



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# BETONHÅNDBOGEN

Nyt kapitel om bæredygtighed

Claus V. Nielsen, Dansk Betonforening, 2023-03-14

# INDHOLD



- Introduktion, bæredygtig beton og grøn beton generelt og historik
- Hvad er der kommet med i kapitlet?
- Kapitlets opbygning og nedslag i forskellige emner
- Eksempler baseret på EPD data
- Spørgsmål



# BETONHÅNDBOGEN

- Kapitel 21 udvides:
    - 21.1 Bæredygtig Beton
    - 21.2 Reduktion af Cementindhold
    - 21.3 Grønne Cementer
    - 21.4 Reduktion af Beton- og Armeringsforbrug
  - Skrevet sammen med min kollega Lars Nyholm Thrane og Dorthe Mathiesen, 49 sider
- Omdrejningspunktet er CO2 emissioner, som har sat dagsordenen i byggesektoren og i betonindustrien de sidste 3-4 år.

---

21 Eksternt miljø

---

21.1 - Grøn Beton (13 sider)

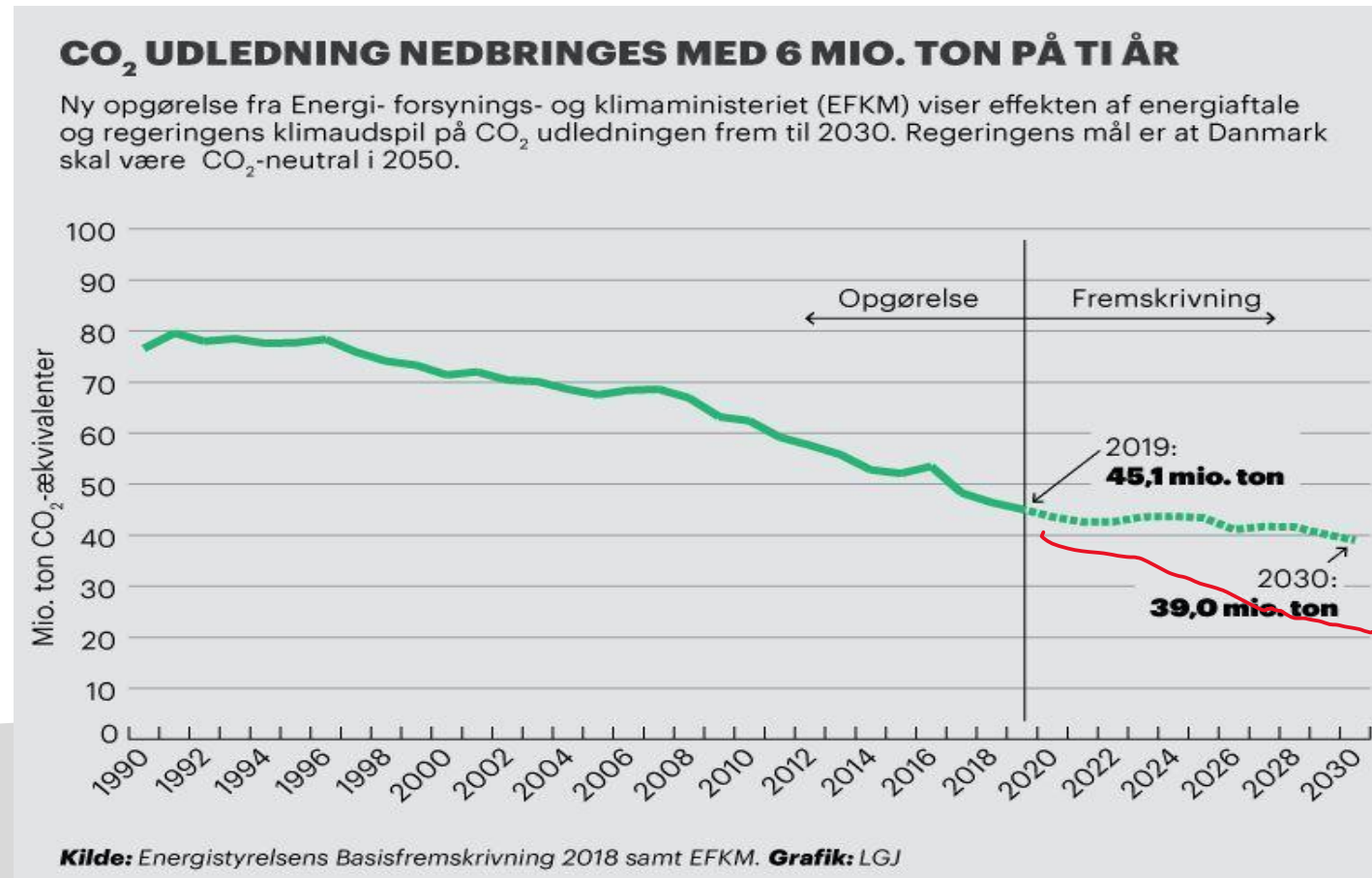
Sidst rev.: 03-11-2014



# BAGGRUND

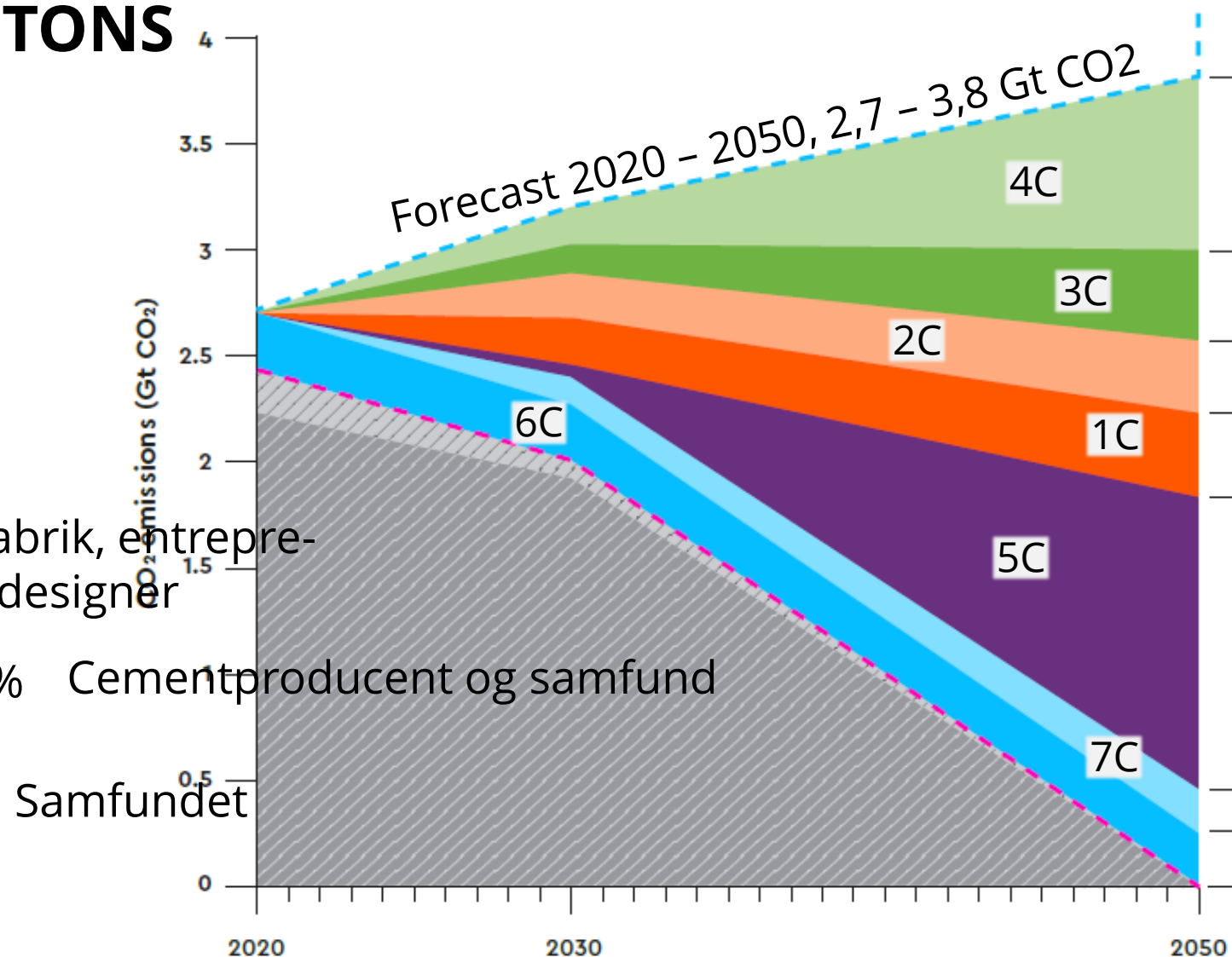
- Ingen er længere i tvivl om at byggeriet og især de tunge byggematerialer har stor indflydelse på bygningers samlede CO<sub>2</sub> aftryk:
  - 40% af Danmarks energi forbruges i bygninger
  - 35% af al affald kommer fra byggebranchen
  - 20% af Danmarks CO<sub>2</sub> udslip stammer fra drift af bygninger
  - 10% af Danmarks CO<sub>2</sub> udslip stammer fra materialeproduktion i byggeriet og til bygge- og anlægsprocessen

Klimalov: 70% reduktion i 2030 ift. 1990 niveau svarer til en halvering fra 2019 til 2030.



# HVORDAN REDUCERES BETONS CO2 AFTRYK GLOBALT?

- Den globale cement- og beton-industri benytter de seks C'er til at opnå "net zero":
  - 1C – Clinker – 11% Cement-producent
  - 2C – Cement – 9% producent
  - 3C – Concrete – 11% Betonfabrik, entreprenør og designer
  - 4C – Construction – 22% nør og designer
  - 5C – Carbon capture, CCUS – 36% Cementproducent og samfund
  - 6C – Carbonation – 6% Samfundet
  - 7C – CO2 neutral electricity – 5% Samfundet



Kilde: GCCA 2050 Cement and Concrete Industry Roadmap for Net Zero Concrete, 2021

# HISTORIK FOR GRØN BETON I DK

- I 1990'erne foregik der mange miljøprojekter med fokus på miljørigtig projektering og ressourceforbrug. Cirkulær økonomi og genanvendelse.
- I starten af nullerne blev der defineret en fælles nordisk beskrivelse af "grøn beton"
- I perioden 1998-2002 kørte Grøn Beton projektet med en bred gruppe af danske aktører



# HISTORIK FOR GRØN BETON I DK

- ...
- I nullet blev der gennemført flere F&U projekter med genanvendelse, forurening fra formolier, udtørring af beton, termisk inert, indeklima mv.
- I perioden 2003-2006 deltog TI i et Europæisk projekt ECO-Serve, som fokuserede meget på cement, tilsætninger og CO2 emissioner samt på tilslagsproduktion.
- I perioden 2003-2005 foregik et stort nordisk F&U projekt omkring CO2 optag og karbonatiseringens rolle. Meget af arbejdet herfra er nu fast bestanddel i standarden for udarbejdelse af EPD'er til beton.
- I 10'erne har omdrejningspunktet været FutureCem, kalcineret ler og kalkfiller, som kulminerede med Grøn Beton II i 2014-2019 og senest Calliste projektet...



# HVAD ER KOMMET MED I KAPITLET?

- Introduktion og historik inkl. Bæredygtig Beton initiativets Roadmap fra 2019 samt baseline
- Ordliste med vigtige begreber og forkortelser
- Beskrivelse af beton og armerings CO2 aftryk og de forskellige bidrags størrelser
- Forklaring af de vigtigste begreber for LCA og EPD, herunder CO2 optag i betonens brugsfase
- Kort om genanvendelse af nedknust beton som tilslag i ny beton og regler på området
- Eksempler på LCA og betons CO2 aftryk





# HVAD ER IKKE KOMMET MED I KAPITLET?

- Det er ikke en komplet lærebog indeholdende alle cementtyper og betontyper.
- Kun beton med normal cement og bindere anvendt i Danmark. Andre cementteknologier (såsom alkali aktiveret) er ikke medtaget.
- Alternative armeringsformer (fx fibre eller ikke-metalliske) er ikke medtaget.
- Nye teknologier indenfor den grønne omstilling er ikke medtaget.
- Genbrug af hele komponenter af beton er ikke medtaget.
- Mørtler, reparationsmaterialer og diverse cementbaserede byggevarer er ikke medtaget.



# BASELINE, 2019

- Baseret på produktionsmængder og branche-EPD'er, fase A1 – A3

| Baseret på 2019<br>produktionstal       | Produktion i mio. m <sup>3</sup><br>(mio. tons) | CO <sub>2</sub> -udslip<br>i mio. tons<br>CO <sub>2</sub> -eq | Emissionstal i<br>kg CO <sub>2</sub> -eq/kg |
|---|---|---|---|
| Fabriksbeton,<br>byggeri                | 1,96 (4,6)                                      | 0,55<br>(36%)   | 0,12  |
| Fabriksbeton, anlæg                     | 0,64 (1,5)                                      | 0,36<br>(24%)   | 0,24  |
| Betonelementer, i alt<br>inkl. armering | 0,87 (2,1)                                      | 0,29<br>(19%)   | 0,14  |
| Belægninger                             | 0,98 (2,3)                                      | 0,26<br>(17%)   | 0,11  |
| Blokke og afløb                         | 0,20 (-)  | 0,05<br>(4%)  | -   |
| I alt                                   | <b>4,65 (~10,5)</b>                             | <b>1,51<br/>(100%)</b>  | <b>~0,14</b>                                |





# EKSEMPEL PÅ EPD DATA

- Miljøpåvirkninger i livscyklus for en kubikmeter produceret beton
- Følger standarden DS/EN 16757, Miljøvaredeklarationer – Produktkategoriregler for beton og betonelementer

... .. Livscyklusfaserne ... ..

| Parameter   | Enhed                                      | Miljøpåvirkninger, C35/45 SCC |           |     |   |       |          |           |          |           |           |
|---|--|-------------------------------|-----------|-----|---|-------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
|   |  | A1-A3                         | A4        | A5  | B1                                      | B2-B7 | C1       | C2        | C3       | C4        | D         |
| Global opvarmning (GWP)                               | [kg CO <sub>2</sub> ækv.]                  | 3,00E+02*                     | 4,22E+00  | MND | $\frac{-1,41E+01^{**}}{-2,46E+00^{**}}$ | MNR   | 1,18E+01 | 6,37E+00  | 6,54E+00 | 4,83E+00  | -4,47E+00 |
| Nedbrydning af ozonlaget (ODP)                        | [kg CFC11 ækv.]                            | 3,80E-06                      | 6,97E-16  | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 1,50E-15 | 1,05E-15  | 5,27E-16 | 6,28E-15  | -5,40E-14 |
| Forsuring af jord og vand (AP)                        | [kg SO <sub>2</sub> ækv.]                  | 4,39E-01                      | 9,81E-03  | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 4,20E-02 | 1,48E-02  | 2,27E-02 | 1,47E-02  | -2,45E-02 |
| Eutrofiering (EP)                                     | [kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> ækv.] | 1,46E-01                      | 2,37E-03  | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 1,01E-02 | 3,57E-03  | 5,52E-03 | 2,82E-03  | -4,57E-03 |
| Troposfærisk ozondannelse (POCP)                      | [kg Ethen ækv.]                            | 1,65E-02                      | -3,28E-03 | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 4,07E-03 | -4,95E-03 | 2,13E-03 | -2,56E-03 | -2,22E-03 |
| Udtynding af abiotiske ikke-fossile ressourcer (ADPe) | [kg Sb ækv.]                               | 6,49E-05                      | 3,00E-07  | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 6,46E-07 | 4,52E-07  | 2,27E-07 | 3,71E-07  | -8,04E-07 |
| Udtynding af abiotiske fossile ressourcer (ADPf)      | [MJ]                                       | 1,41E+03                      | 5,72E+01  | MND | 0,00E+00                                | MNR   | 1,23E+02 | 8,62E+01  | 4,32E+01 | 6,58E+01  | -5,71E+01 |

Fødsel, produktion

Transport

Byggeplads

Brugsfase  
CO<sub>2</sub>-optag

Drift

... .. End-of-Life ... ..



# EKSEMPEL, BETON, FASE A1-A4

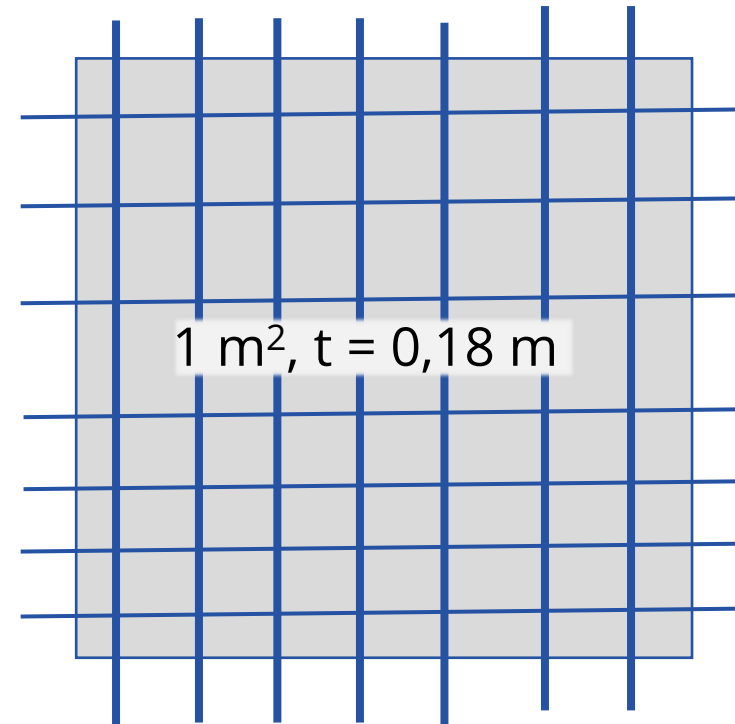
- Bidrag fra delmaterialer
- Bidrag fra intern transport
- Bidrag fra produktionen på fabrikken
- Bidrag fra transport til byggepladsen
- CO2 emissioner på selve byggepladsen medtages ikke

| <b>Eksempel på C30 M</b>            | Mængde                   | <i>Fase A1<br/>Emissionstal</i> | Delma-<br>aterialer, A1           | Transport,<br>Fase A2                 |
|-------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Delmaterialer                       | kg/m <sup>3</sup>        | kgCO <sub>2</sub> /kg           | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>     |
| Rapidcement                         | 335                      | 0.86                            | 288.1                             | 2.2                                   |
| Flyveaske                           | 46                       | 0.002                           | 0.1                               | 0.3                                   |
| Mikrosilika                         | 0                        | 0                               | 0.0                               | 0.0                                   |
| Vand                                | 159                      | 0.0005                          | 0.1                               | 0                                     |
| Sand, 0-4 mm                        | 698                      | 0.003                           | 2.1                               | 2.1                                   |
| Sten, sømaterialer                  | 1005                     | 0.003                           | 3.0                               | 3.0                                   |
| Tilsætningsstoffer                  | 4.5                      | 0.5                             | 2.3                               | 0.0                                   |
|                                     | <b>2247.5</b>            |                                 | <b>295.6</b>                      | <b>7.6</b>                            |
| Indhold af pasta                    | 290 liter/m <sup>3</sup> | ekskl. luft                     |                                   |                                       |
| Nominelt v/c forhold                | 0.44                     |                                 |                                   |                                       |
| Produktion på betonfabrik, Fase A3: |                          |                                 | 10                                | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>     |
| Transport til byggeplads, Fase A4:  |                          |                                 | 5                                 | kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>     |
| <b>I alt A1 - A4:</b>               |                          |                                 | <b>318.2</b>                      | <b>kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup></b> |



# EKSEMPEL BETON OG ARMERING, A1-A4

- 0,18 m<sup>3</sup> beton og 18 kg armering (100 kg/m<sup>3</sup>)  
Total vægt ca. 440 kg/m<sup>2</sup>
- Emissionstal:  
Beton: 300 til 350 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>3</sup>  
Armering: 0,4 til 0,8 kg CO<sub>2</sub>e/kg
- Beton: 54 – 63 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>  
Armering 7 – 14 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>  
Totalt: 61 til 77 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>, heraf 10 – 20%, der stammer fra armeringen



# CO2-OPTAG, BRUGSFASEN B1

- Karbonatisering sker fra overfladen med en hastighed, der aftager med tiden og afhænger stærkt af betonens fugtighed og tæthed (styrkeklasse).

$$\begin{array}{ccccccc} \text{CO2-optag} & = & \text{Potentialiet} & \times & \text{C} & \times & \text{Dybde} \times \text{Areal} \\ \text{[kg CO2e]} & & \text{[kg CO2e / kg C]} & & \text{[kg C/m}^3\text{]} & & \text{[m]} \times \text{[m}^2\text{]} \\ & & \text{Cementtypen} & & & & \text{k} \cdot \sqrt{t} \\ & & \text{(klinkerandelen)} & & & & \text{(styrkeklassen, fugt, tid)} \end{array}$$

- Hvis overfladen er malet eller tapetseret reduceres hastighedsfaktoren k med 30%
- Model og inputparametre kan findes i standarden DS/EN 16757.
- Typisk opgives CO2-optag i beton-EPD'er opsummeret over en 100 års periode. Halvdelen finder sted indenfor de første 25 år.
- Jorddækkede konstruktioner karbonatiserer meget langsomt.



# EKSEMPEL, BETONKONSTRUKTIONER, LCA

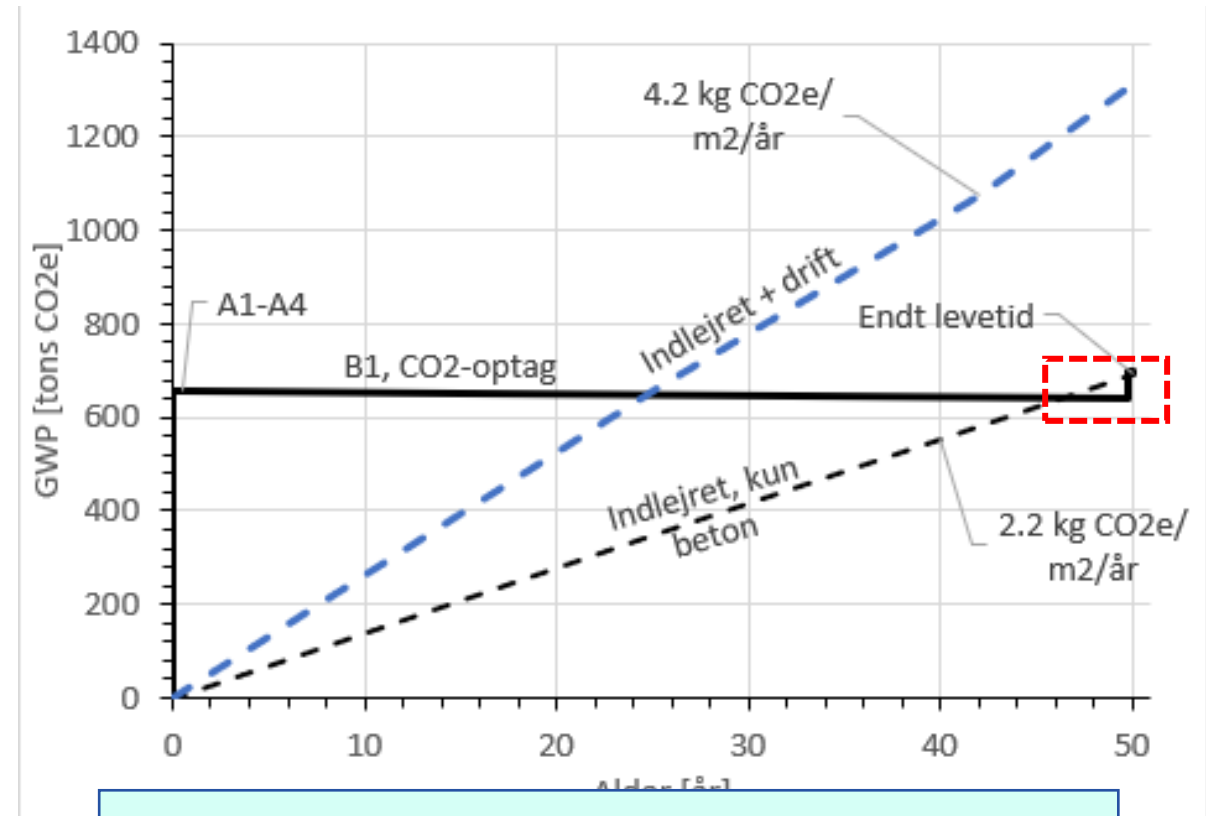
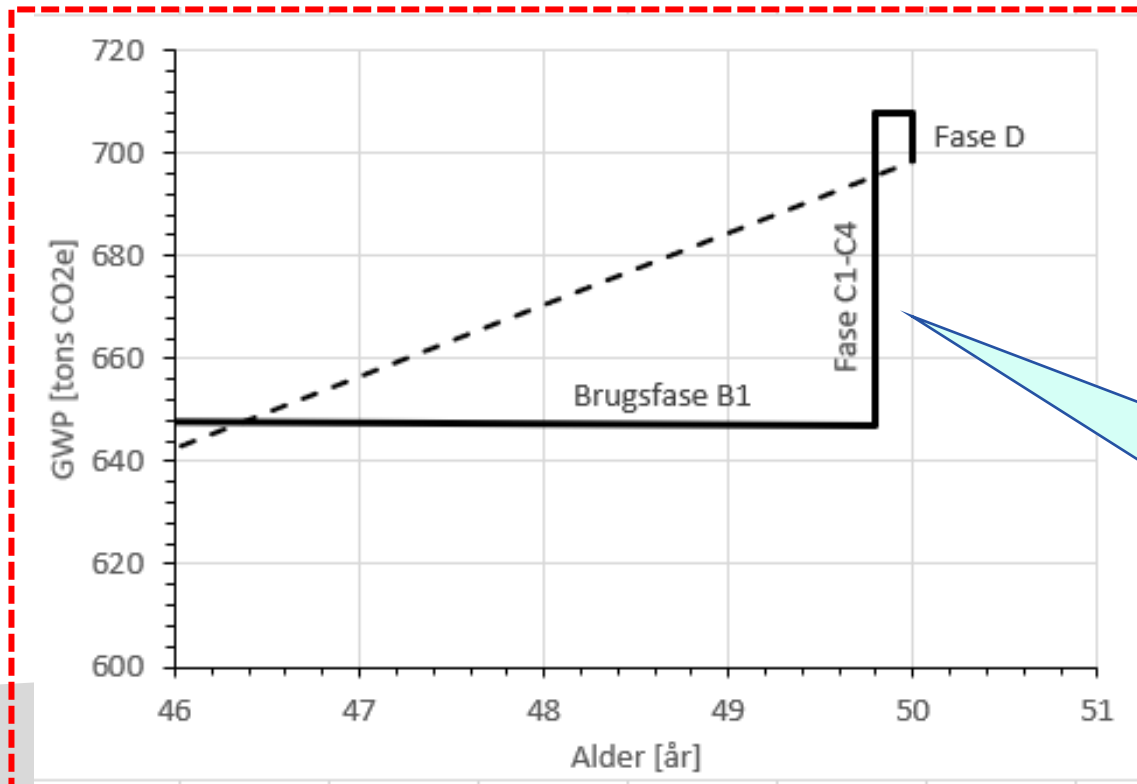
- Etagebyggeri, 6235 m<sup>2</sup>  
Byggeri-case er taget fra Rambøll rapporten "CO<sub>2</sub>-besparelse ved konventionelt byggeri", kan hentes fra Dansk Betons hjemmeside
- Emissioner på byggepladsen medtages ikke
- Armering udgør kun nogle få %
- Totalt = 112 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>

| Etagebyggeri                                | Fundament/<br>terrændæk | Vægge,<br>200 mm | Sandwich-<br>elementer | Huldæk,<br>220 mm | Total                           |
|---|-------------------------|------------------|------------------------|-------------------|---------------------------------|
| Enhed                                       | m <sup>3</sup>          | m <sup>2</sup>   | m <sup>2</sup>         | m <sup>2</sup>    | -                               |
| Mængder                                     | 430                     | 1100             | 1700                   | 6300              | -                               |
| Armering<br>[kg/Enhed]                      | 40                      | 10               | 15                     | 3                 | -                               |
| Vægt pr.<br>bruttoareal                     | 165                     | 75               | 137                    | 349               | <b>725 kg/m<sup>2</sup></b>     |
| Vægt i alt                                  | 1028                    | 469              | 853                    | 2174              | <b>4523 tons</b>                |
| Andel af total                              | 22.7%                   | 10.4%            | 18.9%                  | 48.1%             | <b>100%</b>                     |
| GWP, A1-A4,<br>[kg CO <sub>2</sub> e/Enhed] | 239                     | 68.5             | 92.4                   | 51                | -                               |
| <b>GWP, A1-A4</b>                           | <b>102.8</b>            | <b>75.4</b>      | <b>157.1</b>           | <b>321.3</b>      | <b>657 tons CO<sub>2</sub>e</b> |
| GWP, B1<br>[kg CO <sub>2</sub> e/Enhed]     | -1.1                    | -1.2             | -2                     | -0.7              | -                               |
| <b>GWP, B1</b>                              | <b>-0.5</b>             | <b>-1.3</b>      | <b>-3.4</b>            | <b>-4.4</b>       | <b>-10 tons CO<sub>2</sub>e</b> |
| GWP, C1-C4<br>[kg CO <sub>2</sub> e/Enhed]  | 31                      | 5.7              | 6.9                    | 4.7               | -                               |
| <b>GWP, C1-C4</b>                           | <b>13.3</b>             | <b>6.3</b>       | <b>11.7</b>            | <b>29.6</b>       | <b>61 tons CO<sub>2</sub>e</b>  |
| GWP, D<br>[kg CO <sub>2</sub> e/Enhed]      | -5                      | -1               | -1                     | -0.7              | -                               |
| <b>GWP, D</b>                               | <b>-2.2</b>             | <b>-1.1</b>      | <b>-1.7</b>            | <b>-4.4</b>       | <b>-9 tons CO<sub>2</sub>e</b>  |
| <b>I alt GWP</b>                            | <b>113.5</b>            | <b>79.2</b>      | <b>163.7</b>           | <b>342.1</b>      | <b>698 tons CO<sub>2</sub>e</b> |
| Andel af total                              | 16.2%                   | 11.3%            | 23.4%                  | 49.0%             | <b>100%</b>                     |



# EKSEMPEL, BETONKONSTRUKTIONER, LCA

- Etagebyggeri, 6235 m<sup>2</sup>  
Byggeri-case er taget fra Rambøll rapporten "CO<sub>2</sub>-besparelse ved konventionelt byggeri", kan hentes fra Dansk Betons hjemmeside



## End-of-Life:

C1-C4: Nedrivning, sortering, transport, etc.  
Udgør ca. 14 kg CO<sub>2</sub>e/ton beton  
D: Nyttiggørelse som erstatning for nye materialer i vejfyld mv. Udgør et negativt bidrag på ca. -2 kg CO<sub>2</sub>e/ton beton.

# AFSLUTTENDE BEMÆRKNINGER

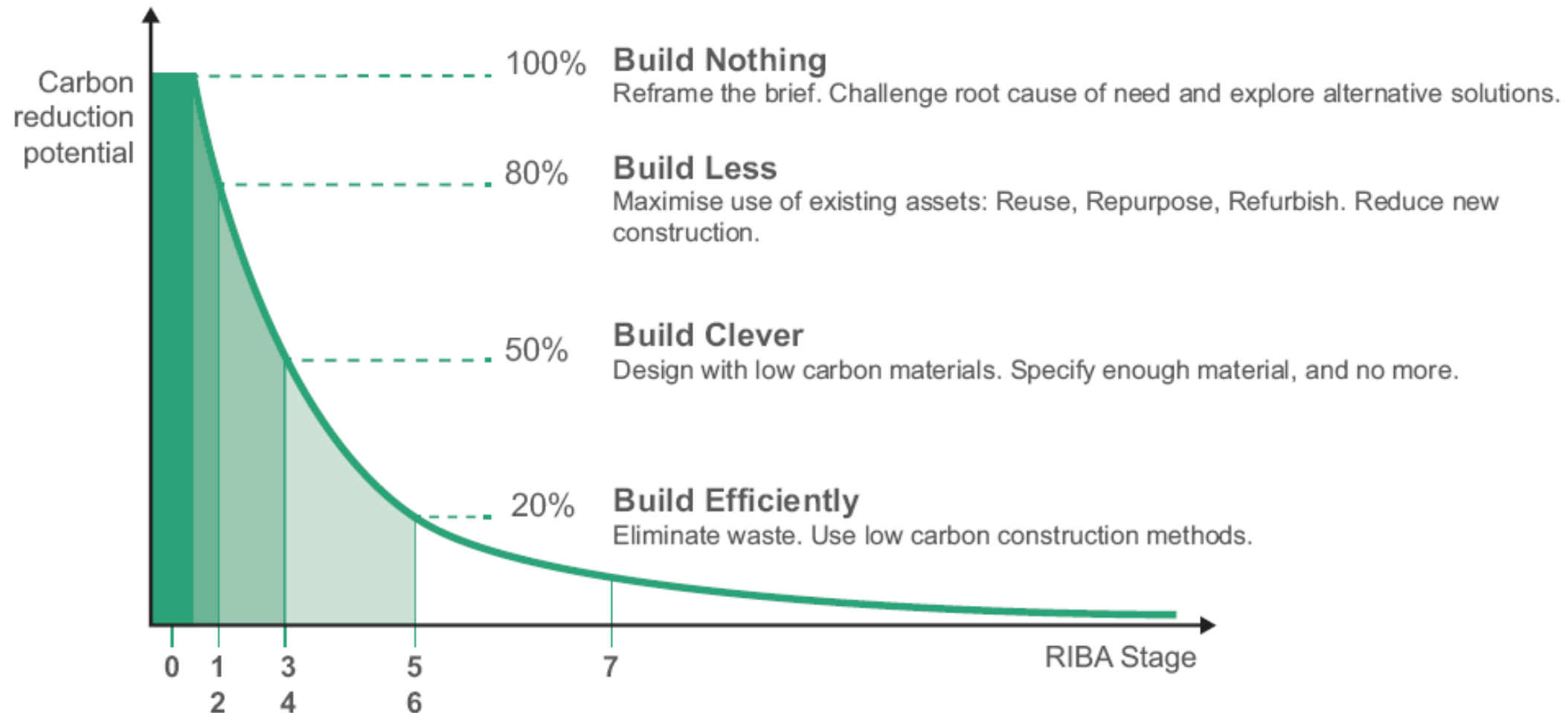


# FREMTIDENS DESIGNERE VIL VIDE MERE END BLOT BETONENS STYRKEKLASSE

- Producenter skal kende deres produkters miljøaftryk igennem EPD'er og optimering
- Andre delmaterialer og armering vil også blive fokusområder i takt med at cementens aftryk reduceres. Fiberarmering kan også få en større rolle.
- Mindre plads til "one-size-fits-all" design og "over-engineering"
- Nye avancerede FE programmer gør optimering af betonbyggeri mere enkelt og det understøttes af den kommende nye revision af Eurocode 2
- Genbrug, zero-waste og genanvendelse skal tænkes ind
- ...



# BÆREDYGTIGE BETONKONSTRUKTIONER SKAL TÆNKES IND TIDLIGT I PROJEKTET



Kilde: The Institution of Structural Engineers, UK, "Design for zero", 2021.

# UDFORDRINGER PÅ DEN KORTE BANE

- Beton er ikke længere bare beton – større viden nødvendig
- Regler for anvendelse bliver mere kompliceret – mere kontrol og klare krav
- Produktionstid kan øges pga. langsommere styrkeudvikling mv.
- Levetid og holdbarhed skal dokumenteres i højere grad end nu – mere "performance based" og mindre "deemed-to-satisfy"
- Nye cementtyper og delmaterialer



# TAK

- Spørgsmål

- Claus V. Nielsen
- [cln@teknologisk.dk](mailto:cln@teknologisk.dk)

