



Praktisk formgivning & udstøbning + klimakrav til beton

v/Jørgen Schou

Betonworkshop i Aalborg
AMU Nordjylland
22. oktober 2024

| Dagsorden

1. Betonens historie
2. Produktsortiment
3. Livscyklusanalyse beton (LCA)
4. CO₂-reduceret beton
5. Levering af beton
6. Formgivning i praksis ved en række eksempler
7. Byggepladsteknik (udstøbning)
8. Hvad kan gå galt?



| Beton er en gammel opfindelse

Romerne opfandt betonen

Romerne opfandt brugen af beton ca. 300 BC (før vor tidsregning) – og i ca. 2000 år var det betonen. (De naturlige puzzolaner blev dog ind imellem skiftet ud med "romersk cement", baseret på brændt kalk.)



Concord templet i Rom rummer den ældste (overlevende) beton i fundamentet – opført 121 BC.

| Beton er en gammel opfindelse

Andre romerske betonbyggerier



Colosseum 72 A.D.

Colosseum opført med enorm brug af beton.

Beklædt udvendigt med marmor.

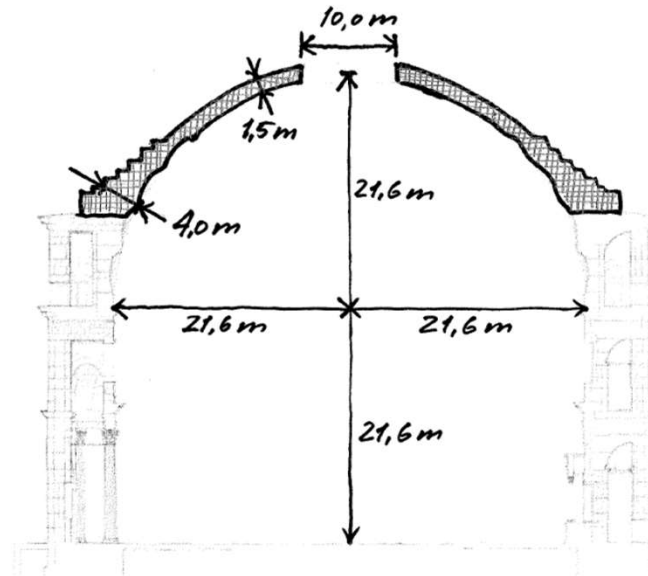
Beton er en gammel opfindelse

Pantheon, som betyder "alle gudernes" på græsk blev oprindeligt bygget af kejser Augustus svigersøn Vipsano Agrippa i år 27 før vor tidsregning.

Her kuplen i Pantheon i Rom, bygget som tempel af kejser Adriano (Hadrian) i år 125, på en noget ældre konstruktion.

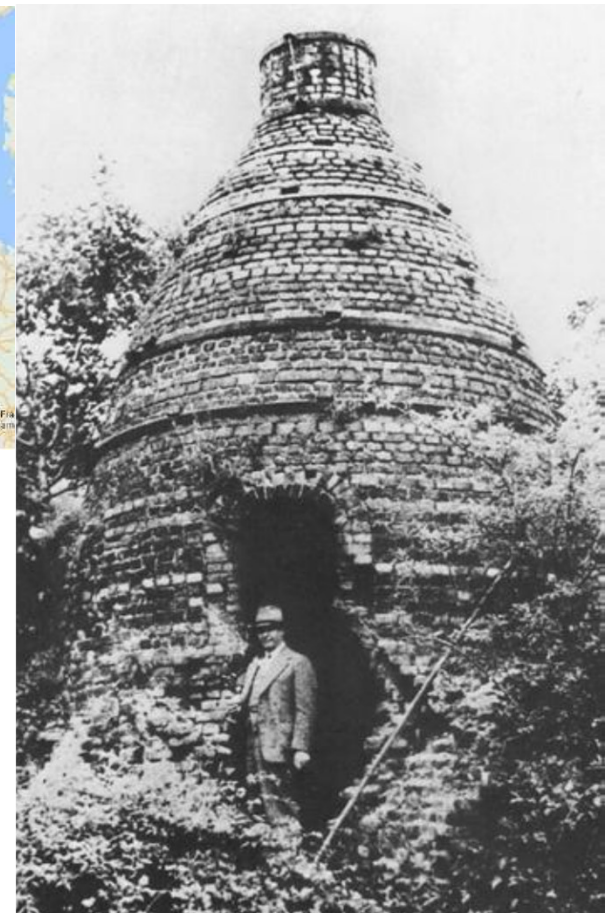
Diameter 43 meter.

Største fritsvævende kuppel indtil 1960.



Det første beton i DK

Her den første udgave af Langebro i København, hvor fundamenterne i 1852 blev støbt med beton. Det var den første konstruktion i Danmark, hvor Portland cement blev brugt.

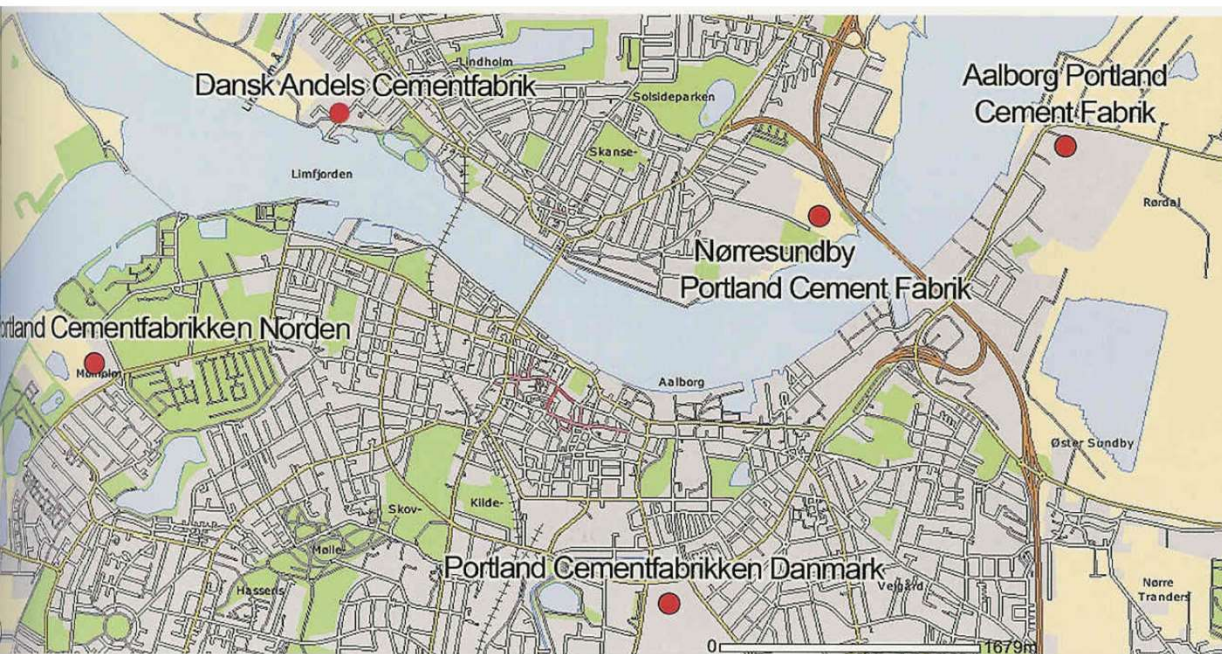


Idé: Blande ler(Si) i kalken(Ca), inden den brændes i ovnen.

Portland cement blev opfundet af Joseph Aspdin, som tog patent på fremstillingsmåden i 1824.

Cementfabrikker i Aalborg

- 1891: Aalborg Portland (1889) i Rørdal
- 1899: Cementfabrikken "Danmark" ved Sohngaardsholm
- 1901: Cementfabrikken "Norden" i Mølholm
- 1908: Cementfabrikken "Nørresundby" i Nørre Uttrup
- 1913: Dansk Andels Cementfabrik, DAC, i Lindholm



Siden 1986 kun Aalborg Portland

De enkelte fabrikker

| Dengang i slutningen af 1920-erne



| Roterstellet



Roterstellet opfundet af Kristian Hindhede og patenteret i 1929. Grundlagde KH Beton, der var Europas første fabrik for færdigblandet beton.

|..... og nu!



Hyldevarer fra en betonfabrik - standardvarer

Passiv beton, styrkeklasse C8 – C35

Moderat beton, min. styrkeklasse C30

Aggressiv beton, min. styrkeklasse C35

Ekstra aggressiv beton, min. styrkeklasse C40

- alle kan leveres som sætmålsbeton
- eller som SCC beton (Lava beton), styrkeklasse C20 – C40



| Funktionsbetoner

Gulvbeton specielt egnede til glittede gulve 🌱

- 25 MPa (G1), 30 MPa (G2) og 35 MPa (G3)

Anlægsbeton til VD/Banedanmark projekter + anlæg + havne

- A35 + E40 (med Aalborg SOLID cement)

Fugebeton til fuger 🌱

- P25 – E40, Dmaks 8 mm

UNI-Dry produkterne selvudtørrende betoner 🌱

- v/c-tal < 0,40 hhv. < 0,35 – Standard og ekstra hurtig

UNI-Ready produkterne færdigarmerede løsninger med stålfibre 🌱

- Sætmålsbeton og Lava beton

UNI-Wall SCC-beton til vægge og komplicerede geometrier 🌱

- Kun A35 type (flere steder har vi dog en E40, som overvejes at være landsdækkende)

UNI-Funda til sribefundamenter, færdigarmerede med stålfibre 🌱

- 9 løsninger, alle som P20

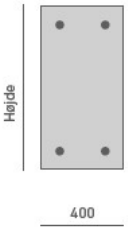
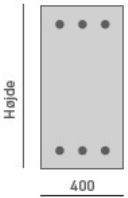


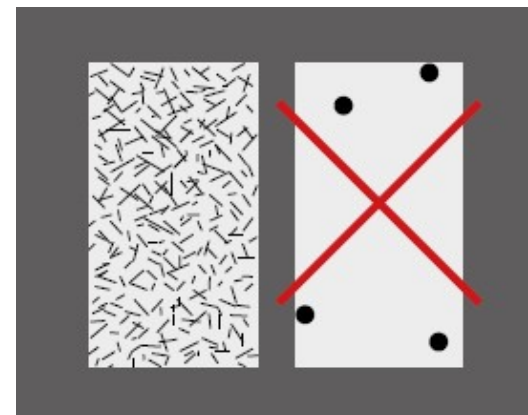
| Funktionsbeton

UNI-Funda™

- Stålfiberløsning til stribefundamenter
- Styrkeklasse C20/25 – i alt 9 løsninger
- Dosering afhængig af oprindelig design



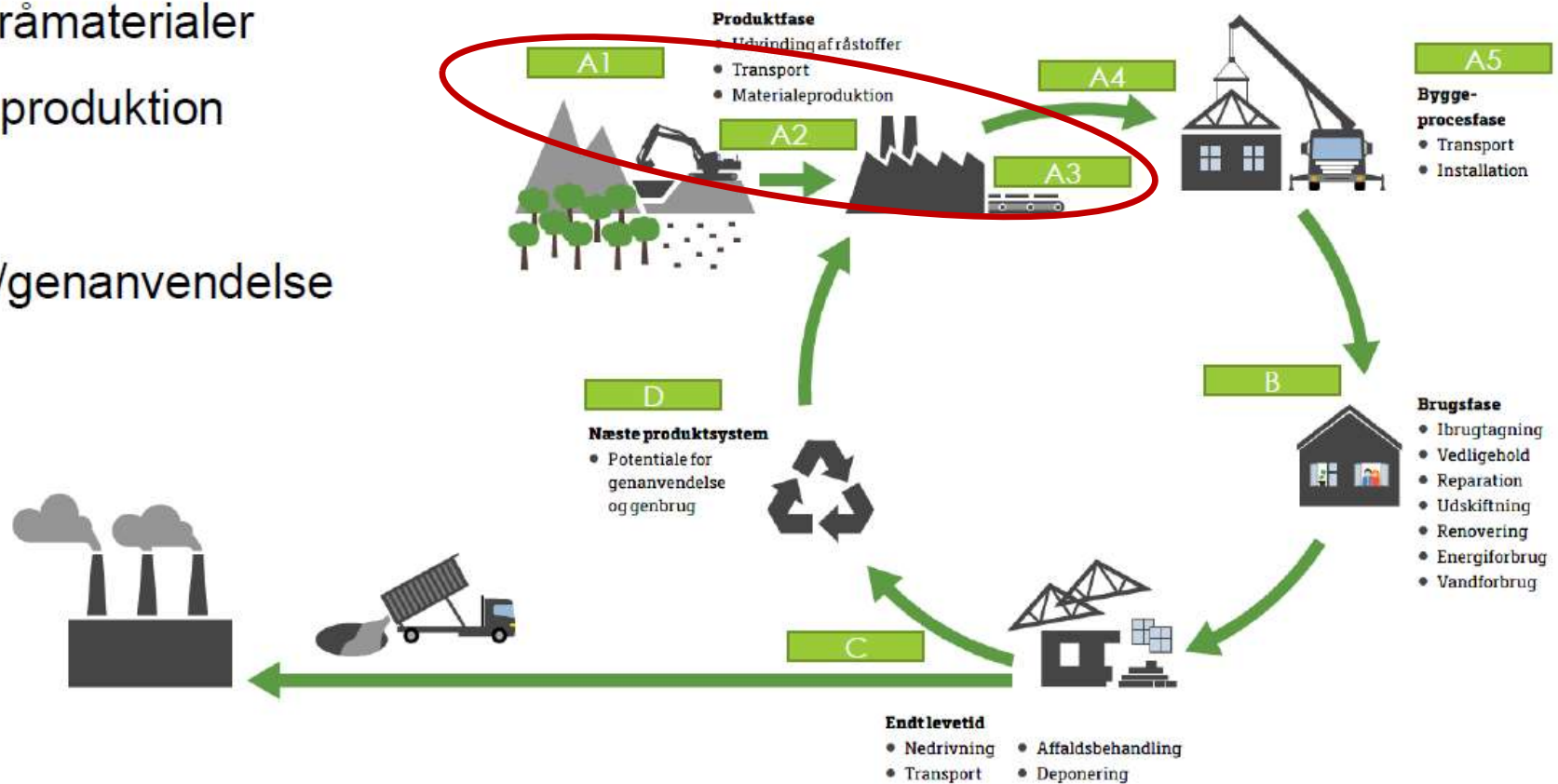
Armering/Dim.	Højde	Produktnavn
2 Y 12 i top og bund 	500 mm	UNI-FUNDA® - 2Y 500
	600 mm	UNI-FUNDA® - 2Y 600
	700 mm	UNI-FUNDA® - 2Y 700
	800 mm	UNI-FUNDA® - 2Y 800
	900 mm	UNI-FUNDA® - 2Y 900
3 Y 12 i top og bund 	600 mm	UNI-FUNDA® - 3Y 600
	700 mm	UNI-FUNDA® - 3Y 700
	800 mm	UNI-FUNDA® - 3Y 800
	900 mm	UNI-FUNDA® - 3Y 900



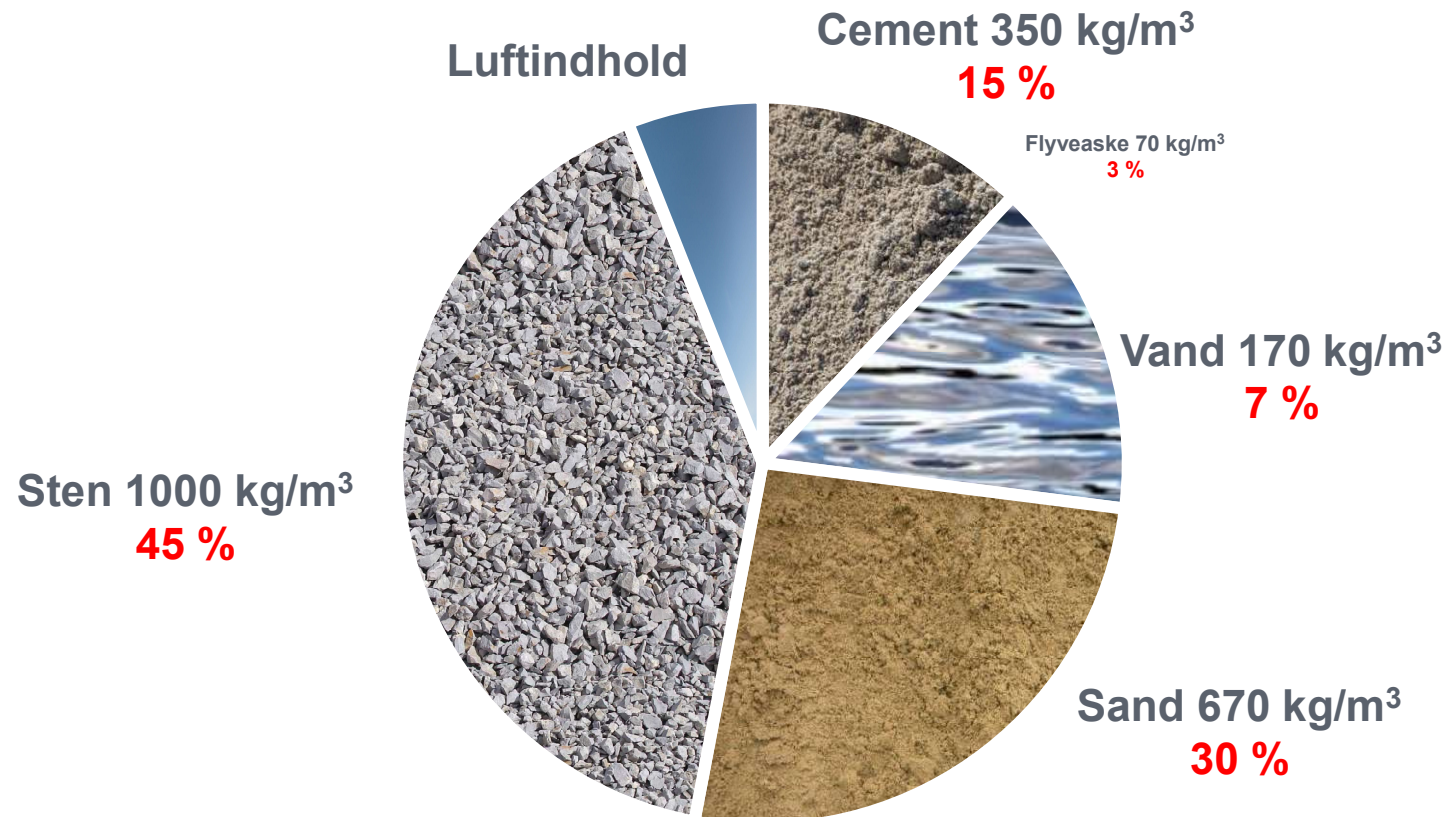
Livscyklus (LCA) for produkter/materialer

Produktets livscyklus dækker over de processer som finder sted i forbindelse med...

- Udvinning af råmaterialer
- Transport og produktion
- Brug
- Bortskaffelse/genanvendelse



| 1 m³ beton A35 - fordeling af delmaterialer, vægt-%



| Betons CO₂ aftryk



**85 - 90% af
betonens
CO₂ aftryk
stammer fra
cementen**

| Betonteknik

Brændzone,
1500 °C



Betontechnik

Cementtyper

RAPID® cement

FUTURECEM™ cement

Aalborg SOLID® cement

- har erstattet Lavalkali Sulfatbestandig cement nov. 2022

AALBORG WHITE® cement



Forskellige cementtyper fra Aalborg Portland

EPD'er efter den nye standard EN 15804 + A2 & ISO 14025



FUTURECEM
A1-A3
574 kg CO₂ ækv./ton



SOLID
A1-A3
662 kg CO₂ ækv./ton



RAPID
A1-A3
803 kg CO₂ ækv./ton



AALBORG WHITE
A1-A3
974 kg CO₂ ækv./ton

| FutureCEM vs RAPID cement

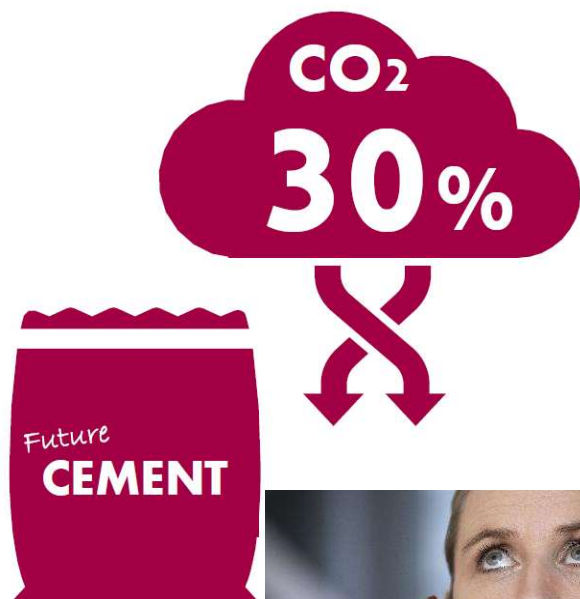
I FutureCEM reduceres andelen af cementklinker og erstattes med et mix af kalcineret ler og kalkfiller.



Kalcineret ler og kalkfiller har lavere CO₂-aftryk end cementklinker



FutureCEM med mindre CO₂-aftryk



Med vores nye cement

FutureCEM

kan vi reducere CO₂
aftrykket i cementen med

30%

i forhold til vores RAPID cement og
20% i forhold til BASIS cement.

CO₂-aftryk iht. EN 15804+A2 & ISO 14025

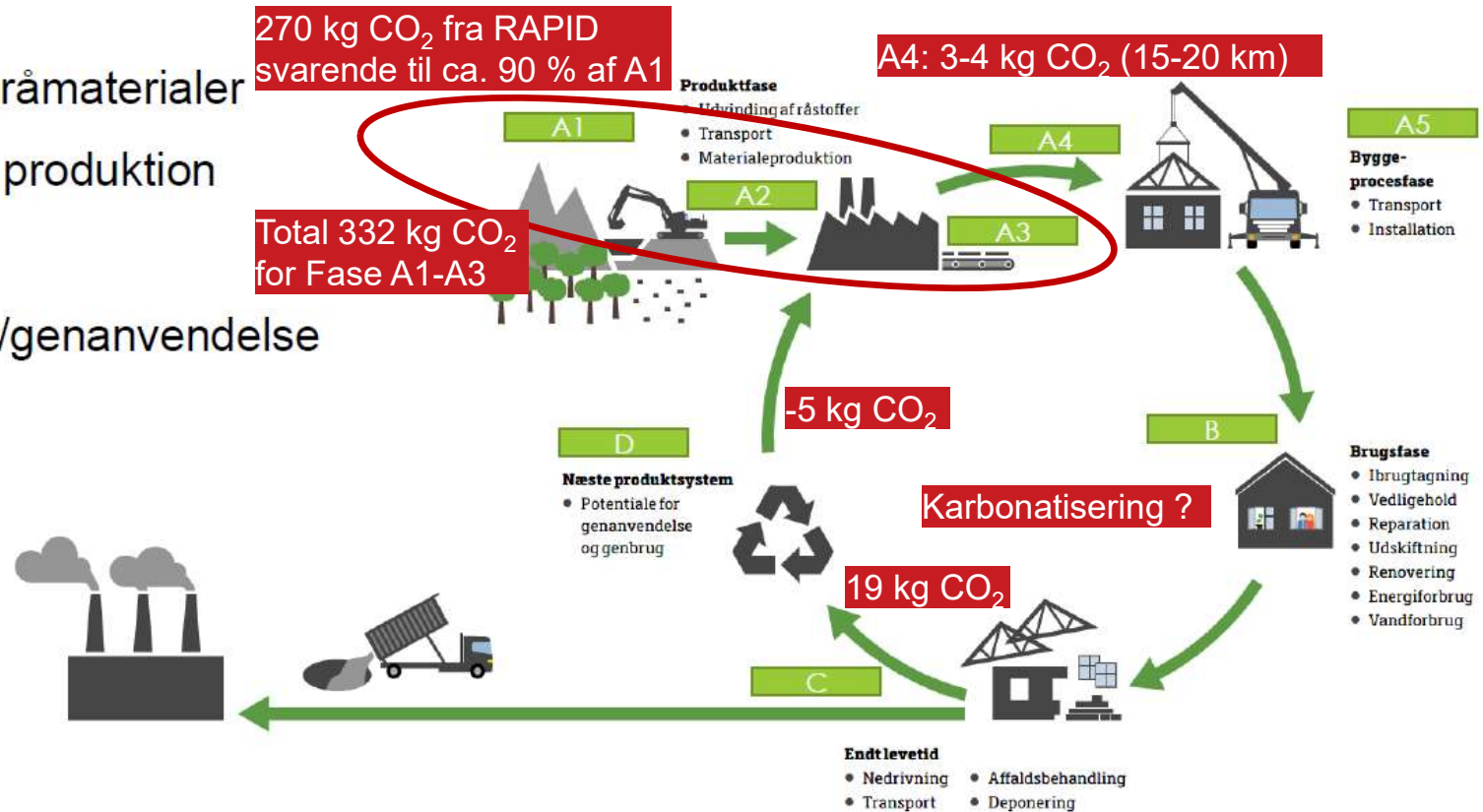
Cementtype	GWP, A1-A3, kg CO ₂ /ton
FUTURECEM cement CEM II/B-M (Q-LL) 52,5N (LA)	574 kg/ton
RAPID cement CEM I 52,5 N (MS) (LA)	803 kg/ton
Aalborg SOLID cement CEM II/A-V 42,5 N (EA)	662 kg/ton
Aalborg White CEM I 52,5 R	974 kg/ton

Vi skal reducere CO₂ 50 % inden 2030 (ref. 2019)

Livscyklus (LCA) for A35 beton med RAPID cement

Produktets livscyklus dækker over de processer som finder sted i forbindelse med...

- Udvinning af råmaterialer
- Transport og produktion
- Brug
- Bortskaffelse/genanvendelse



Prisliste 2024

Værdierne er regnet i Dansk Betons EPD-generator iht. DS/EN 15804+A2:2019, men er ikke tredjepartsverificeret og betragtes derfor som estimer af CO₂-aftrykket for betontypen

UNI-GREEN® SÆTMÅLSBETON - DMAKS 32 MM, SÆTMÅL 40-120 MM - IHT. DS/EN 206 DK NA

MILJØPÅVIRKNING	EKSPONERINGS- KLASSE	TRYKSTYRKE- KLASSE	CEMENT TYPE	CO ₂ -ÆKV. PR M3	KR. PR. M ³ EKSKL. MOMS
Passiv	X0, XC1	C12/15	FUTURECEM	130 kg	1.432,-
		C16/20	FUTURECEM	145 kg	1.472,-
		C20/25	FUTURECEM	160 kg	1.512,-
		C25/30	FUTURECEM	180 kg	1.554,-
		C30/37	FUTURECEM	205 kg	1.596,-
		C35/45	FUTURECEM	220 kg	1.639,-
Moderat	XC2, XC3, XC4, XF1, XA1	C30/37	FUTURECEM	215 kg	1.796,-
		C35/45	FUTURECEM	220 kg	1.885,-
Aggressiv	XD1, XS1, XS2, XF2, XF3, XA2	C35/45	FUTURECEM/ RAPID	275 kg/ 335 kg	2.061,-
Ekstra Aggressiv	XD2, XD3, XS3, XF4, XA3	C40/50	FUTURECEM/ RAPID	320 kg/ 390 kg	2.175,-

RAPID



FUT

Ca. 20 % CO₂ reduktion for A35

Hvor findes Unicons Produkt EPD'er nu?

Tidligere hos EPD Danmark

Nu EPD Norge (www.epd-norge.no)

www.unicon.dk, faneblad: Bæredygtig omstilling

Her er der inspiration om:

- CO₂-reduceret beton
- Cirkulær produktion
- Grøn omstilling af vores betontransport
- Miljøvaredeklarationer/EPD (her linkes til EPD Norge)
- DGNB-byggeri



Environmental product declaration

in accordance with ISO 14025 and EN 15804+A2

STANDBETON (C35/45 Slump Concrete in Aggressive Environmental Exposure Class)



The Norwegian EPD Foundation

Owner of the declaration:
Unicon A/S

Product:
STANDBETON (C35/45 Slump Concrete in Aggressive Environmental Exposure Class)

Declared unit:
1 m³

This declaration is based on Product Category Rules:
CEN Standard EN 15804:2012+A2:2019 serves as core PCR
NS-EN 16757:2022 for Concrete and concrete elements

Program operator:
The Norwegian EPD Foundation

Declaration number:

NEPD-5324-4656-EN

Registration number:

NEPD-5324-4656-EN

Issue date: 06.11.2023

Valid to: 06.11.2028

Update: 27.02.2024

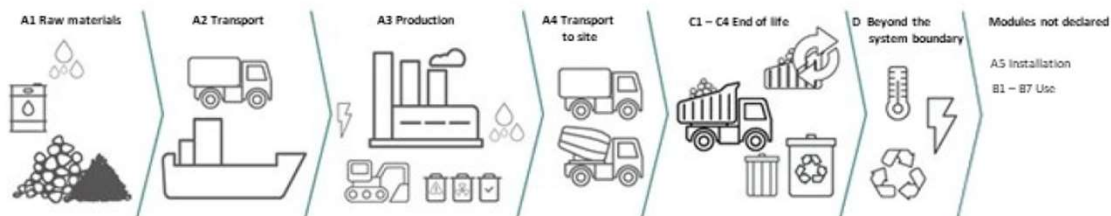
EPD software:
LCAno EPD generator ID: 69333

Produkt-EPD for A35 beton med RAPID cement

System boundaries (X=included, MND=module not declared, MNR=module not relevant)

Product stage			Construction installation stage		Use stage								End of life stage				Beyond the system boundaries
Raw materials	Transport	Manufacturing	Transport	Assembly	Use	Maintenance	Repair	Replacement	Refurbishment	Operational energy use	Operational water use	De-construction demolition	Transport	Waste processing	Disposal	Reuse-Recovery-Recycling potential	
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D	
X	X	X	X	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	MND	X	X	X	X	X	

System boundary:



LCA: Results


The LCA results are presented below for the declared unit defined on page 2 of the EPD document.

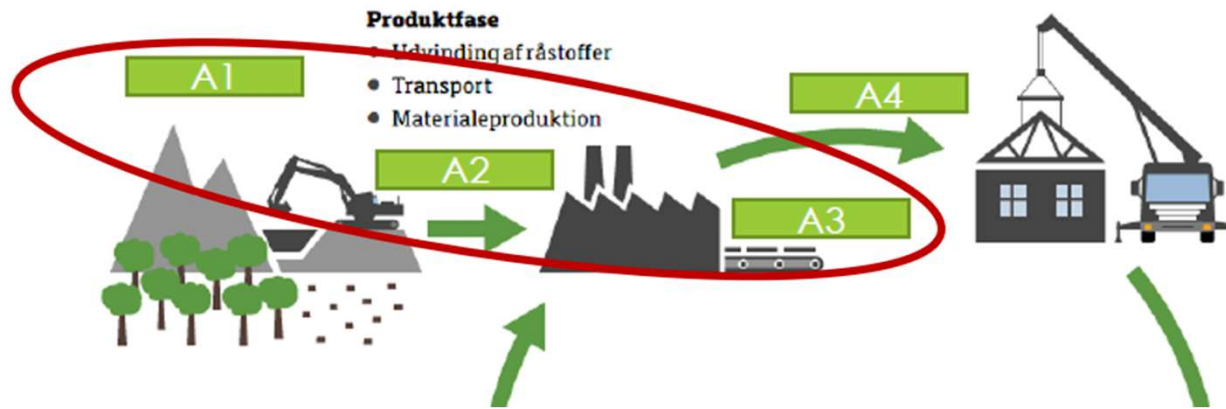
Environmental impact											
Indicator	Unit	A1	A2	A3	A4	C1	C2	C3	C4	D	
GWP-total	kg CO ₂ -eq	3,01E+02	2,80E+01	2,95E+00	3,35E+00	9,00E+00	5,12E+00	1,57E+00	3,12E-01	-5,09E+00	

Produkt-EPD for A35 beton med RAPID cement

LCA: Results

The LCA results are presented below for the declared unit defined on page 2 of the EPD document.

Environmental impact										
Indicator	Unit	A1	A2	A3	A4	C1	C2	C3	C4	D
 GWP-total	kg CO ₂ -eq	3,01E+02	2,80E+01	2,95E+00	3,35E+00	9,00E+00	5,12E+00	1,57E+00	3,12E-01	-5,09E+00





Byggetilladelse fra 1. Januar 2023

(§297)

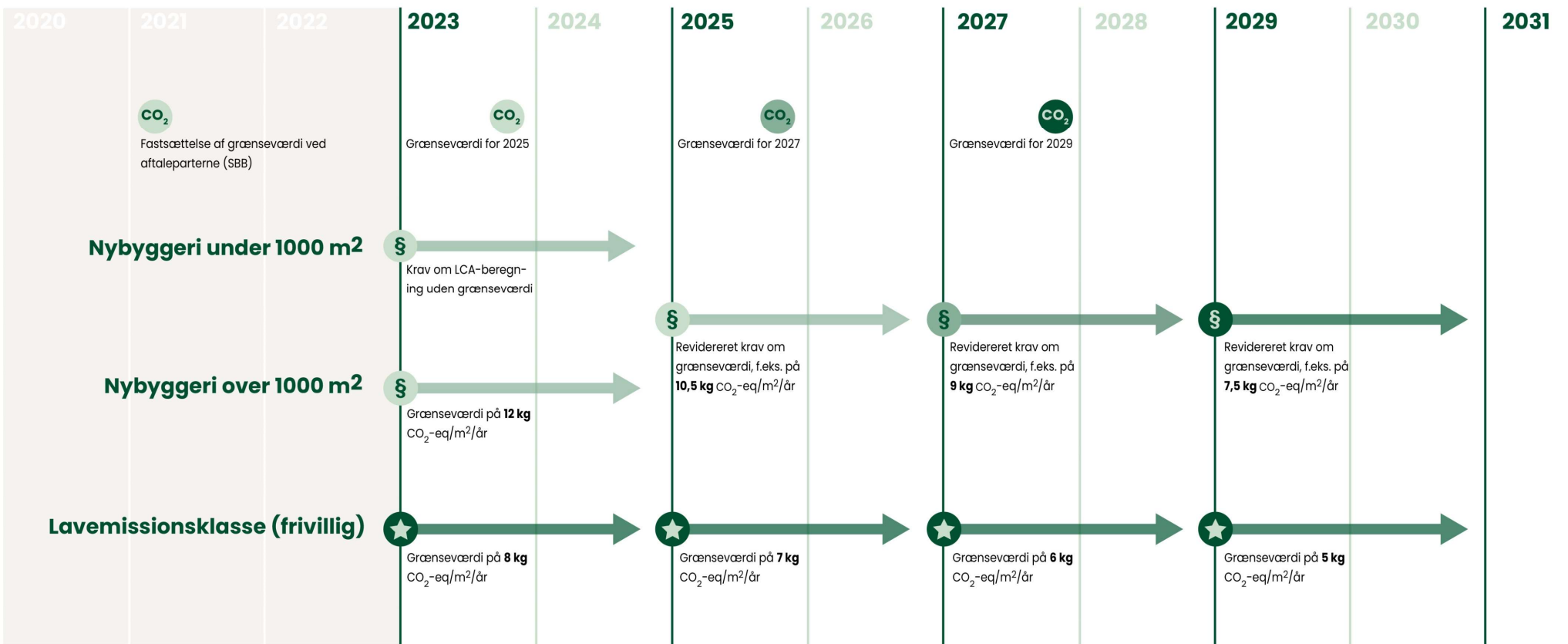
- Dokumentation med en klimaberegning (LCA) jf. EN15978/EN15804 set over 50 år for al nybyggeri omfattet af krav om at overholde energirammen (opvarmet over 5°C)

(§298)

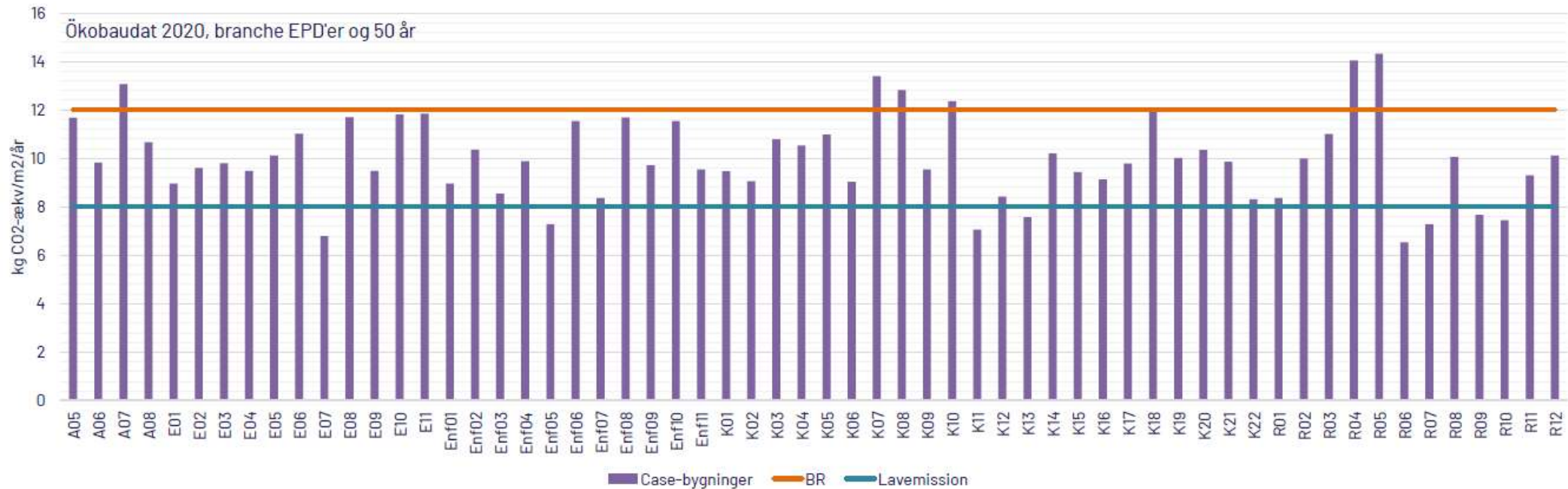
- Grænseværdi/krav for visse nybyggerier:

* Undtagen berettiget materialebehov f.eks. laboratorier, sportshaller, industribygninger, hospitaler

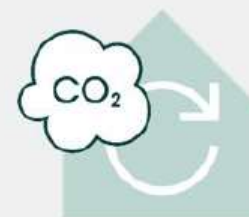
>1000 m²
≤ 12,0 kg CO₂-ækv./m²/år



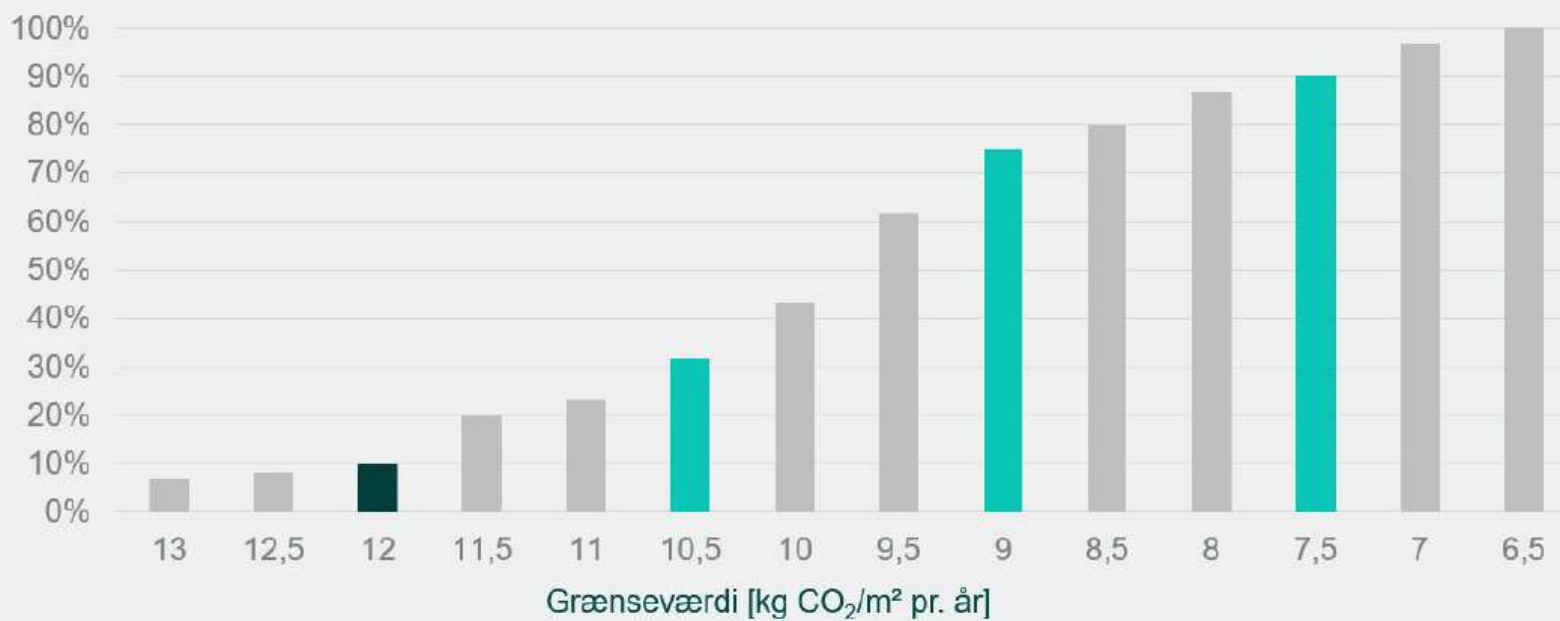
Klimapåvirkning fra 60 bygningsscases



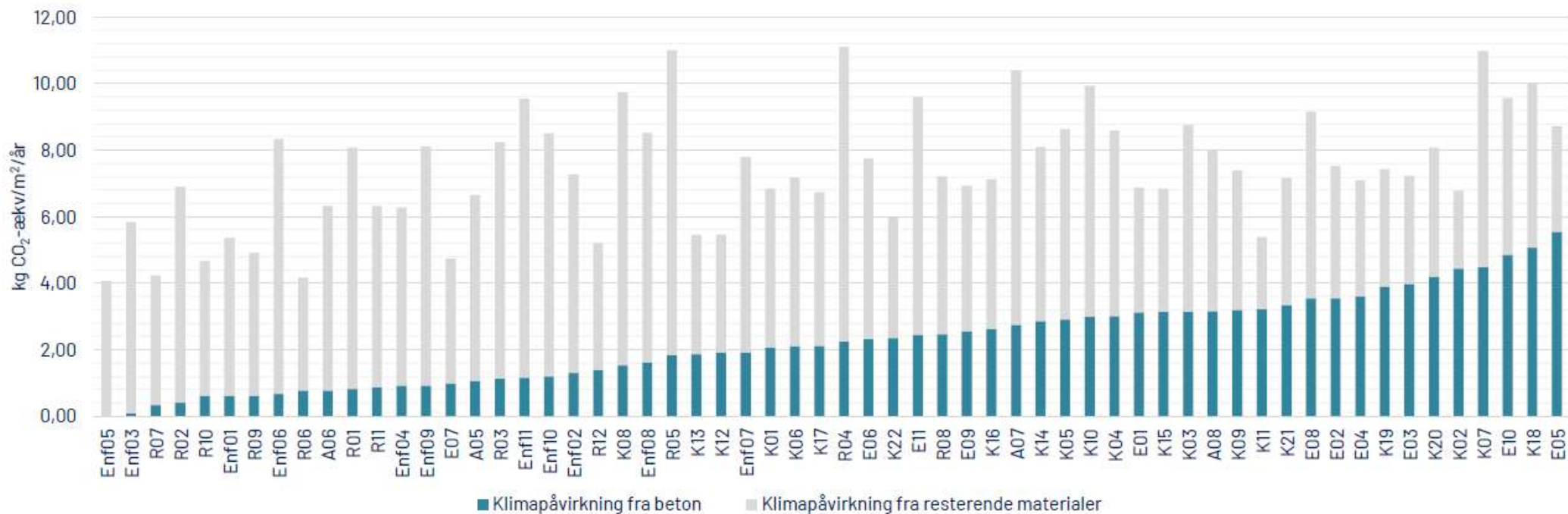
Indfasning af grænseværdi



Andel nye bygninger, der ligger over fastsat grænseværdi fra 2023 og mulige fremtidige grænseværdier



Klimapåvirkning fra beton



I gennemsnit er bidraget fra beton til klimapåvirkninger fra materialer 22%.

Ny trappemodel med krav til byggeproces A4+A5 per 1/7-2025

Tabel 1

Trinvis indfasning af grænseværdier for nybyggeris klimapåvirkning

Kg CO ₂ e/m ² /år	Medio 2025	Medio 2027	Medio 2029
Grænseværdi	7,1	6,4 <i>(strammes ca. 10 pct.)</i>	5,8 <i>(strammes ca. 11 pct.)</i>
Byggeproces i grænseværdi	1,5	1,3	1,1
Grænseværdi, inkl. byggeproces	8,6	7,7	6,9
Lavemissionsklasse	5,8 <i>(ca. 18 pct. under GV)</i>	5,0 <i>(ca. 21 pct. under GV)</i>	4,4 <i>(ca. 25 pct. under GV)</i>
Byggeproces i lavemissionsklasse	1,1	1,0	0,9
Lavemissionsklasse, inkl. byggeproces	6,9	6,0	5,3

Anm.: Grænseværdien for nybyggeriets klimapåvirkning udgør i gennemsnit 7,1 kg CO₂e/m²/år. Der fastsættes differentierede grænseværdier for de enkelte bygningstyper *jf. tabel 2*.

Differentieret grænseværdi for forskellige bygningstyper

Tabel 2

CO₂e-grænseværdi for nybyggeri fordelt på bygningstyper, 1. juli 2025

Kg CO₂e/m²/år	2025	2027	2029
Grænseværdi for bygninger	7,1	6,4	5,8
Ferieboliger under 150 m ²	4,0	3,6	3,2
Enfamiliehuse, rækkehuse og tiny houses samt ferieboliger på mindst 150 m ²	6,7	6,0	5,4
Etageboliger	7,5	6,8	6,1
Kontorbygninger	7,5	6,8	6,1
Institutioner	8,0	7,2	6,4
Andet nybyggeri	8,0	7,2	6,4
Selvstændig grænseværdi for byggeproces	1,5	1,3	1,1
Grænseværdi inkl. byggeproces	8,6	7,7	6,9

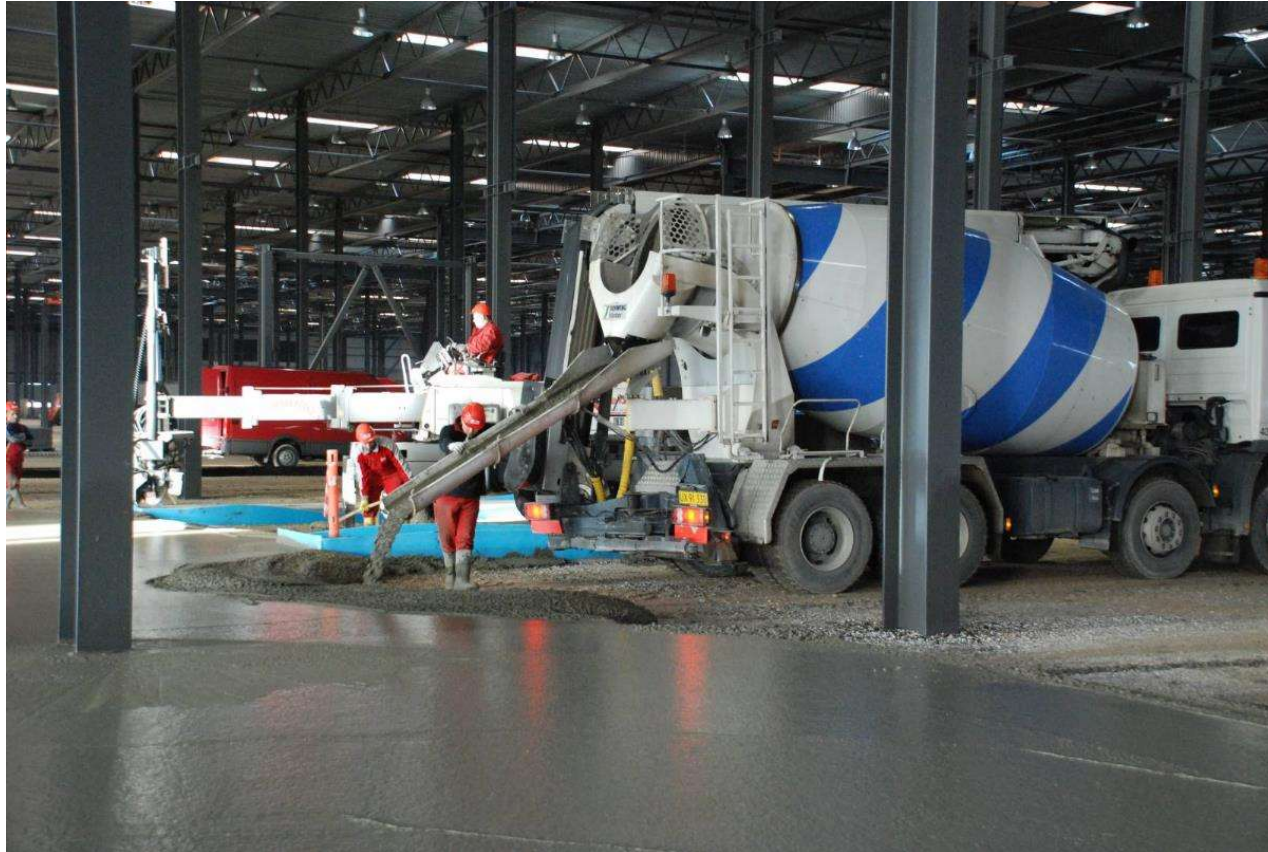
| Grønnere transport

- Hybride betonbiler & -pumper
- Biobrændsel HVO – 90 % reduktion af CO₂
- El-drevne betonbiler



| Leveringsmåder

Sliske –
max. 2 m fra bil



| Leveringsmåder

Sliske –
kranspand



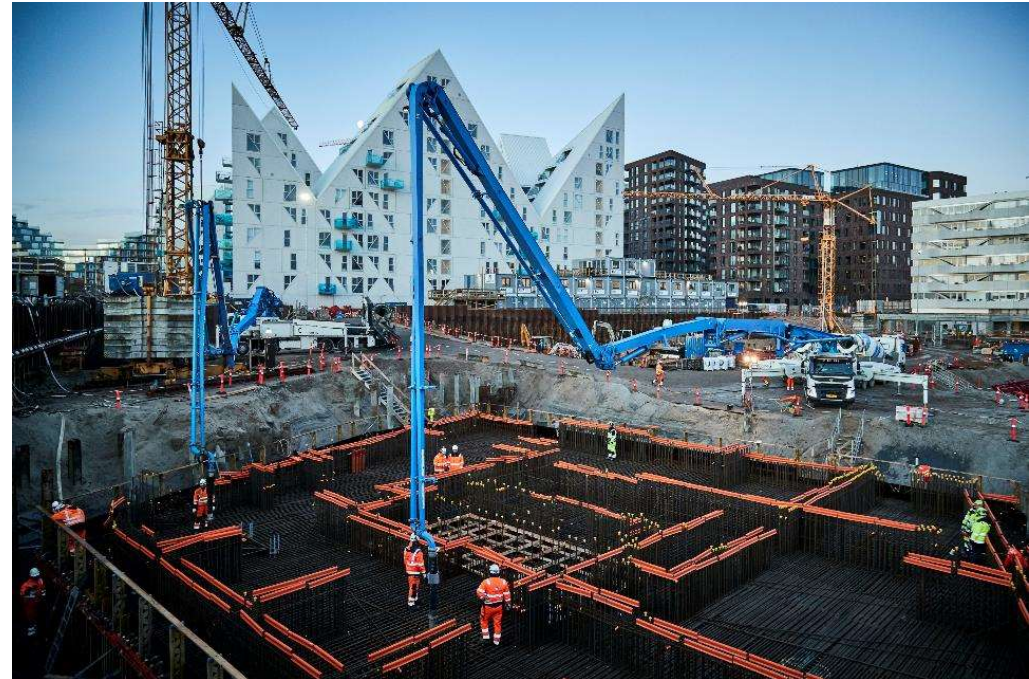
| Leveringsmåder

Bånd,
max. ca. 15 m



| Leveringsmåder

PumiPumpe eller almindelig pumpe



Lighthouse, Aarhus Ø



| Formgivning - eksempler



| Aarhus Havn

Hvid jernbanebro

- Koksgrå søjler og endevederlag



Aarhus Havn

Hvid jernbanebro

Koksgrå søjler og endevederlag



| Stibro v/Hvidsværmervej



Nomineret til
in-situ Prisen 2011



| Stibro v/Hvidsværmervej



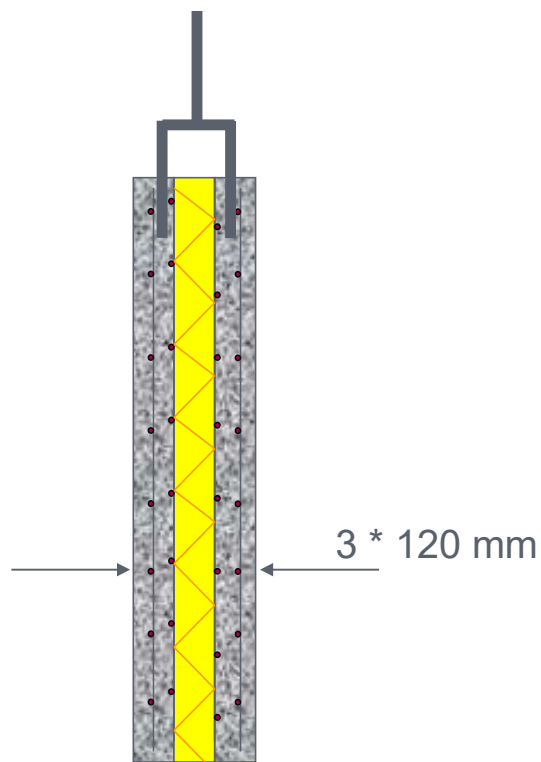
Hindemosehus

Ingen støbeskel

Overflade

Udvendig: Glat Finér

Indvendig: Ru brædder



Hindemosehus



| Hindemosehus



| Ordrupgaard



| Ordrupgaard



| Ordrupgaard



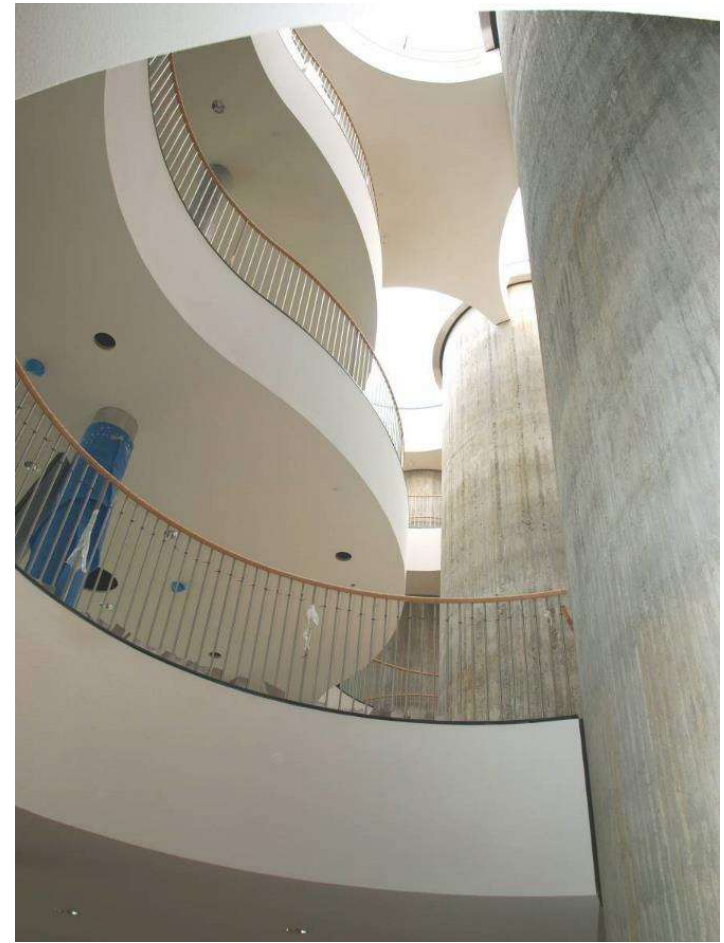
| SEB Bank & Pension



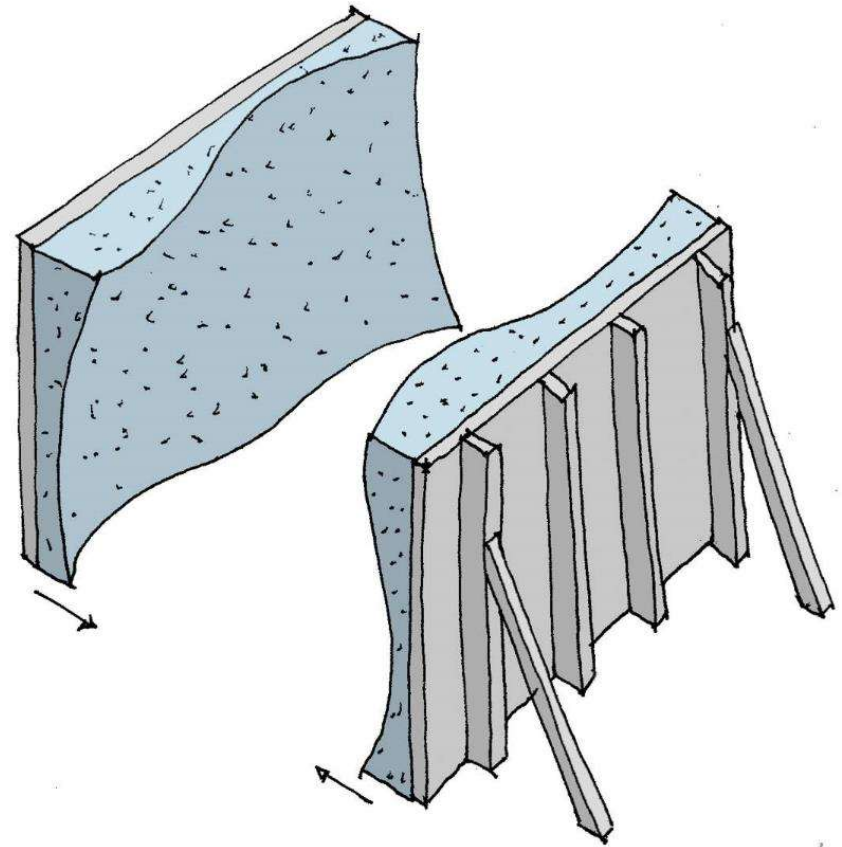
| SEB Bank & Pension



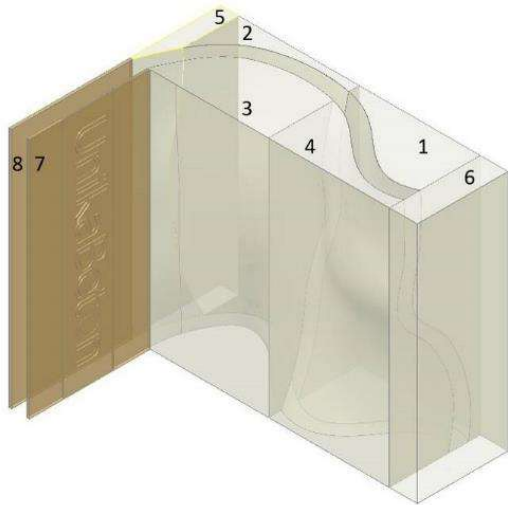
| SEB Bank & Pension



| UNIKA beton (Unikke betonkonstruktioner)



UNIKA beton



| UNIKA beton



| Paschal, Århus



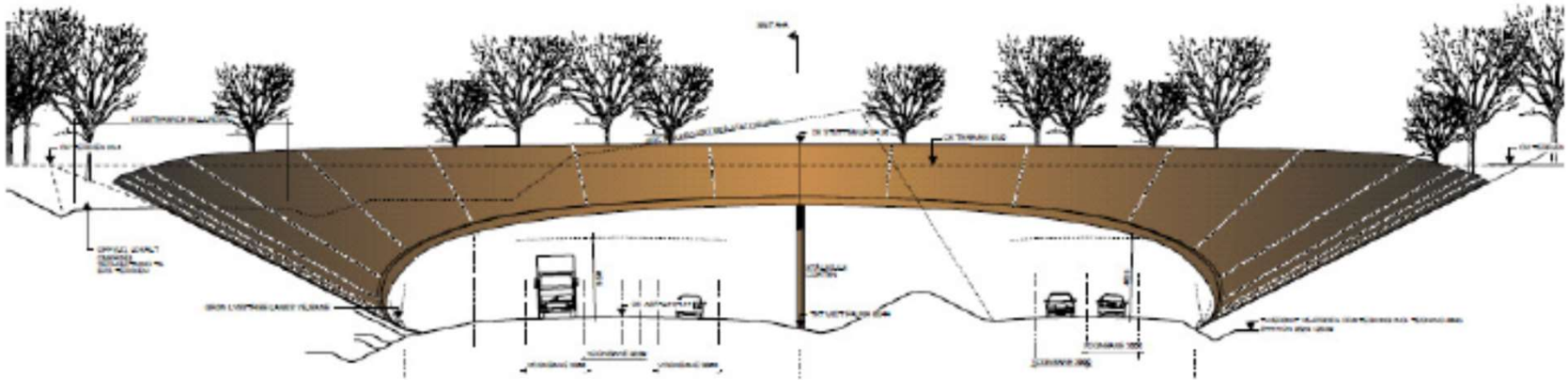
| TailorCrete



| TailorCrete



Faunapassagebro ved Randbøl



Ny motortrafikvej Bredsten – Vandel

Arkitektfirmaet Bystrup

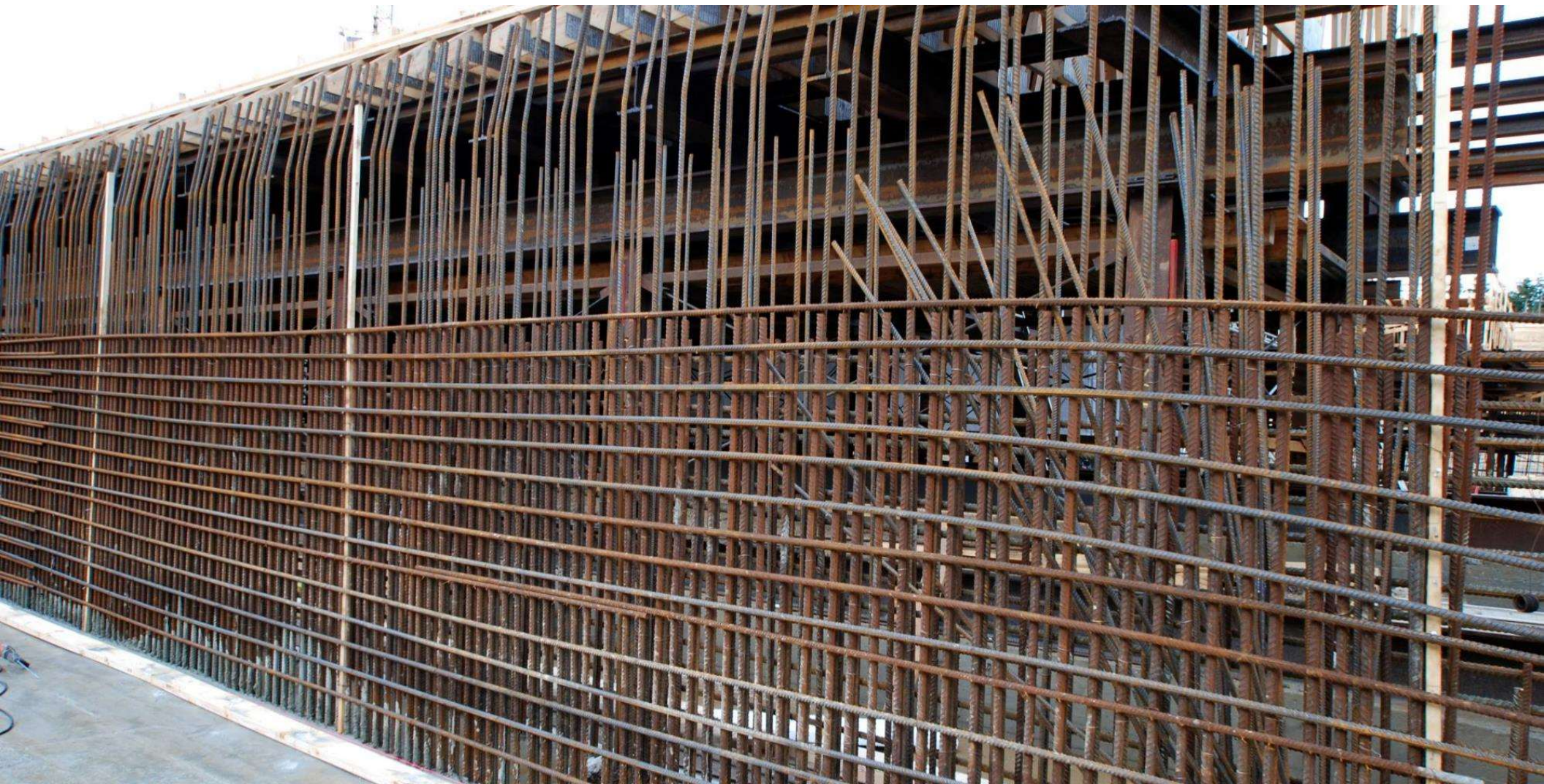
Elipseformet, spændvidde 50 m, længde 55 m

1800 m³ beton, type E40















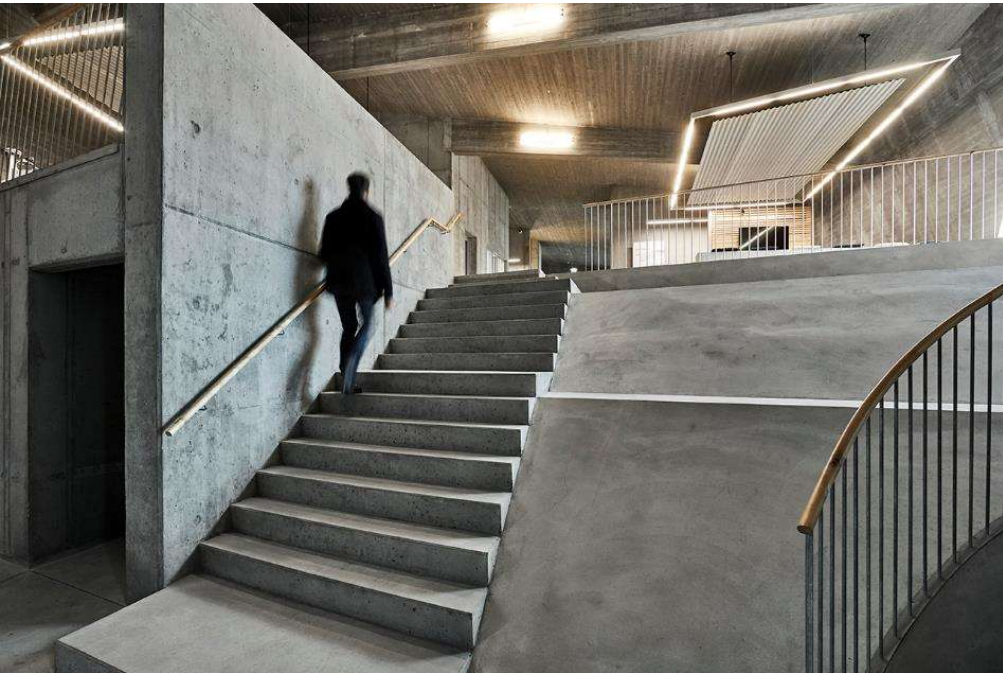
| Faunapassagebro ved Randbøl



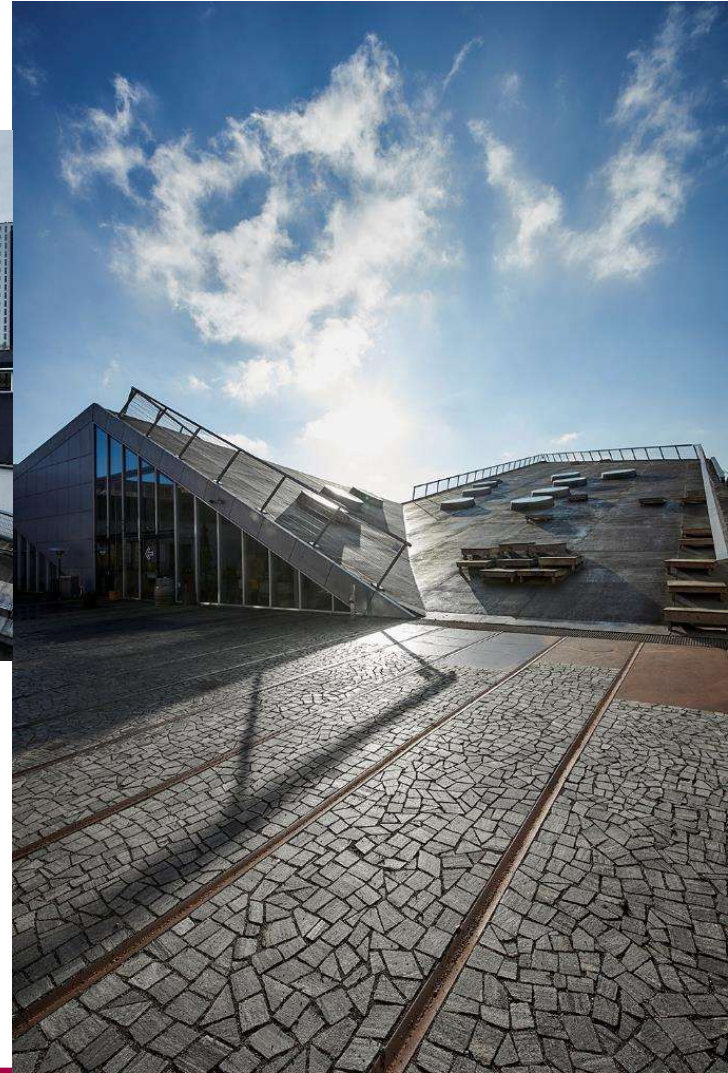
| Nibsbjerg Vandcenter, Holstebro



| Nibsbjerg Vandcenter, Holstebro



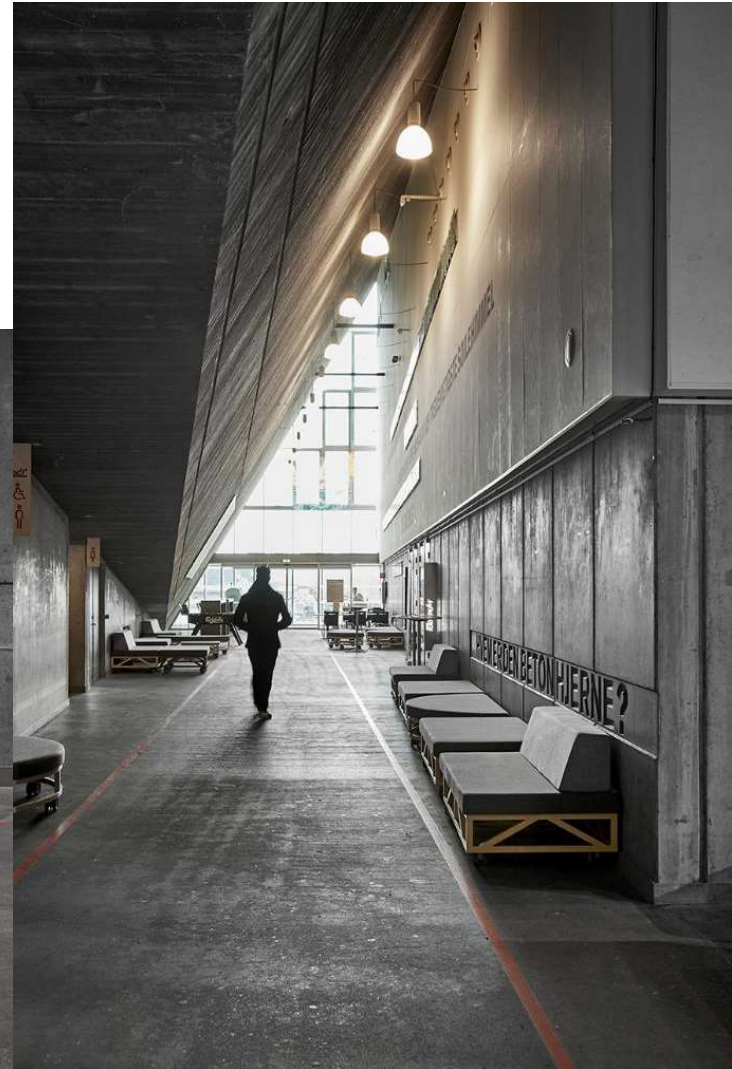
| Godsbanen, Aarhus



| Godsbanen, Aarhus



| Godsbanen, Aarhus



| Udstøbning industrigulv – sætmålsbeton

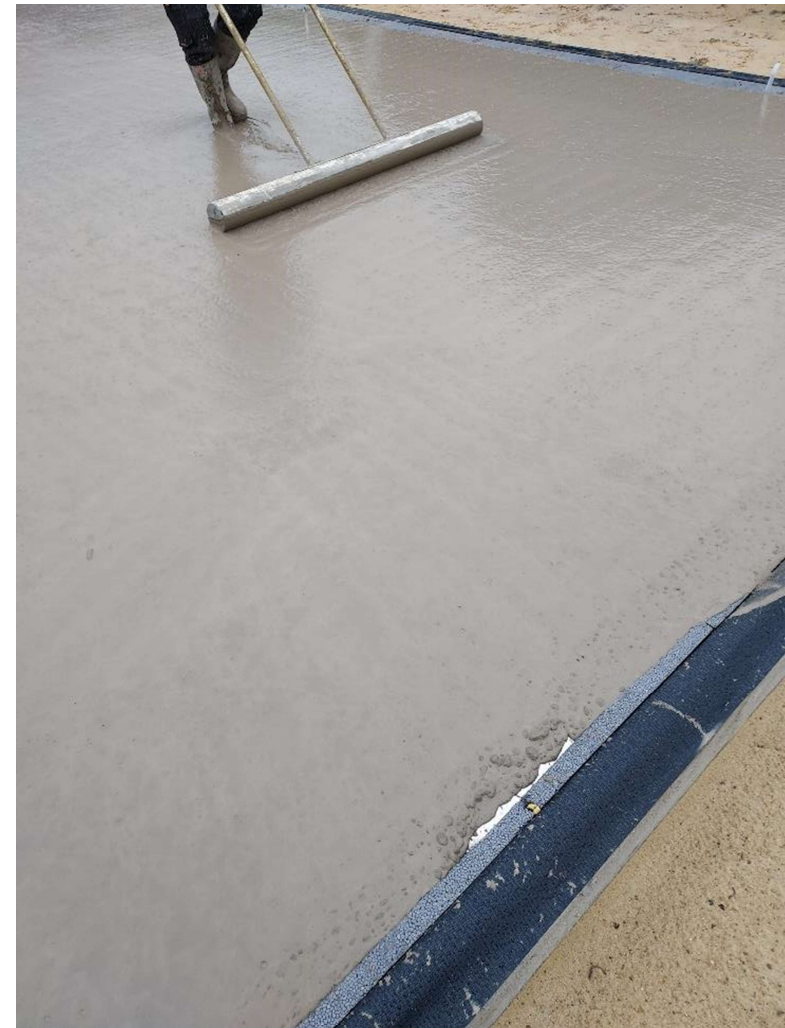


Sætmålsbeton

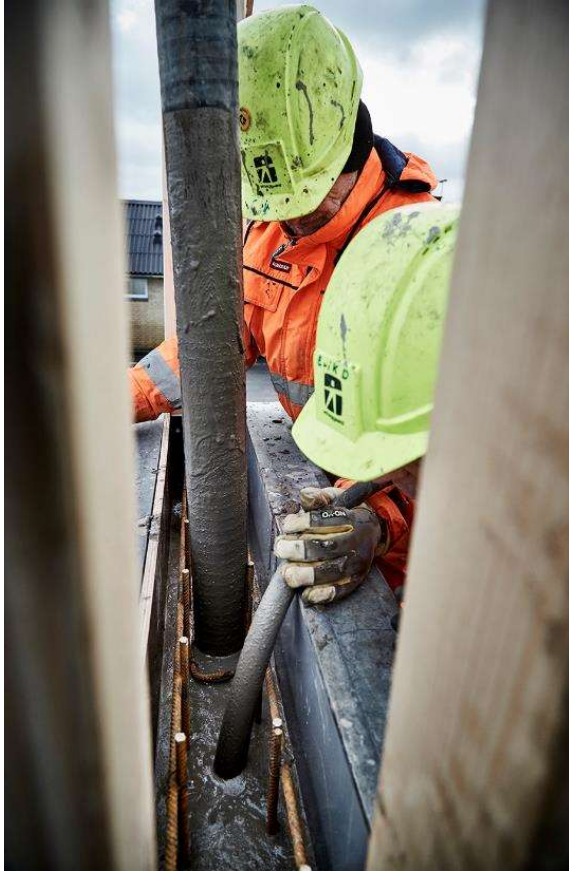
Laser Screed



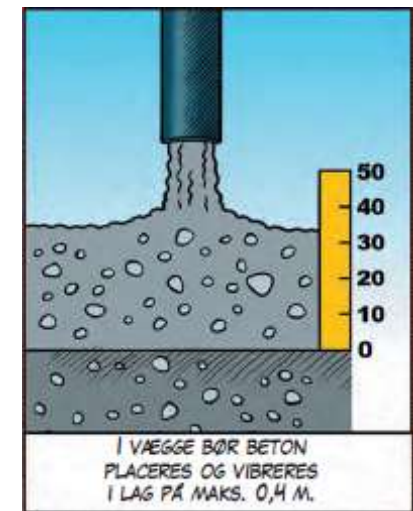
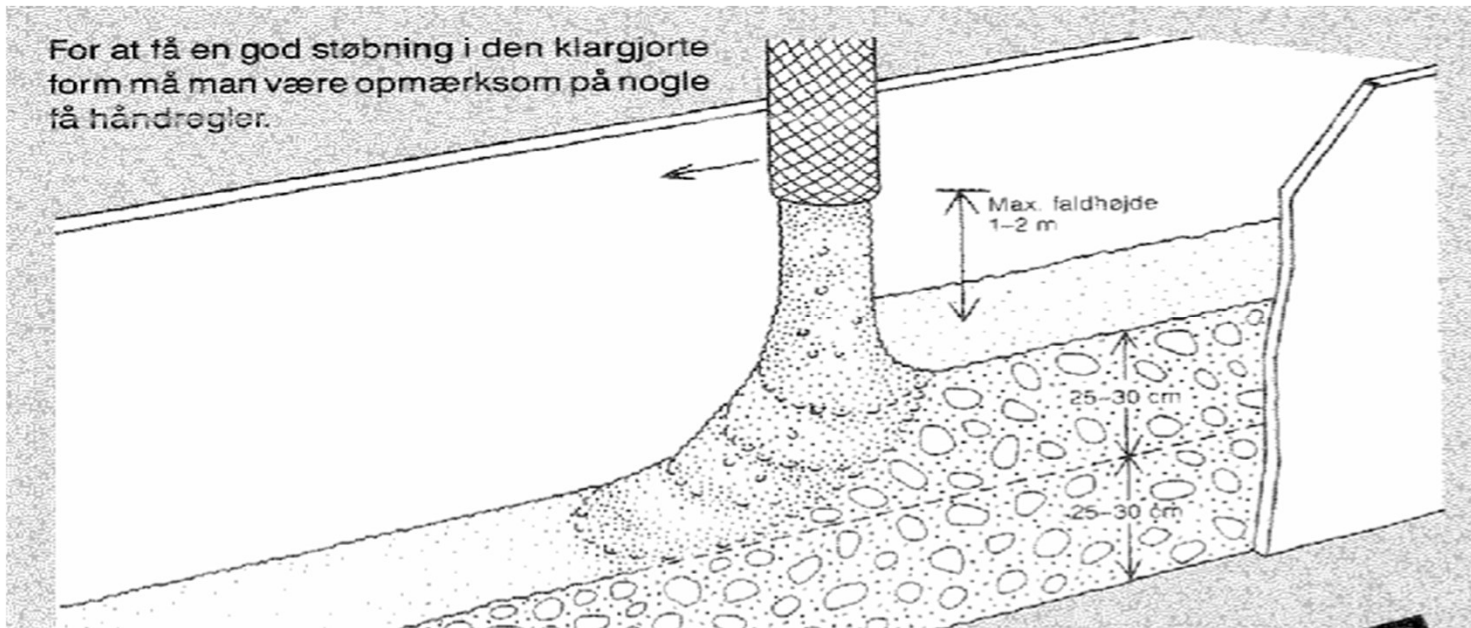
| Udstøbning terrændæk – SCC beton



| Udstøbning - vægge



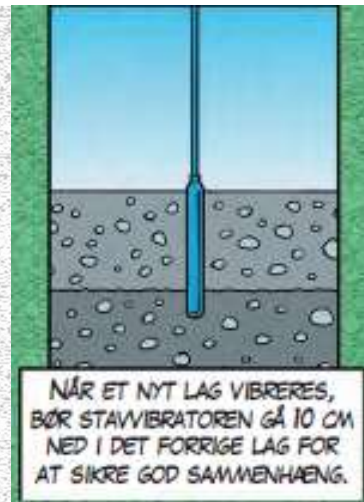
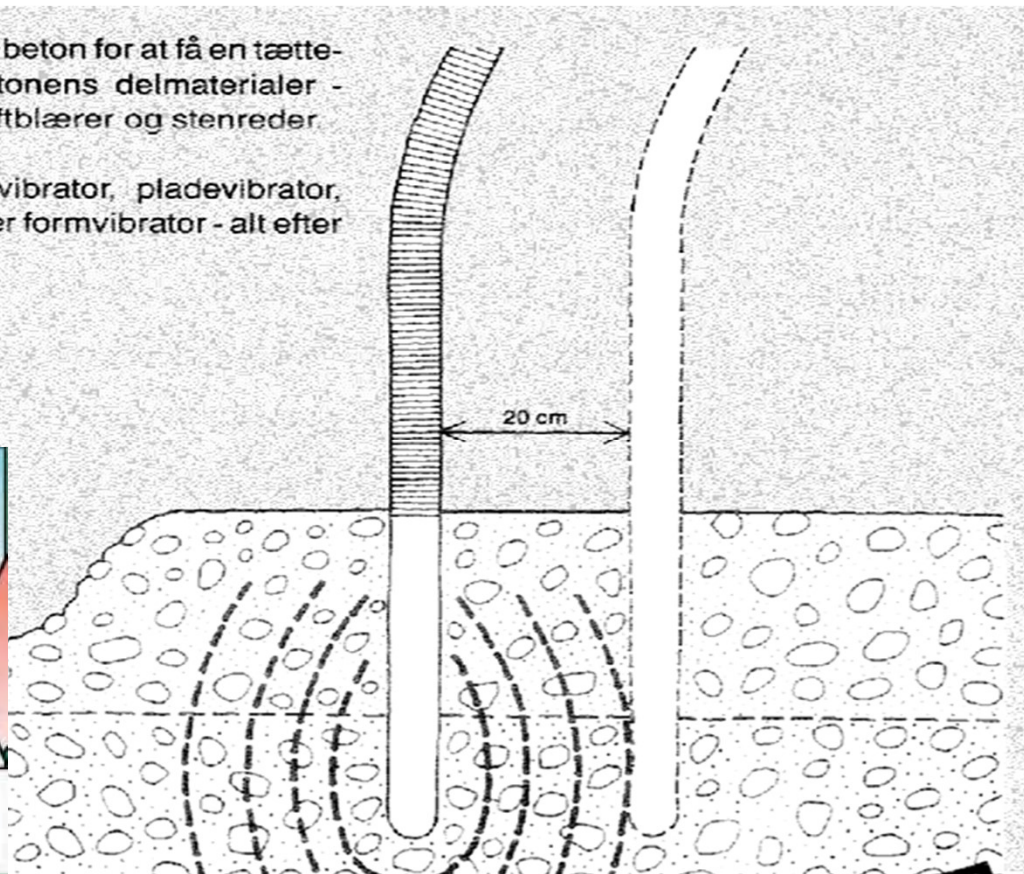
Byggepladsteknik – faldhøjde



Byggepladsteknik - vibrering

Man komprimerer beton for at få en tættere pakning af betonens delmaterialer - derved undgås luftblærer og stenreder.

Man bruger stavvibrator, pladevibrator, bjælkevibrator eller formvibrator - alt efter opgaven.



Byggepladsteknik – stav-vibrering



Kapacitet afhængig af:

- Formens sværhedsgrad
- Betonens konsistens
- Vibratorens diameter

Vibratorstørrelse mm	Mindste vægtykkelse mm
20	120
30	180
40	240
50	300
60	360

Eksempel:

Normalt armeret væg, 24 cm tyk.

Sætmål 120,

40 mm stav.

Kapacitet 5,5 m³/time



| Risikovurdering – hvad kan gå galt?

- Varmeslanger
- Revner, ukontrollerede
- Springere
- Glitteskader
- Tæt armering
- Formtryk
- Termorevner



| Planlægning af SCC-støbning

.... Spørgsmål:

- Er indstøbningsdele fastholdt mod opdrift ?



| Plastisk svind

Skyldes tidlig udtørring

Kan forhindres ved:

- Tildækning
- Curing
- Læ / skygge hjælper



| Udtørringssvind



Kan styres ved:

- Friktion mellem beton og underlag
- Isolering langs faste genstande
- Feltopdeling - kvadratiske
- Svindarmering, gerne stålfibre



Efterbehandling

Al beton skal efterbehandles

- For at undgå plastisk svind
- For at støtte cementens hærdning
- Kan foregå med plastfolie eller curing.



| Springere

Årsag:

- Frost eller mekanisk påvirkning knuser svage sten



| Springere



| Glitteskader

Skyldes skorpedannelse i overfladen

Kan forhindres ved:

- Curing / afdækning
- Læ / skygge hjælper
- Brug af 1-pulver betoner
- Tilstrækkelig kapacitet



| Ufuldstændig støbning

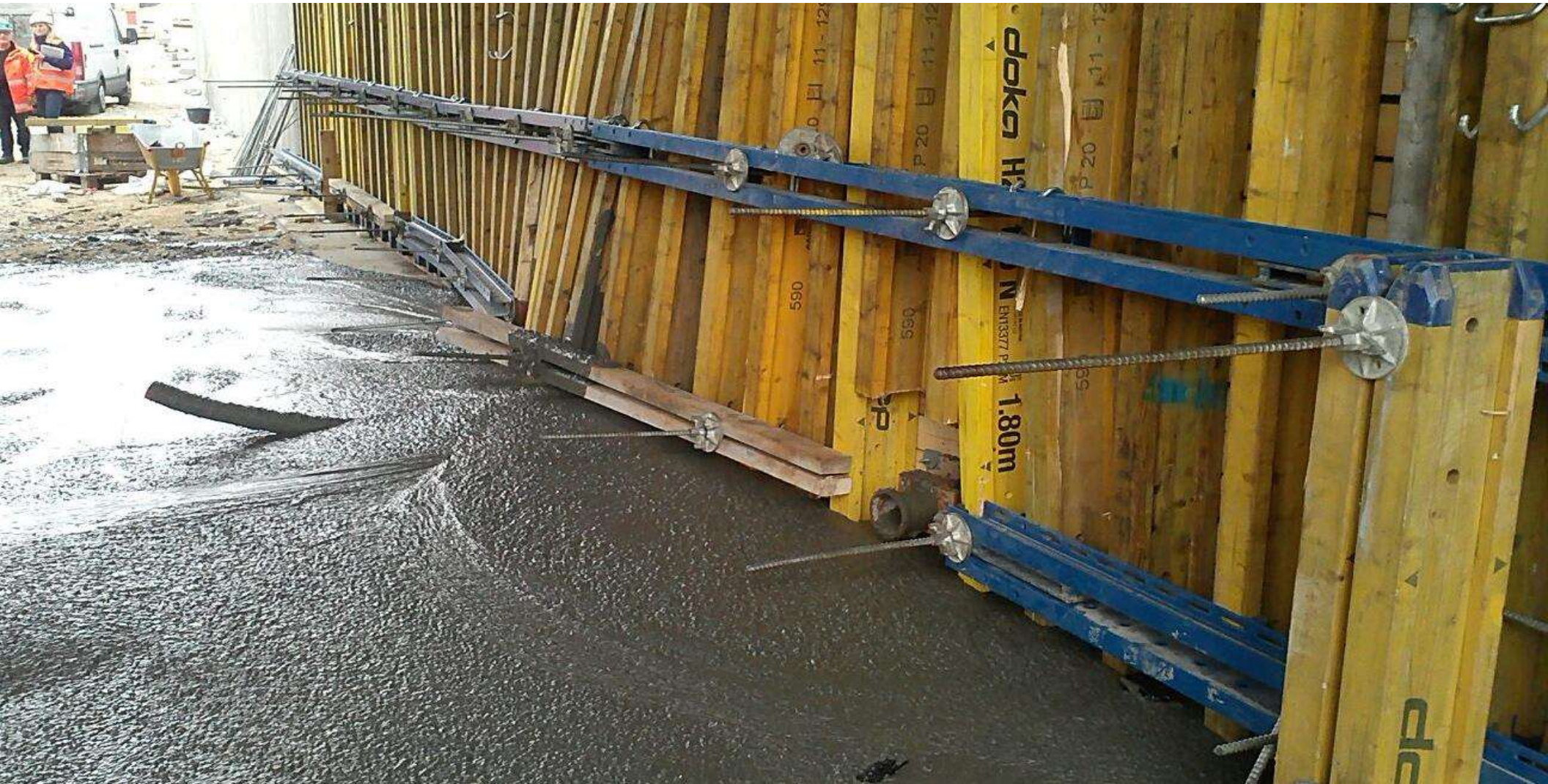


Der er bare ikke plads....



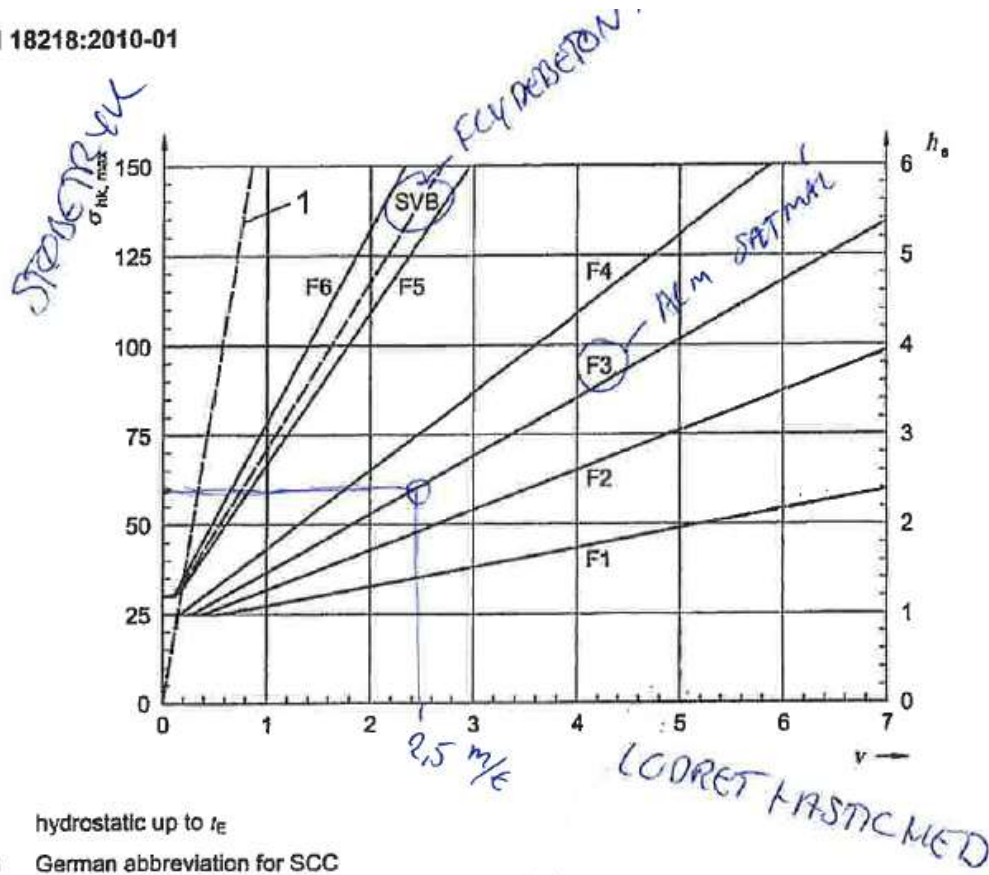
Bøjden - Fynshav
Hejsetårn til løft af færgeklap





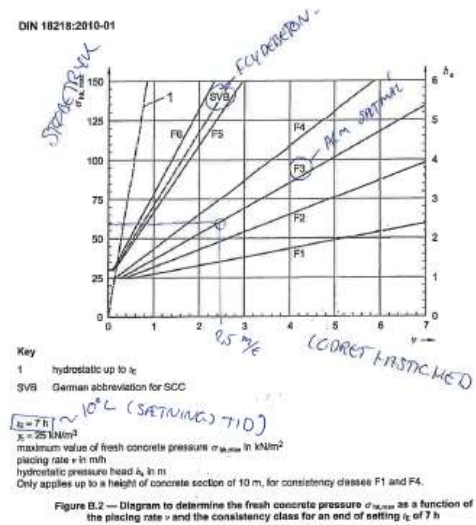
Formtryk

DIN 18218:2010-01



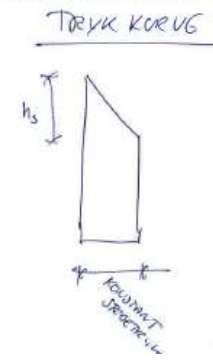
Key
 1 hydrostatic up to t_E
 SVB German abbreviation for SCC

DIN 18218:2010-01

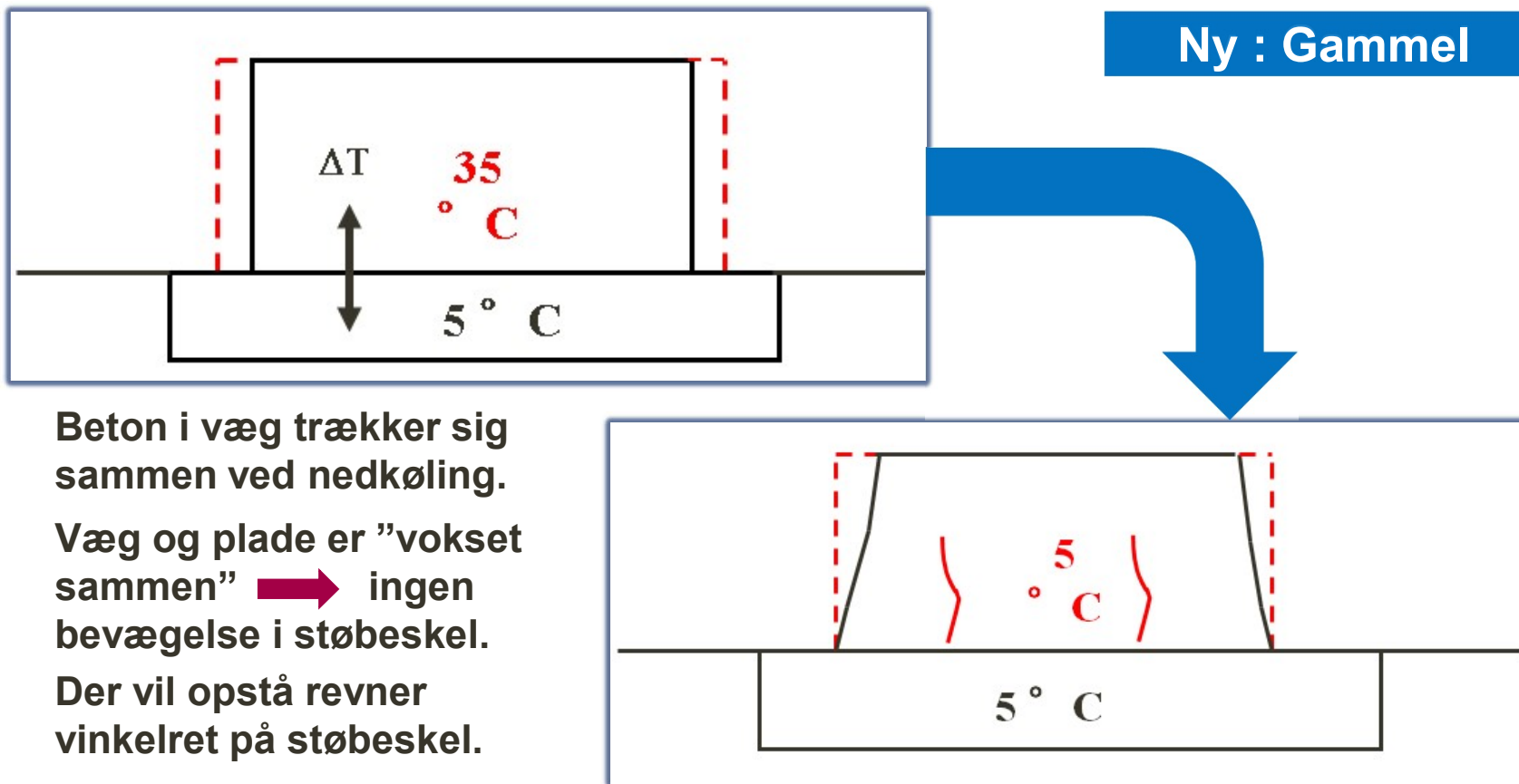


Key
 1 hydrostatic up to t_E
 SVB German abbreviation for SCC
 $t_E = 7.5$ h
 $\sigma = 25$ kN/m²
 maximum value of fresh concrete pressure $\sigma_{fk, max}$ in kN/m²
 placing rate v in m/h
 hydrostatic pressure head h_c in m
 Only applies up to a height of concrete section of 10 m, for consistency classes F1 and F4.

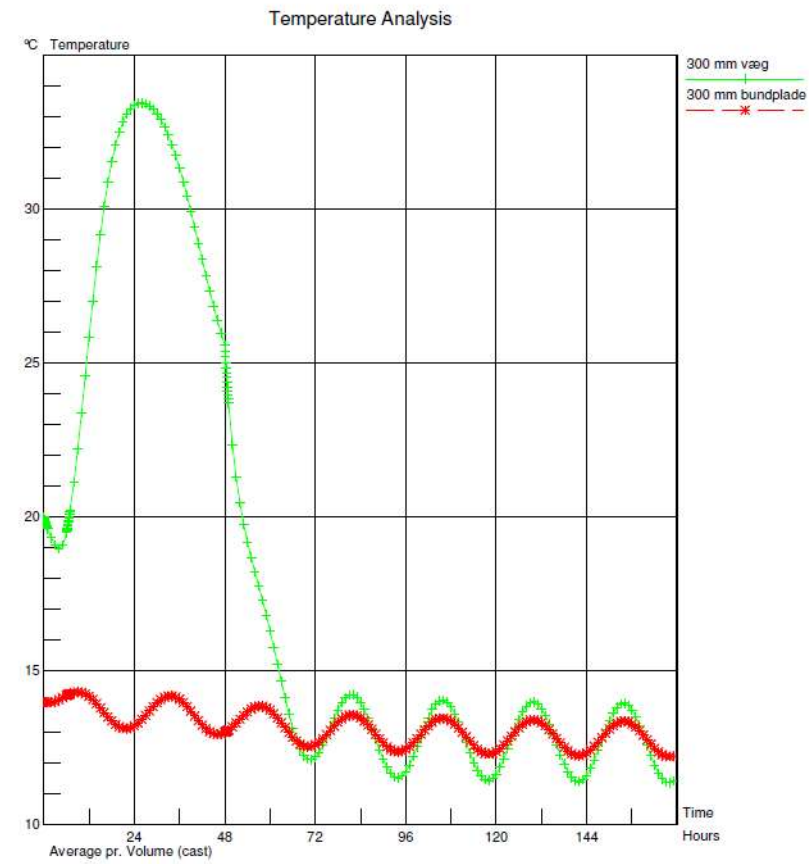
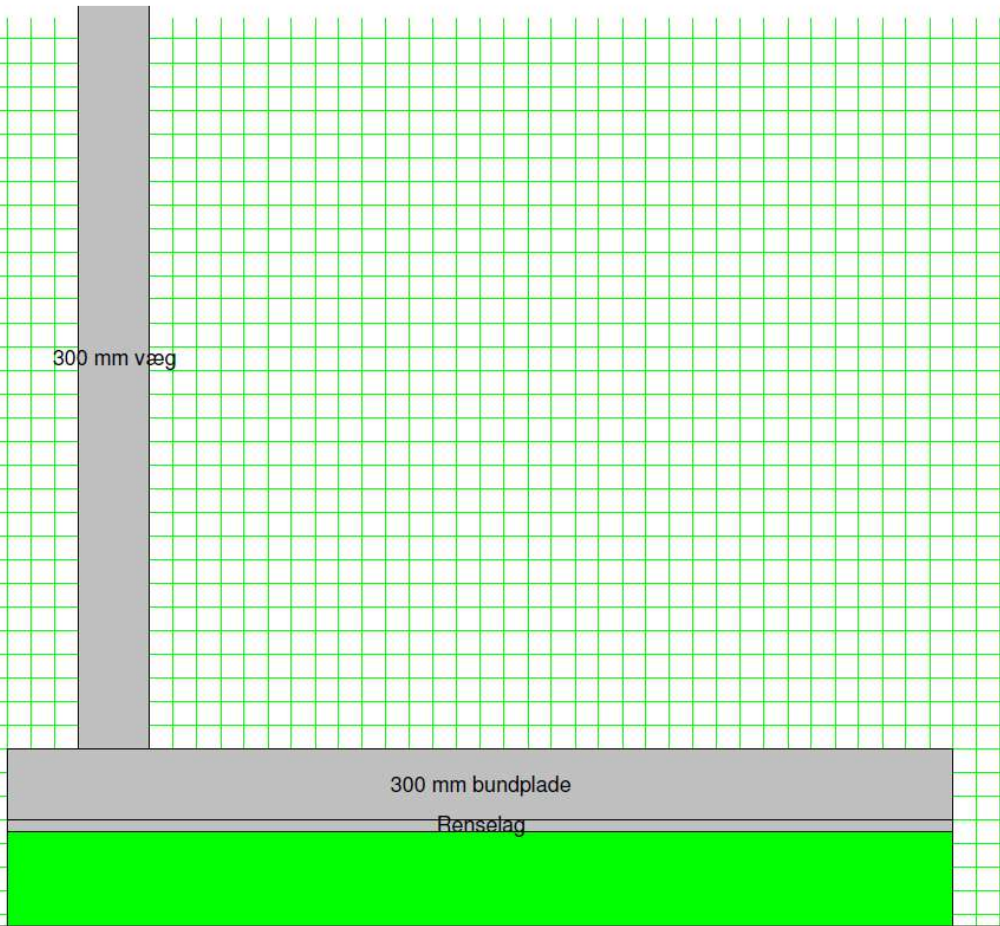
Figure B.2 — Diagram to determine the fresh concrete pressure $\sigma_{fk, max}$ as a function of the placing rate v and the consistency class for an end of setting t_E of 7 h



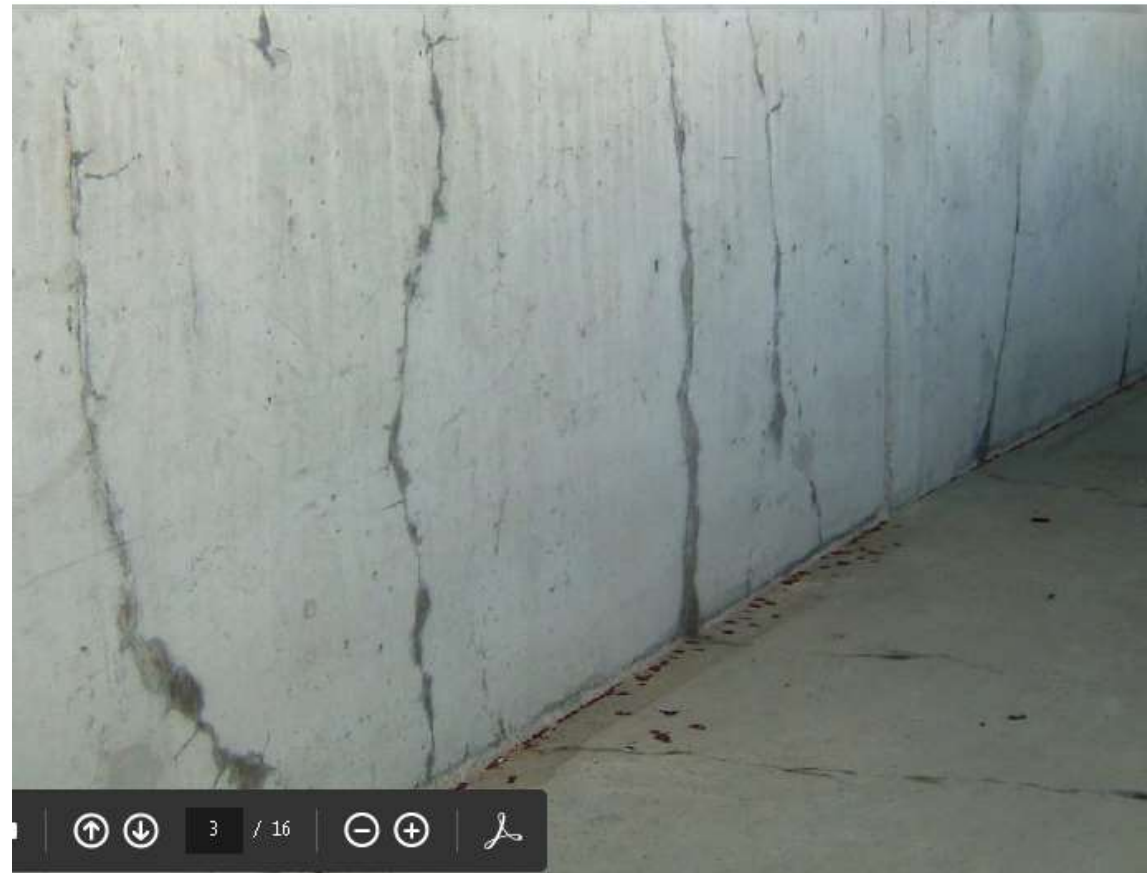
Betontechnik



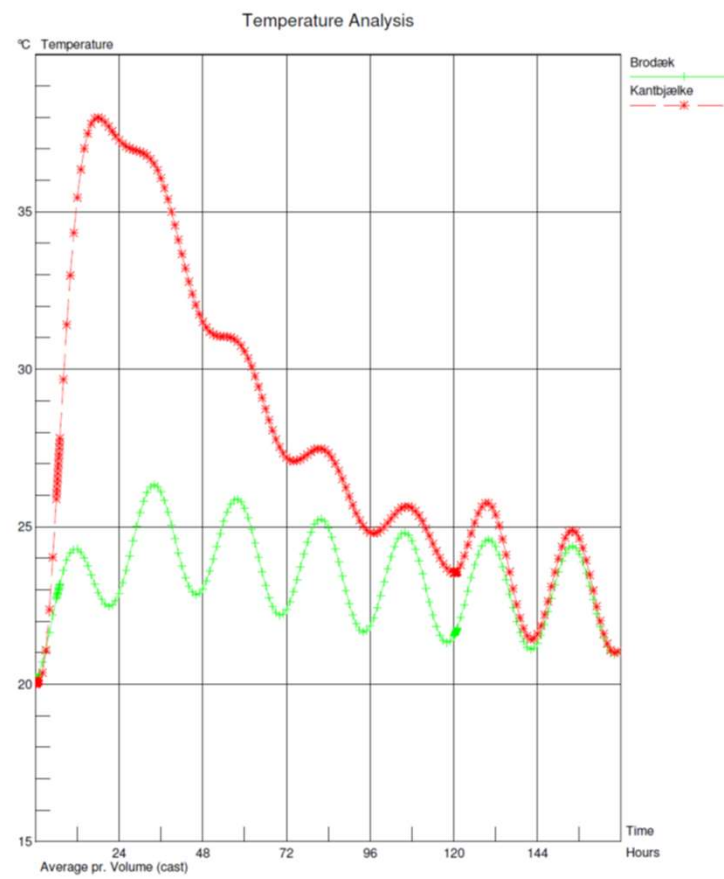
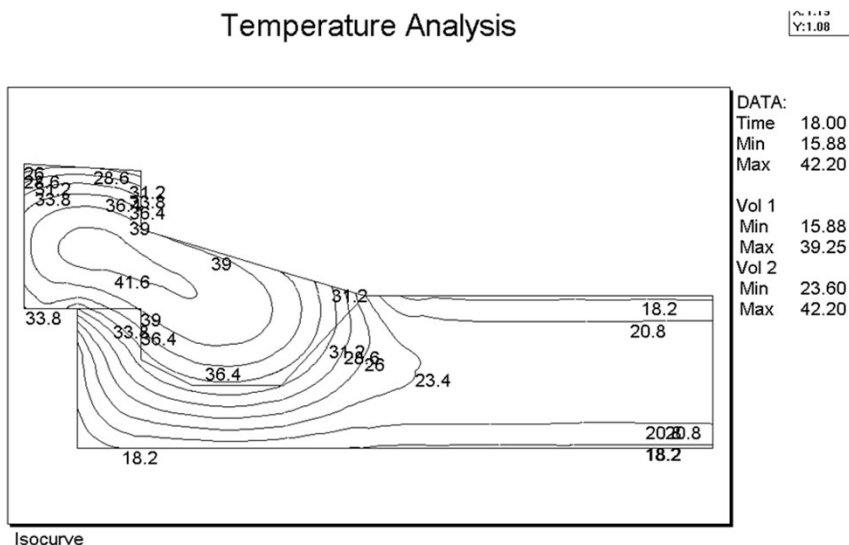
300 mm væg støbt med Anlægsbeton E40



| Termorevner i betonvæg



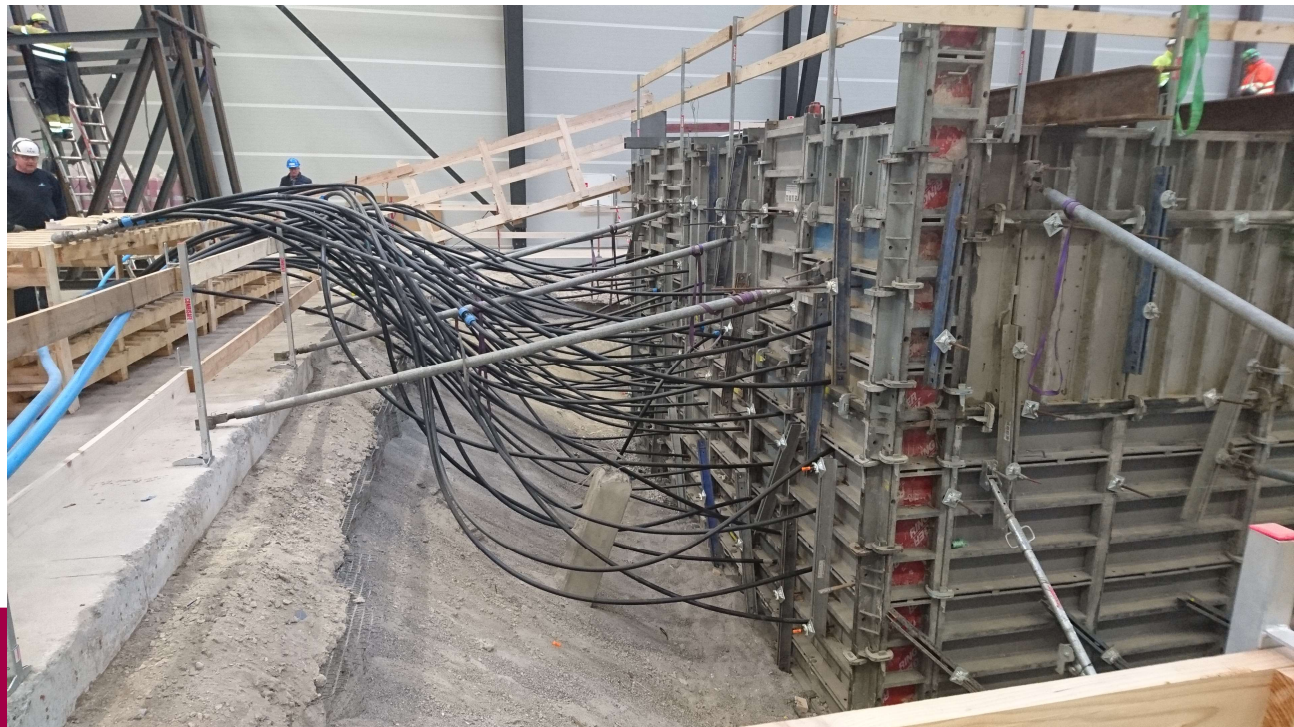
Temperatursimulering kantbjælke



Temperatursimulering

| Termorevner

- Hvis middeltemperaturforskellen mellem kantbjælke og brodæk er større end 15 °C, er der risiko for revner i kantbjælken
- Kantbjælke kan køles med koldt vand under hærdeprocessen



| Det var det ..

