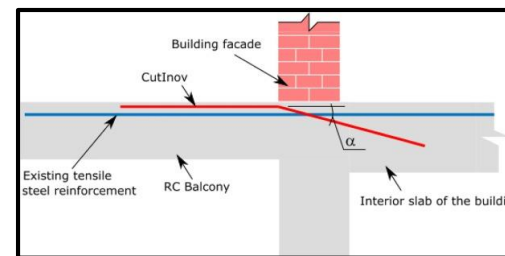
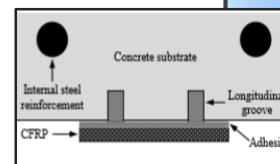
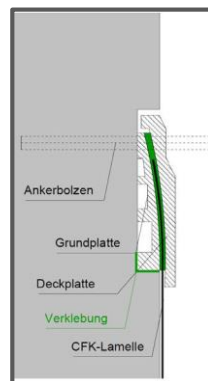
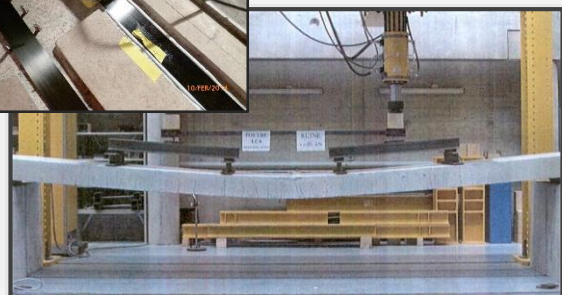


Standard passager – opgraderet til klasse 50 køretøjer fra klasse 20

Betinget passage type 3 – opgraderet til klasse 100 køretøjer fra klasse 50

Udvikling af CFRP løsninger

+30 års
erfaring



Ibach
bridge
1991

Forspændt
kulfiber 1997

CFRP
forankring
2012

EBROG
forankring
2018

CutInov
system
2020

C-anchor
2021

C-rod DAS
2021

S&P
etableret
1995

Cut-
in+NSM
2001



C-PUR
system
2018



C-rod AS
2020



Innovation

Mange tak fordi I lyttede med !



Spørgsmål ?