

Dokumenttype

**Rapport**

Dato

**5. april 2022**

Til

**Frederiksberg og Københavns Kommuner**

# OMDANNELSE AF BISPEENGEN

## BEREGNING AF CO<sub>2</sub>-PÅVIRKNINGEN FOR ANLÆG



# OMDANNELSE AF BISPEENGEN BEREGNING AF CO<sub>2</sub>-PÅVIRKNINGEN FOR ANLÆG

Project name **Omdannelse af Bispeengen, CO<sub>2</sub>-påvirkning**  
Project no. **1100050423**  
Recipient **Anders Riiber Høj, Mette Mejdal Christiansen**  
Document type **Rapport**  
Version **1.1**  
Date **2022/04/05**  
Prepared by **JKRE, KMAC, TSTA**  
Checked by **ANL**  
Approved by **TSTA**

Ramboll  
Hannemanns Allé 53  
DK-2300 Copenhagen S  
Denmark

T +45 5161 1000  
<https://ramboll.com>

## RESUME

Denne rapport tager udgangspunkt i en analyse af klima og miljøpåvirkningerne fra omdannelsen af Bispeengen, målt i CO<sub>2</sub>-eq (CO<sub>2</sub>-eq dækker over CO<sub>2</sub> ækvivalenter, som er en standardiseret enhed for global opvarmning). Omdannelsen af Bispeengen betragtes ud fra 3 visionsskitser, som er udarbejdet af Tegnestuen Vandkunsten i 2022. To af skitserne præsenterer løsninger hvor vejene på Bispeengbuen tunnelføres i hhv. en kort og en lang version, den sidste skitse indeholder en løsning med nedrivning af den ene bro der udgør Bispeengbuen, hvor trafikken efterfølgende føres over på den anden bro. CO<sub>2</sub>-påvirkningerne beregnes i Vejdirektoratets værktøj, InfraLCA, og baseres på nedrivning af eksisterende forhold, samt mængdeestimer fra anlægget af tunnel og omgivende forhold. Nedenfor ses en opsummering af CO<sub>2</sub>-eq-påvirkningen fra de forskellige varianter af visionsskitserne.

		<b>Sum</b>
		[t CO <sub>2</sub> eq]
<b>Visionsskitse 1.1 (Scen. B kort tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Anlæg af en kort tunnel.	63.250
<b>Visionsskitse 1.2 (Scen. B lang tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Anlæg af en lang tunnel.	87.797
<b>Visionsskitse 2.1 (Scen. A kort tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af ny bebyggelse og grønne byrum. Anlæg af en kort tunnel.	93.247
<b>Visionsskitse 2.2. (Scen. A lang tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af ny bebyggelse og grønne byrum. Anlæg af en lang tunnel.	128.820
<b>Visionsskitse 3 (Scen. C)</b>	Delvis nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Denne løsning inkluderer ikke en tunnel.	1.691

Samlet udledning af drivhusgasser for de givne visionsskitser. Til sammenligning udleder en dansker i gennemsnit 11 ton CO<sub>2</sub>eq pr. år (Klimaministeriet, 2021). Kilde: Rambøll

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Metode</b>	<b>4</b>
2.1	Livscyklus analyse	4
2.2	InfraLCA	4
<b>3</b>	<b>Begrænsningerne forbundet med InfraLCA</b>	<b>5</b>
3.1	Livscyklus	5
3.2	Emissionsfaktorer	5
<b>4</b>	<b>Antagelser</b>	<b>6</b>
4.1	Nedrivning og bortskaffelse af brokonstruktion	6
4.2	Tunnel konstruktion	7
4.3	Jordhåndtering og opbrydning af eksisterende forhold	9
4.4	Opbrydning af eksisterende forhold	9
4.5	Anlæg af bebyggelse og ny infrastruktur	11
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>13</b>
5.1	Sammenfatning af resultater	13
<b>6</b>	<b>Mulige CO2-reduktioner</b>	<b>17</b>
6.1	Ideoplæg til potentielle CO <sub>2</sub> eq-reduktioner	17
<b>7</b>	<b>Referencer</b>	<b>19</b>

# 1 INTRODUKTION

Frederiksberg og Københavns Kommuner er gået sammen om at udarbejde et idéoplæg for omdannelse af Bispeengen, hvis Bispeengbuen rives helt eller delvist ned, hvorved trafikken føres under jorden eller over på den ene af de to eksisterende brofag. Idéoplægget forløber i to faser fra august 2021 til medio 2023.

I Fase 1 skal der udarbejdes forslag til vision og handlemuligheder ud fra tre Visionsskitser (Tegnestuen Vandkunsten, 2022). Det ene lægger op til, at der skal etableres nye grønne, mens det andet lægger op til, at der både etableres ny bebyggelse og grønne byrum i området. Begge visionsskitser indeholder anlæg af en tunnel med 3 spor i begge retninger og begge skal belyses i to varianter med hhv. en kort og en lang tunnel. I den tredje visionsskitse, som omhandler en delvis nedrivning af Bispeengbuen, nedrives det ene brofag, og trafikken afvikles på den resterende del af broen. Den tredje visionsskitse omfatter således ikke en tunnelloøsning.

Frederiksberg Kommune og Københavns Kommune har besluttet at få beregnet CO<sub>2</sub>eq-påvirkningen (*CO<sub>2</sub>eq dækker over CO<sub>2</sub> ækvivalenter, som er en standardiseret enhed for global opvarmning*) ved anlæg af de tre scenarier (i alt 5 varianter) ved hjælp af Vejdirektoratet- og Banedanmarks LCA-model, InfraLCA (Vejdirektoratet, 2022).

<b>Visionsskitse:</b>	<b>Beskrivelse:</b>
<b>Visionsskitse 1.1 (Scen. B kort tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Anlæg af en kort tunnel.
<b>Visionsskitse 1.2 (Scen. B lang tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Anlæg af en lang tunnel.
<b>Visionsskitse 2.1 (Scen. A kort tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af ny bebyggelse og grønne byrum. Anlæg af en kort tunnel.
<b>Visionsskitse 2.2. (Scen. A lang tunnel)</b>	Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af ny bebyggelse og grønne byrum. Anlæg af en lang tunnel.
<b>Visionsskitse 3 (Scen. C)</b>	Delvis nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af grønne byrum. Denne løsning inkluderer ikke en tunnel.

Tabel 1. Visionsskitse oversigt. I tabellen præsenteres de 3 visionsskitser og i alt 5 varianter. Kilde: Rambøll.

Beregningen udføres på overordnet niveau og med anvendelse af generiske data, idet der i nuværende projektfase ikke tages stilling til nærmere materialeoptimering og eventuelle særlige krav til udførelsesmetoder ved anlæg af tunnel, ramper, bebyggelse, byrumsløsning, nedrivning, skybrudsskakt og øvrige delelementer. Som led i opgaven skal rådgiver beskrive begrundede mængdeestimer og antagelser til udførelse af beregningen, med afsæt i foreliggende projektmateriale, herunder baggrundsrapporter (EY og MOE, 2019) og (Rambøll, 2020) samt nye principsnit og plantegninger for de tre visionsskitser, som udarbejdes af Vandkunsten (medio januar 2022).

Når Fase 1 er afsluttet i sommeren 2022, skal Frederiksberg Kommune og Københavns Kommune træffe en politisk beslutning om, hvorvidt de ønsker at gå videre med en af visionsskitserne, og i givet fald – hvilket. Det er en vigtig del af beslutningsgrundlaget,

at størrelsesordenen af skitsernes CO<sub>2</sub>eq-påvirkning ifm. anlæg er beregnet, og at beregningen er robust, sammenlignelig, og enkel.

## 2 METODE

### 2.1 Livscyklus analyse

Der er foretaget en analyse, ud fra en livscyklusbetragtning, for at beregne den samlede udledning af drivhusgasser (CO<sub>2</sub>eq) for hver visionsskitse. En LCA (livscyklus analyse) tager afsæt i en oversigt for alle de materialer og arbejder som indgår i udarbejdelsen, derfor har det været nødvendigt at udarbejde et mængdeestimat for de tre visionsskitser.

Visionsskitserne refereres til som visionsskitserne 1-3 hvilket i alt udgør fem varianter, som det fremgår af tabel 1, det betyder altså at der i alt beregnes fem separate mængdeestimer. Mængdeestimerne opgøres både for nedrivningen af eksisterende samt anlæg af ny infrastruktur.

For at udarbejde et mængdeoverslag, identificeres og differentieres de fem varianter, med afsæt i foreliggende projektmateriale, herunder baggrundsrapporterne som i udbudsmaterialet refereres til som " (EY og MOE, 2019)" og " (Rambøll, 2020)" samt principsnit og plantegninger for de tre visionsskitser, som udarbejdes af Vandkunsten medio januar 2022. Arbejderne opdeles således at der skelnes mellem nedrivning og anlæg.

De tre visionsskitser omfatter følgende arbejder:

1. Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af **grønne byrum**. For scenariet sammenlignes to varianter.
  - Scenariet indeholder anlæg af en tunnel med tre spor i hver retning og skal belyses i to varianter med hhv. en kort og en lang tunnel.
2. Nedrivning af Bispeengbuen, samt anlæg af **ny bebyggelse og grønne byrum**. For scenariet sammenlignes to varianter.
  - Scenariet indeholder anlæg af en tunnel med tre spor i hver retning og skal belyses i to varianter med hhv. en kort og en lang tunnel.
3. Delvis nedrivning af Bispeengbuen, samt etablering af **grønne byrum**. Scenariet inkluderer ikke en tunnel løsning.

### 2.2 InfraLCA

#### Beregning af CO<sub>2</sub>eq-påvirkning

Med udgangspunkt i Mængdeestimerne foretages der en beregning af CO<sub>2</sub>eq-påvirkningen fra de fem varianter i livscyklusfaserne A1-A3, A4, A5 + B4. Til beregningerne anvendes Vejdirektoratets LCA-model, InfraLCA for hvert af de tre visionsskitser og i alt fem varianter. I programmet er det muligt at indtaste de poster som forekommer af mængdeestimerne.

Det antages at tunnelen har en levetid på 100 år og for transport af materialer anvendes de generiske transportafstande og transportformer som er prædefineret i InfraLCA. Ligeledes anvendes der standard værdier for de arbejder og materialer som vil fremgå af mængdeoverslaget. Følgende processer inkluderes i beregningerne:

- Beregningerne for CO<sub>2</sub>eq udledningen fra en hhv. hel eller delvis nedrivning af Bispeengbuen.
- Beregningerne for anlæg af en hhv. kort eller lang tunnel med 3 spor i begge retninger.
- Etablering af ny bebyggelse, som ikke forefindes i InfraLCA, men er estimeret ud fra standardiserede data fra den frivillige bæredygtighedsklasse på baggrund af bebyggelsesareal.
- Etablering af grønne byrum, som estimeres ud fra anlægsprocessen i etableringen, og indretning og beplantning i de grønne byrum.

Resultatsammenfatningerne fra InfraLCA anvendes til at opstille illustrationer der gør det muligt at identificere de hovedposter, der har den største indflydelse på anlæggets klimapåvirkning. Databehandlingen anvendes ligeledes til at sammenligne den tredje visionsskitser/varianter i form af grafer og tabeller.

### 3 BEGRÆNSNINGERNE FORBUNDET MED INFRALCA

#### 3.1 Livscyklus

For at udarbejde en komplet LCA skal den praktiserende sikre sig at analysen udarbejdes for hele produktets livscyklus. Dette er ikke muligt i nærværende analyse, da InfraLCA som et værktøj er begrænset til at beregne miljøpåvirkninger for faserne A1-A3, A4, A5 og B4. Se figur 1 for en nærmere beskrivelse af et infrastrukturs projekts livscyklusfaser.

INFRASTRUKTUR LIVSCYKLUS														YDERLIGERE INFORMATION
A1 – A3 FREMSTILLING			A4 – A5 KONSTRUKTION		B1 – B7 ANVENDELSE					C1 – C4 END-OF-LIFE				D FORDELE OG ULEMPER UDOVER SYSTEMGRÆNSEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	C4	D
Udvinding af råmaterialer	Transport	Fremstilling	Transport til byggeplads	Installation	Anvendelse	Vedligehold	Reparation	Udskiftning	Istandsættelse	Dekonstruktion	Transport	Affalds håndtering for genbrug, genanvendelse og godtgørelse	bortskaffelse	Genbrug-, genanvendelse-, godtgørelse potentiale for at undgå fremtidige klimapåvirkninger
					B6 – Operationel energi forbrug									
					B7 – Andre operationelle processer									

Figur 1. Opsumming af de faser som indgår i infrastruktur projekters livscyklus. Faserne er defineret med afsæt i LCA-metodik. De faser der beregnes i InfraLCA er fremhævet med rød. Kilde: Rambøll

#### 3.2 Emissionsfaktorer

Programmet er stadig i et tidligt stadie og derfor kan der forekomme poster, som er repræsenteret i mængdeestimatet, men ikke findes i programmets database. Disse poster præsenteres separat i afsnittene angående antagelser (Afsnit 4.1-4.6).



## 4 ANTAGELSER

I det følgende afsnit præsenteres de antagelser, som udgør baggrunden for de mængder og arbejder, der er taget højde for i beregningen af miljøpåvirkningerne.

Antagelserne præsenteres for hver af de følgende poster:

- Beregningerne for CO<sub>2</sub>eq udledningen fra en hhv. hel eller delvis nedrivning af Bispeengbuen.
- Beregningerne for anlæg af en hhv. kort eller lang tunnel med 3 spor i begge retninger.
- Jordhåndtering og opbrydning af eksisterende infrastruktur.
- Etablering af ny bebyggelse, som ikke forefindes i InfraLCA, men er estimeret ud fra standardiserede data fra den frivillige bæredygtighedsklasse på baggrund af bebyggelsesareal.
- Etablering af ny infrastruktur under og omkring Bispeengbuen.

Yderligere er der foretaget følgende generelle antagelser:

- I InfraLCA-modelleringen antages det, at tunnelen har en levetid på 50 år
- For transport af materialer anvendes de generiske transportafstande og transportformer som er prædefineret i InfraLCA.
- Ligeledes anvendes der standard værdier for de arbejder og materialer som vil fremgå af mængdeoverslaget.

### 4.1 Nedrivning og bortskaffelse af brokonstruktion

For nedrivning af Bispeengbuen, er det forudsat at der nedrives to brokonstruktioner med en samlet mængde på 89.250 tons, antagelsen er udarbejdet med afsæt i det foreliggende projektmateriale.

Med udgangspunkt i erfaring fra interne eksperter i Rambøll, skønnes nedrivningen til at tage mellem 10-14 måneder. Det antages at arbejdet udføres af gravemaskiner monteret med klipper. For brændstoføkonomien tages der udgangspunkt i et datablad fra maskine leverandører (Volvo, 2022), hvor det præsenteres at en diesel gravemaskine monteret med klipper forbrænder 18,9 liter diesel per time.

Det skal bemærkes, at dette ikke dækker ventetid af eksterne årsager (støj, støv, trafik mv.). Der er regnet med brug af 5 maskiner samtidig til opgaven. En maskine fjerner/håndterer ca. 10 tons beton i timen.

Det vil sige at arbejdet omtrent tager 1.785 timer ved anvendelsen af 5 maskiner, hvor der i alt opereres i 8.925 timer (Christensen, 2022).

Emissionsfaktorerne for diesel er sat til 3,33 kg CO<sub>2</sub>eq per liter i InfraLCA.

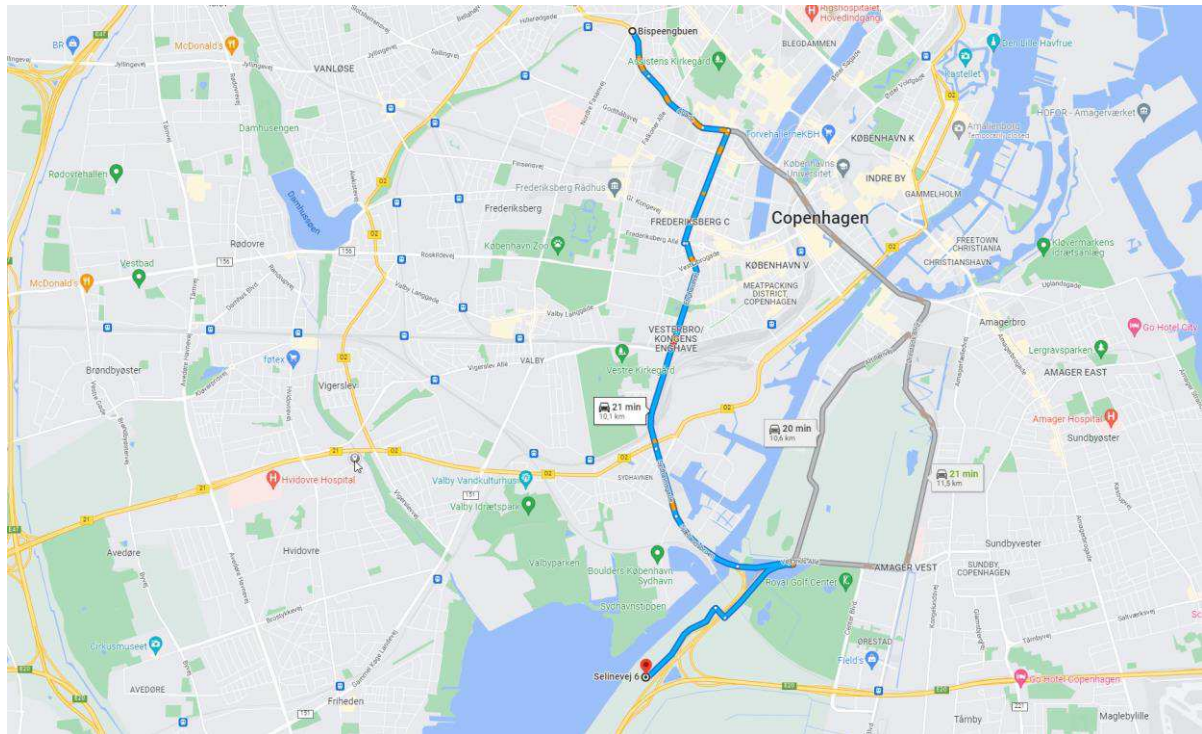
### Bortskaffelse af nedrevet betonkonstruktion.

Nedrivningen af Bispeengbuen medfører bortskaffelse af materialer. Analysen tager ikke højde for den videre håndtering af materialerne efter indledende bortskaffelse, da det ikke længere er Frederiksberg- og Københavnskommunes ansvar at videre distribuere materialerne. Aktiviteten konkluderes at være uden for omfang, da den yderligere håndtering ikke kan dokumenteres.



Det antages at materialerne fra nedrivningen af Bispeengbuen transporteres 10 km. Længden er fastsat på baggrund af et transportscenarie, hvor materialerne transporteres fra Bispeengbuen til Selinevej 6.

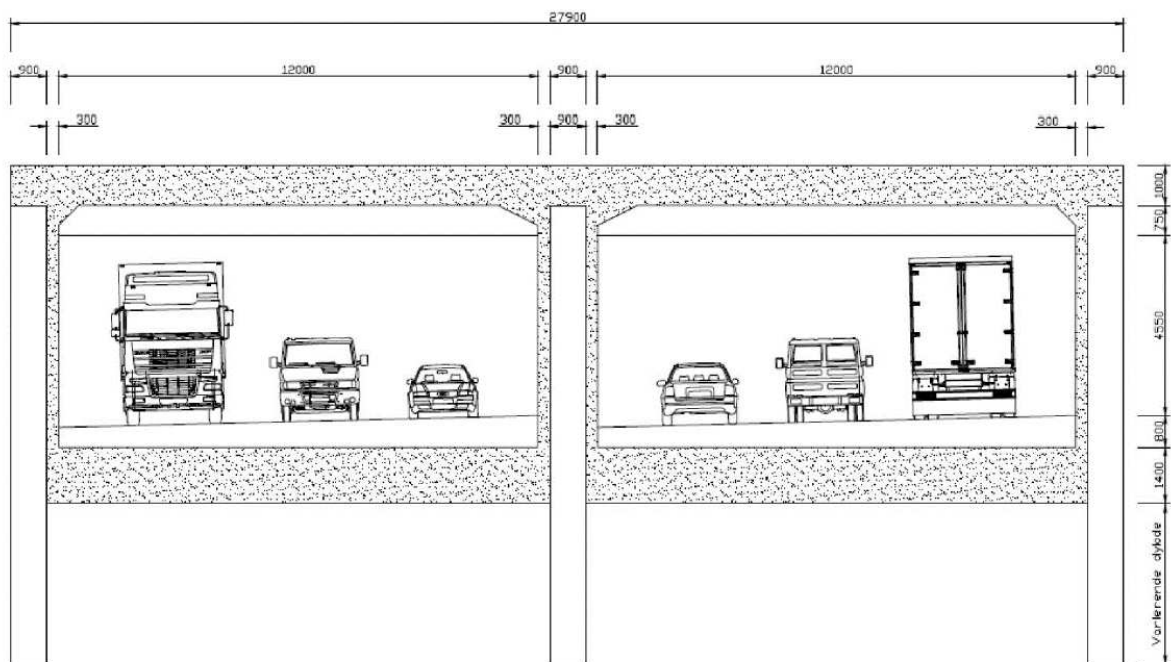
Transportscenariet er illustreret nedenfor.



Figur 2. Transportscenarie for bortskaffelse af brokonstruktionen. Kilde: Rambøll

## 4.2 Tunnel konstruktion

For beregning af tunnelmængder er der taget udgangspunkt i tunneltværsnittet på figur 2 i rapporten "Analyser af alternativer til Bispeengbuen", fra april 2019 udarbejdet af MOE for Københavns Kommune og Frederiksberg Kommune (EY og MOE, 2019). Tunneltværsnittet viser dimensionerne på tunnelkonstruktionen i et typisk tværsnit. Tunneltværsnittet er oprindeligt udført af Rambøll i 2014 i forbindelse med udarbejdelse af skitseprojekt for tunnelering af Bispeengbuen, Ågade og Åboulevard. Tunneltværsnittet er udarbejdet efter inspiration af tunnelkonstruktionen på Nordhavnsvej, dog tilpasset fra to spor i hver retning til tre spor i hver retning. Tunneltværsnittet er vist nedenfor.



Figur 3. Tunneltværsnit fra MOE's rapport (EY og MOE, 2019). Kilde: Rambøll

Det er forudsat at sekantpælene er boret fra terræn og er 15 m lange (ca. 4 m under bundpladens bundkote). Det vurderes at de nedbrydes til 2-3 m under terræn efterfølgende.

Hvor tunnelen ikke ligger min 2 m under terræn er der regnet med samme dimensioner som for over terræn, bortset fra at bundpladens tykkelse er reduceret fra 1,4 m til gennemsnitlig 1,2 m. Det er muligt at bundplan helt kan undværes på delstrækninger, men her vil det være nødvendigt med et linjefundament under betonvæggene. Beton svarende til en bundplade på 1,2 m vurderes som passende, hvor tunnelens overside ikke ligger ca. 2 m under terræn.

Hvor tunnelen ligger delvist over terræn skal sekantpælene sandsynligvis erstattes af traditionelt formstøbt betonvægge. Dimensionerne forventes at være de samme. Armeringsmængden reduceres, hvor tunnelen ikke skal være vandtæt.

Armeringsmængden er skønnet til 180 kg stål/m<sup>3</sup> beton, hvilket er typisk for tilsvarende vandtætte konstruktioner. For sekantpæle er der regnet med 180 kg stål/m<sup>3</sup> beton for hver anden pæl, da hver anden sekantpæl er uarmeret.

Sekantpælene er skønnet til en dimension på ca. Ø900 mm for en tunnel uden byggeri oven på tunnelen, og Ø1200 mm for en tunnel med byggeri oven på tunnelen.

Der er ikke udført statiske beregningsoverslag i forbindelse med skøn af dimensioner og armeringsmængder. Dimensioner og armeringsmængder er vurderet ud fra et erfaringsmæssigt skøn. Længde og dimensioner på sekantpæle kan variere efter geotekniske forhold, som endnu ikke er undersøgt.

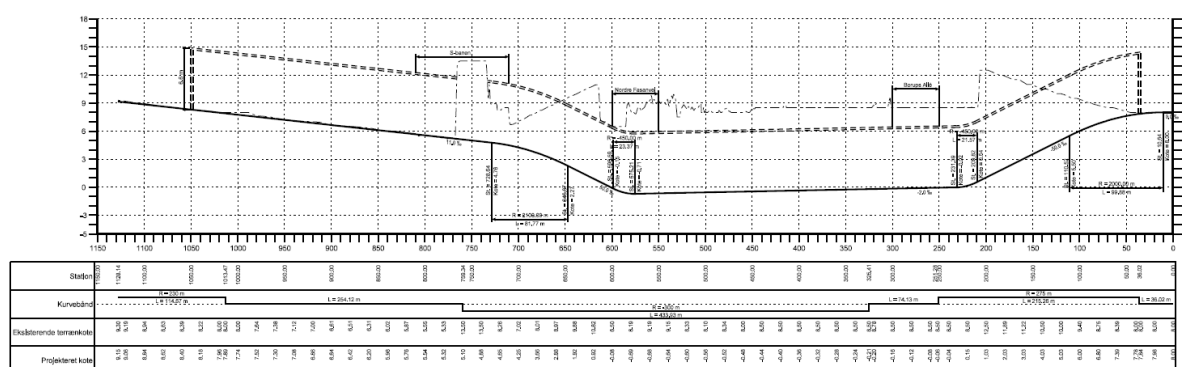
Der er tillagt et mindre bidrag beton til sekundære konstruktioner. Dette kan fx være til etablering af kantsten, afvandingskonstruktioner, nødudgange m.m. Selve materialerne i afvanding,

belysning, skiltning, er ikke inkluderet i CO<sub>2</sub>eq-udledningerne, da de ikke er projekteret og fordi bidraget blev vurderet negligerbart.

### 4.3 Jordhåndtering og opbrydning af eksisterende forhold

For at anlægge tunnelen er det nødvendigt både at afgrave og opfylde jord. Mængden er beregnet med udgangspunkt i tværsnit og længdeprofil fra MOE's rapport, hvor det fremgår at tunnelen har en højde på 8,5 m (EY og MOE, 2019). Jordhåndteringen differentieres i forskellige strækninger:

- Stationering 200-750 (550 m).
  - o Det forudsættes at tunnelen er anlagt 2 m under terræn, hvorfor der tillægges et 2 m jorddække til udgravningen af tunnelen.
- Stationering 35 - 200 og stationering 750-1050 (i alt 465 m).
  - o På strækningerne antages det at afgravningen forekommer ved tilslutninger til- og i eksisterende terræn.



Figur 4. Tunnel længdeprofil fra MOE's rapport (EY og MOE, 2019). Kilde: Rambøll

Mængderne for afgravning og opfyldning er præsenteret i den følgende tabel. Det antages at den mængde, der skal graves ud for at anlægge tunnelen, bortkøres. Herefter opfyldes den mængde som tunnelens rumfang ikke fortrænger, hvorfor der vil forekomme en lavere mængde for opfyldning end afgravning. Både til- og bortkørsel er defineret som 25 km som en standard faktor i InfraLCA.

	Visions- skitse 1.1	Visions- skitse 1.2	Visions- skitse 2.1	Visions- skitse 2.2	Visions- skitse 3
<b>Afgravning/bortkørsel [m<sup>3</sup>]</b>	206.415	266.715	216.480	280.080	N/A
<b>Opfyldning/tilkørsel [m<sup>3</sup>]</b>	75.983	136.283	86.048	149.648	N/A

Tabel 1. Oversigt over jordhåndteringer i forbindelse med anlæg af tunnel. Kilde Rambøll

### 4.4 Opbrydning af eksisterende forhold

Mængder for opbrydning af eksisterende forhold er udarbejdet med afsæt i foreliggende projektmateriale. I projektmateriale fremgår det hvilke arealer der i sidste ende vil udgøre den nye infrastruktur. Det antages at for at anlægge den nye infrastruktur, er det nødvendigt at opbryde de eksisterende forhold.

Efter aftale med Københavns og Frederiksberg kommuner er det antaget at det omkringliggende vejnet bevares, dette inkluderer følgende veje:

- Nordre Fasanvej
- Ågade
- Borups Allé
- Delvis opbrydning af Bispeengen

De opbrudte arealer fordeles på følgende poster:

	<b>Chaussesten</b>	<b>Betonfliser</b>	<b>Asfalt (Cykelsti og vej)</b>	<b>Muld</b>
<b>Procentvis fordeling af opbrydningsposter</b>	36%	4%	46%	14%

Tabel 2. Procentvis fordeling af eksisterende forhold. Kilde: Rambøll

InfraLCA's database er begrænset i forhold til opbrydningsposter, det er derfor ikke muligt at finde poster som korrekt repræsenterer alle opbrydningsarbejder. Derfor har det været nødvendigt at have følgende tilgang for at beregne opbrydningsposterne:

Opbrydningen af de bundne lag (SMA, ABB og GAB) bliver i InfraLCA defineret under posten "*opbrydning af asfalt*" og SG og BL går ind under posten "*opbrydning af ubundne lag*".

Ved opbrydningen af arealerne med chaussesten antages det at stenene er sat i 15 cm grus, chaussestenene bliver i InfraLCA-modelleringen defineret under "*opbrydning af asfalt*", hvor gruslaget går under "*opbrydning af ubundne lag*".

I modelleringen af opbrydningen af flisefortovet antages det at fliserne er 7 cm i tykkelse og defineres som "*opbrydning af asfalt*". Fliserne er sat i 15 cm grus som modelleres under "*opbrydning af ubundne lag*".

De park-lignende arealer med beplantning antages alle at gå under "*opbrydning af ubundne lag*" i InfraLCA-modelleringen.

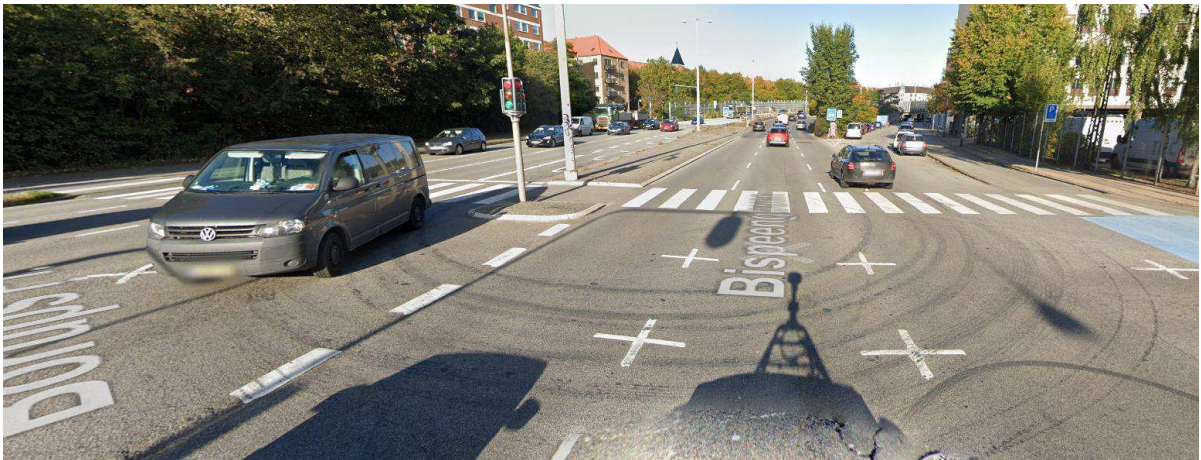
Den procentvise opdeling for opbrydningsposterne er beregnet ved anvendelsen af følgende tilgang:

- Der er hentet grundkort fra kortforsyningen.
- Arealer for opbrudte arealer er opgjort i Microstation.
- Der er udarbejdet en procentvis opdeling af de opbrudte arealer på baggrund af mængdeopgørelserne.





Figur 5. Areal under Bispeengbuen. På billedet fremgår de store mængder af chaussesten som er lagt under Bispeengbuen. (Stationering 400). Kilde: Rambøll.



Figur 6. Vej areal og midterrabat. På billedet fremgår vejarealet og midterrabatten som leder op til Bispeengbuen og udgør en stor del af den asfalt som opbrydes. (Stationering 0). Kilde: Rambøll.

#### 4.5 Anlæg af bebyggelse og ny infrastruktur

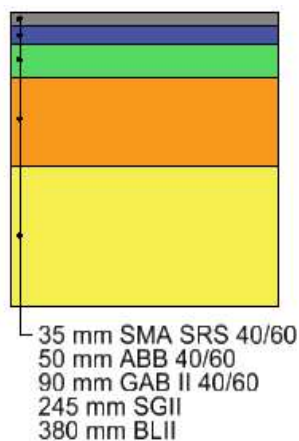
Byggeri modelleres på baggrund af den nationale strategi for bæredygtigt byggeri, hvor grænseværdien for 2023 er benyttet, den er fastsat til 12 kg CO<sub>2</sub>eq per kvm pr år og en livscyklus på 50 år (Bolig og Planstyrelsen, 2022). Mængden af bebyggede kvadratmeter er baseret på 'Analyser af alternativer til Bispeengbuen' af EY og MOE.

Den anlagte infrastruktur på overfladen antages anlagt jf. fremsendt tegningsmateriale og øvrige bilag, og består af flg.: Promenader og stier anlagt i grus, Parkområde, Parkområde på tunnelanlæg, Gade, p-anlæg og stianlæg, Betonfliser

De arealer der ligger under og ved siden af broen, som også opbrydes, inkluderer asfalt, chaussesten, flisefortov og park-lignende areal med beplantning.

Her antages det at de asfaltbelagte vej-arealer har samme opbygning, som den der bruges for de nye anlæg af veje, og ses nedenfor.

Der er taget udgangspunkt i en midlertidig vejopbygning, da den endelige vejopbygning endnu ikke er fastlagt.



Figur 7. Benyttede vejopbygning. Kilde: Rambøll (Hovedstadens Letbane).

### Omlægning af trafik i Visionsskitse 3 - Renovering af brokonstruktion

I visionsskitse 3 forekommer der en delvis nedrivning af Bispeengbuen, hvor trafikken afvikles på den resterende del af brokonstruktionen og under broen. Ved nedrivningen vil der forekomme arbejder for at justere den omkringliggende infrastruktur til den nye brokonstruktion. Arbejdet inkluderer opbrydning af eksisterende infrastruktur og anlæg af ny infrastruktur, hvilket vil have en påvirkning på visionsskitsets miljøpåvirkninger.

Der foreligger ikke et skitseprojekt som opsummerer de arbejder der vil forekomme, derfor er arbejdsposterne for justeringen af den omkringliggende infrastruktur ikke medtaget i CO<sub>2</sub>eq-beregningerne for visionsskitse 3.

## 5 RESULTATER

I følgende afsnit præsenteres resultaterne fra livscyklusanalysen for de tre Visionsskitser og de tilhørende varianter. Resultaterne illustreres i form af tabeller og grafer. Alle beregninger og resultater kan findes i InfraLCA-Excel arkene der er vedhæftet som bilag, se tabel 4. Resultaterne er anvendt til at identificere CO<sub>2</sub>eq-mæssige hotspots, samt få et estimeret overblik over de inkluderede fasers samlede udledning af CO<sub>2</sub>eq. for de forskellige visionskitser, i omdannelsen af Bispeengen.

Visionsskitse	Beregningsark
Visionsskitse 1.1 (Scen. B kort tunnel)	InfraLCA_BEB_VS_1.1.xlsm
Visionsskitse 1.2 (Scen. B lang tunnel)	InfraLCA_BEB_VS_1.2.xlsm
Visionsskitse 2.1 (Scen. A kort tunnel)	InfraLCA_BEB_VS_2.1.xlsm
Visionsskitse 2.2. (Scen. A lang tunnel)	InfraLCA_BEB_VS_2.2.xlsm
Visionsskitse 3 (Scen. C)	InfraLCA_BEB_VS_3.xlsm
Opsummering af resultater	Resultater_oversigt.xlsx

Tabel 3. Oversigt over beregningsark i bilag. Kilde: Rambøll.

### 5.1 Sammenfatning af resultater

Resultaterne fra livscyklusanalyserne er præsenteret i den følgende tabel og er fordelt på de tre Visionsskitser og to varianter for henholdsvis Visionsskitse 1 og 2. Udledningen af drivhusgasser er opgivet i enheden "t CO<sub>2</sub>eq".

	Nedrivning af bro	Materialeproduktion (A1-A3)	Transport (A4)	Indbygning (A5)	D&V 50 år (B4)	Byggeri	Sum
	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]	[t CO <sub>2</sub> eq]
<b>Visionsskitse 1.1 (Scen. B kort tunnel)</b>	627	52.604	8.952	318	1.022	-	63.250
<b>Visionsskitse 1.2 (Scen. B lang tunnel)</b>	627	73.573	12.101	432	1.156	-	87.797
<b>Visionsskitse 2.1 (Scen. A kort tunnel)</b>	627	58.997	9.660	350	1.008	22.696	93.247
<b>Visionsskitse 2.2. (Scen. A lang tunnel)</b>	627	82.764	13.554	482	1.142	30.343	128.820
<b>Visionsskitse 3 (Scen. C)</b>	313	486	313	12	567	-	1.691

Tabel 4. Samlet udledning af drivhusgasser for alle faser i de givne Visionsskitser. Til sammenligning udleder en dansker i gennemsnit 11 ton CO<sub>2</sub>eq pr. år (Klimaministeriet, 2021). Kilde: Rambøll



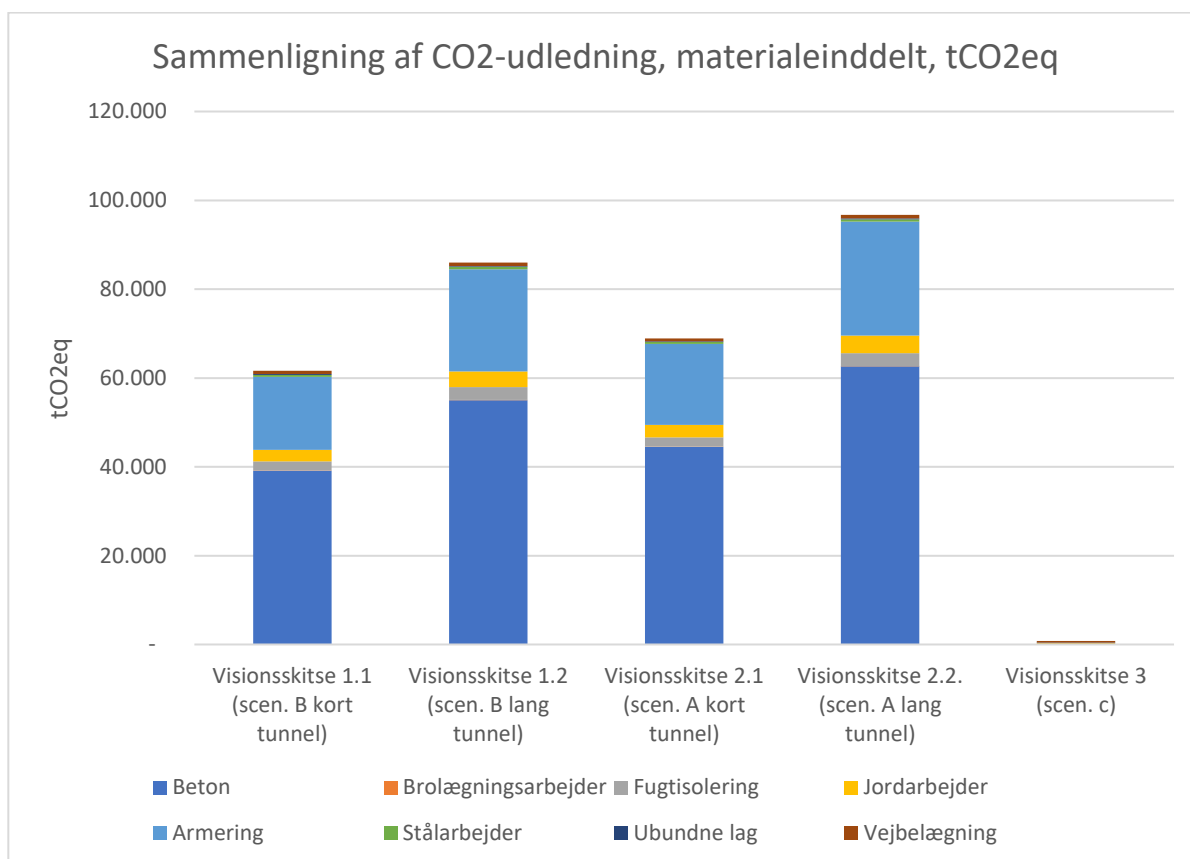
Med afsæt i tabellen kan det konkluderes at Visionsskitse 2 variant 2 er det scenarie som udleder den største mængde CO<sub>2</sub>eq. Den samlede mængde udgør 128.820 ton CO<sub>2</sub>eq, hvilket er 32% højere end scenariets modpart Visionsskitse 1 variant 2.

Det der differentierer visionsskitserne, er at der i visionsskitse 2 anlægges byggeri over tunnelen. En post der hverken forekommer i visionsskitse 1 eller visionsskitse 3. Det kan altså konkluderes at anlægget af byggeri har en stor indflydelse på det samlede tons CO<sub>2</sub>eq regnskab.

Sammenlignet med de to første visionsskitser har visionsskitse 3 en meget lille CO<sub>2</sub>eq udledning, hvilket skyldes at der ikke anlægges en tunnel i scenariet. Desuden er det også kun den halve CO<sub>2</sub>eq-udledning fra nedrivningen af den eksisterende bro, men denne post er i forvejen negligerbar i forhold til den samlede CO<sub>2</sub>eq-udledning. Se tabel 1.

### Udledning fordelt på materiale typer i faserne (A1-A5)

Den overordnede sammenligning af CO<sub>2</sub>eq-udledningen fra materialeposterne er illustreret i figuren nedenfor. Det kan konkluderes, at det er særligt beton og armering der bidrager med de væsentligste udledninger af CO<sub>2</sub>eq. I denne figur er samtlige processer der er forbundet med materiale-produktion inkluderet, samt transport og indbygning.



Figur 8. Søjlediagram for CO<sub>2</sub>eq-udledningen, fordelt efter posterne i InfraLCA. Kilde: Rambøll.

Det kan konkluderes at det er materialeproduktionen, særligt beton og armering, der bidrager med de væsentligste udledninger af CO<sub>2</sub>eq.

Beton udgør i Visionsskitse 2.1:

- $44.504/93.247 = 48\%$  af den samlede udledning.

Beton udgør i Visionsskitse 2.2:

- $62.609/128.820 = 48\%$  af den samlede udledning.

Armering udgør i Visionsskitse 2.2:

- $25.643/(128.820-30.343) = 26,0\%$  af den samlede udledning fra nedrivning og anlæg af tunnel.

Armering udgør i Visionsskitse 1.2:

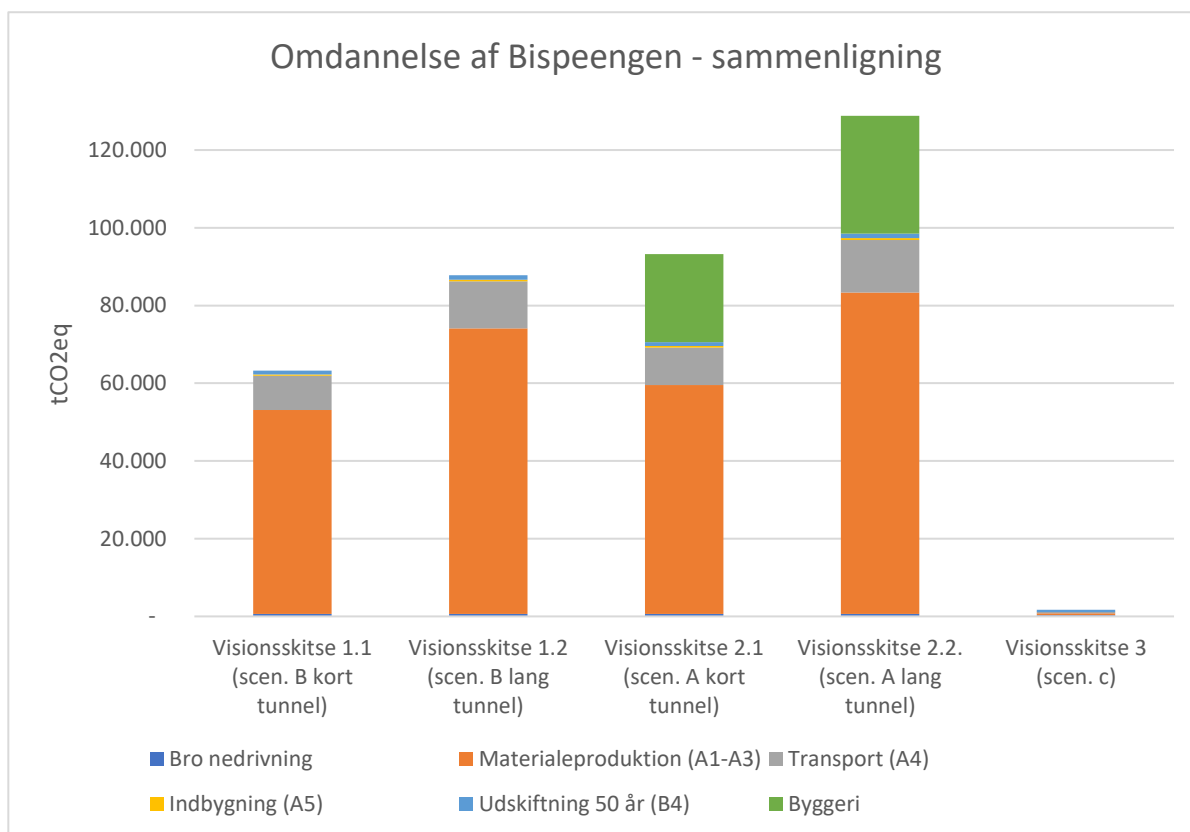
- $23.019/87.797 = 26,2\%$  af den samlede udledning.

Beton udgør i Visionsskitse 1.2:

- $55.028/87.797 = 63\%$  af den samlede udledning.

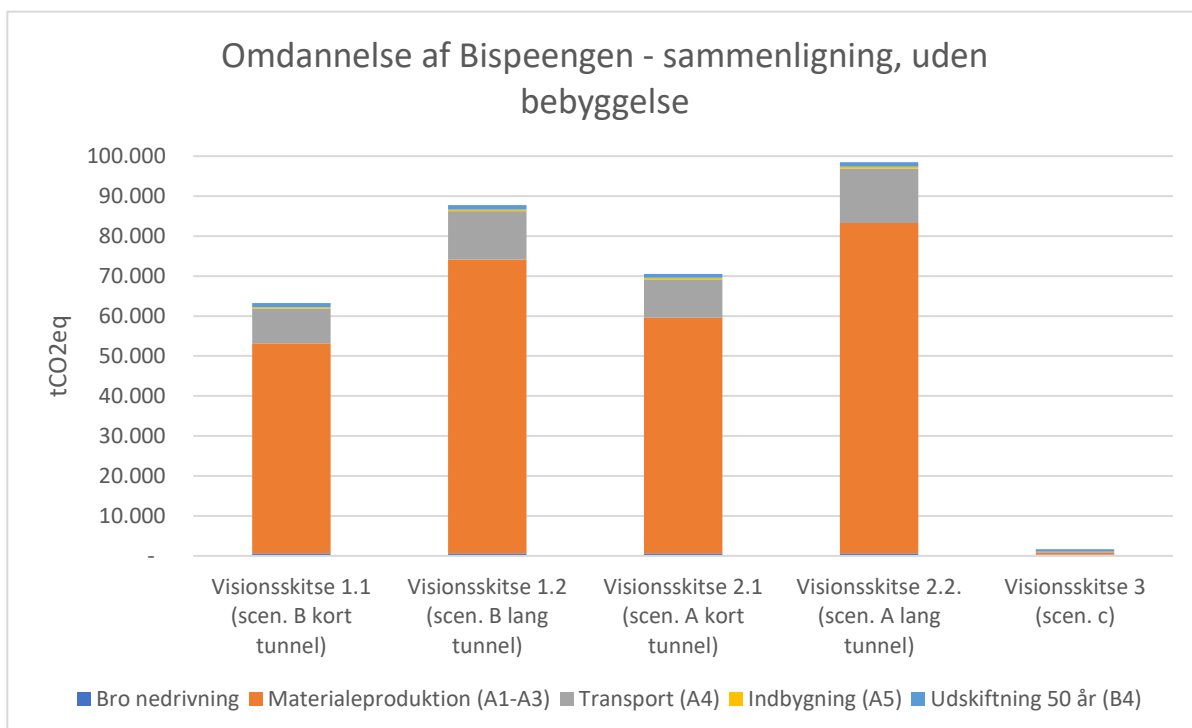
Forskellen i fraktionerne i Visionsskitse 2.2 og Visionsskitse 1.2 er givet ud fra forskellen i tunneldimensionering, da der i Visionsskitse 2.2 er dimensioneret efter bebyggelse på overfladen.

### Udledning fordelt på nedrivning, transport (A4), indbygning (A5), udskiftning (B4) og anlæg og drift af byggeri.



Figur 9. Sammenligning af de samlede visionsskitser inklusive beskrivelser af faser og bebyggelse. Kilde: Rambøll.

I ovenstående figur ses det at bebyggelsen i Visionsskitse 2 har et væsentligt bidrag til det samlede CO<sub>2</sub>eq-aftryk og især Visionsskitse 2.2, hvor der er mulighed for yderligere bebyggelse ift. 2.1, grundet den længere tunnelstrækning.



Figur 10. Sammenligning af de samlede visionsskitser med faseinddeling. Kilde: Rambøll.

Ud fra den overordnede sammenligning af scenarierne kan det konkluderes at forskellen mellem anlægget af den korte og den lange tunnel er omkring 27% i forhold til CO<sub>2</sub>eq-udledning. Desuden kan det ses at det scenario med den laveste CO<sub>2</sub>eq-udledning er Visionsskitse 3, hvor der ikke anlægges nogen tunnel, men der kun er lavet byfornyelse og små-anlæg af veje og stier.

## 6 MULIGE CO<sub>2</sub>-REDUKTIONER

### 6.1 Ideoplæg til potentielle CO<sub>2</sub>eq-reduktioner

#### Designoptimering

I denne rapport er 2 længder af tunnelen blevet belyst, en "lang tunnel" og en "kort tunnel". Rambøll har i 2017 udarbejdet et skitseprojekt for en tunnelloøsning, der er endnu kortere end den i denne rapport omtalte "korte tunnel". I Rambølls projekt er der kun lavet en overdækning af tunnelen fra ca. 70 m syd for Borups Allé til og med Nordre Fasanvej, svarende til en strækning på 400 m. Tilslutningsramperne er ikke overdækkede. Det skønnes at Rambølls forslag har et reduceret mængdeforbrug og CO<sub>2</sub>eq fodaftryk på ca. 20 % mindre end den "korte tunnel" og ca. 45 % mindre end den "lange tunnel". Sammenligningen er lavet for løsninger uden byggeri over tunnelen. Mængdeforbruget og CO<sub>2</sub>eq fodaftrykket er stærkt afhængigt af, hvor lang en tunnel, der etableres, og om ramperne overdækkes eller ej.

Designoptimeringer såsom ovenstående kan have en stor indflydelse den endelige udledning af drivhusgasser og de samlede omkostningerne, da optimeringerne reducerer behovet for anvendelsen af materialer. Udover en optimering af tunnellens linjeføring, kan bygherre forsøge at reducere mængder fra tunnelens tværprofil.

#### Materialeoptimering

Aalborg Portland har udviklet en ny cementtype kaldet FutureCem, hvis CO<sub>2</sub>eq fodaftryk for rapid cement er op til ca. 30 % mindre end basiscement, kilde Aalborg Portland. Det forventes at rapidcement er egnet til tunnelkonstruktionen. For færdigblandet udstøbt beton vurderes det at CO<sub>2</sub>eq-reduktionen er ca. 20 %. Da betonen udgør ca. 60 % CO<sub>2</sub>eq fodaftrykket, forventes det at brug af FutureCem vil kunne reducere den samlede CO<sub>2</sub>eq-udledning med ca. 12 %. Det vil kræve yderligere undersøgelser for at afgøre om FutureCem vil kunne bruges delvist eller helt til en tunnelkonstruktion under Bispeengen. Da betonforbruget på opgaven er betydeligt og har et meget betydeligt CO<sub>2</sub>eq fodaftryk, er det selvfølgelig oplagt at undersøge mulighederne for brug af cementtypen FutureCem.

Yderligere kan der sættes krav i udbudsmaterialet, til at entreprenøren skal anvende materialer der er understøttet af en EPD (Environmental Product Declaration/miljøvaredeklaration). Formålet med tiltaget er at skabe et datagrundlag der følger de krav som er præsenteret i ISO standarderne. En EPD er verificeret af en uafhængig tredjepart, hvilket giver præcis, transparent og sammenlignelig information om et produkts miljøpåvirkning i hele dets livscyklus. Udarbejdelsen af nye EPD'er kan argumenteres for at fremme anvendelsen af EPD'er i forbindelse med konstruktionen af fremtidige infrastrukturs projekter, da det vil være lettere at tilgå dokumentation for byggematerialers miljøpåvirkninger.

#### Fossilfri byggepladser

Projekt-sitetets giver gode muligheder for at indarbejde krav om en bæredygtig byggeplads, hvor man kan indarbejde fossil eller emissionsfrie drivmidler til maskineriet på sitet. Bispeengens placering understøtter muligheden for at sikre forsyningen af både elektricitet og HVO til de maskiner der bruges i projektet. Implementeringen af bæredygtige drivmidler til maskinerne gavner både i forhold til emissioner, støj og støv/partikler, hvor især el-maskineriet har store fordele på de givne parametre. Desuden vil det kunne gavne projektets udførelsesfase at inddrage lokale interessenter i forhold til gener og logistik, når et så centralt by-element skal renoveres.

Kombinationer af ovenstående ideoplæg til CO<sub>2</sub>eq-reduktioner vil forventeligt kunne reducere CO<sub>2</sub>eq aftrykket signifikant.

### **Udbudsmateriale**

Ved at implementere bæredygtighed som et tildelingskriterie i projektets udbudsmateriale, kan det være ekstra gevinster at hente i forhold til bæredygtighed. Der kan stilles krav til at entreprenøren skal levere en redegørelse for deres bæredygtighedsindsatser i projektet, samt eventuelle overvejelser i forhold til bæredygtigt materialebrug. Der er god mulighed for at søge inspiration i Kolding Kommunes Marina City projekt, hvor bæredygtighed har udgjort 25% af vægtningen af opgavens tildeling. I det konkrete projekt skulle entreprenøren redegøre for den medførte CO<sub>2</sub>eq-udledning fra anlægget. De bydendes overslag varierede meget, og den vindende tilbudsgivers overslag udgjorde en fjerdedel af det højeste overslag. Som eksemplet foreskriver, giver dette mulighed for at bruge bæredygtighed og specifikt, CO<sub>2</sub>eq-udledninger, som konkurrenceparameter.

## 7 REFERENCER

- Bolig og Planstyrelsen. (2022, Februar). *National strategi for bæredygtigt byggeri*. Retrieved from Bolig og Planstyrelsen Om bæredygtigt byggeri:  
<https://www.trafikstyrelsen.dk/da/Byggeri/Baeredygtigt-byggeri/Om-baeredygtigt-byggeri#national-strategi-for-baeredygtigt-byggeri>
- Christensen, N. N. (2022, Marts 07). Beregning af tid på nedrivning af beton konstruktion. (K. M. Iversen, Interviewer)
- EY og MOE. (2019). *Analyser af alternativer til Bispeengbuen*,. EY.
- Klimaministeriet. (2021, 4). *Klima, energi og forsyningsministeriet*. Retrieved from Første officielle vurdering af Danmarks globale klimaaftryk:  
<https://kefm.dk/aktuelt/nyheder/2021/apr/foerste-officielle-vurdering-af-danmarks-globale-klimaaftryk>
- Rambøll. (2020). *Trafikal analyse af delvis nedrivning af Bispeengbuen*. København: Rambøll Danmark.
- Tegnestuen Vandkunsten. (2022). *Visionsskitser - Omdannelse af Bispeengen*.
- Vejdirektoratet. (2022, 01). *Vejdirektoratet*. Retrieved from InfraLCA:  
<https://www.vejdirektoratet.dk/infralca>
- Volvo. (2022). *Fuel efficiency guarantee*. Retrieved from Volvoce:  
<https://www.volvoce.com/united-states/en-us/services/volvo-services/fuel-efficiency-services/fuel-efficiency-guarantee/>