



## CO<sub>2</sub> beregninger på bro

Sammenligning mellem eksisterende elementbro og en optimeret efterspændt betonbro

---

Potentiale for CO<sub>2</sub> reduktioner i design- og udførelsesfasen

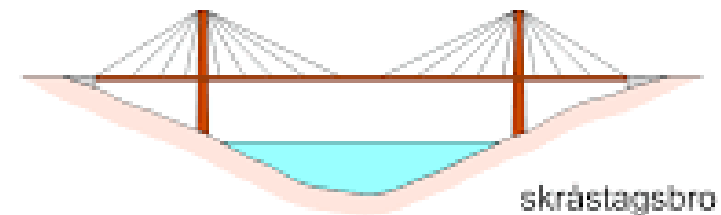
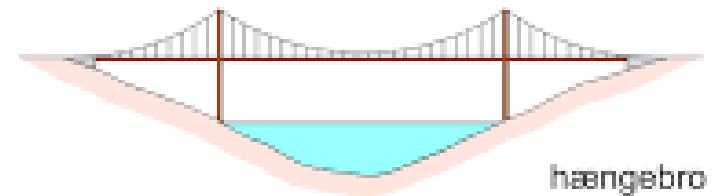
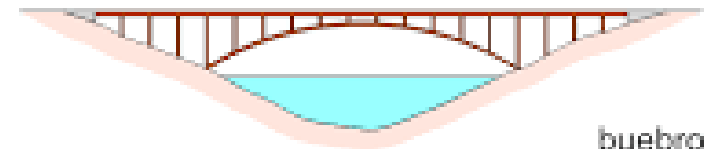
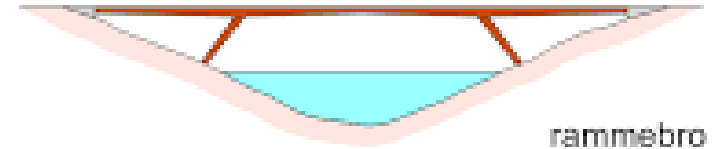
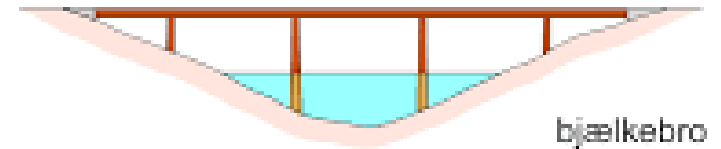


## Præsentation af Rapport

*Nyt studie viser, at det er muligt at reducere CO<sub>2</sub> aftrykket med op til 45 procent ved at optimere design af betonbroer.*

Danmarks broer (udvalgte)			
Sortér	indviet/indviesSortér	samlet længdeSortér	typeSortér
Christian Xs bro	1930	170 m	buebro, stål
Limfjordsbroen, vej	1933	405 m	bjælkebro, stål
Guldborgsundbroen	1934	170 m	buebro, stål
Lillebæltsbro, den gamle	1935	1200 m	gitterbro, cantilever
Kronprins Frederiks bro	1935	150 m	bjælkebro, stål
Storstrømsbroen	1937	3200 m	bue-/bjælkebro, stål
Masnedsundbroen	1937	222 m	bjælkebro, stål
Knippelsbro	1937	115 m	bjælkebro, stål
Øddesundbroen	1938	472 m	buebro, stål
Limfjordsbroen, jernbane	1938	403 m	gitterbro, stål
Vilsundbroen	1939	381 m	buebro, stål
Aggersundbroen	1942	220 m	buebro, beton
Dr. Alexandrines bro (Også kaldet Mønbroen eller Ulvsundbroen)	1943	745 m	buebro, beton/stål
Munkholmbroen	1952	109 m	buebro, beton
Langebro	1954	250 m	buebro, beton
Sjællandsbroen	1959	85 m	buebro, beton
Siø Sundbroen	1959	550 m	bjælkebro, beton
Langlandsbroen	1962	771 m	bue-/bjælkebro, beton
Frederik 9.s bro	1963	310 m	bjælkebro, beton
Svendborgsundbroen	1966	1220 m	bjælkebro, beton
Egersundbroen	1968	240 m	bjælkebro
Lillebæltsbro, den nye	1970	1700 m	hængebro, stål
Hadsundbroen	1976	250 m	bjælkebro, beton
Sallingsundbroen	1978	1700 m	bjælkebro, beton
Vejlefjordbroen	1980	1710 m	bjælkebro, beton
Alsundbroen	1981	660 m	bjælkebro, beton
Farøbro (Sjælland-Farø)	1985	1596 m	bjælkebro, stål
Farøbro (Farø-Falster)	1985	1726 m	skråstags-/bjælkebro, stål
Kalvebodsbrosen	1987	390 m	bjælkebro, beton
Storebælts Vestbro	1998	6611 m	bjælkebro, beton
Storebælts Østbro	1998	6790 m	hænge-/bjælkebro, stål
Øresundsbroen	2000	7500 m	skråstags-/gitterbro

## Brotyper – op gennem tiderne



---

Tiderne skifter!

Brotyper:

Stål

Beton            Siden 1940'erne er det mest anvendte materiale til broer - **BETON**

Komposit

Kriterier:

Teknik – spændvidde

Pris

CO<sub>2</sub>

Indledende inspiration!



## 1.7 Øget anvendelse af efterspændte konstruktioner i byggeriet

Efterspænding af konstruktioner ses som en mulighed for at imødekomme behovet for mere komplekse og fleksible bygninger. Det mindsker eller minimerer behovet for stabiliserende vægge, søjler og bjælker. Teknikken anvendes oftest for at opnå høje spændvidder, men kan også bruges til at reducere mængden af materiale. Der kan bl.a. opnås stor stabilitet ved efterspænding af bygningskerner og in-situ støbte etagedæk. Teknikken har i mange år været anvendt til broer for at opnå stor spændvidde og opfylde revnekrav.

## Baggrund

Det er almindeligt kendt, at **efterspændte konstruktioner reducerer beton volumen** - sammenlignet med såvel almindelig in-situ som element løsninger

Det kan derfor forventes, at anvendelse af efterspændt spændarmering vil betyde en **reduktion af CO2** "footprint" – sammenlignet med relevante alternativer.

CCL tog derfor kontakt til Teknologisk Institut for at aftale rammerne for en undersøgelse/rapport.

Der blev herefter rettet henvendelse til en rådgiver for at få udarbejdet et alternativt design til en allerede udført udført element bro.

UDKAST til rapport er tidligere præsenteret for Vejdirektoratet (og Christian Munch Petersen) – og kommentarer herfra er modtaget

## Fra RAPPORTEN

### 2. Formål

Sammenligningen har til formål at få skabt viden om:

- efterspændt armerings indflydelse på broers CO<sub>2</sub> aftryk.
- hvor meget optimering der er muligt at opnå i designfasen på en konventionel vejbro i beton.





Der er regnet på **to alternativer** udført med enten brodæk i forspændte præfabrikerede **betonelementer**, der afsluttes med en in-situ støbt broplade, eller en **in-situ støbt bro** med spændkabler, der løber kontinuert i hele broens længde. Nærværende rapport indeholder resultater fra CO<sub>2</sub> beregninger for de to løsninger baseret på input fra CCL Scandinavia, som har fået gennemført statiske beregninger, mængdeberegninger og brodesign med assistance fra Rambøll.

Der er tale om en eksisterende betonbro fra 2004, der overfører Klausdalsbrovej over motorring 3. Broen har følgende stamdata og hovedgeometri:

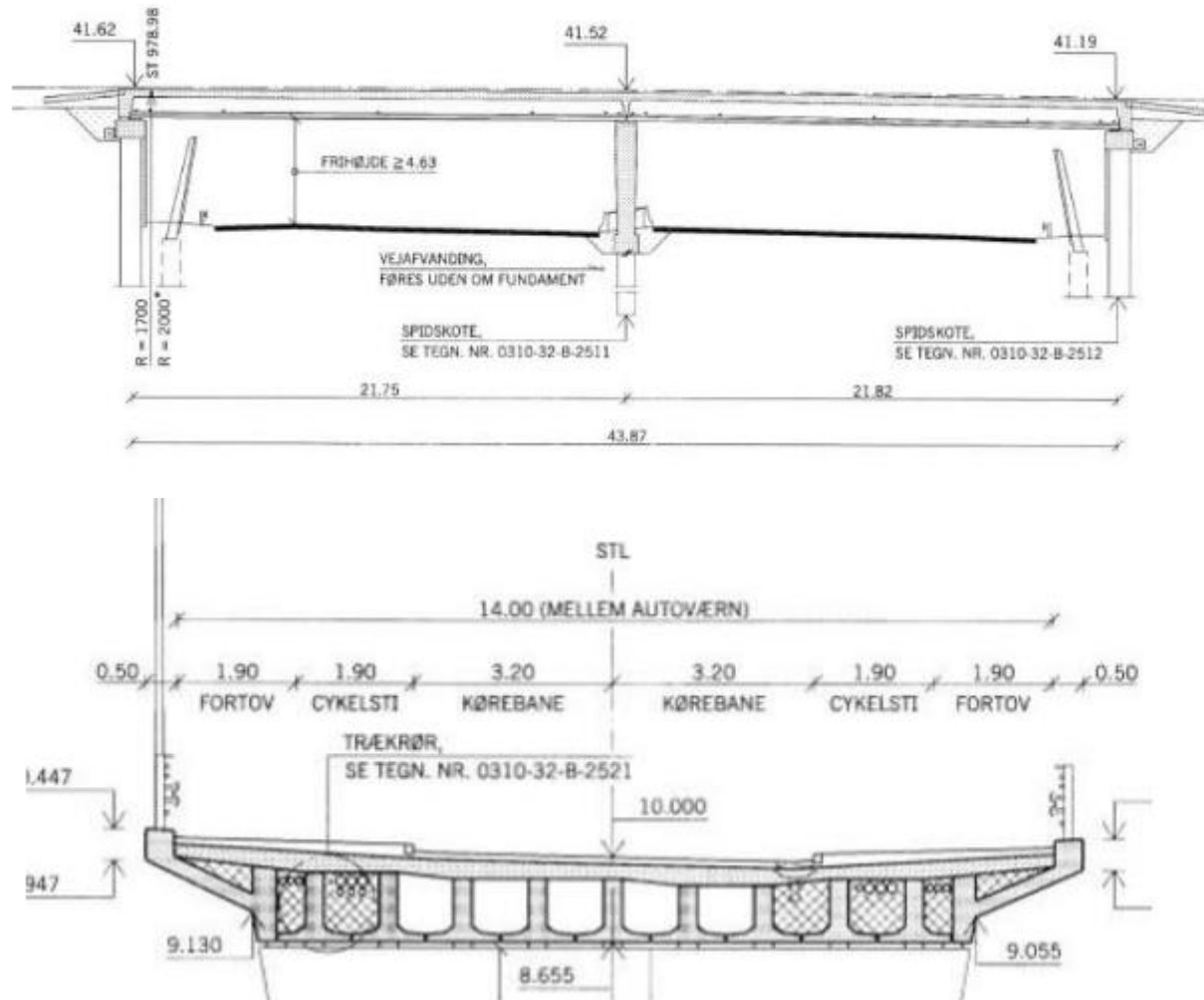
- OF af Klausdalsbrovej med fortov og cykelsti i begge sider samt dobbeltrettet kørebane. I alt en bredde 14 m målt indvendigt mellem kantbjælkerne.
- Broen krydser motorvejen i et retlinet forløb. Den underførte motorvej har tre kørebane i hver retning og nødspor.
- Krydsningen sker under en vinkel på ca. 51° med to spænd á 21,8 m.
- Broen er pælefunderet, men som nævnt ovenfor er funderingen er ikke medtaget i nærværende undersøgelse.

Den eksisterende bro fra 2004 er udført med bjælkeelementer, som er forspændt med spændliner og simpelt oplagt på endevederlag og midterunderstøtning. Hen over de oplagte bjælkeelementer udstøbes en slapt armeret broplade, som danner grundlag for fugtisolering og asfaltbelægning. Denne bro betegnes elementbroen i denne rapport (Fig.

Der er tale om en eksisterende vejbro i to fag hen over motorvej udført i betonelementer (Fig. 0), som er blevet optimeret og designet som en in-situ støbt betonbro med spændkabler. Ud fra mængdeopgørelser for beton og stålarmering for de to broalternativer er der foretaget en sammenligning af materialeforbrug og indlejret CO<sub>2</sub>. Sammenligningen er udelukkende foretaget på brodæk og midterunderstøtning. Da funderingen typisk er stærkt afhængig af lokale geotekniske forhold, er fundamentene udeladt af sammenligningen.







## ”Alternativ” bro

Som alternativ til elementløsningen er der udført et optimeret brodesign med konventionel insitu-støbt beton, som efterfølgende er efterspændt med kabler på stedet. Den optimerede bro opfylder samme krav til geometri og bæreevne som den eksisterende elementbro. I det optimerede design er brodækket udformet som to langsgående betonbjælker med en broplade. Midterunderstøtningen består af to rektangulære søjler placeret under hver sin bjælkekrop.

Denne bro betegnes som efterspændt bro i denne rapport (Fig. 2). Broen er udført kontinuert hen over midterunderstøtningen med i alt 6 stk. kabler (19C15) placeret som vist i Fig. 2. Den efterspændte bro har en konstruktionshøjde på 1 m (ekskl. kantbjælker).

## ”Forudsætninger”

Indlejret CO<sub>2</sub> – vugge til port (fase A1 – A3) + transport (fase A4) + byggeplads (fase A5)

Sammenligningen isolerer sig til brodækket og midt understøtningen!

Formålet er alene at sammenligne en isoleret del af en bro  
– hvor forskellene på løsninger vurderes at være størst

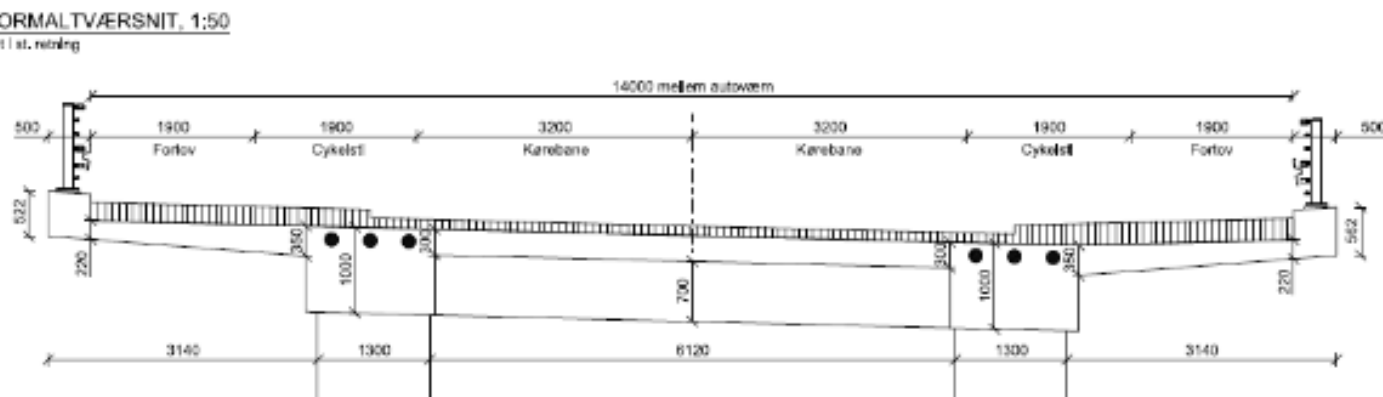
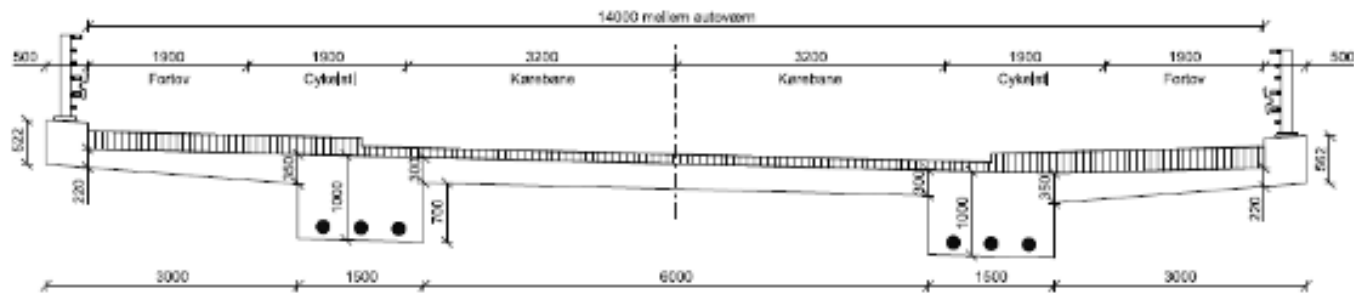
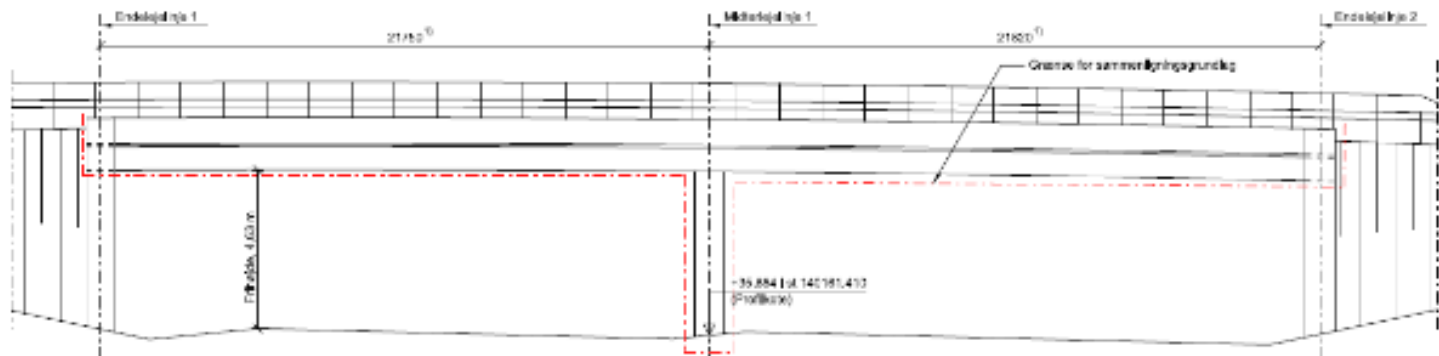
En række forhold udelades derfor bevidst – hvilket naturligvis kan kritiseres!

- ikke undersøgte forhold kan gerne efterfølgende vurderes/undersøges af øvrige interessenter i brobranchen

Rapporten er således tænkt som et indledende parts indlæg i debatten om CO<sub>2</sub>

- og løsninger på reduktion af CO<sub>2</sub> i byggebranchen

Fig. 2: Opstalt af og tværsnit i optimeret efterspændt betonbro. Broens midterunderstøtning består af to rektangulære søjler. Taget fra Rambøll konstruktionstegning. Den røde stiplede linje viser afgrænsningen i nærværende sammenligning.





## 1.2. Forudsætninger og afgrænsning

Beregningen er baseret på principperne for livscyklusanalyser, hvor indlejret CO<sub>2</sub> i materialer og processer hos materialeproducenterne opgøres. Disse faser betegnes normalt vugge til port (fase A1 – A3) i livscyklusanalyser og indeholder alle bidrag til at fremstille delmaterialer og råstoffer til broen. Dertil kommer transporten af byggematerialer under broens opførelse (fase A4) samt processerne på byggepladsen under opførelsen (fase A5).

I nærværende rapport er der kun medtaget de konstruktionselementer og materialer, der er forskellige for de to broløsninger. Beregningerne er derfor afgrænset til beton og armeringsstål samt forspændingslinjer og -kabler. Sammenligningen medtager desuden kun brodækket, midterunderstøtningen ned til pælefunderingen samt den øverste del af endeunderstøtningerne (jf. rød stiplede linje på Fig. 2).



## 1.2. Forudsætninger og afgrænsning

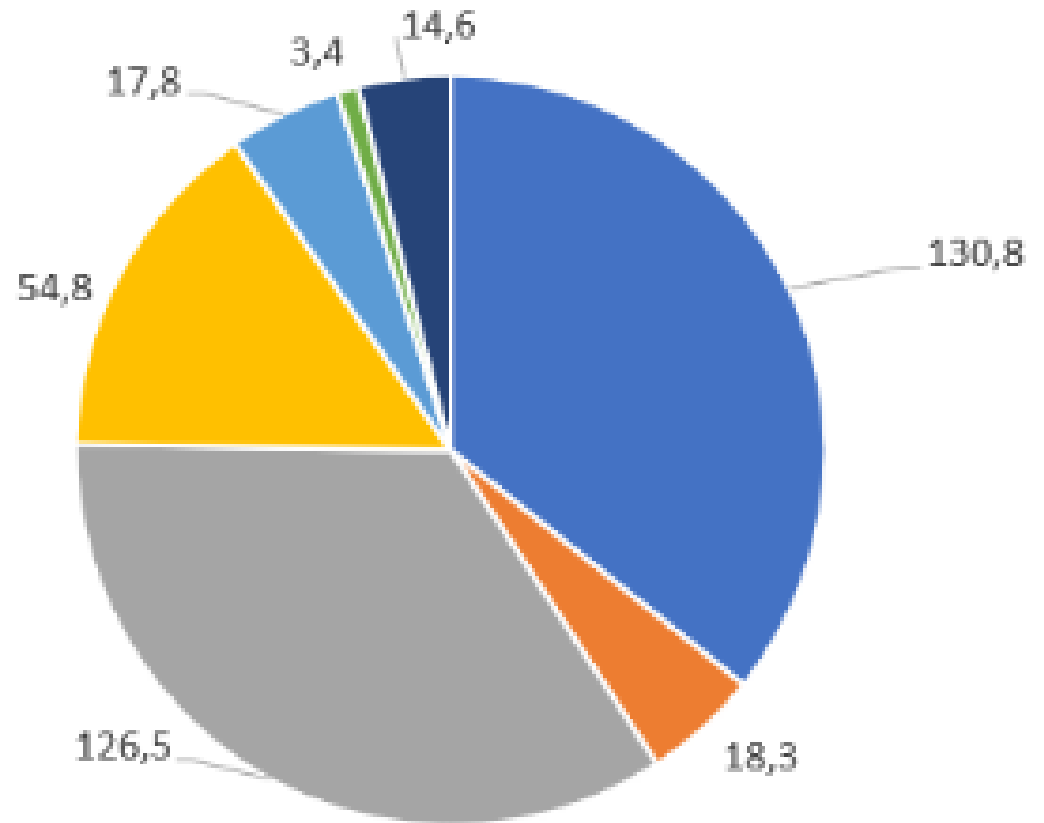
På baggrund af oplyst information om materialerne samt emissionstal fra offentligt tilgængelige miljøvaredeklARATIONER (EPD) og fra LCA-databaser mv., er de indlejrede CO<sub>2</sub> emissioner beregnet for broen.

Bidraget til CO<sub>2</sub> fra opførelsesprocessen (fase A5) er estimeret på baggrund af andre undersøgelser. Der findes ingen organiserede opgørelser af energi- og ressourceforbrug under opførelsesfasen for denne type anlægsbygværker, men det er normalt også antagelsen at det er indlejret CO<sub>2</sub> fra materialerne stål og beton, som er signifikant størst, når CO<sub>2</sub> fodaftrykket beregnes.

*Tabel 1: Hovedmål og -mængder for broen i de to alternativer. Vægte omfatter kun brodæk beton og armering samt midterunderstøtning samt den øverste del af endevederlag. Sætningsplader og pælefundering mv. er ikke medtaget i nogen af opgørelserne.*

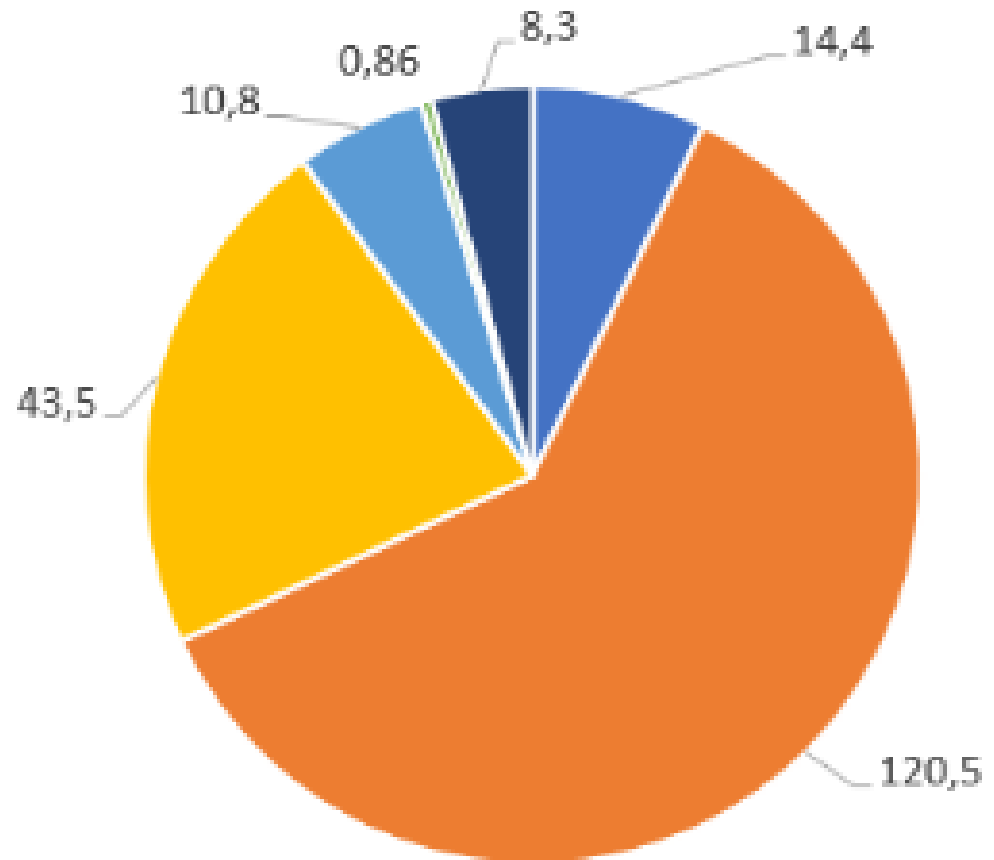
	Længde	Brutto bredde	Netto bredde	Netto areal	Beton, i alt	Beton pr. netto-areal	Slap armering	Spændt armering	I alt vægt. beton og stålarmering	Vægt pr. netto-areal
	[m]	[m]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[m]	[tons]	[tons]	[tons]	[ton/m <sup>2</sup> ]
Eksist. elementbro	43,6	15	14	610,4	582	0,95	73	15	1456,1	2,39
Nyt design, efterspændt in-situ bro	43,6	15	14	610,4	326	0,53	58	6	830,7	1,36

Elementbro, total CO2 366 tons



- Beton E40, in-situ
- Beton A35, in-situ
- Beton E40, elementer
- Slap armering
- Spændt armering
- Transport, A4
- Byggeplads, A5

### Efterspændt in-situ bro, total CO2 198 tons



- Beton E40, in-situ
- Beton A35, in-situ
- Slap armering
- Spændt armering
- Transport, A4
- Byggeplads, A5

Ud fra disse statistiske betragtninger kan man estimere, at CO<sub>2</sub> aftrykket på den pågældende bro, i ca. 80% af tilfældene, vil ligge indenfor følgende grænser svarende til den nedre og øvre 10% fraktil:

- For elementbroen: fra ca. 314 og op til ca. 418 tons CO<sub>2</sub>-eq
- For optimeret efterspændt in-situ bro: fra ca. 165 og op til ca. 231 tons CO<sub>2</sub>-eq

Resultatet af CO<sub>2</sub> opgørelsen viser tydeligt, at det er betonen, som står for hovedparten af CO<sub>2</sub> aftrykket for begge broløsninger (op imod 75% stammer fra betonen). På grund af den markante materialereduktion opnået i den optimerede efterspændte bro reduceres CO<sub>2</sub> aftrykket fra 366 tons CO<sub>2</sub>-eq for elementbroen til 198 tons CO<sub>2</sub>-eq for den efterspændte bro. Dette svarer til en **reduktion på 46%** og følger direkte af materialebesparelsen beskrevet ovenfor.

Fundering af broen består af borede pæle, hvilket ikke er medtaget i sammenligningen. Den markant lavere egenvægt for broen efter optimering vil dog medføre et mindre funderingsbehov, som ligeledes vil medføre reduktioner i mængden af materiale.

Hele rapporten kan findes på [www.cclscan.dk](http://www.cclscan.dk) – via forsidens link:

CCL Scandinavia A/S har taget initiativ til at udføre et studie af CO<sub>2</sub> belastning for forskellige brotyper. Studiet er gennemført i samarbejde med Teknologisk Institut og Rambøll. Studiet viser, at det er muligt af begrænse CO<sub>2</sub> belastningen med 45%. Læs hele rapporten her **RAPPORT**



En mulig videre vej herfra:

## Yderligere undersøgelser/studier

- Hele brokonstruktionen
- Afledte trafikforhold
  - Emissions biler
  - El biler
- Kombinere pre-fab og in-situ
- Ideer og forslag fra "Bæredygtig Beton" initiativet



TAK FOR  
OPMÆRKSOMHEDEN

Kontakt os gerne for nærmere oplysninger – tak!