

BÆREDYGTIGT BETONINITIATIV

BÆREDYGTIGHEDSOPTIMERING AF NYE BETONBROER

Hans Henrik Christensen

Claus Nissen (geometri- og konstruktionsoptimering)

Sara Almstedt (LCA-beregninger med InfraLCA)

Christian Munch-Petersen, Emcon (materialeoptimering, beton)

Mads Lenschau, Vejdirektoratet (InfraLCA og fremtidige projekter)

BBI Workshop 26. august 2021

BAGGRUND - DEN DANSKE KLIMALOV 2020

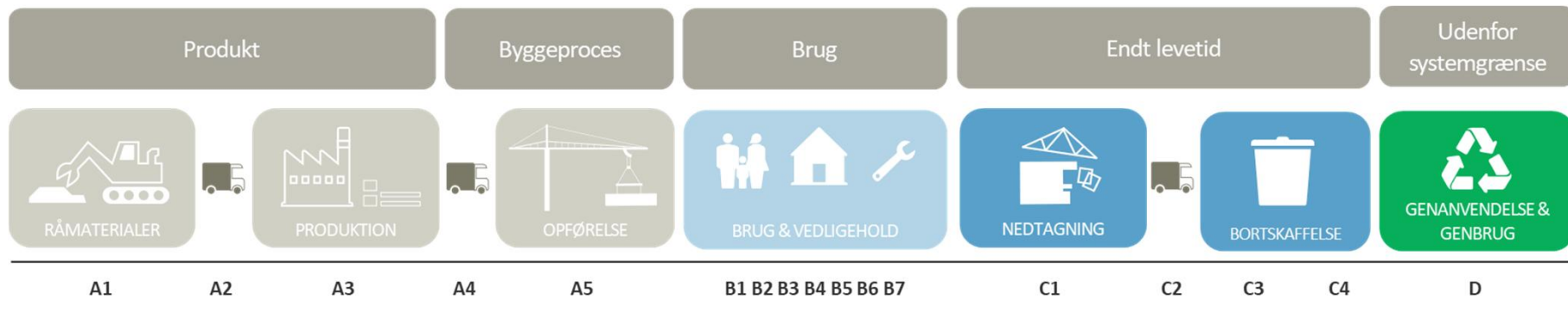
Folketinget vedtog i 2020 den danske klimalov med målsætning om at:

1. Danmark skal reducere udledningen af drivhusgasser i 2030 med 70 % i forhold til niveauet i 1990 for at mindske den globale opvarmning
2. Danmark opnår at være et klimaneutralt samfund senest i 2050.

Broer og anlægskonstruktioner udfordret: Hvad skal der til for at leve op til 70 %'s ambitionen i 2030?

BEGREBER

- Vi skal kunne måle og holde regnskab over CO₂-aftrykket/-emissionen:
 - Livscyklusvurderinger (LCA - Life Cycle Assessment), som dækker konstruktionens (design) levetid
 - Miljøvaredeklarationer (EPD - Environmental Product Declaration) for byggevarer
 - EN 15804: Miljøvaredeklarationer – Grundlæggende regler for produktkategorien byggevarer
 - I LCA og EPD anvendes måleenhed: CO₂-ækvivalenter – forkortet CO₂e – kan være kg eller tons
 - CO₂e omfatter - udover CO₂ - bidrag fra alle relevante drivhusgasser som medvirker til global opvarmning
- Livscyklusvurdering af CO₂-aftrykket sker ved at betragte forskellige faser (A, B, C) af levetiden
 - EN 15978: Europæisk Standard for livscyklusvurderinger af byggeri



BEGREBER

- Indlejret CO₂ (embodied carbon):
 - Den mængde CO₂ - eller samlede mængde drivhusgasser udtrykt ved den samlede CO₂ ækvivalent - som frigives gennem livscyklus, typisk knyttet til den indlejrede energi
 - Indlejret energi: Den energi, som der er knyttet til livscyklus (A, B, C)
- Derudover ved fremstilling af cement:
 - Brænding af kalk medfører direkte fraspaltning/frigivelse af CO₂: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (calciumkarbonat/kalksten spaltes i calciumoxid/brændt kalk og kuldioxid/kultvejte).
 - Den fraspaltede CO₂ skal medregnes i den indlejrede CO₂ – af samme størrelsesorden som energiforbruget.

OPGAVENS FORMÅL – OG FORVENTET RESULTAT

- Kortlægge potentialet for reduktion af mængden af indlejret CO₂ i nye betonbroer gennem designoptimering
 - (Bæredygtighed er i denne sammenhæng snævret ind til at omhandle miljødelen og videre til reduktion af mængden af indlejret CO₂)
- Faktum: Beton er den helt dominerende bidragsyder til CO₂-regnskabet qua det energiforbrug og den fraspaltning/frigivelse af CO₂, som er knyttet til fremstilling af cement
- Designoptimeringen tager derfor udgangspunkt i:
 - Geometrisk optimering / konstruktionsoptimering:
 - Nedbringe mængden af beton – hvilket samtidigt reducerer egenvægten af konstruktionen
 - Materialeoptimering: Fx differentiere anvendelse af betontyper – under hensyntagen til styrke og holdbarhed - således at CO₂-aftrykket minimeres mm.

OPGAVENS FORMÅL – OG FORVENTET RESULTAT

- Opgaven skal endvidere danne baggrund for formulering af supplerende regler og krav samt forslag til regeljusteringer rettet mod at nedbringe CO₂-aftrykket
 - Indenfor nugældende regelgrundlag såvel som udenfor
- Designoptimeringen udføres som udgangspunkt:
 - Indenfor rammerne af kendt teknologi – uden at gå på kompromis med kvaliteten (styrke, funktion, holdbarhed)
- Hvad har vi helt undladt at se på indtil nu:
 - Optimering af drift og vedligehold: Mindre bidrag til reduktion af CO₂, dvs. tilnærmelsesvist neutralt i CO₂-regnskabet for undersøgte løsninger i forhold til oprindelig løsning
 - Genanvendelse, genbrug, cirkulær økonomi

HVILKE BROER ER DER TAGET UDGANGSPUNKT I

To broer på Holbækmotorvejen omkring Roskilde udført i perioden 2010 – 2011

1. OF af Vindingevej: In-situ støbt brodæk, efterspændt
2. OF af Vesterled: Brodæk med OT-betonelementer, førspændte

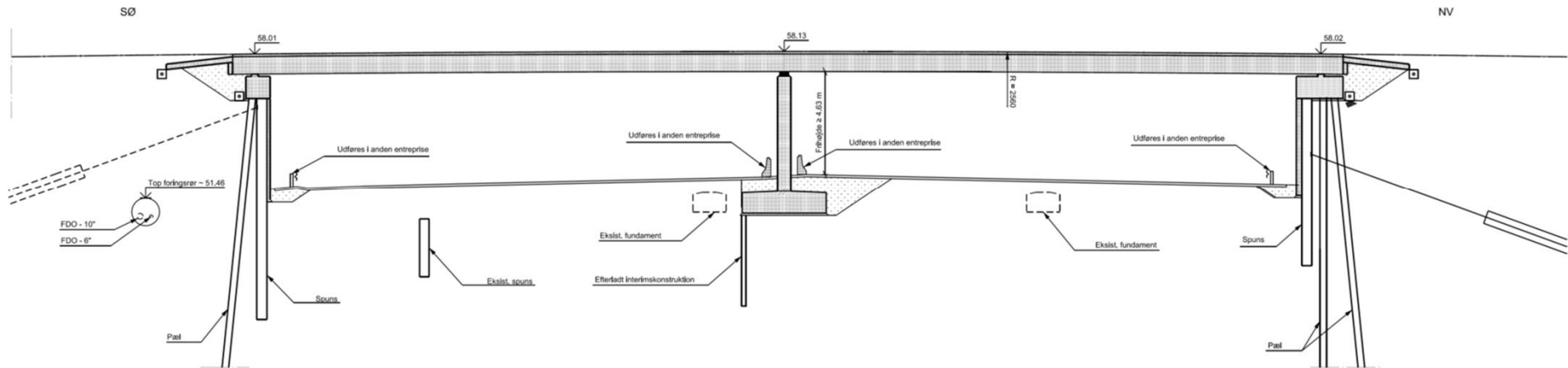
Udbudt som detailprojekt i hovedentreprise

- OF af Vesterled: Udbudt som in-situ løsning, men ændret til en elementløsning i snævert samarbejde mellem rådgiver, elementleverandør og entreprenør

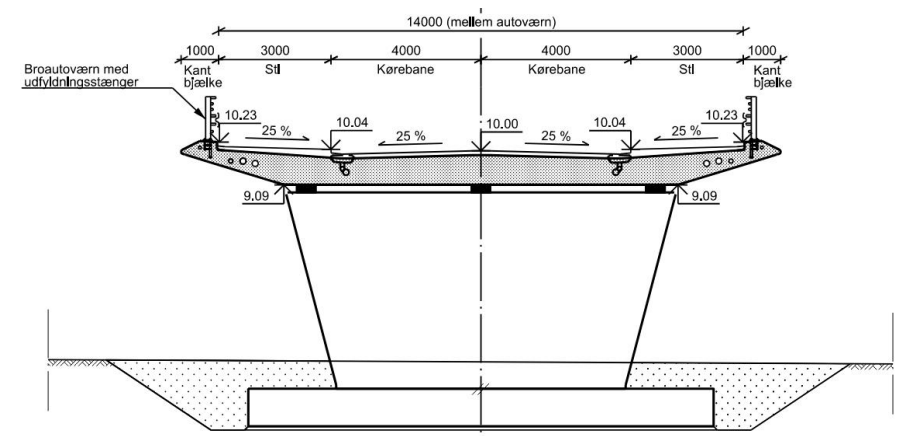
Broerne er projekteret ud fra et givet arkitektonisk layout/koncept

- Lukket bynært fritrumsprofil understreget af langsgående massive endevægge og massiv midtervæg
- Tværsnit af brodæk med skrå undersider fra kantbjælke til plan underside i stil med Vejdirektoratets arkitektoniske guidelines fra 1980 - 90'erne (strategi for smukke veje)

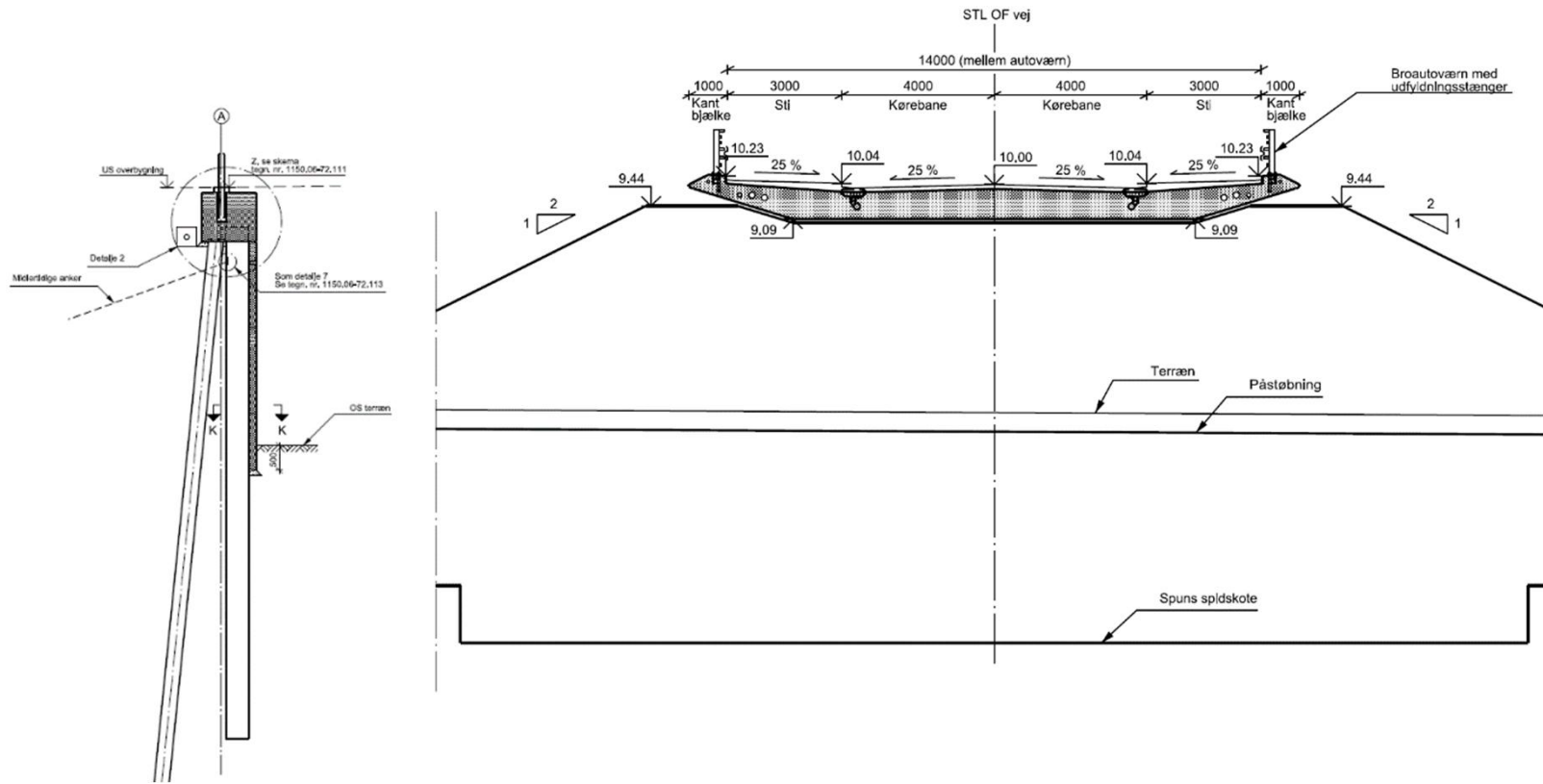
OF AF VINDINGEVEJ – IN-SITU DÆK



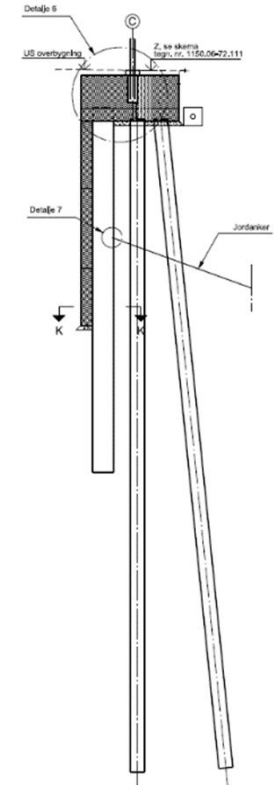
- Forspændt betondæk
- Mellemunderstøtning: Massiv betonvæg på fundament
- Endevægge, langsgående: Spuns + ankre og cement mørtel + pæle + massiv påstøbning
- Udførelse: Dæk støbt i hævet position og sænket
- Beton: Udbudt og anvendt beton (CMP)



OF AF VINDINGEVEJ – ENDEUNDERSTØTNINGER



Midlertidige jordankre

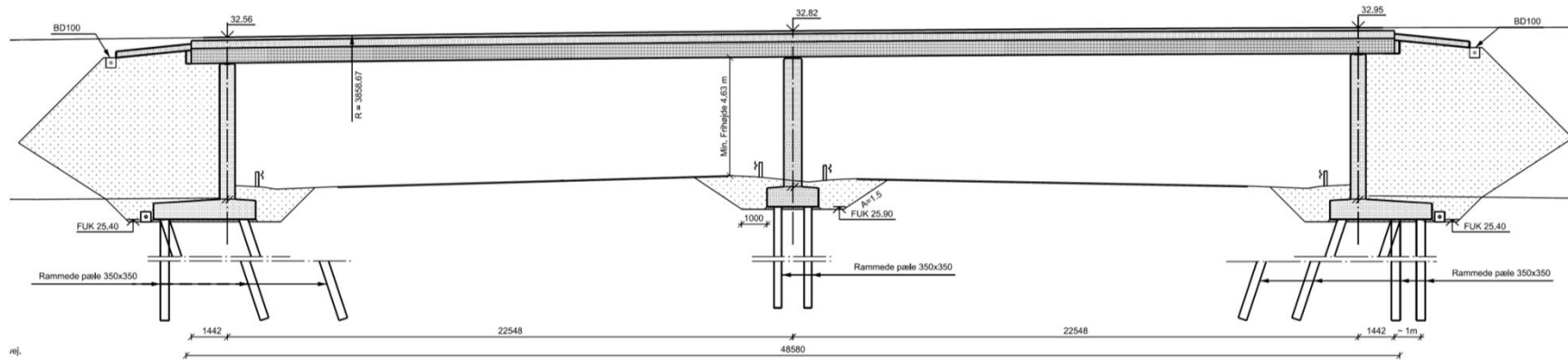


Permanente jordankre

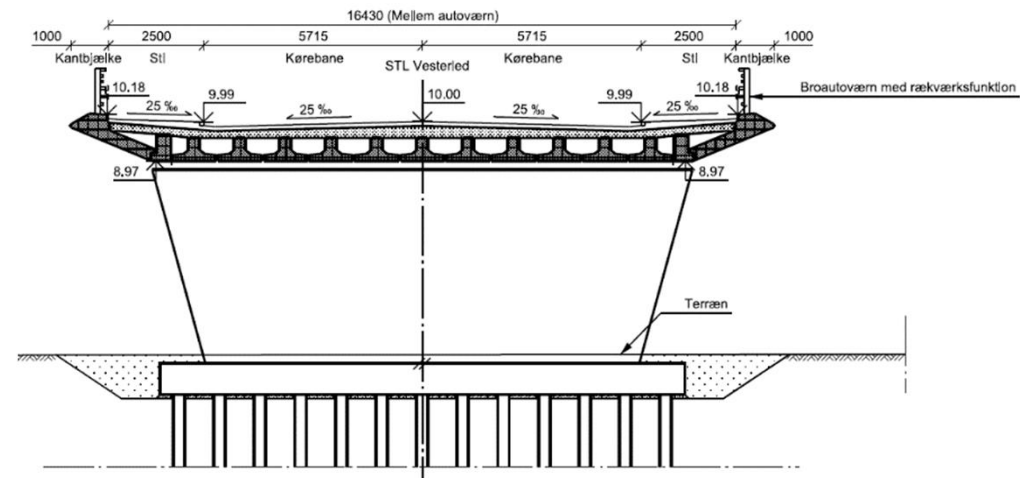
OF AF VINDINGEVEJ – IN-SITU DÆK, NEDSÆNKNING



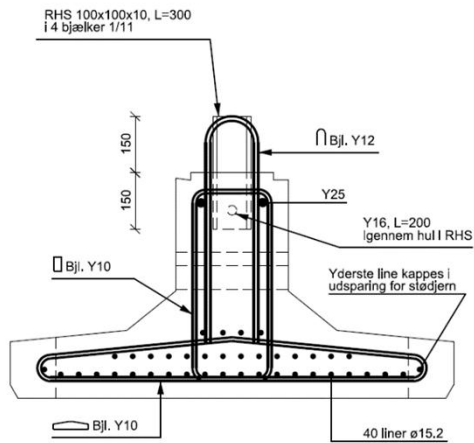
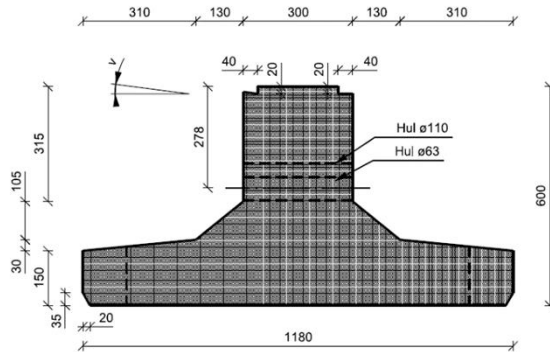
OF AF VESTERLED – ELEMENTDÆK MED IN-SITU STØBT PLADE



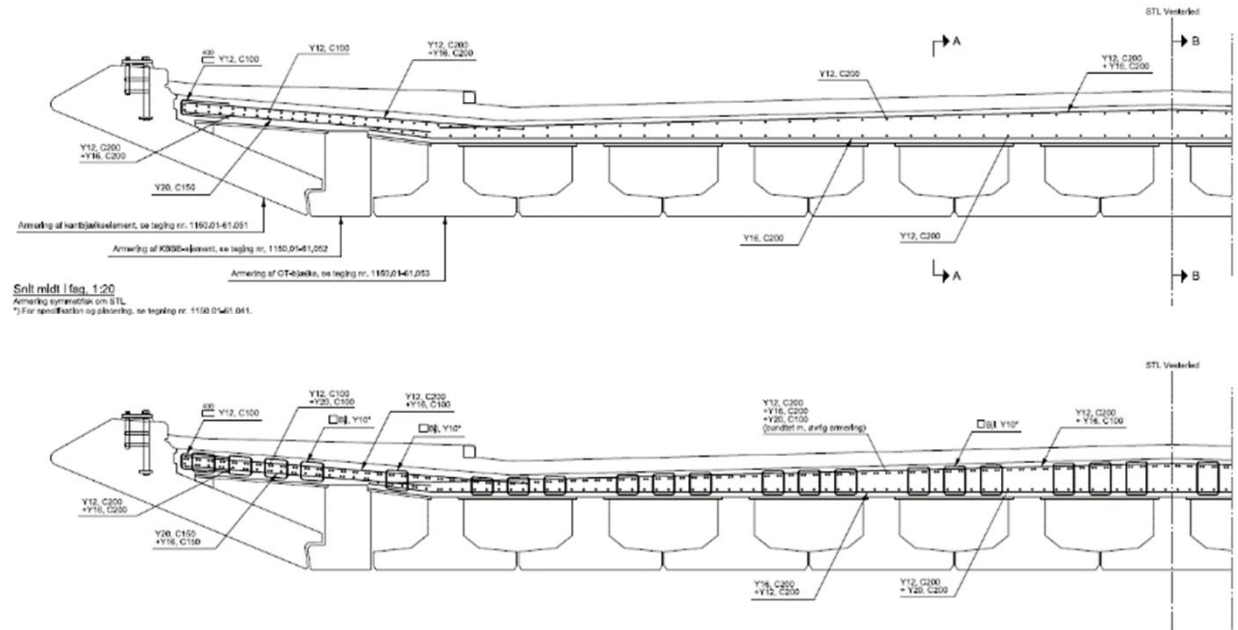
- Dæk: Førspændte betonelementer med in-situ støbt plade
- Mellemunderstøtning: Massiv betonvæg, pælefunderet
- Endeunderstøtninger, langsgående: Massiv betonvæg, pælefunderet
- Udførelse: Elementer monteret i weekend
- Beton: Udbudt og anvendt beton (CMP)



OF AF VESTERLED – ELEMENTDÆK MED IN-SITU STØBT PLADE



Betonelementer



In-situ støbt plade

OF AF VESTERLED – ELEMENTDÆK MED IN-SITU PLADE



BETON TIL BRODÆK PÅ VINDINGEVEJ (IN-SITU)

- Støbt 2010 – leveret af Unicon
- Ekstra aggressiv, Styrkeklasse 40, 22 mm sten
- Lavalkali sulfatbestandig cement = 341 kg/m^3
- Flyveaske = 68 kg /m^3
- Mikrosilica = 17 kg/m^3
- Vand = 151 kg/m^3 og v/c = 0,37

- CO₂-aftryk med 2021-værdier = $347 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
- CO₂-aftryk med 2010-værdier ~ $550 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$

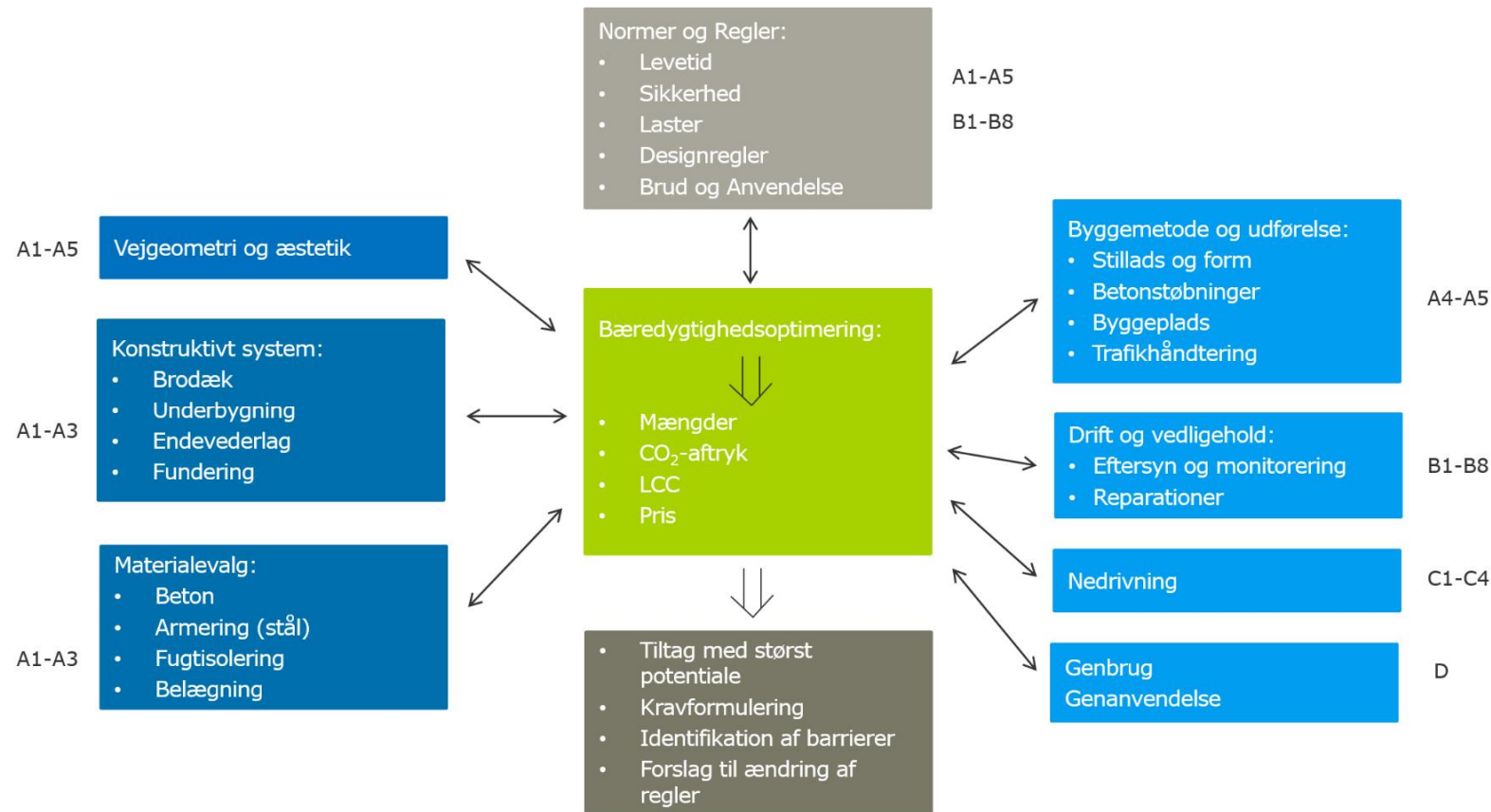


BETON TIL BRODÆK PÅ VESTERLED (ELEMENT)

- Støbt 2010 – leveret af DK-Beton
 - Ekstra aggressiv, Styrkeklasse 40, 16 mm sten
 - Lavalkali sulfatbestandig cement = 437 kg/m³
 - Flyveaske = 77 kg /m³
 - Mikrosilica = 0 kg/m³
 - Vand = 175 kg/m³ og v/c = 0,37
-
- CO₂-aftryk med 2021-værdier = 445 kg CO₂/m³
 - CO₂-aftryk med 2010-værdier ~ 700 kg CO₂/m³



TILGANG TIL BÆREDYGTIGHEDSOPTIMERING



Reducere mængden af indlejret CO₂ i nye betonbroer:

1. Produktionen (modul A1 – A3)
2. Byggemetode og udførelse (modul A4 – A5)
3. Drift og vedligehold (modul B1 – B8)
4. Nedrivning (modul C1 – C4)
5. Genbrug og genanvendelse (modul D)

Ikke gå på kompromis med kvaliteten => drift og vedligehold er neutralt CO₂-mæssigt for betragtede løsninger ift. oprindelig løsning