

Åpent faglig møte Etterspente og fiberarmerte dekker



Dr. Ing. Steinar Trygstad

Fremtidens løsning?

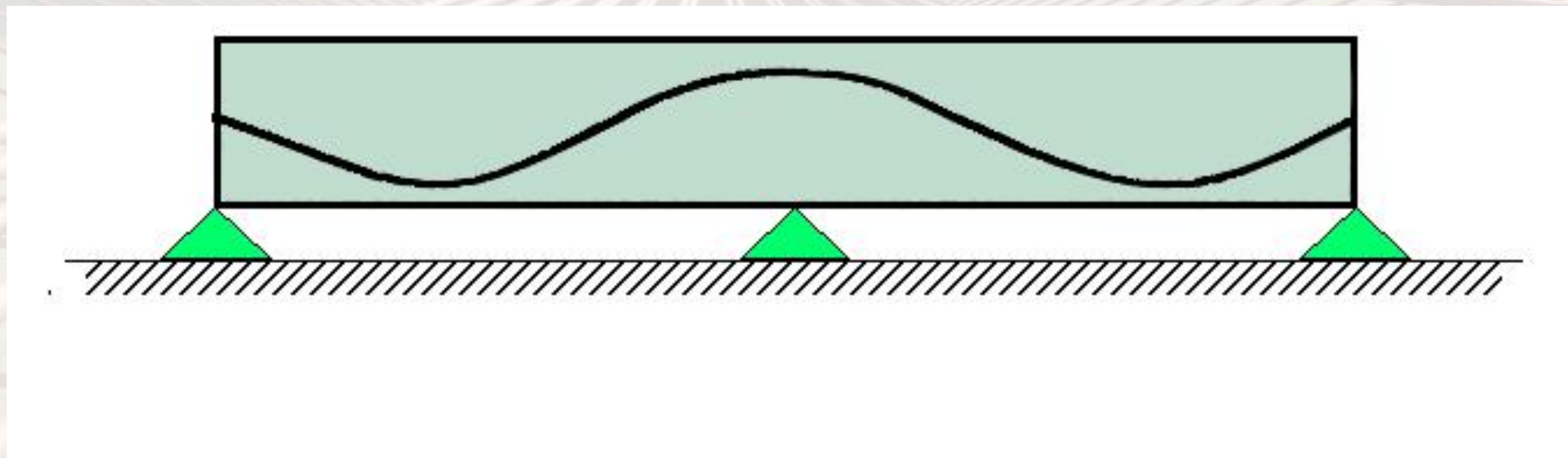


Betongdekker

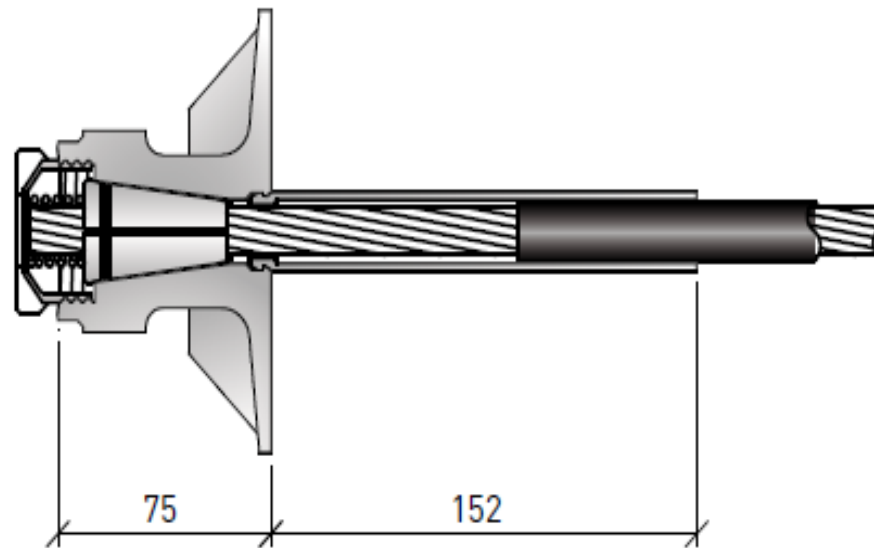
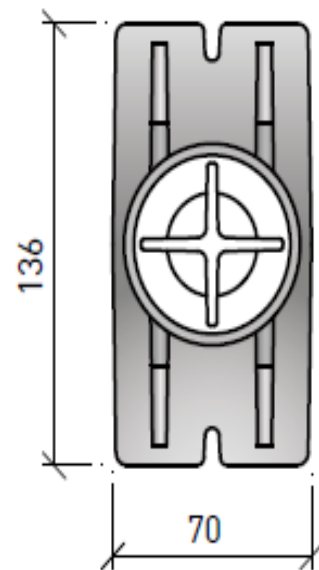
- Slakkarmert
- Fiber og slakk-/spenn- armering
 - Spennarmering
- Forspent - Etterspent

Etterspente betongkonstruksjoner

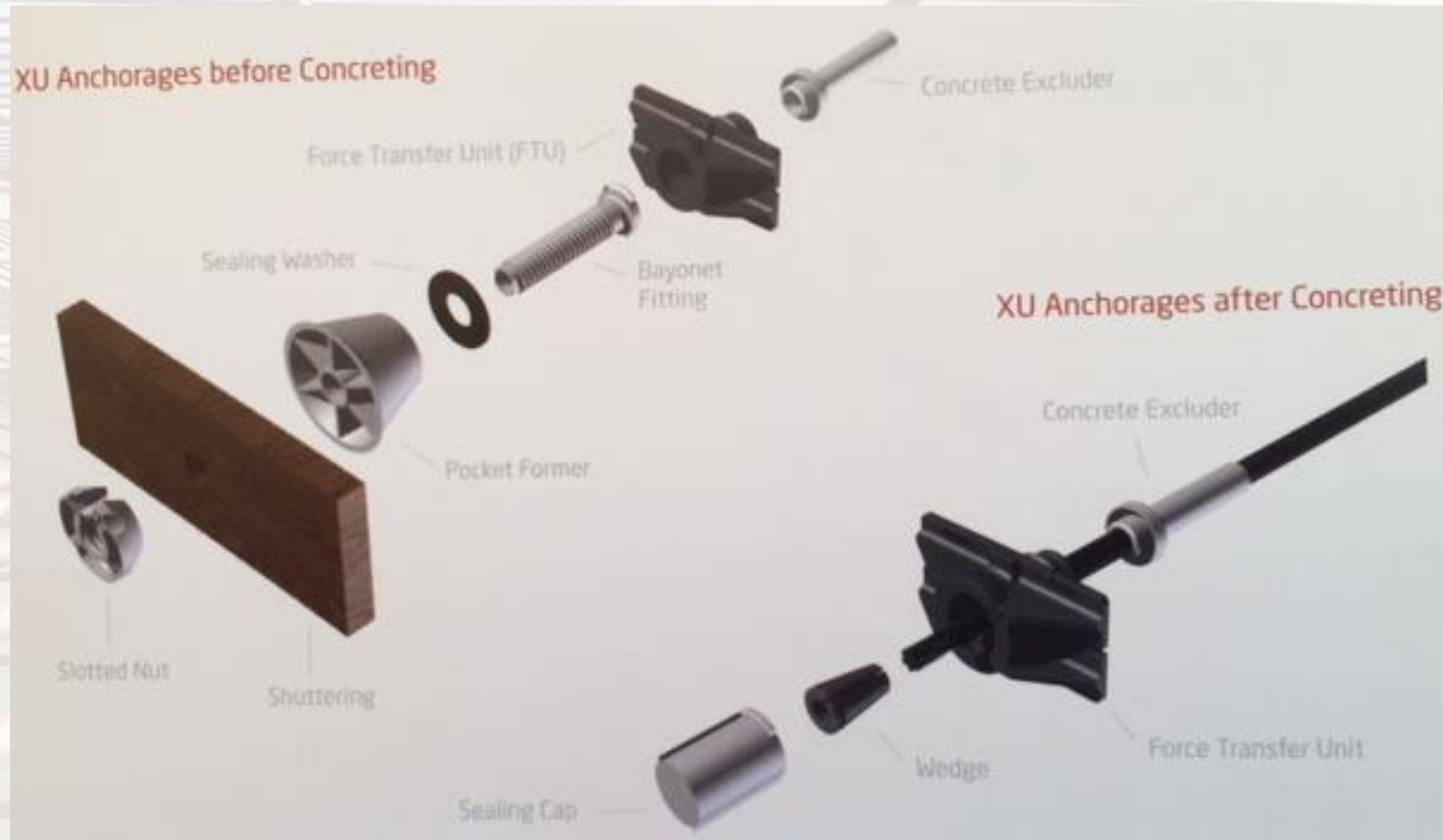
- Bonded (injisert) /
- Unbonded (uinjisert)



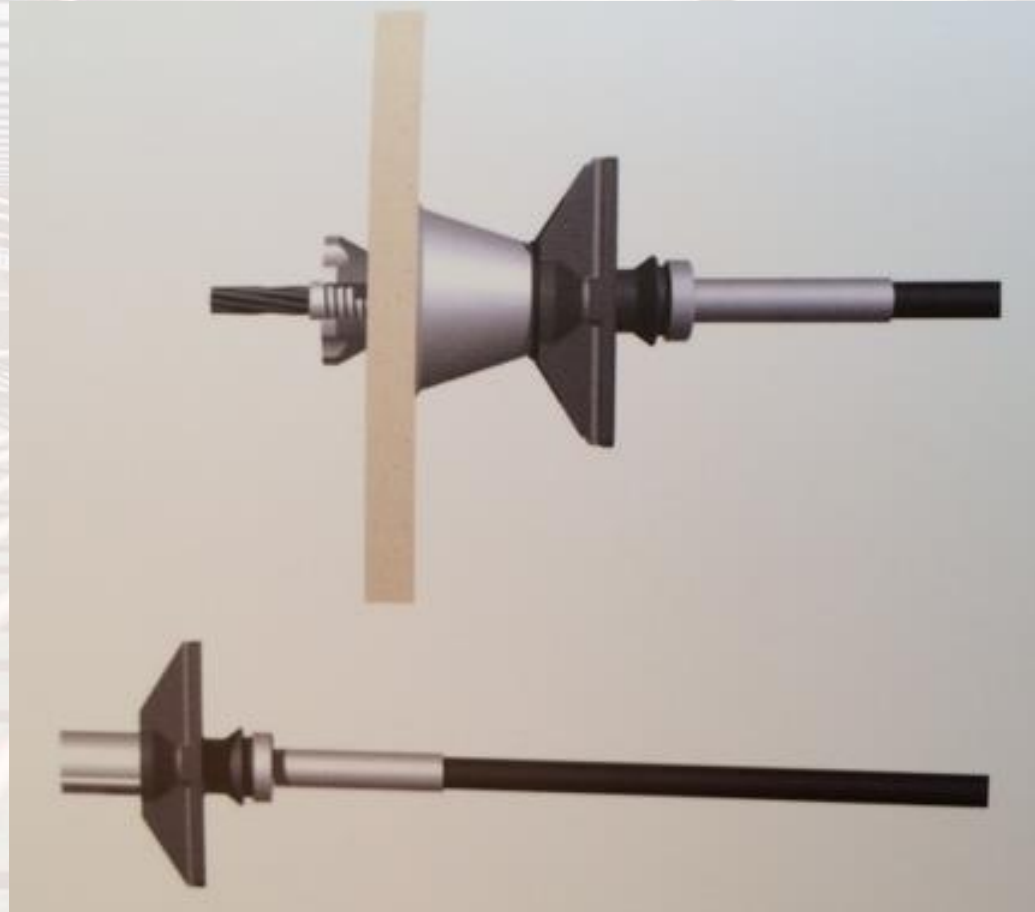
Etterspente betongkonstruksjoner



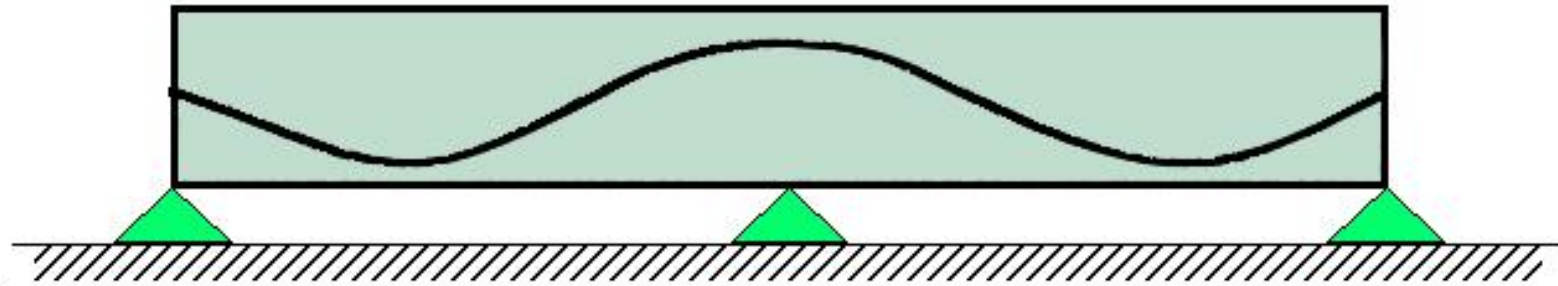
Etterspente betongkonstruksjoner



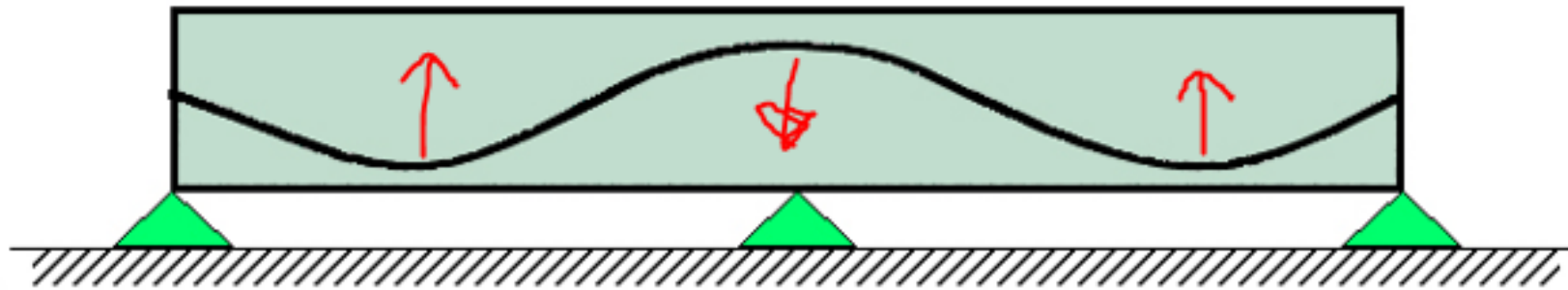
Etterspente betongkonstruksjoner



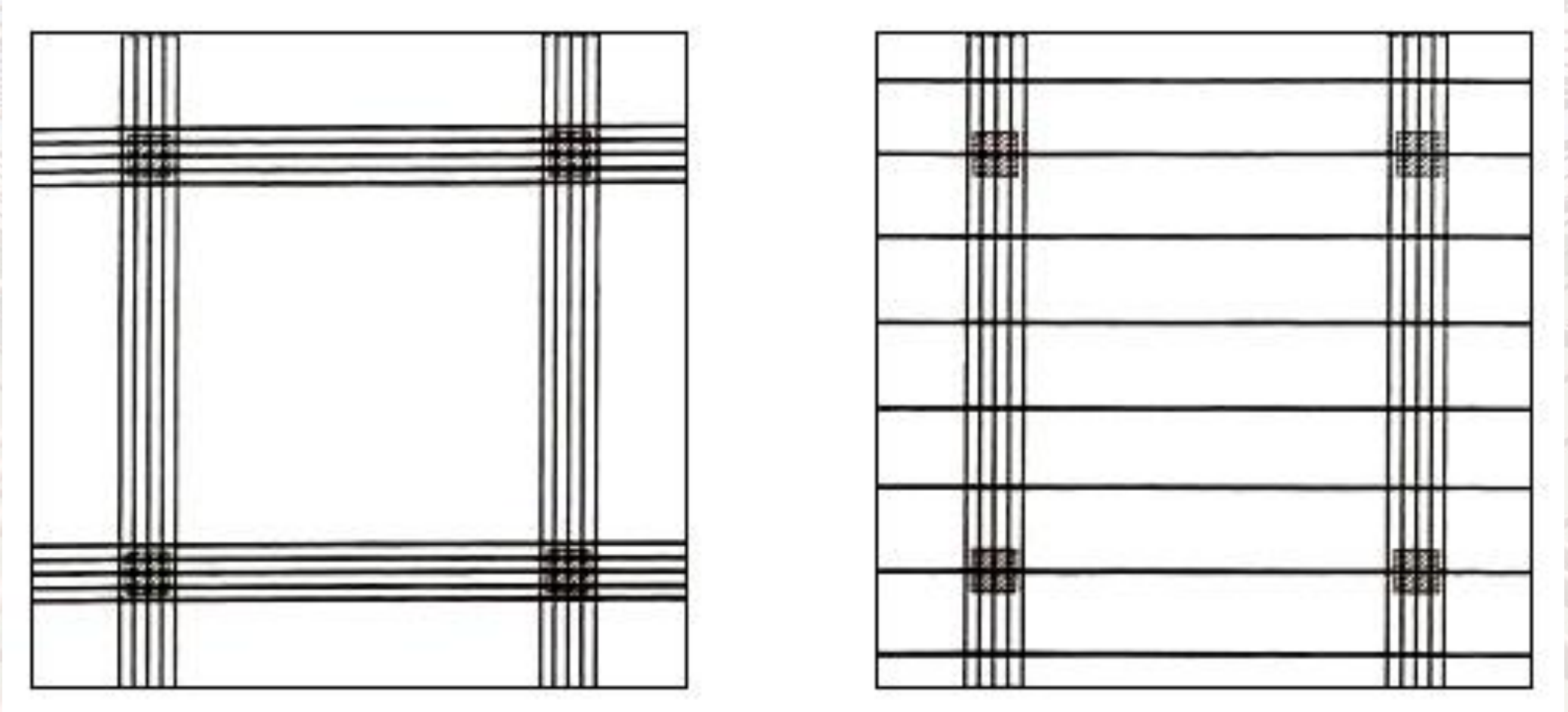
Kabelføring



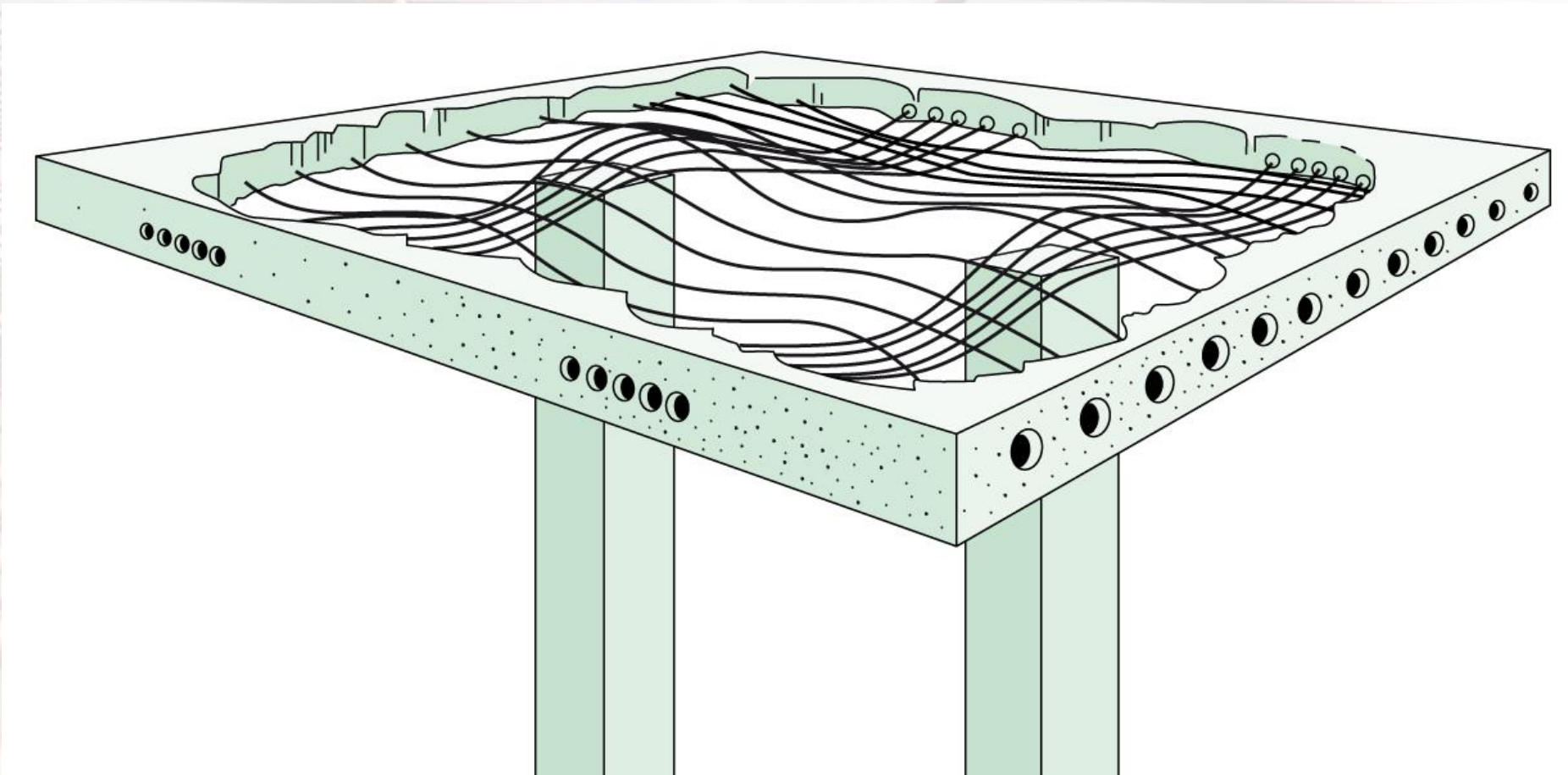
Kabelføring



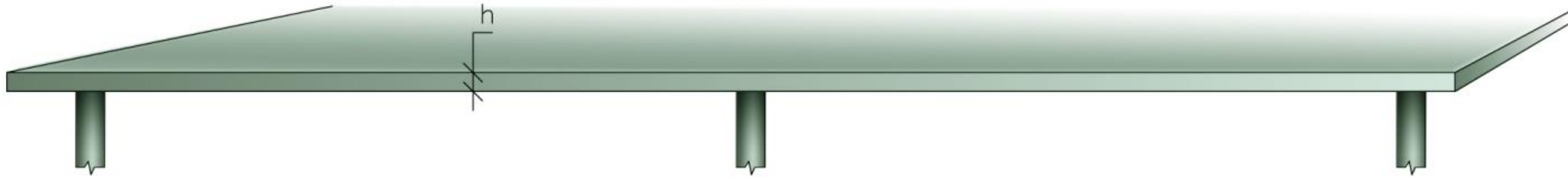
Kabelføring i flatdekke to mulige løsninger



Kabelføring i flatdekke



Spennvidde flatdekke



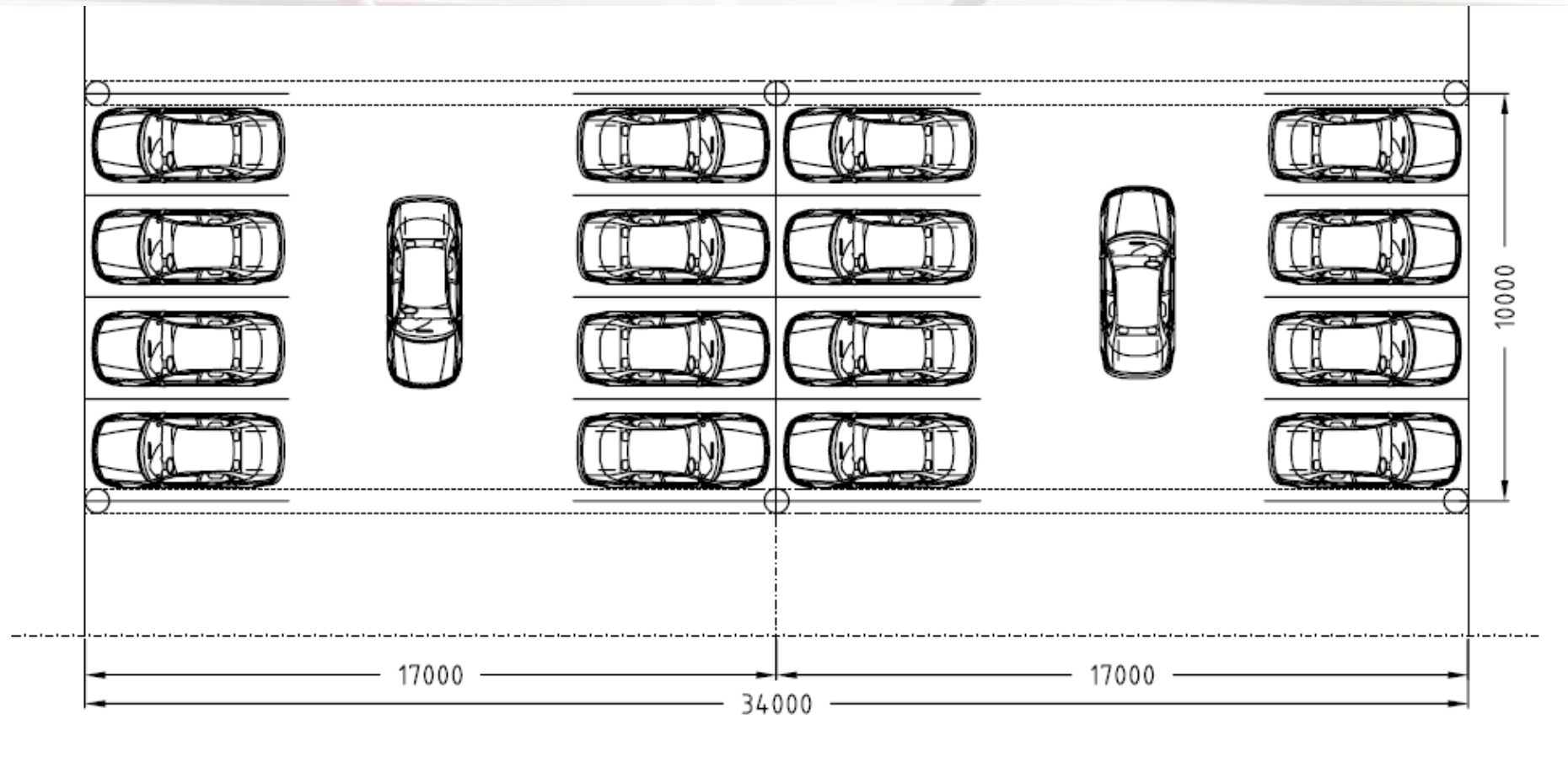
Flatdekke

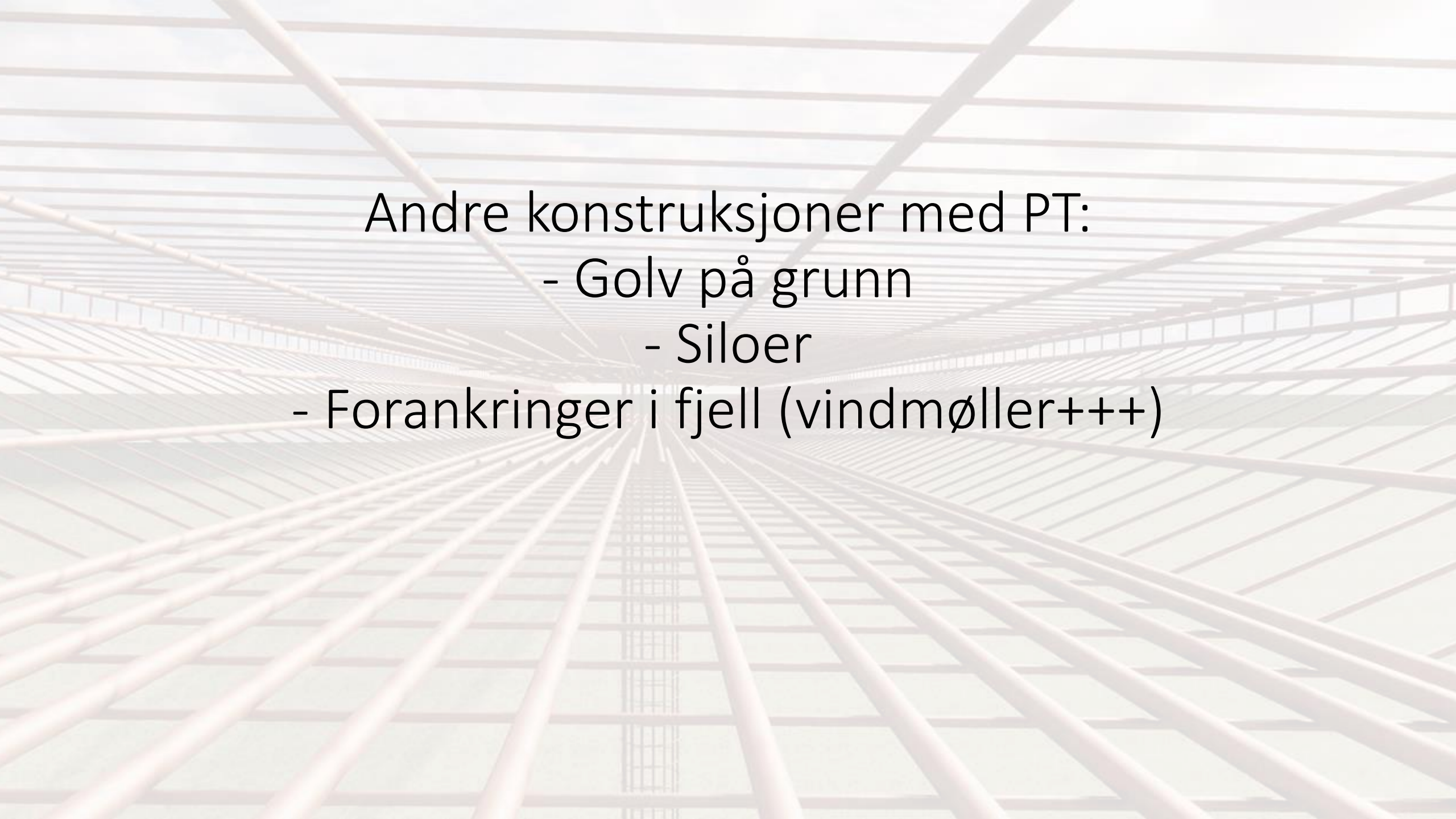
Spennvidde 7–12 meter

For belastninger 2–5 kN/m²,

$l/h = 42\text{--}45$.

Spennvidde drager



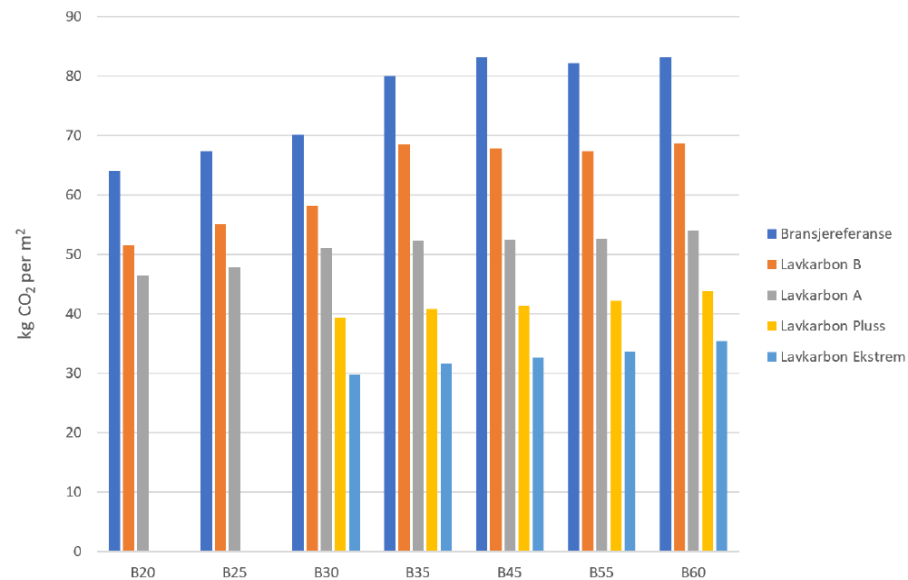
- 
- Andre konstruksjoner med PT:
- Golv på grunn
 - Siloer
 - Forankringer i fjell (vindmøller+++)

Hvorfor velge spennarmert konstruksjon?

- Lite armering
- Slankere dekker
- Stivere dekker mht jordskjelvkrav
- Fugefri golv på grunn
- Tettere konstruksjoner
- Mer miljøvennlig (mindre betong og armering)

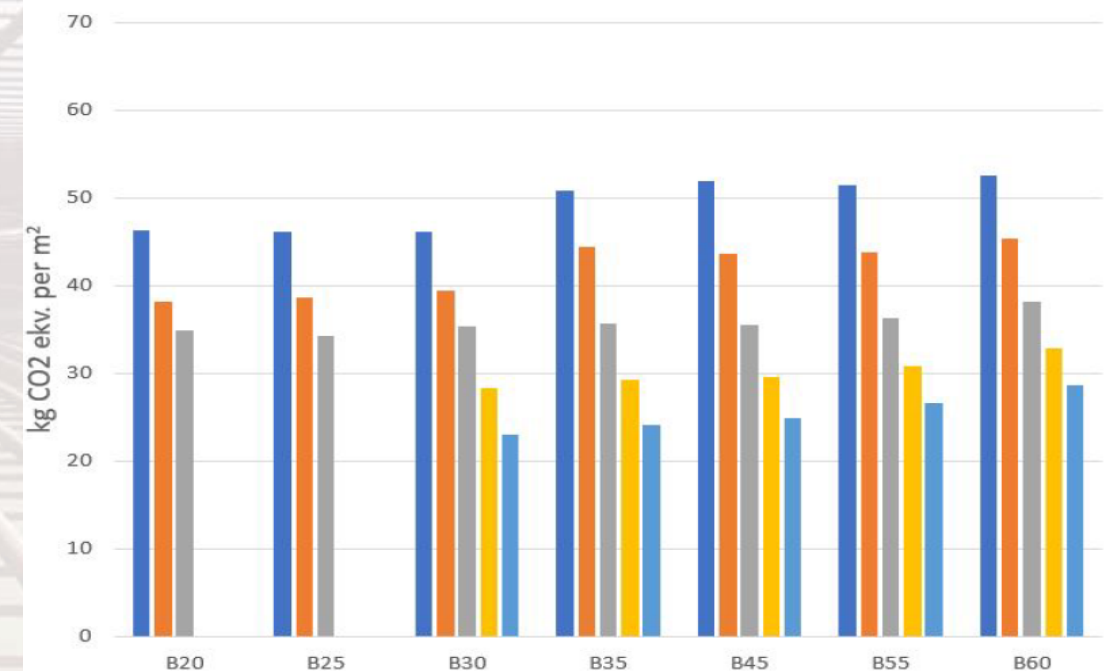
The CO₂-emissions are significantly reduced by application of prestressed reinforcement

Ordinary reinforcement



Figur 32: Klimagassutslipp for ulike fasthetsklasser for optimalisert løsning med spennvidder $L_x = 7.2m$ og $L_y = 6m$.

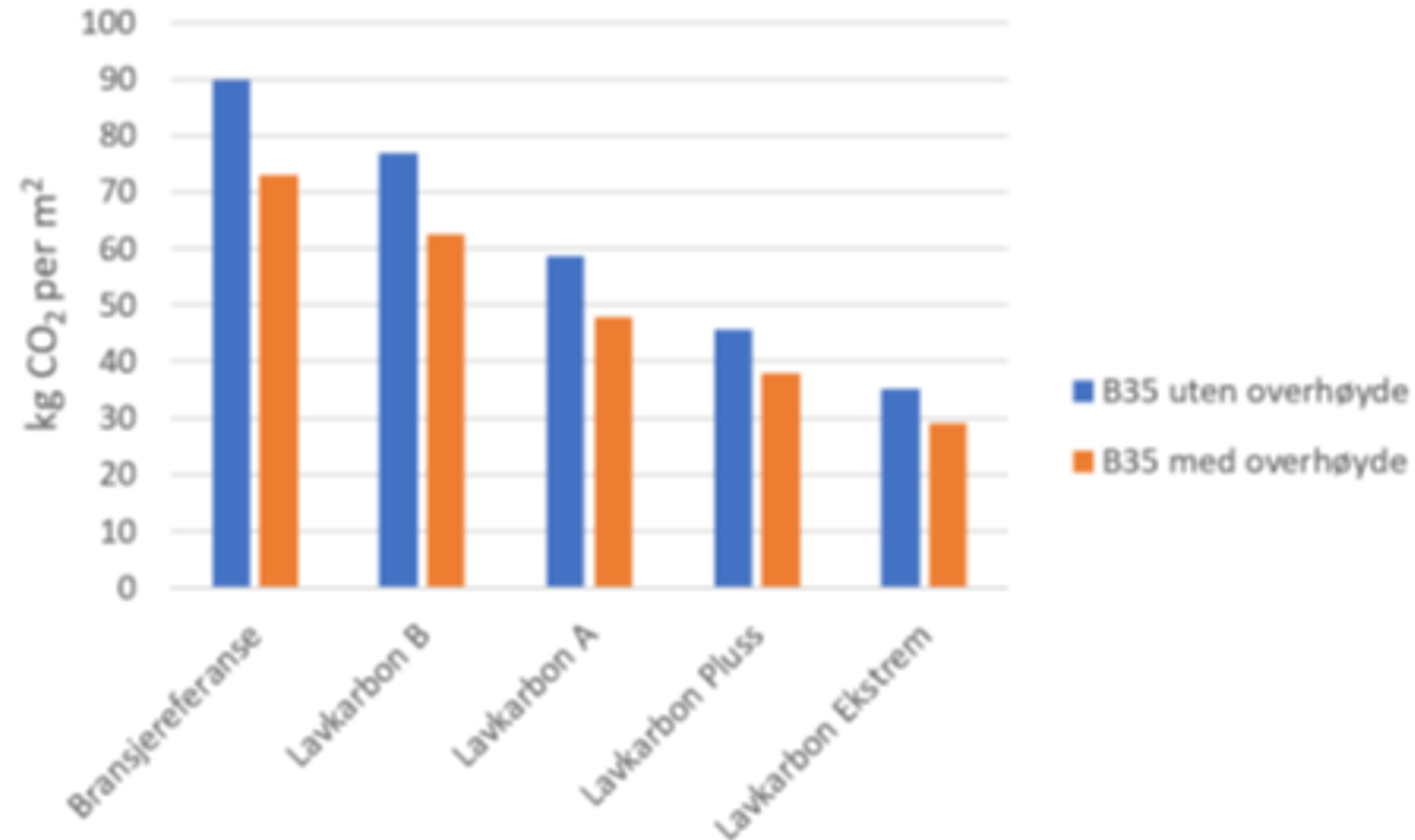
Prestressed reinforcement

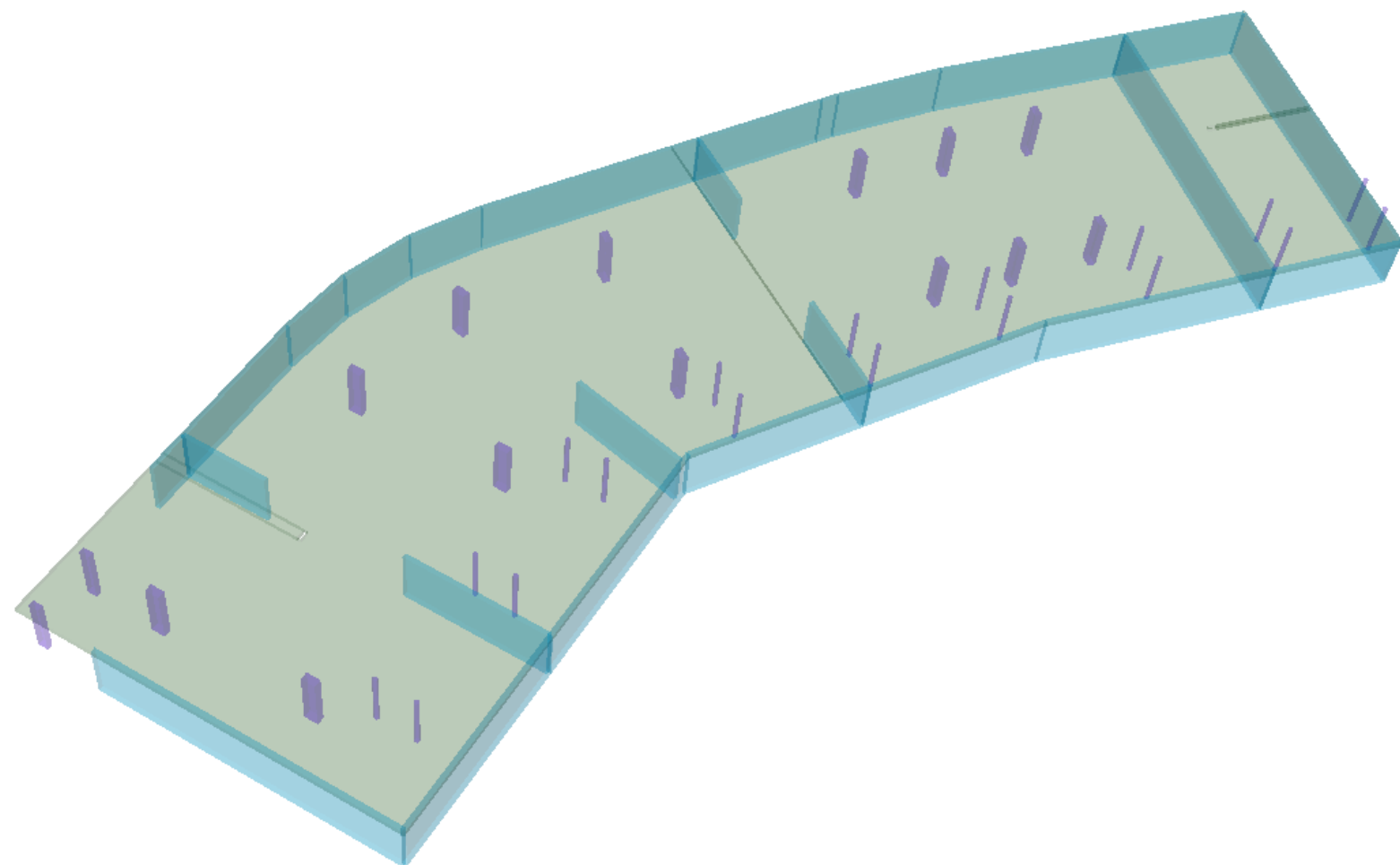


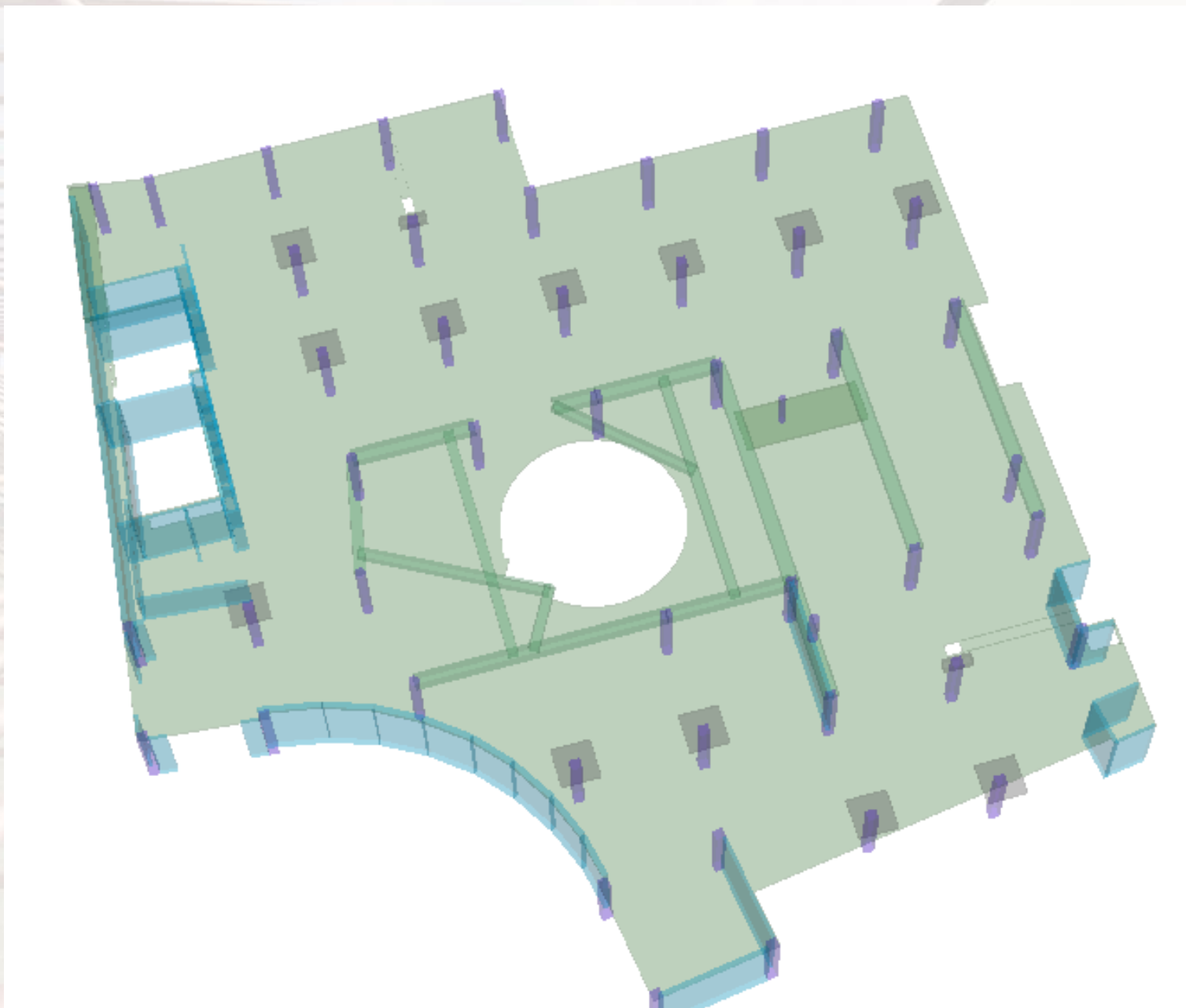
Including prestressed reinforcement may give reductions in CO₂-emissions up to 45%

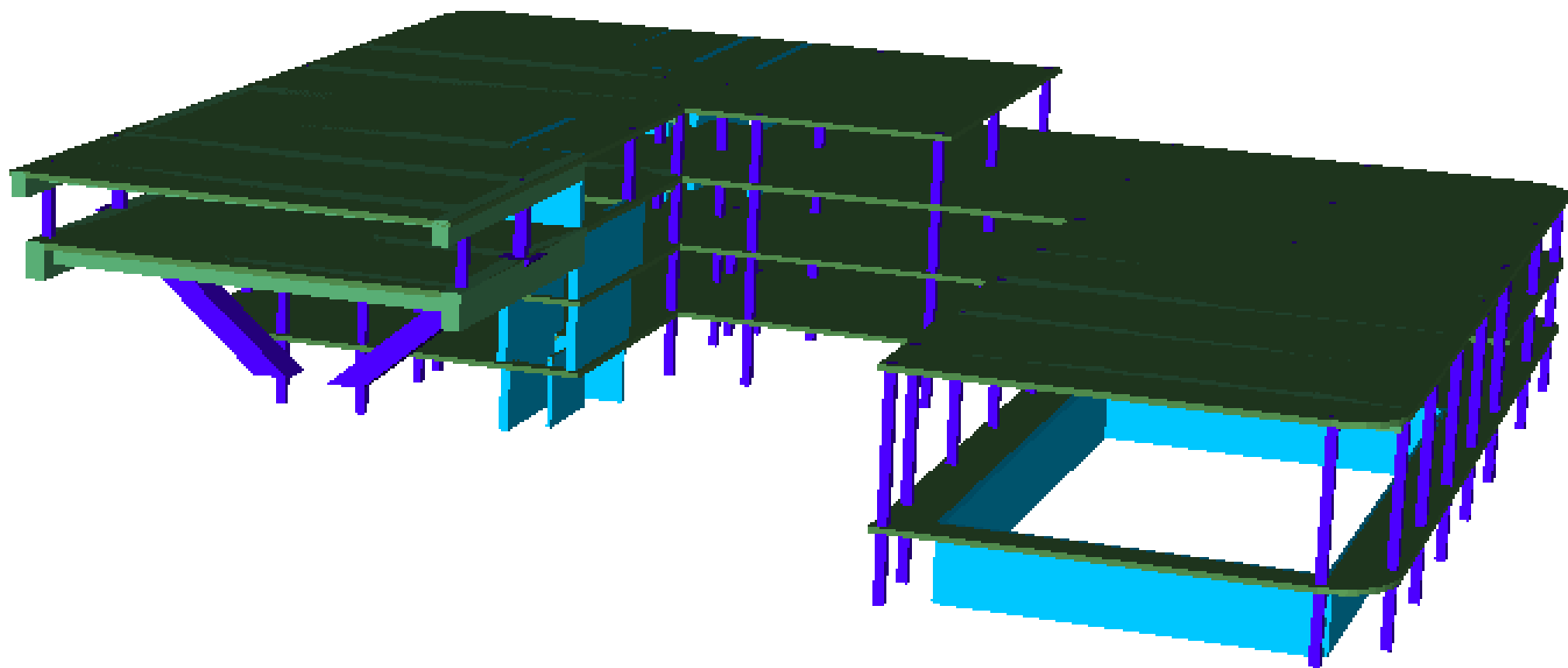
The CO₂-emissions are significantly reduced by application of formwork-overheight

(The structures are simply cast with a certain upward deformation to compensate for large deflections)











Øvre Nyhavna BT3



Øvre Nyhavna BT 4-5



Vikhammerstrand BT1



Dalgårdstunet



Fugleperspektiv fra sørvest



3D-visualiseringer:

09.09.2020

Nygårdsgaten 91-93



Fiberarmering

- Fra hår til....
- Glassfiber, acryl, carbon, nylon, polyester, basalt.....
- Stålfiber

Fiberarmering

- Hvor ønsker vi å bruke fiber?
 - Dekke
 - Dragere
 - Vegger
 - Fundament
 - Golv på grunn

Fiberarmering

- Stålfiber:
 - Lengde 10-80 mm
 - $L/d = 60-120$
 - Utforming
 - Rett fiber
 - Fiber med deformert ende
 - Fiber med krok på ende

Fiberarmering

- Fiber øker MR og spaltestrekkfastheten
- Fiber har liten innvirkning på trykkfastheten
- Fiber reduserer svinn, men har liten innvirkning på kryp
- Fiber reduserer deformasjon

Spennarmering og Fiberarmering

- Hva skal til for å bruke denne kombinasjon av armering?
 - Teknisk Godkjenning
 - Det tas med i EuroCode
 - NB 38 revidering pågår

Spennarmering og Fiberarmering

- Kontrollrutiner for å sikre fiber (206)
- Krav til betongleverandør (206)
- Krav til entreprenør mht prøvetaking på byggeplass (206)

NS-EN 206

5.2.7 Bruk av fibere

(1) Fibere av spesifisert type og mengde skal tilsettes blandingen gjennom en prosedyre som sikrer at de fordeles jevnt i hele satsen.

MERKNAD 1 For ytterligere informasjon, se tillegg L, linje 9.

MERKNAD 2 NS-EN 14889-1 og NS-EN 14889-2 krever at fibere som brukes til konstruksjonsformål, har samsvarsattestering etter system 1, og godtar fibere for annen bruk med samsvarsattestering etter system 3.

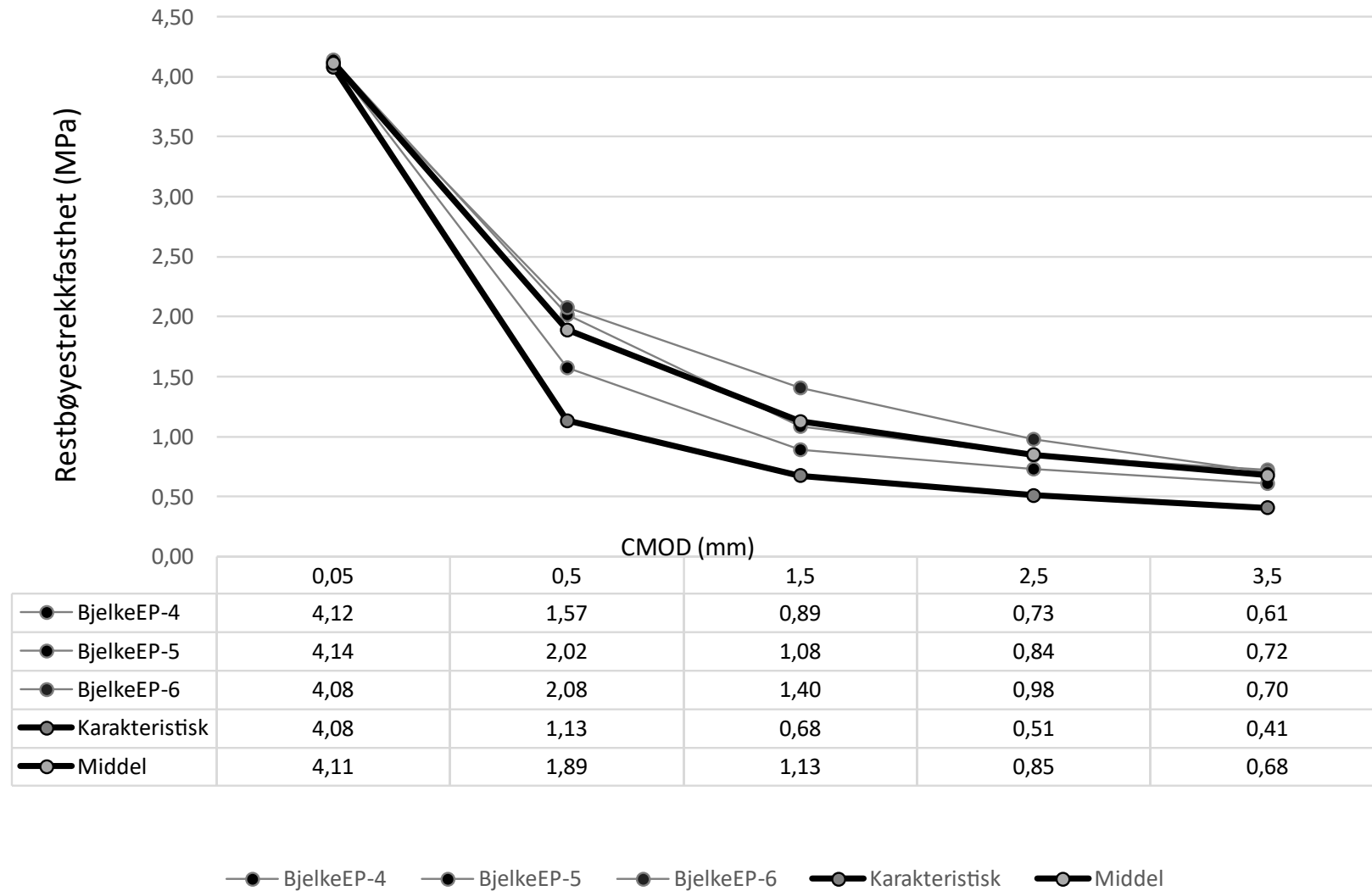
(2) Stålfibere som er i samsvar med NS-EN 14889-1 med sinkbelegg, skal ikke brukes i betong med mindre det er bevist at hydrogendannelse i betongen er forhindret.

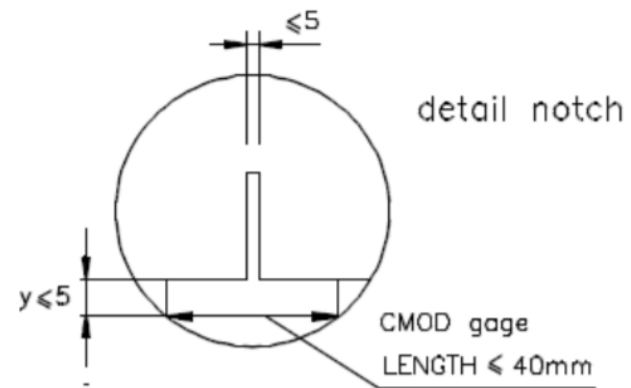
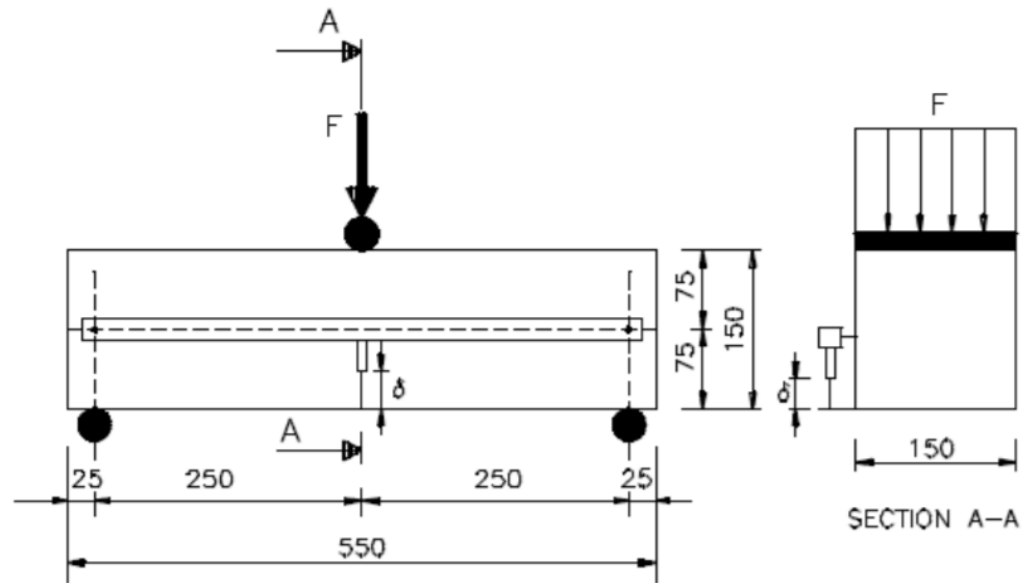
9	5.2.7 (1)	Denne standarden gir regler for produksjon av betong med en spesifisert mengde fibere. Der det kreves bestemte dimensjoneringsparametere, bør det avtales prøveprosedyrer og dokumentasjon av samsvar.
---	-----------	--

Forskningsaktivitet

- Laboratorietesting/forprosjekt med støtte fra IN. Betongkonstruksjoner med basaltfiber (evt stålfiber)
- Fullskala test av:
 - Vegger
 - Fundament
 - Dekker
- Oppdrettstanker til fiskerinæringen, flytende konstruksjoner
- Andre aktuelle prosjekt (EU-prosjekt)

Restbøyestrekfasthet





$$\Delta = 0,85 \text{ CMOD} + 0,04 \text{ (mm)}$$

Tabell 2.2: Restfasthetsklasse (R)

$f_{R,1k}$ Duktilitetsklasse	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
a	$f_{R,3k}=0,5f_{R,1k}$									
b	$f_{R,3k}=0,7f_{R,1k}$									
c	$f_{R,3k}=0,9f_{R,1k}$									
d	$f_{R,3k}=1,1f_{R,1k}$									
e	$f_{R,3k}=1,3f_{R,1k}$									

Forklaring til tabell: Duktilitetsklasse og $f_{R,1k}$ angis, for eksempel som «restfasthetsklasse 5,0c». Restfasthetsklasse 5,0c har $f_{R,1k}=5,0 \text{ N/mm}^2$ og $f_{R,3k}=0,9 \cdot f_{R,1k}=4,5 \text{ N/mm}^2$. Restbøystrekkfasthetene $f_{R,1k}$ og $f_{R,3k}$ skal da være kjent fra/dokumenteres fra forhåndsprøving..

2.6 Forhåndsdokumentasjon av restfasthetsklasse

Betongprodusenten skal dokumentere restfasthetsklassen ($f_{R,1k}$) og duktilitetsklasse ($f_{R,3k} / f_{R,1k}$). Restbøystrekkfastheten bestemmes som karakteristisk verdi basert på minimum 6 prøvestykker pr fibermengde, jfr. kapittel 3.2. Hvert resultat rapporteres som middelerdi, standardavvik samt karakteristisk verdi. Det bør fortrinnsvis utføres bestemmelse med minimum 2 fibermengder (lav/høy). Dokumentasjonen gjelder kun for det aktuelle/dokumenterte fiberprodukt sammen med den oppnådde fasthetsklasse ¹⁾.

Nivå 1:

Dokumentasjon ved prøving på den betong og fiber som skal benyttes på prosjektet.

Betongen skal være produsert på betongfabrikk og fiber skal tilsettes ihht den prosedyre for fiberdosering som gjelder ved betongstasjonen.

Nivå 2:

Dokumentasjon basert på forsøksdata/resultater fra betong med samme fasthet ¹⁾ og aktuell fiber, men ikke med samme råvarer og/eller produksjonsutstyr. Betong og produksjonsutstyr kan derfor være forskjellig fra det som benyttes til det aktuelle prosjektet. Det skal være resultater fra minst tre (3) prøver fra minst to (2) tilslagsforekomster. Ved denne metoden (nivå 2) så skal kravet til $f_{R,1k}$ økes med 20%.

For dokumentasjon etter nivå 2 gjelder følgende begrensinger for betongreseptene:

- $D_{\text{maks}} \geq 16\text{mm}$
- Tilslag $\geq 4\text{mm}$ utgjør minst 50% av tilslaget
- Bindemiddel basert på samme sementprodukt og der innhold av flyveaske, slagg og silika til sammen er innenfor $\pm 15\%$

Tabell 2.3: Restfasthetsklasse (R)

R		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$f_{R,k1}$	Nivå1	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
(N/mm ²)	Nivå2	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,8	6,0	7,2	9,6	12,0

Tabell 2.4: Program for forhåndsdokumentasjon av fiberbetong

Nr	Beskrivelse
1	Bestemmelse av restbøystrekkfasthet utføres iht. NS- EN 14651. a) Prøvestykkenes dimensjoner og utstøpingsprosedyre utføres i henhold til NS-EN 14651 som beskrevet i kapittel 3. b) Dersom alternativ metode benyttes skal resultatet korrigeres iht. en dokumentert relasjon mellom prøvemetodene. c) Restbøystrekkfastheten bestemmes som karakteristisk verdi basert på minimum 6 prøvestykker, jfr. kapittel 3.2.2.
2	Bestemmelse av trykkfasthet iht NS-EN 12390 del 3
3	Verifikasjon av fiberinnhold og fiberfordeling i fersk betong i betonglassene det støpes bjelker fra. Minst en prøve skal tas før bjelkene støpes ut og minst en prøve etter at bjelkene er støpt ut (til sammen 3 prøver gjennom lasset). Krav: Ved samtidig fibermåling og utstøping for bjelkeprøving gjelder følgende toleranser for fiberinnhold og –fordeling: målt fiberinnhold i hver enkeltprøve skal ligge mellom 0,8 og 1,2 av tilsiktet fiberdosering (dvs. $\pm 20\%$) beregnet gjennomsnittsverdi skal ligge mellom 0,85 og 1,15 av tilsiktet fiberdosering (dvs. $\pm 15\%$) Dersom disse kravene ikke oppfylles, gjennomføres ikke prøvingen av disse bjelkene og det skal gjøres tiltak for å forbedre doserings- og produksjonsmetode, før ny prøving gjennomføres. Metoden for måling av fiberfordeling (enkeltp prøve) og –innhold (gjennomsnitt) er beskrevet i kapittel 3.3.2
4	Hvis ikke annet er angitt, dokumenteres en gitt betongkvalitet og fibertype Minst en gang per år. Ved tvil eller vesentlige endringer i betongsammensetning¹⁾ eller konsistens

¹⁾ Ny dokumentasjon kreves hvis det gjøres vesentlige endringer i delmaterialene eller i deres volumforhold, se punktlisene over tabellen. Se for øvrig NS-EN 206 Tillegg A Innledende prøving.

2.8 Utførelseskontroll

2.8.1 Generelt

Ved utførelse av fiberbetong skal regler og krav for Utførelsesklasse 3 iht. NS-EN 1990+NA og NS-EN 13670+NA følges. Kontroll og dokumentasjon av utførelsen skal tilfredsstille kravene i NS-EN 13670+NA, og de krav som er gitt i denne publikasjonen. Dette skal inngå som en del av entreprenørens kvalitetssystem.



Forskningsaktivitet EU-Prosjekt

Key personnel

Dr.ing Steinar Trygstad AS
Dr.ing Steinar Trygstad

Politecnico di Milano, Italy
Professor Marco di Prisco
Associate Professor Matteo Colombo
Associate professor Paolo Martinelli
PhD Giulio Zani

DSC Erba, Italy
Cristiana Gaffuri (CG) MS Eng
Technical Manager Professor Marco di Prisco

Krampe Harex, Germany
Technical manager, Dr.ing Christian Neunzig

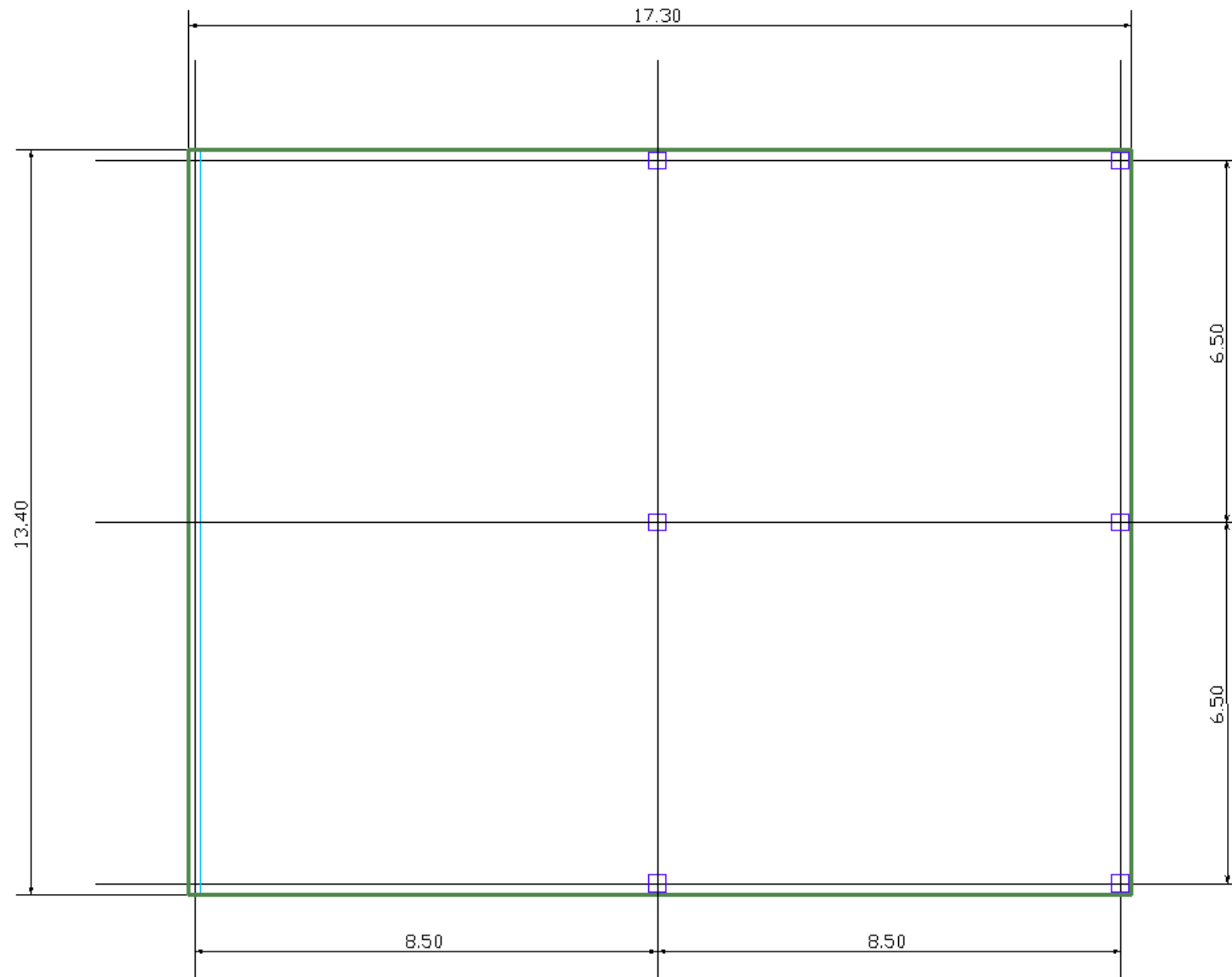
NCC AB, Sweden
PhD Alexandre Mathern
PhD Rasmus Rempling

Chalmers Technical University, Sweden
Associate professor Rasmus Rempling

NTNU, Norway
Professor Terje Kanstad

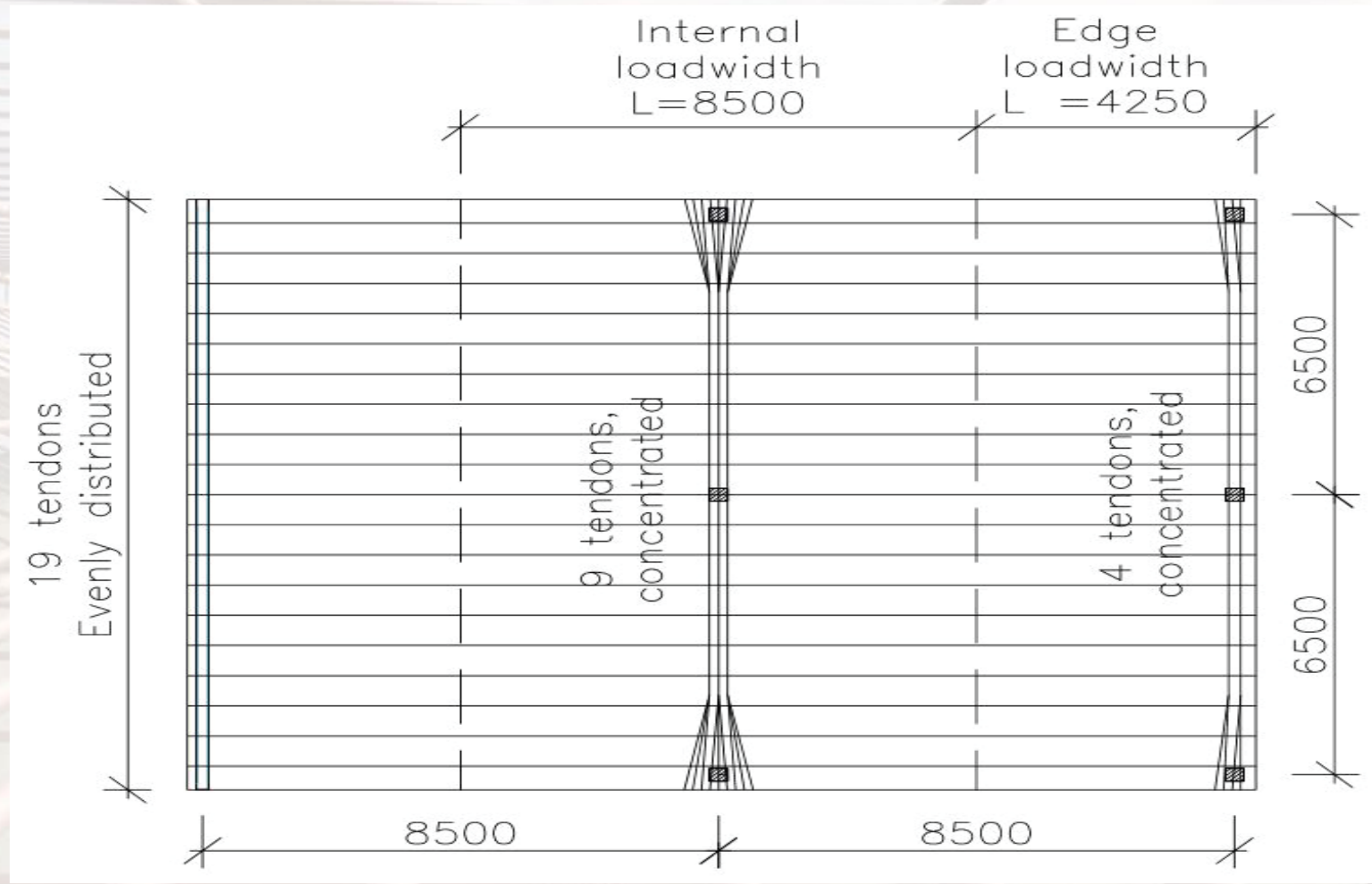
Thomas Concrete group, Sweden
R&D Manager Adj Professor Ingemar Løfgren

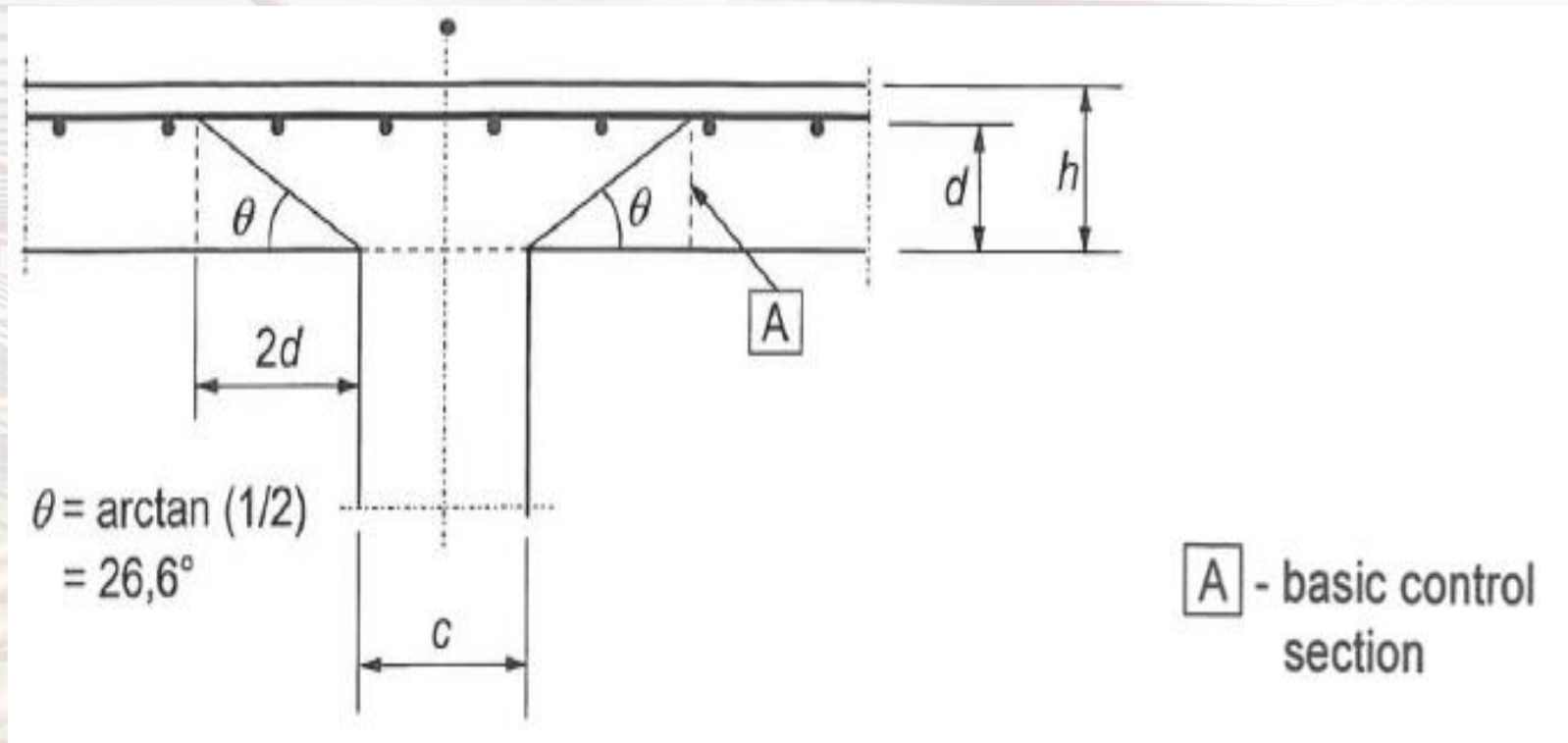
Fullskalaforsøk dekke

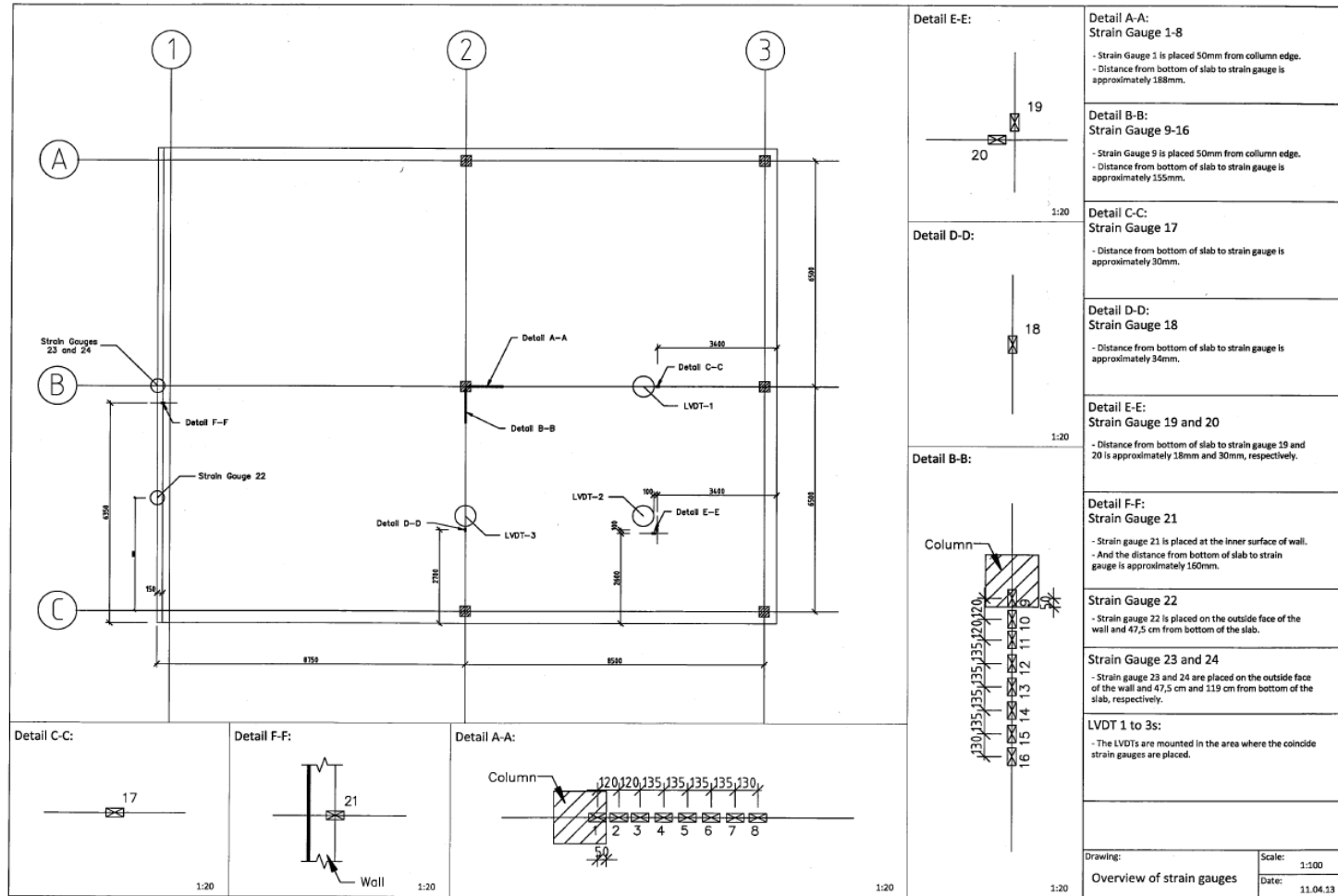


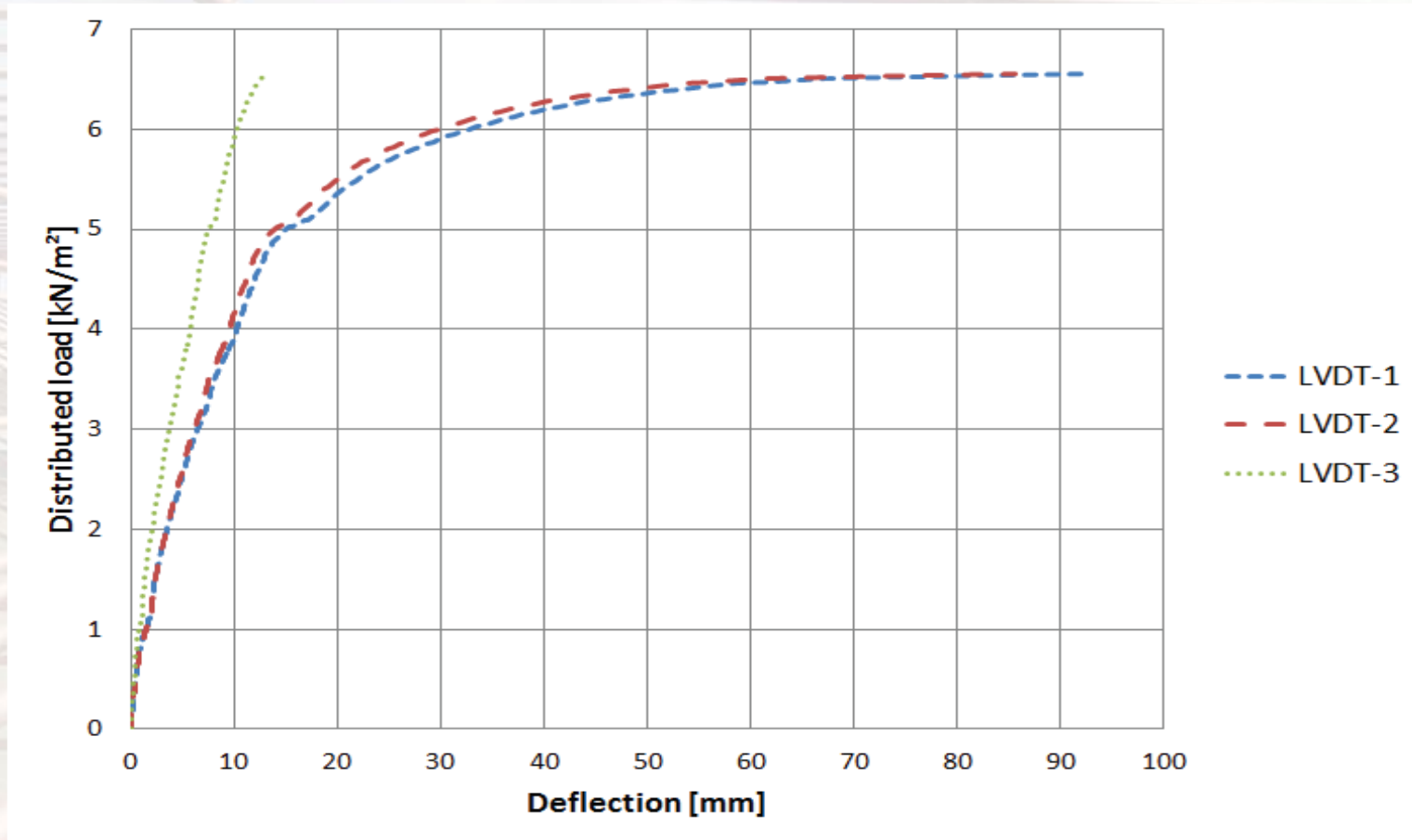


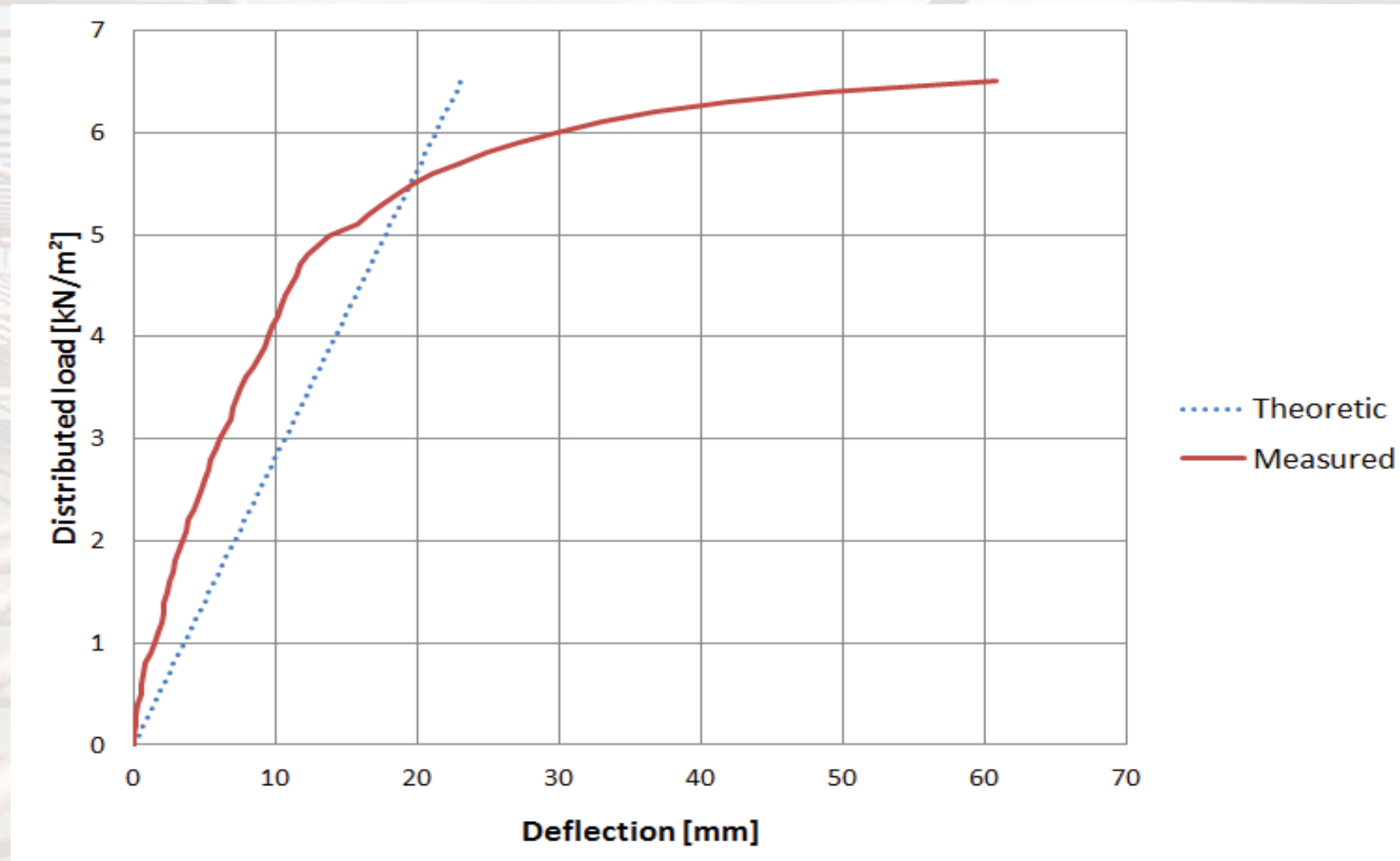


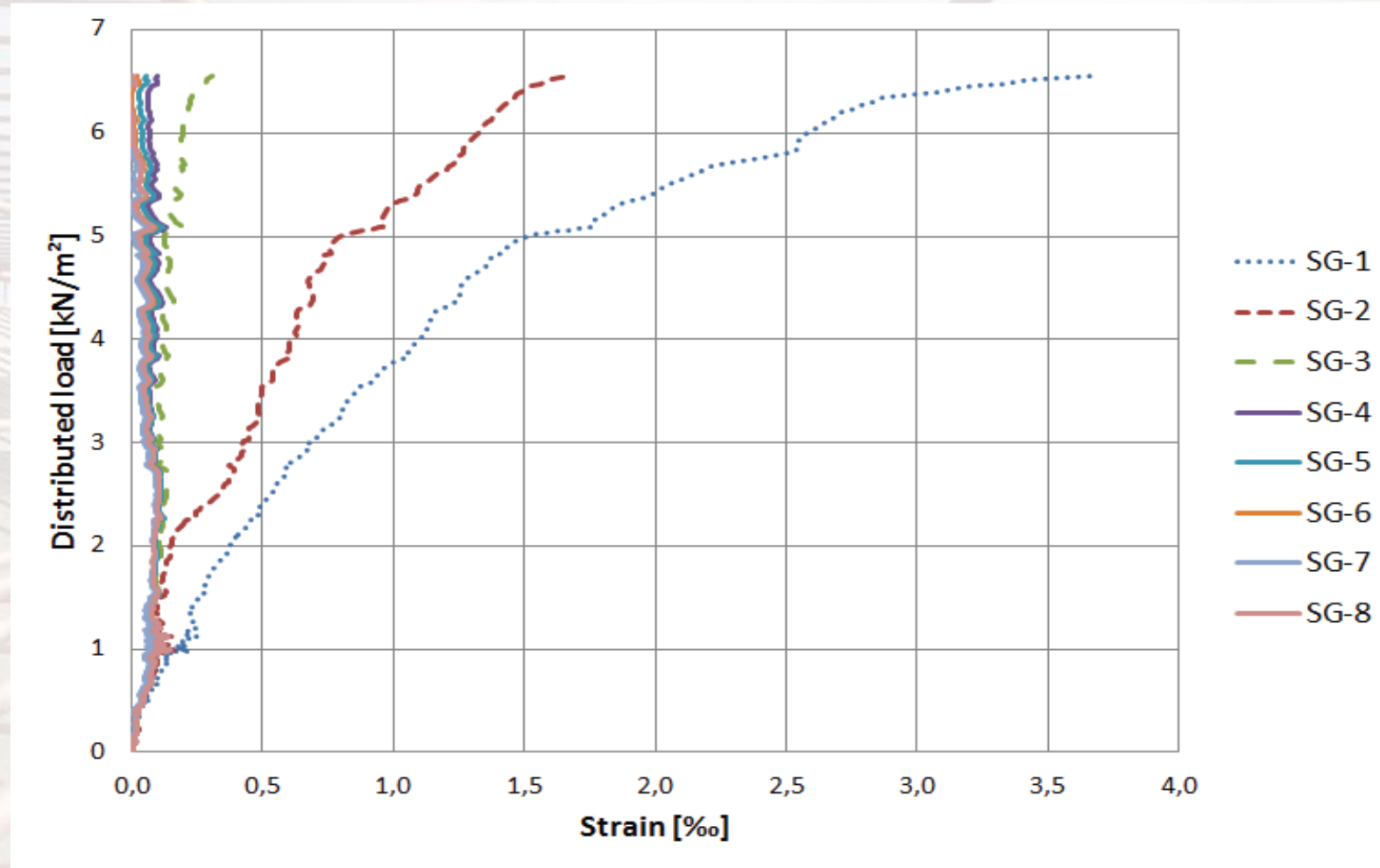














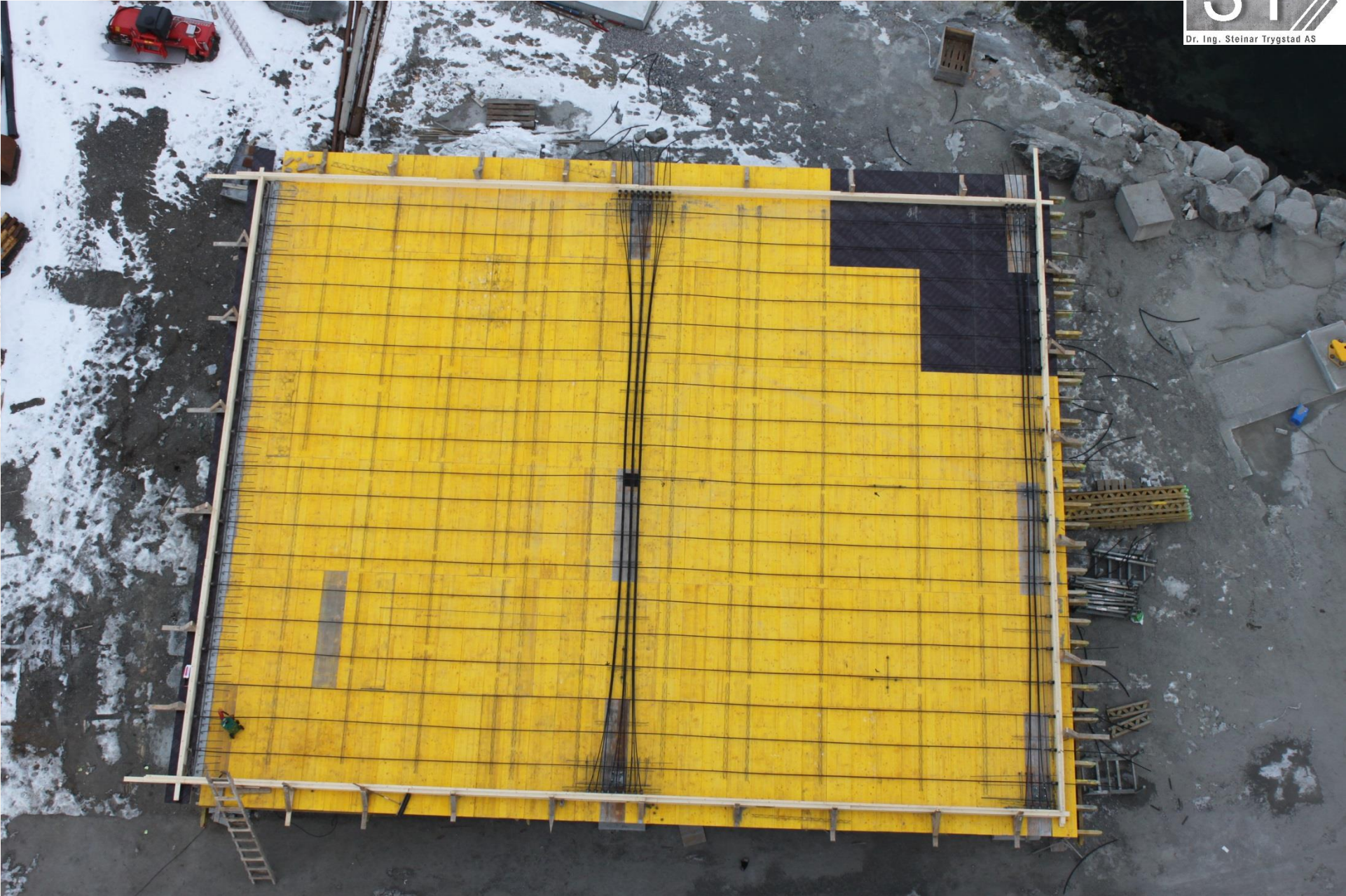






Fullskalaforsøk.

Belastning til brudd
(foto: Joachim Seehusen TU)

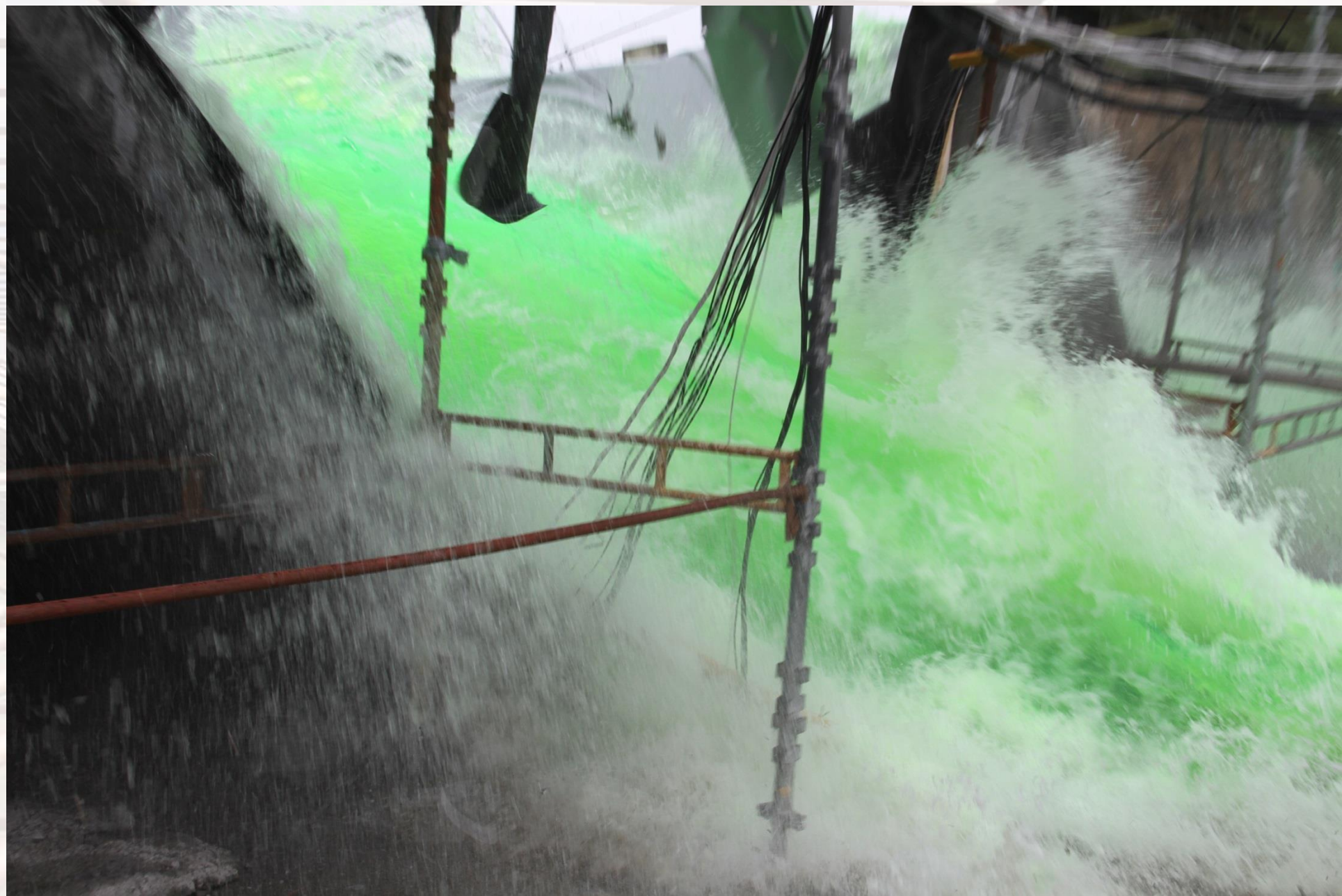
























Ambisjoner for EU-samarbeid

- Universiteter i Italia og Spania (gjennom NTNU-samarbeid)
- Samarbeid med Europas største leverandør(er) av basalt- og stålfiber
- Interesse for posisjonering på andre kontinenter (fortrinnsvis Nord-Amerika og Asia)
- Samarbeid med større bedrifter som kan ta prosjekter til en ny dimensjon

Steinar T

