

Carmina Sønsterud  
Frida Graneng

# Bærekraftig tunneldriving - Miljøregnskap for stabilitetssikring og maskinbruk i tunnel

Sustainable Tunneling - Environmental Accounts for Rock  
Support and Machine Use in Tunnels

**Mai 2022**

## **NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg - og miljøteknikk







Carmina Sønsterud  
Frida Graneng

# **Bærekraftig tunneldriving - Miljøregnskap for stabilitetssikring og maskinbruk i tunnel**

Sustainable Tunneling - Environmental Accounts for Rock  
Support and Machine Use in Tunnels

Bacheloroppgave  
Mai 2022

**NTNU**

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg - og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden



## **Bærekraftig tunneldriving - Miljøregnskap for stabilitetssikring og maskinbruk i tunnel**

Sustainable Tunneling - Environmental Accounts for  
Rock Support and Machine Use in Tunnels

**Trondheim Mai 2022**

**Studenter:**

Frida E. F. Graneng  
Carmina J. C. Sønsterud

**Intern veileder:**

Omar Sabri

**Ekstern veileder:**

Stein Håvard Bjøru

Prosjektnr:

2022 - 43

Rapporten er åpen



Fakultet for ingeniørvitenskap

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Rapporten er åpen

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og mål

Oppgaven skal ta for seg klimagassutslipp ved tunneldriving på Skogertunnelen. Her skal oppgaven kun vurdere utslippet fra materialene brukt i stabilitetssikringen og drivstoffet benyttet til maskinene i tunnelen.

Gjennom denne oppgaven skal gruppen utarbeide to klimaregnskap, et for sikring og et for maskiner. Regnskapet lages for å kunne finne de største bidragsyterne til utslippet på prosjektet. I tillegg skal sektordiagram lages for å kunne tydeliggjøre hvor det største utslippet ligger. Videre innhentes det data og informasjon, og det gjennomføres intervju for å gjøre nødvendige beregninger og vurderinger.

Stikkord:

- Klimagassutslipp
- Stabilitetssikring
- Drivstoff
- Tunneldriving
- Klimagassregnskap

Resultatmål

Resultatmål beskriver hva som ønskes å oppnå med oppgaven.

Oppgavens resultatmål:

- Utvikle et klimaregnskap
- Finne bidragsyterne til klimagassutslippene

Effekt mål

Effekt mål beskriver den ønskede, langsiktige effekten av oppgaven.

Oppgavens effekt mål:

- Kutte klimagassutslipp
- Blir mer bærekraftig
- Oppnå null nettutslipp

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet av to studenter, Frida E. F. Graneng og Carmina Sønsterud, som ender sin bachelorgrad i bygg på NTNU i Trondheim våren 2022. Studentene har det siste året av bachelorgraden spesialisert seg innen anleggsteknikk, og tidligere studert henholdsvis logistikk og økonomi.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Veidekke. Forfatterne håper at denne oppgaven vil bidra til å nå Veidekkes klimamål, som står i stil med FNs bærekraftsmål, og hjelpe bransjen med nye ideer i en enda mer bærekraftig retning.

En stor takk til vår interne veileder, universitetslektor Omar Sabri, og hjelpeveileder professor Amund Bruland, som har bistått med god hjelp til oppgaven. Gruppen ønsker også å takke den eksterne veilederen, prosjektsjef i Anlegg hos Veidekke, Stein Håvard Bjøru, som har bidratt med informasjon, data og god veiledning.



## Sammendrag

Anleggsbransjen står for store deler av det totale globale klimautslippet. Her må noe gjøres for å kutte utslippene. Veidekke er en av Skandinavias største entreprenører med stor påvirkningskraft og har muligheten til å rette bransjen mot mer klimavennlige valg.

Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Veidekke og omhandler temaet klima. Den tar for seg klimagassutslipp ved tunneldriving. Her er målet å finne bidragsyterne til utslippet. Fokusområdene for utslippene er materialene brukt i sikring og drivstoff til maskinene brukt i tunnelen.

Veidekke har tildelt et referanseprosjekt for oppgaven. Utslippene skal baseres på UDK01 Skogertunnelen, en 6 km lang bergtunnel lokalisert i Drammen.

For å kunne finne de store bidragene til utslippet er det blitt utviklet to klimaregnskap. Et for materialene brukt i stabilitetssikringen på tunnelen og et for drivstoffet brukt på maskinene inne i tunnelen. Her er det hentet data og informasjon fra Veidekke, både regnskap, EPDer og andre nødvendige dokumenter. Klimaregnskapet baseres på mengder og GWP-verdier for de enkelte elementene som skal vurderes. For å kunne tydeliggjøre grafisk hvor utslippene kommer fra er sektordiagram laget for regnskapene.

Klimaregnskapet viser hvor de store utslippene ligger. Her er de største driverne betong og biodiesel. Veidekke kan benytte et annet materiale eller kutte mengden betong på prosjektet for å redusere utslippene. Videre kan bedriften også kun operere med elektriske maskiner, noe som vil kutte utslippene drastisk.

## Abstract

The construction industry is accountable for a large amount of the total global greenhouse gas emissions. Something must be done to cut the emissions. Veidekke is one of Scandinavia's largest contractors with great influence and has the opportunity to lead the industry towards more climate friendly choices.

This thesis is written in collaboration with Veidekke and the topic is climate and look at the greenhouse gas emissions from tunneling. The goal is to find the biggest contributor to the emissions. The focus areas in this thesis are the materials used in the selected rock support and fuel for the machines used in the tunnel.

To solve the question in the thesis, Veidekke has given a reference project. The emissions will be based on the project UDK01 Skogertunnelen, a 6 km long rock tunnel located in Drammen, Norway.

In order to find the major contributions to the greenhouse gas emissions, two environmental accounts have been developed. One for the materials used in the rock support in the tunnel and one for the fuel used on the machines inside the tunnel. Data and information have been obtained from Veidekke, also environmental accounts, EPD documents and other necessary documents. The environmental accounts are based on quantities and GWP values for the individual element . To clarify where the emissions come from, a sector diagram has been made from the accounts.

The environmental accounts show the largest contributor for the emissions. The result from these accounts shows that the biggest contributor is concrete and biodiesel. Veidekke can use another material or cut the amount of concrete on the project to reduce emissions by choosing another alternative for rock support. Furthermore, the company can also only operate with electrical machines, which will cut emissions drastically.

# Innholdsfortegnelse

Problemdefinering, prosjektbeskrivelse og mål .....	2
Forord.....	3
Sammendrag .....	4
Abstract.....	5
Begrepsavklaring.....	10
1 Innledning .....	11
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	11
1.2 Presentasjon av bedriften .....	11
1.3 UDK01 Skogertunnelen .....	12
1.3 Problembeskrivelse.....	13
1.4 CO2-utslipp i anleggsbransjen .....	14
1.5 Mål .....	14
1.6 Avgrensninger .....	15
1.7 Oppgavens disposisjon.....	15
2 Teori .....	16
2.1 Rapporter gitt av Veidekke .....	16
2.1.1 Ingeniørgeologisk rapport.....	16
2.1.2 Klimagassregnskap .....	16
2.1.3 EPD .....	16
2.2 Klimamål .....	17
2.2.1 FNs bærekraftsmål .....	17
2.2.2 Veidekkes mål .....	17
2.3 Materialer .....	18
2.3.1 Betong.....	18
2.3.2 Stål.....	19
2.3.3 Sprengstoff - emulsjon .....	19
2.4 Forhold som påvirker valg av sikring.....	20
2.5 Sikring i tunnel .....	20
2.5.1 <i>Bolting</i> .....	20
2.5.2 <i>Sprøytebetong</i> .....	21
2.5.3 <i>Full utstøping</i> .....	23
2.5.4 Injeksjon .....	23
2.5.5 Rensk.....	24
2.6 Byggefase .....	24
2.7 Maskiner brukt i tunnelen .....	25

2.7.1 Hjullaster .....	25
2.7.2 Borerigg .....	26
2.8 Alternativer til drivstoff.....	26
2.8.1 Diesel.....	26
2.8.2 Biodiesel.....	26
2.8.3 Elektrisitet .....	27
2.8.4 Hydrogen.....	27
3 Metode.....	28
3.1 Litteraturstudie .....	28
3.2 Informasjon fra Veidekke.....	28
3.2.1 Møter .....	28
3.2.2 Data .....	29
3.2.3 Feilkilder.....	29
3.2.4 Prosjektbesøk.....	29
3.3 Intervju.....	29
3.4 ExCel.....	30
3.5 Idémyldring .....	30
4 Hoveddel .....	31
4.1 Intervju.....	31
4.1.1 Ole Kristian Egge - Driftsleder på UDK01 fra veidekke .....	31
4.1.2 Helene Strømsvik - Forsker for Sintef .....	32
4.1.3 Håvard Kjerkjøl og Hanne Elisabeth Wiig - miljørådgiver og prosjektleder på UDK01 fra BaneNor .....	33
4.2 Skogertunnelen.....	34
4.3 Beskrivelse av klimaregnskapet .....	35
4.3.1 "Stabilitetssikring" .....	35
4.3.1 "Utregning av sikring" .....	36
4.3.2 "Maskin" .....	36
5 Resultat .....	37
5.1 Klimaregnskap for stabilitetssikring.....	37
5.2 Klimaregnskap for maskinbruk .....	42
6 Diskusjon .....	44
6.1 utfordringer i klimaregnskapet.....	44
6.2 Avvik.....	45
6.3 Muligheter .....	46
6.4 Videre arbeid.....	47

7 Konklusjon.....	48
8 Referanser.....	49
9 Vedlegg.....	52

## Figurliste

Figur 1: Tunneltraseen .....	13
Figur 2: Byggefasene. ....	24
Figur 3: Illustrasjon av kontaktstøpt betonghvelv med membran, hentet fra BaneNor. ....	35
Figur 4: Det totale materialutslippet. ....	37
Figur 5: Utslipp for betongmaterialer. ....	38
Figur 6: Utslipp for lining.....	39
Figur 7: Utslipp for kalksement og injeksjonsmasse. ....	40
Figur 8: Utslipp for stål.....	40
Figur 9: Utslipp for sprengstoff. ....	41
Figur 10: Utslipp for maskinbruk i tunneldriving. ....	42
Figur 11: Utslippsfaktor for maskinbruk i tunneldriving. ....	43
Figur 12: Maskinbruk i tunneldriving. ....	43

## Tabelliste

Tabell 1: Oppgavens disposisjon .....	15
Tabell 2: Verdier for hjullastere. ....	25
Tabell 3: Oversikt over regneark i klimaregnskapet. ....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>

## Begrepsavklaring

<b>Forkortelser og begreper</b>	<b>Betydning/forklaring</b>
EPD	Environmental product declaration
GWP	Global warming protencial, er enheten som brukes for å beskrive et produkts forurensningsegenskap, oppgitt i kg CO2 ekvivalenter.
Tverrslag	Horisontal gruvegang som går på tvers av tunnelens lengdegang

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Dette prosjektet skal gjennomføres i samarbeid med Veidekke. Vi tok selv kontakt med de for et eventuelt bachelorsamarbeid. Veidekke er en av de største entreprenørene i Skandinavia innen bygg og anlegg, og størst i Norge. De driver virksomhet for både private og offentlige kunder, og omsetter for om lag 37 milliarder norske kroner. Veidekke ytret en stor interesse for et samarbeid om en bacheloroppgave med fokus på klima.

Veidekke har flere store pågående prosjekt og en felles utfordring er klima. Stort CO<sub>2</sub>-utslipp og høye kostnader er et evigvarende problem i anleggsbransjen. Etter ønske fra bedriften skal oppgaven se på klimagassavtrykk og maskinbruk knyttet til driving av tunnel. Veidekke har et samarbeid med SINTEF om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet med 50% innen 2030, der referanseåret er 2015. Dette er for å oppnå FNs togradersmål, som senere ble skjerpet til 1,5 gradersmål i Parisavtalen.

Etter et møte med Veidekke, ble et prosjekt tildelt, som bacheloroppgaven skal baseres på, UDK01 Skogertunnelen i Drammen. Dette prosjektet er en ny dobbeltsporet jernbanetunnel der byggherren er Bane Nor. En del av banen går gjennom berg og det utbedres derfor en bergtunnel.

## 1.2 Presentasjon av bedriften

Veidekke er en stor aktør i bygg- og anleggsbransjen, de leverer også asfalt, pukk og grus. Entreprenøren har rundt 8000 ansatte og omsetter for flere milliarder norske kroner.

Veidekke ble stiftet 6.februar 1936. Virksomheten startet med brolegging i Østfold og deretter veiforbedringer. De drev hovedsakelig med veiarbeid frem til 70-tallet. Deretter, på 80-tallet ble Veidekke en selvstendig, riksdekkende entreprenør. Aker Entreprenør kjøpte bedriften i 1991, noe som førte til at omsetningen doblet seg og sørget for stor vekst for selskapet. I dag er Veidekke ASA en rendyrket entreprenør.



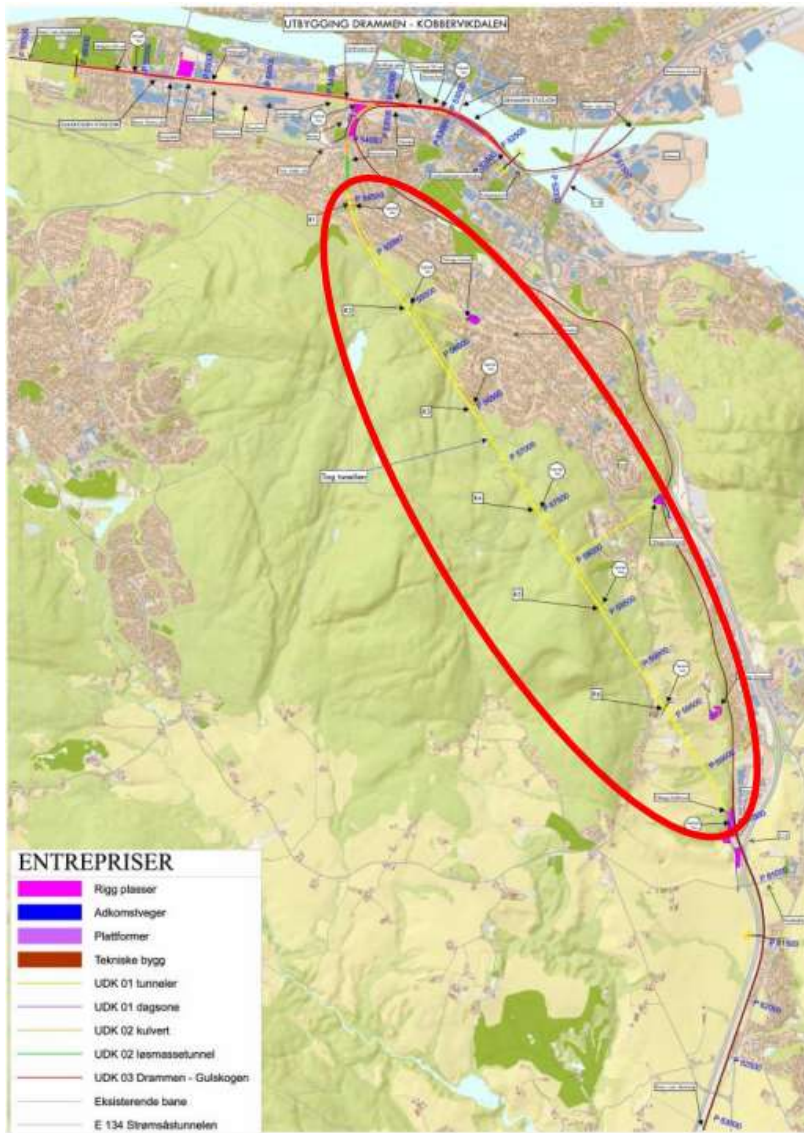
Bedriften har til enhver tid mange prosjekter på gang samtidig i hele Skandinavia. De ferdigstilte kabeltunnelen Smestad – Sogn i 2020, verdens første fossilfrie tunnelprosjekt. Veidekke har også bidratt i byggeprosjekter som operahuset og Munchmuseet i hovedstaden i Norge.

Byggherren for referanseprosjektet er BaneNor. De er en statlig bedrift som bygger, drifter og vedlikeholder den norske jernbaneinfrastrukturen.

### 1.3 UDK01 Skogertunnelen

Oppgavens referanseprosjekt er UDK01 Skogertunnelen i Drammen. På dette prosjektet er BaneNor byggherre og Veidekke entreprenør. Tunnelen er en dobbeltsporet jernbanetunnel koblet til Vestfoldbanen. Prosjektet hadde oppstart i 2018 og skal ferdigstilles i 2023.

UDK01 er en bergtunnel som har en lengde på ca. 6 km, fra Strømsåsen til Gulliksrud. Den totale lengden av hovedtunnelen er på ca. 7 km, hvorav ca. 540 m er betongkuvlert og ca. 270 m er løsmassetunnel. Tunnelen inneholder to tverrslag og en evakueringstunnel. Det bygges også evakueringstunneler parallele med bergtunnelen. Tverrslagene er 9 meter brede og 7,5 meter høye med et teoretisk sprengningstverrsnitt på 60 m<sup>2</sup>, mens evakueringstunnelen er 5,4 meter bred og 5,14 meter høy med et teoretisk sprengningstverrsnitt på 25 m<sup>2</sup>. Bergtunnelen er 13,9 meter bred og 8,5 meter høy med et teoretisk sprengningstverrsnitt på 123 m<sup>2</sup>.



Figur 1: Tunneltraseen

### 1.3 Problembeskrivelse

Problemstillingen for denne oppgaven lyder følgende:

*Hva er de største bidragsyterne til klimagassutslipp ved tunneldriving?*

Etter ønske fra Veidekke skal oppgaven sette fokus på klima knyttet til sikringstiltak og maskinbruk inne i tunnelen. Ønske er å gjøre disse tiltakene og bruken av maskiner i tunnelen mer bærekraftig for å kunne oppfylle FNs bærekraftsmål.

En ambisjon for fagfeltet er at tunneldriving skal være lønnsomt for både entreprenøren og miljøet. Her må noen ta ansvar og gå frem som en rollemodell, det er en rolle Veidekke er villig til å gripe. Problemstillingen tar utgangspunkt i Skogertunnelen, UDK01, i Drammen.

Her vil oppgaven sette fokus på sikring og maskiner for å kunne finne driverne til utslippene og da eventuelt redusere dette.

#### 1.4 CO<sub>2</sub>-utslipp i anleggsbransjen

I følge Tekna utgjør CO<sub>2</sub>-utslippene fra bygg- og anleggsvirksomheten ca. 15% av det norske klimautslippet og 40% av det globale utslippet. Det er flere elementer i anleggsbransjen som sørger for de store utslippene, som for eksempel valg av maskiner, transport og materialbruk.

Målet er å finne løsninger for dette problemet for å kutte utslippene og gjøre bransjen mer bærekraftig. Bygg- og anleggsvirksomheten utgjør en stor del av det norske klimautslippet, dermed kan tiltak i bransjen være nødvendig for å oppnå en varig endring.

“Ved å stille klimakrav til bygg- og anleggsprosjekter kan det skapes et marked for fossilfrie materialer, som igjen kan bidra til å styrke den grønne konkurransekraften til norske leverandører” (Zero, åå). Gjennom denne uttalelsen er det tydelig at det er forbedringspotensial i bransjen, og flere tiltak må iverksettes for å kutte utslippet.

#### 1.5 Mål

Målene for oppgaven er basert på Veidekkes ønsker og problemstilling. Ønske med oppgaven er å finne bidragsyterne for klimagassutslippene ved tunneldriving for å kunne oppfylle Veidekkes og FNs mål om å kutte i CO<sub>2</sub>-utslippet. Det er også ønskelig at disse løsningene skal være gunstig for både miljøet og entreprenøren. Det skal være attraktivt for anleggsbransjen å tenke bærekraftig. Dermed er det en stor fordel å samarbeide med Norges største entreprenør som kan sette standarden for bransjen, og sørge for at andre følger etter.

## 1.6 Avgrensninger

Oppgavens tidsdisposisjon er fem måneder, perioden strekker seg fra januar til mai 2022. På grunn av tidsrammen og etter samtaler med Veidekke har det blitt bestemt å avgrense oppgaven. Problemstillingen skal kun fokusere på sikring og bruken av maskiner i tunnelen. Ved sikring menes betongelementer, sprøytebetong og utfyllingsmasser, injeksjonsmasser, membran og bolter. Med maskiner i tunnelen menes alt skal brukes direkte i tunneldrivingen, for eksempel borerigg, hakker og hjullastere.

## 1.7 Oppgavens disposisjon

Tabellen under viser en oversikt over oppgavens oppbygging og disposisjon. Dette er for å få en forståelse og et overblikk over kapitler og innhold.

Kapittel	Beskrivelse
Kapittel 1: Innledning	Presentasjon av bedriften og bakgrunn for oppgaven. Valg av problemstilling, mål og avgrensninger.
Kapittel 2: Teori	Relevant teori som støtter oppgaven.
Kapittel 3: Metoder	Metoder anvendt i oppgaven.
Kapittel 4: Hoveddel	Presentasjon av klimaregnskapet og intervjuene.
Kapittel 5: Resultat	Resultater hentet fra klimaregnskapet.
Kapittel 6: Diskusjon	Diskusjon av funn og resultater hentet fra regnskapet og intervju.
Kapittel 7: Konklusjon	Oppsummering av oppgaven.
Kapittel 8: Referanser	Referanser benyttet i rapporten.
Kapittel 9: Vedlegg	Vedlegg.

Tabell 1: Oppgavens disposisjon

## 2 Teori

Dette kapitlet tar for seg relevant teori for problemstillingen og danner grunnlaget for oppgaven. Kapitlet inneholder teori om data hentet fra Veidekke, klimamål og materialer. Videre presenteres teori om sikringstiltak i en tunnel og dens viktighet. Kapitlet tar også for seg drivstoff og maskiner brukt i tunnelen. Dette kapitlet brukes til inspirasjon og støtte til diskusjon av oppgaven.

### 2.1 Rapporter gitt av Veidekke

Som nevnt i kapittel x.x er oppgaven basert på et referanseprosjekt, UDK01 Skogertunnelen i Drammen. Det er da blitt utdelt informasjon fra dette prosjektet i form av rapporter, regnskap og EPDer. Så all informasjon om mengder, materialer, størrelser og kostnader brukt i denne rapporten er hentet fra utdelte dokumenter på UDK01 gitt av Veidekke.

#### 2.1.1 Ingeniørgeologisk rapport

En ingeniørgeologisk rapport utarbeides på bakgrunn av grunnundersøkelser utført på den eventuelle prosjektplassen. Grunnundersøkelser utføres for å karakterisere og kartlegge bergmassen og forholdene i området. Dette arbeidet brukes da som grunnlag i denne rapporten.

Veidekke har utarbeidet en slik ingeniørgeologisk rapport på prosjektet, UDK01 Skogertunnelen. Informasjon fra denne rapporten er studert, evaluert og eventuelt brukt i videre arbeid med oppgaven.

#### 2.1.2 Klimagassregnskap

Klimagassregnskapet som presenteres senere i rapporten er basert på klimagassregnskap for UDK01 gitt av Veidekke. Dette regnskapet er siste reviderte versjonen fra mars 2022.

#### 2.1.3 EPD

For å kunne regne på utslippene ved sikring og materialer er det blitt hentet EPD på dette. En EPD, environmental product declaration, er en tredjepartsverifiseringsdokument som inneholder informasjon om et produkts miljøprestasjon gjennom livssyklusen (EPD-Norge, 2022). I disse dokumentene er det hensiktsmessig å bruke enheten GWP, global warming potensial, den angir den akkumulerte oppvarmingseffekten i forhold til  $CO_2$  over et tidsrom. Tallene hentet ut fra disse EPDene brukes videre i klimaregnskapet, presentert i kapittel 5.

## 2.2 Klimamål

### 2.2.1 FNs bærekraftsmål

FNs bærekraftsmål går hovedsakelig ut på tre aspekter; utrydde fattigdom, bekjempe ulikheter og stoppe klimaendringene (FN, 2021). Disse målene skal være oppfylt innen 2030, her er bærekraftsmål nr. 13 "stoppe klimaendringene" satt i fokus. I juni 2021 la Norge fram en rapport for FN for hvordan dette skal oppnås. Norge har bestemt å begrense en oppvarming på 1,5 grader celsius. Ifølge regjeringen er de viktigste kildene til utslipp av klimagasser olje- og gassnæringen, transport og industri.

Siden 1850 har den globale gjennomsnittstemperaturen økt med ca. 1 °C. I 2015 kom den første skriftlige bindende kontrakten om å begrense temperaturen til 2 °C sammenliknet med førindustrielt nivå og helst komme ned på 1,5 °C (regjeringen, 2021). Problemet med klimaendringene er at det har konsekvenser for planeten vår som blir rammet på ulikt vis og på ulike steder. Noen får mer ekstremvær, og andre får mindre regnværsperioder og mer tørke. Dette vil spesielt være vanskelig i utviklingsland, som ikke like lett kan tilvenne seg en slik endring på lik linje med industrielle land som Norge. Dette kan igjen føre til folkegrupper på flukt på grunn av klima, fordi livsgrunnlaget deres blir svekket. Klimaendringene kan da i samspill med andre faktorer føre til mer uro og i verste fall krig. Ved at alle land i verden gjør gripende endringer kan vi stoppe klimaendringene, og ved å redusere temperaturøkningen til kun 1,5 °C vil de verste konsekvensene bli kraftig redusert.

### 2.2.2 Veidekkes mål

Veidekke tar utgangspunkt i FNs bærekraftsmål. De vil redusere klimagassavtrykket i samsvar med Pariseravtalen og Science Based Target, som går ut på å følge vitenskapelig satte klimamål. De ønsker også å halvere klimagassutslippet innen 2030, slik at de i 2045 kan være klimanøytrale.

Det blir årlig lagt fram en rapport om hvordan Veidekke påvirker miljø, klima og samfunnet. Hvordan Veidekkes klimabevisste valg påvirker dem og hvordan de møter denne eventuelle risikoen i et forretningsmessig aspekt. På denne måten vil Norges største entreprenør kunne lede som et eksempel til en grønnere bransje.

I 2015 forpliktet Veidekke seg til å drive forretningene sine i samsvar med FNs togradersmål, og som et av tiltakene skal drivstoffet være fossilt fritt, som vil si å få inn biodiesel, elektrisitet og hydrogen.

## 2.3 Materialer

Her presenteres ulike materialer som blir vurdert og beregnet i klimaregnskapet.

Skal vi klare å løse klimautfordringene, må alle de som bygger ut med veldig klimaintensive materialer få ned utslippene. Da må de også måles på det, sier Guro Hauge i Zero til NRK. Videre i samme artikkel fra NRK mener Zero at beregninger de har fått utført av Asplan Viak i samarbeid med Veidekke, viser at utslippene fra bygging av vei og jernbane kan reduseres kraftig ved bruk av riktige materialer.

### 2.3.1 Betong

Betong er et av de vanligste og mest anvendelige byggematerialene vi har. Betong er vann og sement, med tilslag av sand, stein eller pukk, sementen reagerer med vannet og dermed stivnes det til betong. Betong brukes både i prefabrikerte elementer som søyler og bjelker, men også i større konstruksjoner som broer, kaier og tunneler.

Ifølge en artikkel skrevet i TUbygg, står betong for 5% av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp. Tor Arne Martius-Hammer ved Sintef Byggforsk sier til TUbygg at CO<sub>2</sub>-utslippet per kilo betong ikke er særlig høyt sammenliknet med andre byggematerialer. Problemet er at det brukes i mye større grad enn andre materialer og dermed er utslippet svært høyt. Her må noe gjøres, derfor ser forskere, entreprenører og leverandører på andre muligheter.

Betong er et av Veidekkes mest brukte materialer i både bygg- og anleggsprosjekter. De arbeider med å utvikle mer miljøvennlige betongsammensetninger i samarbeid med betongprodusenter. Dette kalles lavkarbonbetong, betong produsert med tiltak for å redusere karbonavtrykket.

#### 2.3.1.1 Sement

Sement er et mineralsk bindemiddel med adhesive egenskaper. Dette betyr at sement brukes til å binde andre materialer sammen. Materialet herder når det blir tilsatt vann, selv under vann.

Sement er en blanding av flere ulike stoffer og produseres gjennom en kjemisk prosess. Sement kan inneholde pulverisert kalk, jern, silisium og aluminium, hvorav kalk er "hovedingrediensen" i sement. Disse stoffene smeltes i ovner og blir omdannet til klinker som senere blir malt opp. Dette sluttproduktet benyttes for å blande ut sement. Sementen brukes som bindemiddel i både betong og mørtel.

Ifølge IEA er de årlige CO<sub>2</sub>-utslippene knyttet til sementproduksjon 2,4 milliarder tonn. Mesteparten av dette utslippet kommer fra kalsineringsprosessen ved fremstilling av sement. Ved å erstatte klinker, eller deler av klinkeren, med et annet materiale kan utslippene reduseres.

#### 2.3.2 Stål

Stål består hovedsakelig av jern og karbon. Det finnes mange ulike ståltypene med forskjellige egenskaper og bruksområder. Egenskapene i stål bestemmes av legeringselementer, nivå av urenheter og mengden karbon. De vanligste ståltypene inneholder 0,1 prosent til 0,25 prosent karbon, men innholdet kan variere fra 0,1 prosent til 1,5 prosent.

Stål er et allsidig og anvendbart konstruksjonsmateriale. Det kan brukes i både store konstruksjoner og i små ting, som for eksempel binders.

#### 2.3.3 Sprengstoff - emulsjon

Emulsjon er en blanding av to stoffer som ikke er fullstendig løselig med hverandre, som for eksempel vann og olje. Hovedkomponentene i emulsjon er vann og ammoniumnitrat, disse er ikke løselig med hverandre.



## 2.4 Forhold som påvirker valg av sikring

Forhold som bestemmer valget av sikring i en tunnel, er hovedsakelig bergforholdene og stabiliteten i fjellet. Først og fremst er det viktig at bergmassen klassifiseres for å få en rangering og oversikt over bergkvaliteten. Ved en bergmasseklassifisering får man også en pekepinn på stabilitetsproblemene i berget. Hovedårsaken til behovet for sikring i tunnel og bergrom er stabilitetsproblemer. Faktorer som påvirker bergets stabilitet er materialeegenskaper, vannforhold, spenningsforhold, bergets geologi og geometri og rystelser ved sprengning.

Andre faktorer som påvirker valget av sikring, er kravet til kort- og langtidssikring. Skal berget kun sikres ved driving, altså arbeidssikring, eller er det sikring som skal være der permanent, her brukes forskjellige metoder. Tilgjengeligheten av sikringsmiddel kan også påvirke valget, noen materialer og verktøy er vanskeligere og kostbart å oppdrive enn andre. Andre faktorer kan i tillegg være hensyn til fremdrift, erfaring og kostnader.

For å kunne vite behovet for sikring og hvordan tiltakene skal dimensjoneres finnes det ulike hjelpemiddel. Ved dimensjonering av sikring for norske tunneler anvendes Q-metoden og RMR, Rock Mass Rating.

## 2.5 Sikring i tunnel

Før en påbegynner sprengning og driving av en tunnel må det gjennomføres geologiske forundersøkelser. Disse undersøkelsene skal fortelle noe om kvaliteten på berget og gir en indikasjon på hva man kan forvente. Undersøkelsene skal i hovedsak kartlegge bergets evne til å sikre og stabilisere og da hvilke sikringstiltak som må prosjekteres og dimensjoneres. De ulike sikringstiltakene for bergrom og tunneler, blir presentert i dette kapittelet.

### 2.5.1 Bolting

Bolting er den billigste og mest brukte metoden for sikring av fjell. Bolter kan brukes på tunneler og bergrom med ulik geometri og brukes ofte i kombinasjon med andre sikringstiltak. Boltene er enkle å installere noe som gjør de kostnadseffektive, de kan ha ulik

størrelse og virkemåte. Ved bolting henges ustabile blokker opp i bolter ved at de borres gjennom de usikre blokkene og festes i stabile bergmasser.

I 1950-årene ble bolting anerkjent som en brukbar sikringsmetode for berg, men ble for første gang tatt i bruk på 1870-tallet. Siden den gang har bolting som fjellsikring vært i stadig utvikling, i form av materialer, utstyr og metoder.

“Det er ofte store spenninger i fjellet, som vil kunne medføre store lastpåkjenninger på eventuelle sikringsmidler. Fjellet bør derfor i størst mulig grad bære seg selv, og bolter og andre sikringsmidler skal hjelpe fjellet å bli selvbærende.” (Statens vegvesen, håndbok 215)

I bergtunneler skiller vi mellom fire ulike metoder for bolting; systematisk bolting, spredt bolting, forbolting og bolting foran stuff. Ved systematisk bolting settes boltene inn i et mønster eller ved kort bolteavstand. Denne metoden brukes som oftest ved vanskelige fjellforhold eller ved tett til moderat oppsprukket berg. Ved spredt bolting plasseres hver bolt for å sikre en ustabil blokk eller blokksamling. Metoden brukes som oftest for grovblokkig til moderat oppsprukket berg. Alternativet forbolting brukes i svakhetssoner og ved liten fjelloverdekning, altså i berg med lav stabilitet. Forbolting brukes for å unngå ras i stuff og heng for å bevare profilet etter sprengning. Massen hviler på boltene som danner en “bro”, dette er inntil annen sikring er installert, som for eksempel sprøytebetong eller permanente bolter. Til slutt, bolting foran stuff brukes for å beholde tunnelprofilet ved fare for ras av blokker ved sprengning.

### 2.5.2 Sprøytebetong

Sprøytebetong er et viktig element ved bygging og sikring av en tunnel og har med tiden blitt rask og enkel å bruke. Sprøytebetong er en metode for å påføre betong på overflater. Det er et fleksibelt materiale som er veldig anvendelig. Sprøytebetong brukes ikke kun til sikring i tunneler og bergrom, men også på fasader, murer og vegger.

De viktigste kravene til sprøytebetong for at den skal være effektiv for bergsikring er høy tidligfasthet. Betongen må også tilfredsstillere krav til styrke og seighet, og den må være langtidsbestandig.

Sprøytebetong armeres med stålfiberarmering, det er standard i omtrent all sprøytebetong som brukes i bergrom, tidligere ble lettarmersnett brukt. Nettarmering kan være et alternativ i dag for sikring av leirsoner. Normal dosering av stålfiber ligger rundt 20 – 40 kg/m<sup>3</sup> med fiberlengder på 30 – 40 med mer. Sprøytebetongen skal jevne ut overflater, derfor trenger den inn i åpne sprekker. Den kan også brukes til å sikre mindre leirsoner, sprøytebetongen hindrer vann i å vaske ut småstein og finstoff.

Rengjøring av overflatene før påføring av sprøytebetong er svært viktig, dette er for å oppnå god heft. Heft er en av de viktigste egenskapene for en optimal sprøytebetongsikring. Rengjøring med vann kan forverre stabiliteten, derfor kan løsningen være å benytte trykkluft for å renske overflaten. Ved store vannlekkasjer kan det være vanskelig å få sprøytebetongen til å “feste” seg, derfor må en eventuell dreneringsløsning benyttes.

Det er to metoder for påføring av sprøytebetong, våtsprøyting og tørrsprøyting. Ved våtsprøyting blir betongblandingen tømmt i en lomme, og derfra pumpet i et rør, som håndteres hydraulisk. Røret ender i et munnstykke, fra den sprøytes betongen på overflaten. Ved tørrsprøyting presses en tørr betongblanding fram til et munnstykke, ved hjelp av trykkluft. Ved munnstykke tilsettes vann og deretter sprøytes betongen mot overflaten.

Viktige egenskaper for sprøytebetongen er å få den til å henge på overflaten og at herdeprosessen starter snarest mulig etter påføring. For å få høy tidligfasthet tilsettes en akselerator i sprøytemunnstykket ved påføring. Den blander seg med betongen og skal sørge for at herdeprosessen starter med en gang betongen treffer berget. Tall hentet fra NFF skal dette ta 0,1 sekund med en strålehastighet på 30 til 35 m/sek og avstand mellom munnstykke og bergflate på 3 meter.

Sprøytebetong kan brukes i kombinasjon med andre sikringstiltak, som for eksempel bolter.

### 2.5.3 Full utstøping

Sikringsmetoden, full utstøping, brukes som oftest ved ustabile og rasfarlige bergforhold. Med full utstøping menes utstøping av tak og vegger i tunnelen. For eksempel ved store utfall eller ras, ved passering av knusningssoner og svelleleirsoner med mye vann og i påhuggsområder. Det etableres en bue for å ta opp trykkspenninger fra bergmassen ved utstøping av tunnelprofilen.

Ved utførelse av full utstøping benyttes mobile støpeskjold. Støpeskjoldet kjøres inn og plasseres riktig i forhold til profilen, så må forskallingssteng langs sålen etableres. Det benyttes varm betong i starten av prosessen for å fremskynde herdingen av materialet. Minimum betongtykkelse på veggen er 30 cm, må da sørge for tilstrekkelig mengde med betong. Støpeskjoldet fjernes etter 6 – 7 timer etter endt prosess. Bruk av full utstøping er både tidkrevende og kostbart, men kan lønne seg i det lange løp.

Full utstøping, concrete lining, brukes hovedsakelig for å minimere risikoen for vannlekkasje inn i tunnelen. Dette er derfor spesielt ønsket i en jernbanetunnel, da vann kan skade skinnene og de tekniske installasjonene som kommer med dette. Denne metoden gir også bedre driftssikkerhet og lengre levetid. Sammenlignet med kostnader og utgifter for vedlikehold og drift er denne løsningen lønnsom i form av kutt i kostnader på sikt og null nedetid.

Full utstøping er mye brukt i alpelandene som Sveits og Østerrike. Her er bergene svakere og har dårligere kvalitet enn norske, det gjør det vanskeligere å bruke berget som en bærende konstruksjon i tunnelen.

### 2.5.4 Injeksjon

Berginjeksjon er en vanlig metode for å redusere inntrengning og lekkasjer av vann i bergrom og tunnel. Ved tunnelbygging må en ta hensyn til grunnvannet i berget, drivingen kan føre til at grunnvannsnivået senkes, vannet siver i små kanaler og sprekker i berget. Injeksjonsmasse pumpes inn i borehull i berget og herdes, for å tette sprekker og hulrom.

Ved injisering, i Norge, brukes det et høyere trykk enn i andre land, noe som er tidskrevende, kostbart og uforutsigbart. Det høye trykket øker faren for å åpne sprekker i berget, dette kalles hydraulisk jekking. Grunnet de åpne sprekkenes forsvinner sementen inn i berget og bort fra tunnelen. Det er da en fare for at den havner i naturen og forurenses.

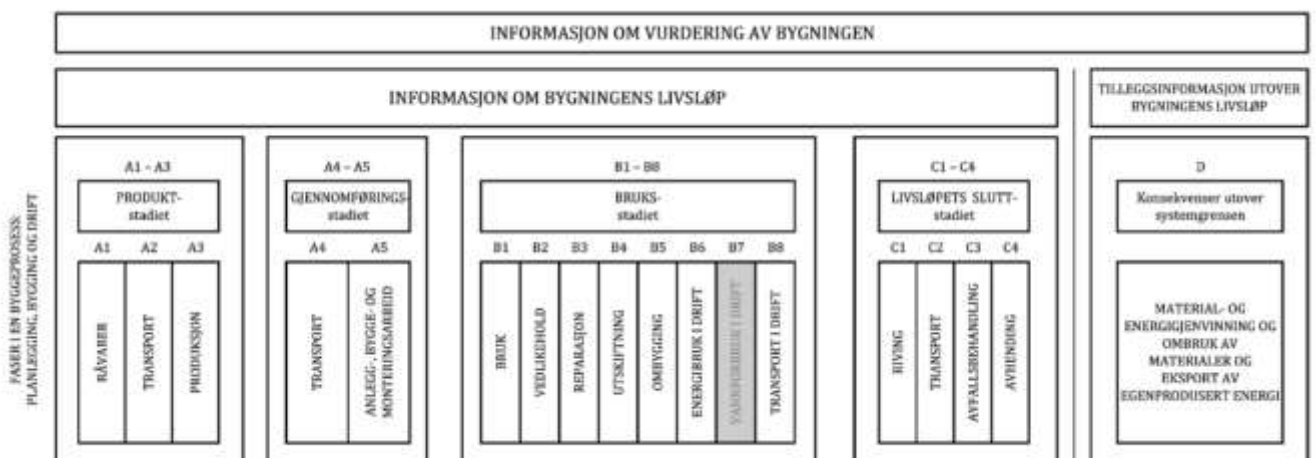
Valg av injeksjonsmateriale avhenger av størrelsen på sprekke og lugeon-verdien. Injeksjonsmateriale som benyttes i tunneler er hovedsakelig sement. Det benyttes ulike finheter og kvaliteter av sement, som for eksempel mikrosegment. Ved store sprekker er det hensiktsmessig å bruke sement med store, grove korn, og ved små sprekker brukes små, fine korn.

### 2.5.5 Rensk

Rensk er fjerning av løst berg og er en viktig del av et sikringsarbeid. God rensk øker sikkerheten ved arbeid i bergrommet, reduserer sjansen for løse blokker og behovet for sikring. Derfor er det en fordel å sprengne en fin kontur, det krever mindre rensk og sikring. Rensk kan utføres på ulike måter, håndrensk med spett, spylersk og mekanisk og maskinell rensk.

### 2.6 Byggefase

For å finne ut utslippene, GWP-verdiene, for materialene som er brukt i sikringen av tunnelen brukes byggefase A1, A2 og A3. Disse fasene tar for seg produktstadiet av materialene. A1 beskriver utslippet forbundet med råvarene, A2 tar for seg transporteringen til fabrikken der de skal brukes, og A3 beskriver produksjonen av materialet råvarene brukes til. Gjennomføringsfasene A4 til A5 blir ikke brukt videre i oppgaven. Fasene A4 er transport av materialene og A5 er monteringsarbeidet.



Figur 2: Byggefase.

## 2.7 Maskiner brukt i tunnelen

Her presenteres maskinene brukt inne i tunnelen ved driving. Disse er vurdert i klimagassregnskapet, som blir beskrevet i kapittel x.x.

### 2.7.1 Hjullaster

En hjullaster er en type lastemaskin med frontlaster som brukes til transport av løse masser. Valg av hjullaster avhenger av tunnelens tverrsnitt, type behov og arbeidssituasjon. Gravemaskin, skapelaster og beltelaster hører også inn under denne kategorien. Typisk for denne type maskin er at den har lav til middels lasteevne.

Oppgaven til en lastemaskin ved tunneldriving er å transportere den sprengte salven til planlagt destinasjon, som oftest er dette en lastebil på utsiden av tunnelen. Denne lastebilen frakter overskuddsmassene videre til deponi. Hjullasteren kan også brukes til for eksempel planering av jord, grus etc. Tabell x viser en oversikt over valg av lastemaskintype og tilhørende tunneltverrsnitt og lasteevne.

Type lastemaskin	Tverrsnitt, m <sup>2</sup>	Lastekapasitet
Gravemaskin	42 →	Høy
Hjullaster, liten	16 →	Lav
Hjullaster, stor	36 →	Middels
Beltelaster, liten	24 →	Lav
Beltelaster, stor	30 →	Middels
Skrapelaster	6 →	Lav - middels

Tabell 2: Verdier for hjullastere.

Hjullaster er den vanligste lastemaskintypen i Norge. Den veier mellom 15 til 45 tonn og har en lasteevne på 50 til 160 vfm<sup>3</sup>. Det som gjør den så populær er bevegeligheten og de mange stedene den kan brukes.

### 2.7.2 Borerigg

En borerigg er en maskin med flere armer som holder kraftige aluminiumsprofiler hvor boremaskinene mates frem. Fra riggen posisjoneres borrene slik at hullene blir korrekt i forhold til boreplanen. Dette er en mye brukt og pålitelig metode for borerigg. Borerigger benyttes til boring i fjell for sprengning, fjellsikring og splitting.

En datarigg posisjoneres seg i tunnelen ved bruk av en tunnellaser. Det er alltid en operatør på riggen, selv om den kan gjøre hele operasjonen automatisk. På 70-tallet var det hydrauliske borerigger som ble brukt i denne prosessen. I dag blir det brukt datastyrte borerigger som kan bore opptil 300 meter hver time.

## 2.8 Alternativer til drivstoff

Ifølge FN er transport en av de tre store synderne for klimagassutslipp i Norge. Det er derfor viktig å finne substitutter og andre løsninger på dette problemet. Det er derfor et ønske i bransjen å se på substitusjoner for drivstoff til disse transportmidlene.

### 2.8.1 Diesel

Diesel er et fossilt drivstoff, som vil si at det er fremstilt av olje, gass eller kull. Drivstoffet er laget av råolje og er ikke fornybart, det betyr at det har stor global forurensning. Ifølge miljødirektoratet sine tall fra oktober 2020 har diesel en utslippsfaktor på 3,17 kg CO<sub>2</sub> per kg, mens bensin har et utslipp på 3,13 kg CO<sub>2</sub> per kg. De største anleggsmaskinene bruker i dag biodiesel, mens noen bruker enda diesel.

### 2.8.2 Biodiesel

Biodiesel er et drivstoff som hovedsakelig består av samme råvarene som standard diesel, men har innslag av olje som er framstilt av animalsk eller vegetabilsk kilde. Biodiesel fremstilles for å redusere bruken av standard diesel.

Regjeringen vil ha fossilfrie anleggsplasser innen 2025, da vil biodiesel være et godt alternativ for å nå dette målet. Ifølge miljødirektoratet har dette drivstoffet et utslipp på

2,85 kg CO<sub>2</sub> per kg. Uavhengig av gevinsten ved bruk av biodiesel er det begrenset tilgang på drivstoffet, det er også dyrere enn diesel.

### 2.8.3 Elektrisitet

Et annet alternativ til drivstoff i maskiner er elektrisitet. Elektrisk energi lagret i batteri, dette erstatter drivstoff som diesel og biodiesel. Dermed gir en maskin som går på strøm ingen klimagassutslipp ved bruk. Fordelen med å bruke elektrisitet som drivstoff i Norge er at største andelen av denne energien er klimanøytral. Her kommer 95% av elektrisiteten fra vannkraft.

### 2.8.4 Hydrogen

Hydrogen er også et fornybart alternativ til drivstoff. Det fungerer på samme måte som et elektrisk batteri. Hydrogenet fungerer som en energibærer slik at det kan produsere strøm i brenselcellen. Når hydrogenet da går inn i brenselcellen, reagerer det med oksygen og produserer elektrisitet. Hydrogen kan fremstilles ved elektrolyse, da brukes strøm fra enten vann-, vind- eller solkraft til å lage hydrogen av vann. Dette er ren energi og sørger for null utslipp ved bruk.

En fordel med hydrogendrevne maskiner er at de er lydløse og gir ingen ekstra lyd ved akselerasjon. Dette minimerer støyen i en tunnel ved driving, noe som er en fordel med tanke på arbeiderne og for området rundt. En ulempe er at hydrogendrevne anleggsmaskiner er avhengig av å ha hydrogen tilgjengelig i nærheten av anleggsplassen.



## 3 Metode

I dette kapitlet presenteres metodene gruppen har brukt for å forske på og løse oppgavens problemstilling. Her beskrives hver metode og dens formål. Det er blitt brukt metoder for innsamling av data og informasjon, i form av møter, data og intervju. Videre er verktøy for analysering og tolkning av data benyttet. Hensikten med dette kapitlet er for å gi leseren et innblikk i hvordan forfatterne har gått frem for å løse problemstillingen.

### 3.1 Litteraturstudie

Litteraturstudie er en metode for å innhente relevant teori og informasjon som skal danne grunnlaget for oppgaven. Metoden går ut på å søke, vurdere og sammenligne ulike kilder innenfor gitte tema. Kildene er hentet fra litteratur på nett, bøker og rapporter. Kompendiet utarbeidet av Amund Bruland, hentet fra TBA4150 anleggsteknikk, har blitt brukt for å tilegne kunnskap om generell tunneldriving.

Tema og områder som er blitt søkt etter i litteraturstudiet er informasjon og data for klimagassutslipp, stabilitetssikring og maskiner. Alle kilder som er brukt er oppført i referanselisten.

### 3.2 Informasjon fra Veidekke

Får å kunne gjennomføre dette prosjektet har det vært viktig med utveksling av informasjon og god kommunikasjon med oppgavens oppdragsgiver, Veidekke. Dette har hovedsakelig blitt gjort gjennom møter.

#### 3.2.1 Møter

Det har blitt gjennomført regelmessige møter med Veidekke. Hensikten med hyppige møter har vært for å kartlegge fremdriften, definere oppgaven og innhente informasjon. Møtene har blitt gjennomført på Teams med hovedsakelig forfatterne av oppgaven og oppgavens eksterne veileder, Stein Håvard Bjøru. Ofte har Åse Vralstad også deltatt på møtene da hun er klimateleder på UDK01, oppgavens referanseprosjekt.

Det første møtet fant sted allerede i november for å avklare et eventuelt bachelorsamarbeid. Ved årsskifte startet de regelmessige møtene. I snitt har det blitt holdt ett møte i uka under oppgavens pågang.

I et møte tidlig i prosessen ytret Veidekke ønske om at oppgaven skulle omhandle klima, og da fokusere på stabilitetssikring og maskiner i tunnelen ved driving.

### 3.2.2 Data

For å kunne basere oppgaven på UDK01 Skogertunnelen har det vært nødvendig med data for prosjektet. Disse ble gitt av Veidekke. Tidlig i arbeidet med oppgaven ble data hentet, studert og bearbeidet. Klimaregnskapet, presentert i kapittel 4, er hovedsakelig basert på EPD dokumenter for materialer og klimaregnskaper for UDK01.

### 3.2.3 Feilkilder

Klimaregnskapene, mottatt av Veidekke, er de praktiske verdiene, som har variert fra de teoretiske verdiene, i prosjektkontrakten med Bane Nor. Videre har det også vært brukt EPD dokumenter for de ulike elementene i tunnelen for å estimere klimagassutslippet, noe som er svært teoretisk og vil derfor være naturlig for gruppen å tenke kan være et problem da resultatene blir et estimat ettersom det er brukt både teoretiske og praktiske tall i oppgaven.

### 3.2.4 Prosjektbesøk

For å kunne gjøre et godt arbeid og få en forståelse for oppgavens innhold var det et stort ønske om å besøke oppgavens prosjekt. 23.februar besøkte oppgavens forfattere prosjektet i Drammen, UDK01 Skogertunnelen. Her ble det gjennomgått informasjon om tunnelen og gitt en omvisning. Her fikk man en forståelse av omfanget og størrelsen på prosjektet.

## 3.3 Intervju

Et intervju er en samtale mellom en intervjuer og en eller flere personer for å innhente informasjon. Skal man skaffe opplysninger fra svært mange er det lurt å ta i bruk en

spørreundersøkelse. Intervjueren stiller de andre personene spørsmål om et spesifikt tema eller sak for å få dens meninger. Intervju egner seg for å samle informasjon som ikke står skrevet ned eller for å gå mer i dybden på et tema. Intervju er både en skrivesjanger og en arbeidsmetode, i denne rapporten er det brukt som en arbeidsmetode, resultatet presenteres i kapittel 4.

Her er det gjennomført et semistrukturert intervju med både åpne og mer konkrete spørsmål. Spørsmålene er skrevet ned på forhånd, men gir rom for å lede inn på andre områder og tema.

### 3.4 ExCel

ExCel er et digitalt verktøy for å analysere, bearbeide og beregne data. Det kalles også for et regnearkprogram, hvor man kan opprette tabeller og diagrammer basert på innført data. Ifølge Brown og Gould (1987) har utviklingen av regnearkmodeller hatt en betydelig innvirkning på næringslivet. I 1979 ble den første elektroniske regnearkmodellen utviklet og tatt i bruk. I klimaregnskapet vil diagrammer og enkle ExCel-funksjoner bli tatt i bruk.

### 3.5 Idémyldring

Forfatterne av oppgaven har brukt idémyldring som en metode. Metoden ble brukt hyppig i startfasen for å få framgang, senere ble den brukt sporadisk, da det var nødvendig med nye ideer. Metoden går ut på kvantitet over kvalitet, der det forhåpentligvis vil være minst en av ideene som vil være gode nok til å jobbes videre med. Gruppen brukte metoden flittig i defineringsfasen for å kunne avklare mulige løsninger for problemstillingen. Ideene ble videre diskutert under møter med oppdragsgiver, som da ble enten avvist eller videreutviklet.

## 4 Hoveddel

I dette kapitlet presenteres intervjuene som har blitt holdt i forbindelse med oppgaven. Videre presenteres klimaregnskapet som er blitt utviklet for å finne en løsning på problemstillingen. Denne er basert på informasjon og data hentet fra Veidekke, og utviklet i ExCel.

### 4.1 Intervju

For å kunne grave dypere i noen aspekt av oppgaven og problemstillingen er det blitt gjennomført tre intervjuer, alle semistrukturerte. I disse intervjuene har tema vært sikring, injeksjon, materialbruk og forbedringer.

#### 4.1.1 Ole Kristian Egge - Driftsleder på UDK01 fra veidekke

Ole Kristian Egge er driftsleder på oppgavens referanseprosjekt, UDK01 Skogertunnelen. I mars måned ble et personlig intervju med Egge holdt over en mailtråd. Ved intervjuet var temaet hovedsakelig bruken av injeksjon på Skogertunnelen.

Under en samtale med oppgavens eksterne veileder, Stein Håvard Bjøru, kommer det fram at den planlagte injeksjonsmassen var mye høyere enn den faktiske bruken. På bakgrunn av denne informasjonen ble Egge spurt om hvordan de hadde fått til dette. Han forklarer at injeksjonsprosedyrene ble fortløpende endret på stuff etter bergforhold, vannforhold og injeksjonskrav. Slik klarte de å minske mengden injeksjonsmassen som ble pumpet inn uten at det var behov. Egge forklarer videre at de i tillegg i noen tilfeller byttet ut sluttkriteriumet stopptrykk med stoppmengde, men dessverre uten ønsket resultat. Dette på grunn av at det noen ganger rant ut vann av hullene etter pumping da hullene kun var delvis fylt. De prøvde dermed å tilstrebe stopptrykk i spesielt de vannførende hullene, men med stor inntrengning gikk de over til et lavere v/c tall for å kunne begrense injeksjonsmengden som ble brukt.

Videre blir Egge spurt om hva han tenker om tunnelens sikringsmetode valgt av BaneNor. Her forklarer han at vann- og frostsikringen som er brukt, kontaktstøpt lining, kunne vært byttet ut med betongelementer. Dette er den tradisjonelle løsningen som ville minket betongforbruket betraktelig, men igjen ville vedlikeholdsbehovet økt.

Ole Kristian Egge avslutter selv med å fortelle at han ønsker på sikt å erstatte betong med et annet produkt, men med mye av de samme egenskapene. Det samme gjelder for injeksjonsmasse, men hva det skulle vært vet han ikke.

#### 4.1.2 Helene Strømsvik - Forsker for Sintef

Helene Strømsvik er forsker for Sintef og prosjektleder for Logic Grouting, et prosjekt for ny type injeksjon av steinmasse i tunneldriving. Hun har en PhD i Geological and geophysical engineering og har stor kunnskap rundt dette emnet. Derfor fikk vi tips om at vi burde ta en prat med henne angående injeksjon og dens forbedringer. Den 5. april 2022 fant et personlig intervju med Helene sted over Teams. Ved intervjuet var temaet hovedsakelig injeksjon ved tunneldriving, nåværende løsninger og forbedringer. Prosjektet Logic Grouting ble også diskutert og tatt frem som eksempel.

Innledningsvis i intervjuet ble Strømsvik spurt om hva injeksjonsprosedyrene går ut på basert på Logic Grouting. Her forklarer hun at å borre hullene i berget to ganger vil føre til at forbruket av injeksjonsmasse reduseres. Et av formålene med prosjektet Logic Grouting er å skaffe mer kunnskaper om berget før en eventuell injeksjon utføres. Strømsvik forteller at sonderboring anbefales ved en injeksjonsprosedyre. Dette er fordi at denne type boring gir oss mer kunnskap og en større forståelse av bergets egenskaper og karakteristikk. Ved mer forkunnskap har man større forutsetninger for å ta de beste valgene ved injeksjon med tanke på materialvalg, kostnader og miljø. Videre forteller Helene at valg av materialer for injeksjonsmasse også har en avgjørende rolle i prosedyren.

Videre blir Strømsvik spurt om hva som påvirker innlekkasjekravene for en tunnel. Her forteller hun at innlekkasjekravet først og fremst er avhengig av hvilket strøk tunnelen ligger i, her skiller vi mellom urbant og landlig strøk. Oppgavens referanseprosjekt er en tunnel i urbant strøk, dermed er innlekkasjekravene strenge grunnet forholdene nær tunnelen. Prosjektet er en jernbanetunnel, dette er også en faktor for at innlekkasjekravet er strengt. Det kan ikke føres vann mot de tekniske installasjonene som tilhører jernbanen.

Helene blir også spurt om hva som påvirker mengden av injeksjon i en tunnel. Her forklarer hun at innlekkasjen i berget er avgjørende for mengden injeksjon. Dette baserer seg igjen på hva slags type berg det er snakk om. Dens karakteristikk som strukturgeologi og

geometriske forhold. Tidligere i intervjuet har Strømsvik nevnt at et stort ønske er å gjennomføre forundersøkelser for å kunne kartlegge mengde injeksjon som trengs. Operatøren for injeksjonsprosedyren ergrer seg for å stoppe prosessen for å være sikker på at berget blir tett. Dette fører først og fremst til overbruk av injeksjonsmasse, noe som er dyrt og tidkrevende. Videre kan dette føre til hydraulisk jekking grunnet mye masse og stort trykk.

Avslutningsvis blir Strømsvik spurt om materialene som brukes i injeksjon og dens forbedringspotensial. Her forteller hun at det er hovedsakelig sement som brukes som injeksjonsmasse. Det er ulike typer som anvendes med hensyn til hvor stor borhullene er og omfanget av hva som skal tettes. Disse typene er for eksempel mikro- og industrisement. Mikrosegmenten vil være veldig dyr, men igjen kun treng halvparten av mengden som trengs ved bruk av industrisement. Strømsvik forteller videre om ulike forskningsprosjekt som hun ønsker å gjennomføre med tanke på forbedring av injeksjonsmasse. Her vil hun se på muligheten for å bytte ut sement med andre materialer som borrsлам, resirkulert plast, kalkfillere eller flatformet flyveaske. Dette er materialer som er mer miljøvennlige enn dagens sement.

Helene Strømsvik avslutter selv med å fortelle om forholdet mellom byggherre og entreprenør og dens viktighet for det grønne skiftet, på eget initiativ. Hun forteller at aktørene i et anleggsprosjekt må være motiverte for å levere et grønnere prosjekt og ønske selv å ta de bærekraftige valgene. Et grønnere prosjekt kan være dyrere, men langsiktig er dette mer effektivt kostnadmessig, og selvsagt for det grønne skiftet.

4.1.3 Håvard Kjerkjøl og Hanne Elisabeth Wiig - miljørådgiver og prosjektleder på UDK01 fra BaneNor

Håvard Kjerkjøl er miljørådgiver og Hanne Elisabeth Wiig er prosjektleder på referanseprosjektet. Den 7. april 2022 fant et personlig intervju med Håvard og Hanne sted over Teams. Ved intervjuet var temaet hovedsakelig sikring og valg av sikringsmetode for prosjektet.

Innledningsvis blir både Kjerkjøl og Wiig spurt om hva som ligger til grunn for valg av sikringsmetode på prosjektet. Wiig tar ordet og forklarer at ønske for tunnelen er at den skal

være dimensjonert for 100 år med minimalt vedlikehold for vann- og frostsikring. Videre forteller hun at det er gunstig å opprettholde mest mulig opptid, der det ikke er behov for å stenge banen ved vedlikehold. Dette er hovedargumentet til Wiig for hvorfor full utstøping er valgt som sikringsmetode for tunnelen.

Videre blir Kjerkjøl og Wiig spurt om hva de tenker om klimautslippet ved å velge en slik løsning. Her tar Kjerkjøl ordet og forklarer at utslippet går i null ved å velge denne løsningen, full utstøping, kontra det å skulle vedlikeholde tunnelen i 100 år.

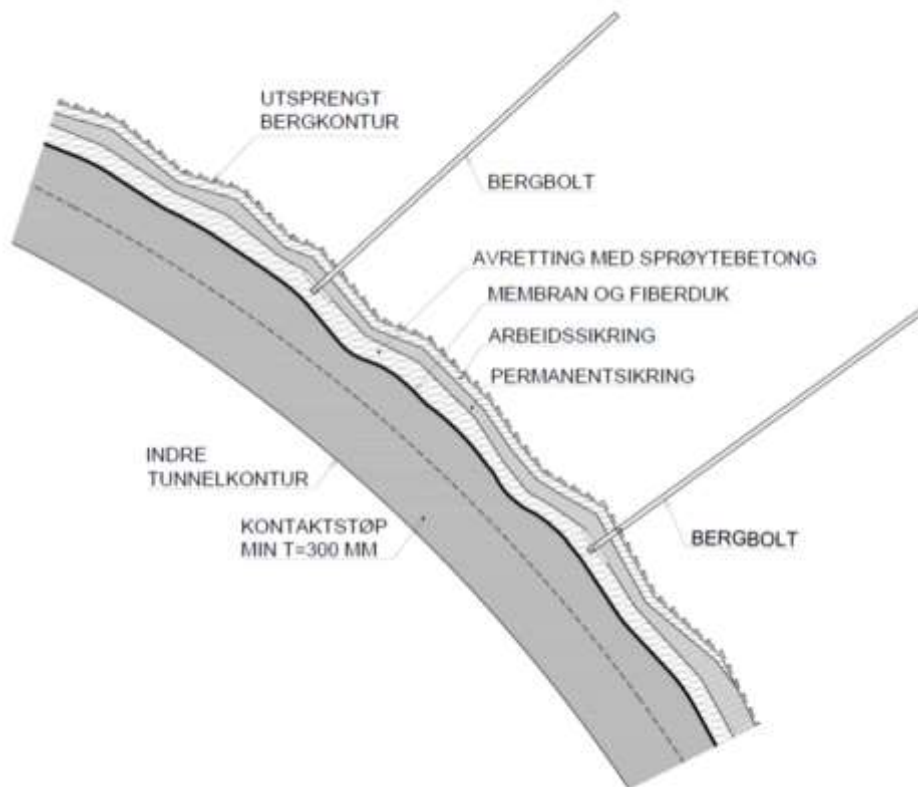
Avslutningsvis oppsummerer Kjerkjøl og Wiig at BaneNors største ønske var å bygge en vedlikeholdsfri jernbanetunnel, spesielt i Drammensdistriktet ettersom at dette er et trafikkert området.

#### 4.2 Skogertunnelen

Ifølge den ingeniørgeologiske rapporten for prosjektet består tunnelen av 76% drammensgranitt, 13% kalkholdig slamstein og 11% rombeporfyr. Dette tilsvarer en god bergkvalitet. Ved bruk av Q-metoden er berget i tunnelen klassifisert fra A til F, der 66% av berget er i klasse A til C. Q-metoden baserer seg på feltkartlegging, tolkninger av geologien med svakhetssoner av bergartstyper og grunnundersøkelser. Det forventes også store horisontale bergspenninger på deler av bergtunnelstrekningen, da vil det kunne oppstå bergslag.

Bergtunnelen har strenge innlekkasjekrav, derfor vil det være forventet å bruke store mengder med injeksjon. Innlekkasjekravene varierer fra 3 til 20 l/minutt/100 meter. Der tunnelen har 3 til 5 l/minutt/100m-krav skal det foretas omfattende systematisk injeksjon, som vil si at gjennom denne strekningen skal det initieres. Der innlekkasjekravet er fra 10 til 20 l/minutt/100m skal det, ifølge rapporten, i praksis også foretas systematisk injeksjon.

På Skogertunnelen er sikringstiltakene basert på krav fra BaneNors tekniske regelverk. Her brukes kontaktstøpt betonghvelv med membran som stabilitetssikring. Både bolter, sprøytebetong og membran anvendes i dette tiltaket. Figur 3 viser en illustrasjon av sikringen i tunnelen.



Figur 3: Illustrasjon av kontaktstøpt betonghvelv med membran, hentet fra BaneNor.

Maskinene som brukes i tunnelen ved driving går hovedsakelig på biodiesel og elektrisitet. Veidekke har krav til biler, lastebiler og lastere som kjører i tunnelen. Disse skal gå på diesel, da biler drevet av elektrisitet har større brannfare enn dieseldrevne.

#### 4.3 Beskrivelse av klimaregnskapet

Klimaregnskapet er bygget på data og informasjon for UDK01 Skogertunnelen, hentet fra Veidekke. Disse dataene er blitt nøye gått igjennom og sortert, slik at kun den viktigste informasjonen har blitt tatt videre med til regnskapet. Deretter er denne informasjonen brukt til å kartlegge utslippene for stabilitetssikringen og maskinbruken innad i tunnelen. Det er totalt fem ark som utgjør regnskapet, disse blir beskrevet i dette kapittelet.

##### 4.3.1 "Stabilitetssikring"

Dette regnearket er en oversikt over utslippene fra stabilitetssikringen i tunnelen. I regnearket er alle elementene som er brukt i sikringen av betong, lining, kalksement og injeksjonsmasse, stål og sprengstoff listet opp. Ved hvert materiale er også leverandør og



type spesifisert. Mengden av materialene oppgis først i tonn, så blir de omgjort til kilogram slik at mengdeenheten korresponderer med enheten til GWP. Tallene baserer seg på klimaregnskapet for Veidekke, med siste revidert versjon fra mars, og gitte EPD-dokumenter. Ut ifra disse tallene blir utslippene per materiale og det totale utslippet for hele stabilitetssikringen beregnet. Ved hvert materiale blir eventuelle mangler eller spesifikasjoner oppklart.

Basert på de ulike typene materialer som blir brukt på UDK01, materialmengden og tilhørende utslippsfaktor, regnes det totale klimautslippet for materialene ut. Etter at alle disse tallene er vurdert og kalkulert viser regnskapet hva som er den største faktoren for utslipp på prosjektet.

#### 4.3.1 "Utregning av sikring"

I arket "utregning av sikring" blir utslippene for materialene i stabilitetssikringen i tunnelen oversiktlig presentert og brukt videre for å utvikle sektordiagram. Disse diagrammene baserer seg på verdier og mengder fra arket "sikring", presentert over. Her kan man se diagrammer for det totale utslippet av materialene til sikring, og et diagram for hver materialtype som betongmaterialer, lining, kalksement og injeksjonsmasse, stål og sprengstoff. Det er totalt seks diagram, dette for å vise og sammenligne utslippene for hvert material mer konkret.

#### 4.3.2 "Maskin"

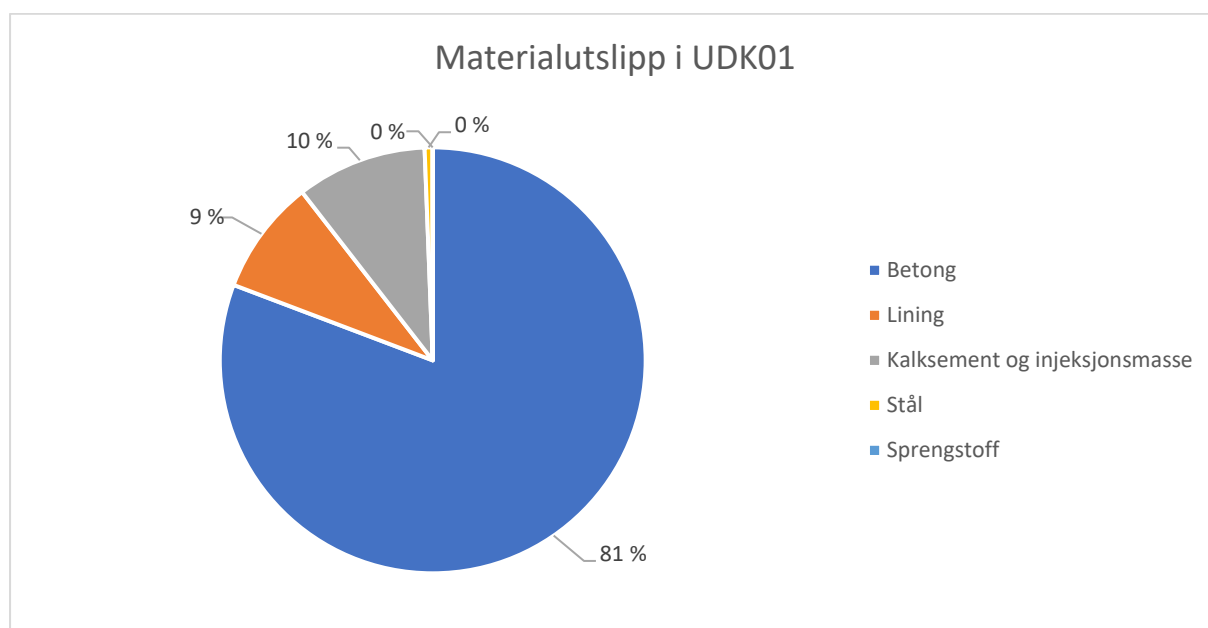
Dette regnearket er en oversikt over utslippene fra maskinbruken ved tunneldriving. I regnearket er maskiner og kjøretøy som går på biodiesel og elektrisitet sammenlignet. Mengden drivstoff som brukes fra hver type er oppgitt i tonn og så omgjort til kilogram for å korrespondere med GWP-enheten. Disse verdiene er hentet fra klimaregnskapet for Veidekke. Utslippet for maskiner og kjøretøy som går på biodiesel og elektrisitet anleggsområde beregnes og presenteres i et sektordiagram. Dette er det totale utslippet for maskinbruken ved tunneldriving. I tillegg er et sektordiagram som sammenligner utslippsfaktorene for drivstoffene til maskinene presentert. Dette for å vise og tydeliggjøre hvor mye større utslipp biodiesel har kontra elektrisitet.

## 5 Resultat

I dette kapitlet legges resultatene fra klimaregnskapet fram.

### 5.1 Klimaregnskap for stabilitetssikring

Her presenteres resultatene for utslippet av materialene brukt på stabilitetssikringen i tunnelen. Disse presenteres i sektordiagram, et for alle materialene samlet og et for hver av de ulike materialtypene.

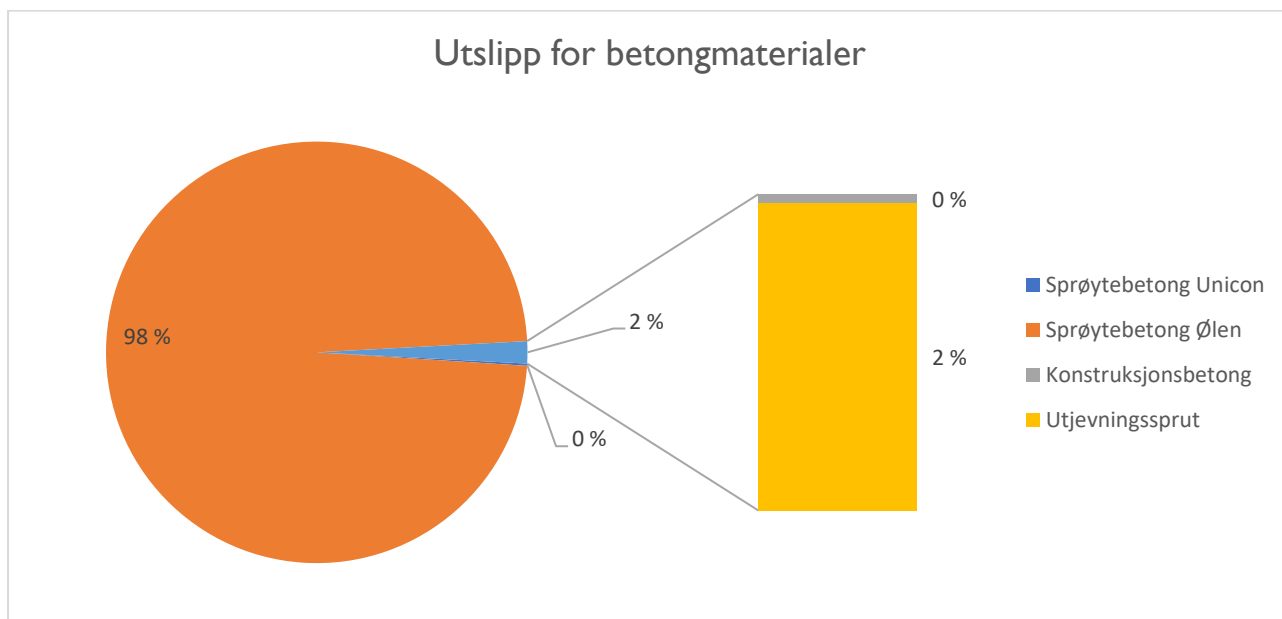


Figur 4: Det totale materialutslippet.

Figur 4 viser utslippet oppgitt i CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for UDK01. Her illustrerer sektordiagrammet hvilken hovedkategori som utgjør det største utslippet basert på mengden og GWP-verdien til hvert enkelt materiale. Det kommer tydelig fram at betong er den kategorien som sørger for det største utslippet, med 81% av det totale utslippet for stabilitetssikringen. Kalksement og injeksjonsmasse står for 10% av det totale utslippet, mens lining står for 9%. Utslippene fra stål og sprengstoff er lave i forhold til de andre materialene, så prosentandelen er tilnærmet null.

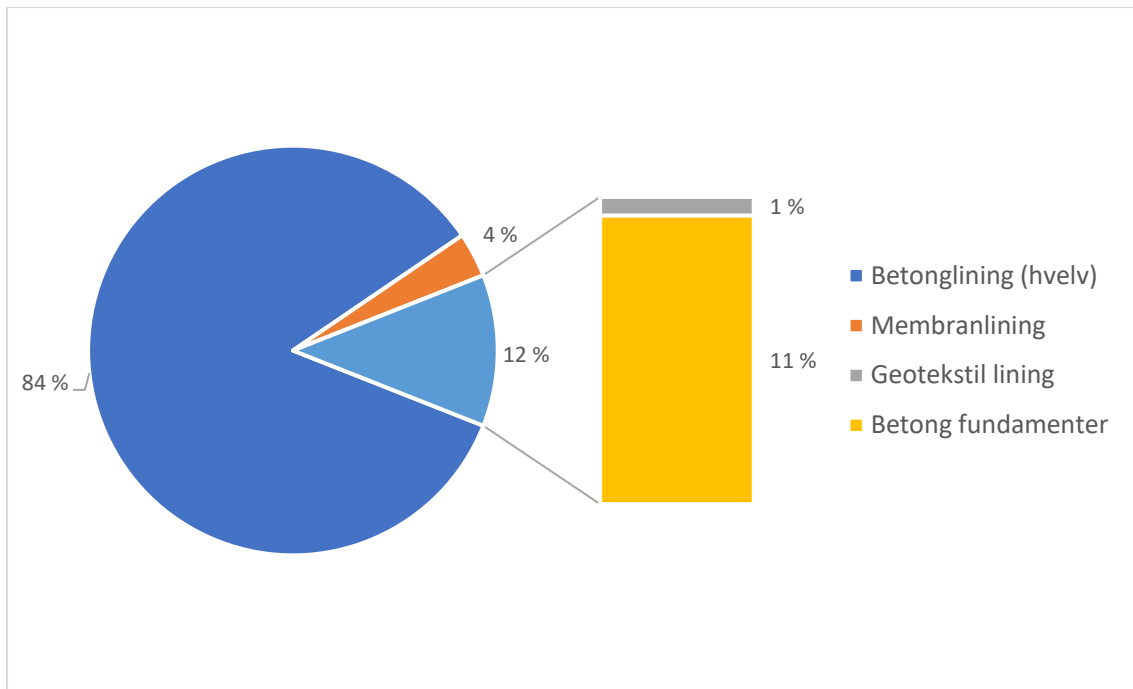
Figur 5 viser det prosentmessige utslippet for hvert betongmateriale som blir brukt på prosjektet. Materialet sprøytebetong fra Ølen sørger for det største utslippet i denne kategorien med 98%. De resterende 2%, kommer fra utjevningsspruten. De siste

materialene, konstruksjonsbetong og sprøytebetong fra Unicon, bidrar så lite i det totale utslippet at sektordiagrammet viser 0%.



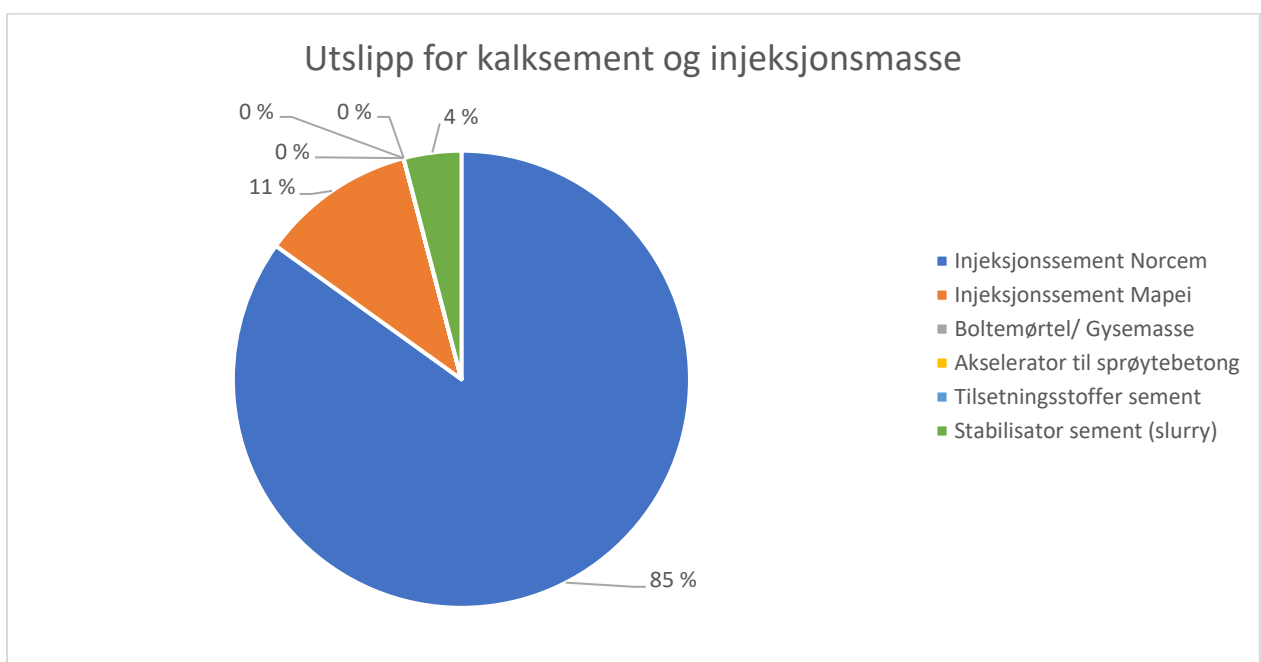
Figur 5: Utslipp for betongmaterialer.

I utslippet for lining, se figur 6, er det betonglining som står for størsteparten av totalutslippet med 84%. Betongfundamenter står for 11% av utslippet, membranlining på 4% og geotekstil lining på 1%.



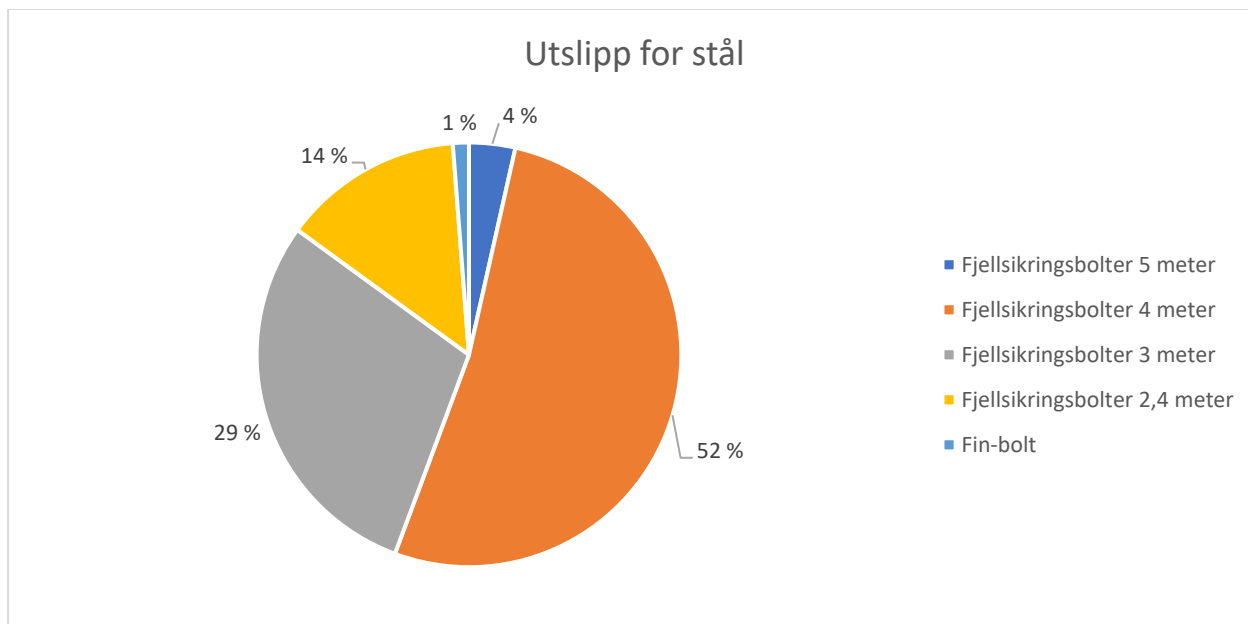
Figur 6: Utslipp for lining.

I diagrammet “utslipp for kalksement og injeksjonsmasse”, presentert i figur 7, står injeksjonssementen fra Norcem for 85% av utslippet. Videre står injeksjonssementen fra Mapei for 11%, og stabilisatorsementen dekker 4% av utslippet. Utslippet for de resterende materialene, boltemørtel/gysemasse, akselerator til sprøytebetong og tilsetningsstoffer for sement er så lav at den er tilnærmet null.



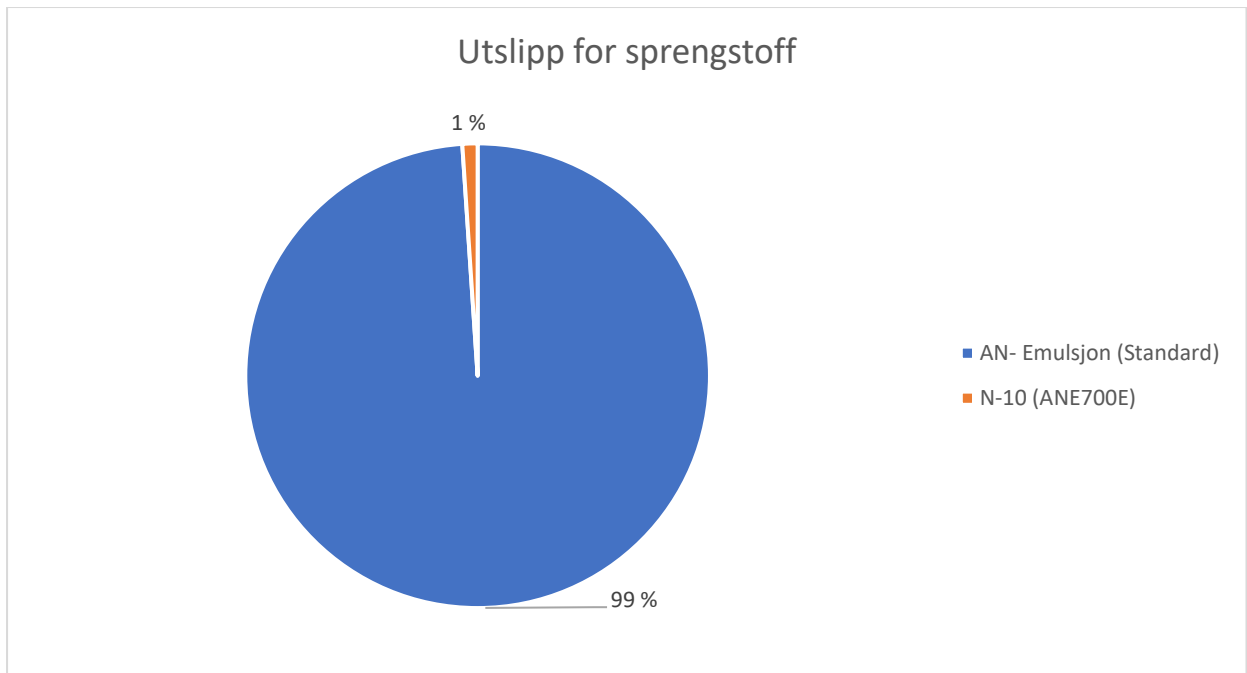
Figur 7: Utslipp for kalksement og injeksjonsmasse.

Figur 8 viser et sektordiagram for utslippet av stålmaterialene i sikringen. Diagrammet representerer fjellsikringsboltene brukt i tunnelen, med lengder på 5, 4, 3 og 2,4 meter og fin-bolt. Det største utslippet, med 52%, er bolter på 4 meter. Den nest største bidragsyteren er fjellsikringsbolten på 3 meter, med 29%. Bolten på 2,4 meter står for 14%, og bolten på 5 meter dekker 4% av utslippet. Til slutt står fin-bolten for det minste utslippet på 1%.



Figur 8: Utslipp for stål.

Det siste diagrammet i klimaregnskapet for stabilitetssikring er for sprengstoff. Figur 9 viser det totale utslippet for denne kategorien, der AN-emulsjon står for 99% av utslippet og sprengstoffet N-10 står for 1%.

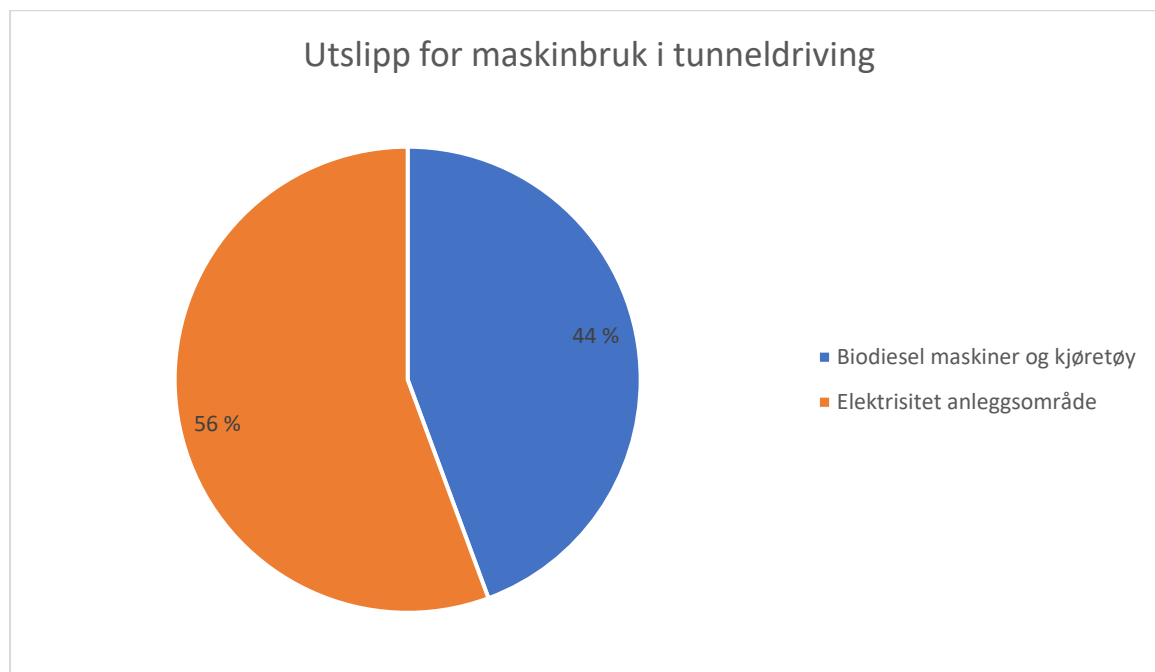


Figur 9: Utslipp for sprengstoff.

## 5.2 Klimaregnskap for maskinbruk

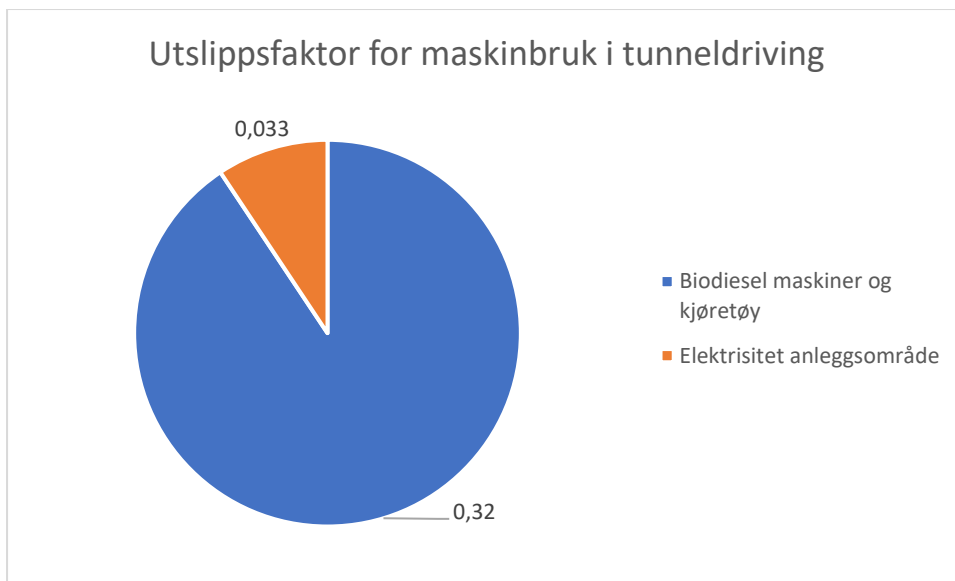
I dette kapitlet presenteres resultatene for utslippet fra maskinene brukt inne i tunnelen ved driving. Resultatene presenteres i sektordiagrammer beskrevet videre.

Figur 10 viser det prosentmessige utslippet for hvert drivstoff brukt på maskiner ved tunneldrivingen. Kategoriene er biodiesel maskiner og kjøretøy og elektrisitet anleggsområde, de står for henholdsvis 56% og 44% av det totale utslippet.



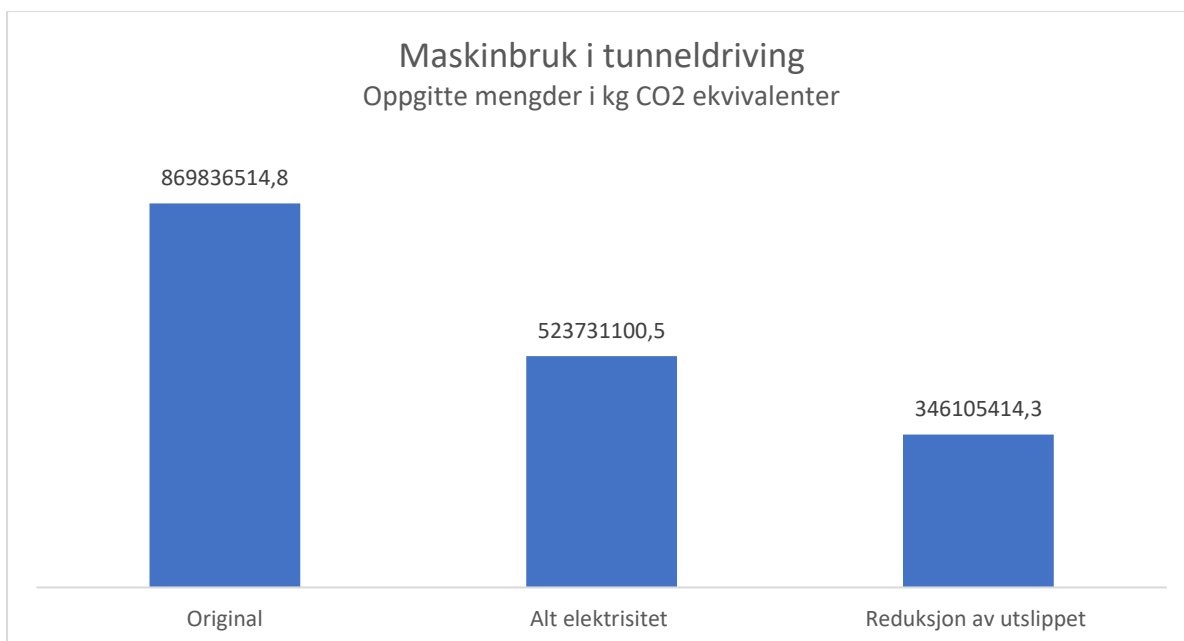
Figur 10: Utslipp for maskinbruk i tunneldriving.

Diagrammet under, figur 11, presenterer den prosentmessige fordelingen av utslippsfaktor for kategoriene for drivstoff på maskiner. Utslippsfaktoren for biodiesel er satt til 0,32 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og for elektrisitet, 0,033 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Den sist nevnte er betydelig mindre enn utslippsfaktoren for biodiesel. Utslippsfaktoren for biodiesel er dermed 9,7 ganger større enn for elektrisitet, denne fordelingen vises i sektordiagrammet på figur 11.



Figur 11: Utslippsfaktor for maskinbruk i tunneldriving.

Figur 12 viser et stolpediagram med tre stolper som representerer to ulike scenarier og en sammenlikning mellom disse. Stolpen som er navngitt «Original» viser den faktiske utslippsmengden som også er presentert i vedlegg x. Stolpen med navn «alt elektrisitet» er et teoretisk scenario der kategorien «Biodiesel maskiner og kjøretøy» har fått den samme utslippsfaktoren til elektrisitet på 0,033kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Den siste stolpen «Reduksjon av utslippet» viser den mengden som kunne blitt spart om det hadde blitt innført kun elektriske maskiner i tunneldrivingen. Alle tall i stolpediagrammet er oppgitt i kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.



Figur 12: Maskinbruk i tunneldriving.



## 6 Diskusjon

Dette kapittelet tar for seg avvik og feil ved klimaregnskapet, og eventuelle utfordringer.

Mulighetene og forbedringspotensialet med regnskapet diskuteres også. Deretter tolkes resultatet hentet fra klimaregnskapet.

### 6.1 Utfordringer i klimaregnskapet

Klimaregnskapet tar kun utgangspunkt i GWP-verdiene for materialene i fasene A1-A3, disse beskriver produktstadiet, altså innhenting av råvarene og produksjon. De andre fasene, som gjennomføringsstadiet A4-A5, er ikke tatt med i betraktning ved beregning og vurdering av stabilitetssikring. Disse fasene sier noe om transporten til anleggsområde og installasjon av materialene. Det faktiske utslippet ville vært mye større enn det som legges frem i resultater hvis de andre fasene også ble vurdert, da kunne verdiene for utslippet blitt mer nøyaktig.

En del av oppgaven er å finne bidragsyterne, så selv om kun de første fasene vurderes, kan materialene likevel sammenlignes og settes opp mot hverandre. Da vurderes de kun basert på fase A1-A3. Et material kan ha et større utslipp i fase A4-A5 kontra i fase A1-A3. Så lenge verdiene og utslippene til hvert material er basert på samme fase og har samme utgangspunkt kan de likevel gi et reelt resultat. Resultatet i kapittel 5 tar kun utgangspunkt i produksjonen av materialene brukt på prosjektet og ikke hvordan de er anvendt i praksis.

Sektordiagrammene for stabilitetssikringen er basert på den brukte mengden av materialene og dens utslippsfaktor, GWP-verdi. Diagrammene ser slik ut fordi mengden av materialene kan variere. Hvis et material er brukt mer enn et annet, tar det materialet med størst mengde opp mest "plass" i diagrammet. Selv om et material har større utslippsfaktor, kan denne ta opp liten "plass" på diagrammet. Dette kan da være misvisende i og med at det er da et annet material som gir større utslipp enn det som kommer frem i diagrammene.

## 6.2 Avvik

EPD er et tredjepartsverifisert dokument med omfattende arbeid, disse tar tid å produsere. De fleste EPD-dokumentene til materialene, brukt i klimaregnskapet til stabilitetssikringen, er oppgitt med kode i regnskapet, se vedlegg x. Det var ikke mulig å oppdrive alle nødvendige EPDer.

Materialene som har manglende dokument er konstruksjonsbetong fra

Norbetong/HokksundBetong, utjevningssprut og stabilisatorsement, slurry. Det ble derfor valgt å bruke GWP-verdier fra lignende materialer. For konstruksjonsbetongen ble GWP-verdien fra konstruksjonsbetongen B30 M60 D22 fra Bergbetong benyttet. For utjevningssprut ble GWP-verdi for sprøytebetongen fra Ølen benyttet. Disse antagelsene ble godkjent av miljøleder på UDK01. Siste materialet som manglet EPD dokument, stabilisatorsement (slurry), antas det at materialet har en viss likhet med injeksjonssement. Det blir derfor brukt samme GWP-verdi som for injeksjonssement. Disse antagelsene kan føre til avvik og unøyaktighet i regnskapet, og påvirker da sektordiagrammene presentert i kapittel 5.

I regnskapet for maskinbruk i tunneldriving inngår to hovedkategorier; biodiesel maskiner og kjøretøy og elektrisitet anleggsområde. I den sistnevnte kategorien er alt av elektrisitet tatt med, ikke kun maskiner, men også faktorer som belysning, ventilasjon m.m. Derfor kan sektordiagrammet i figur 10 være misvisende da mengden elektrisitet er mye større enn mengden biodiesel. På bakgrunn av dette ble sektordiagrammet vist i figur 11 opprettet. Det vil da være mulig å sammenlikne hvor stort utslippspotensialet er for både biodiesel og elektrisitet. På denne måten kan man se at selv om det elektriske står for majoriteten av det totale utslippet, så er utslippsfaktoren mye mindre enn for biodiesel.

I sektordiagrammet til det totale utslippet på UDK01, figur 4, står sprengstoff for 0%. Som nevnt tidligere er det kun materialproduksjonen som inngår i dette regnskapet. Det kommer derfor ikke frem hva utslippet ved selve sprengningen er. Dette kan ha betydning for det totale utslippet til tunneldrivingen, da det blir utløst blant annet NO<sub>x</sub>-gasser ved sprengning.

### 6.3 Muligheter

Fra intervjuene, se kapittel 4, kommer de med noen viktige utsagn som er essensielle for oppgaven og problemstillingen.

I kapittel 4.1 blir det lagt fram et intervju med driftsleder Ole Kristian Egge. Her forteller Egge at injeksjonsmengden ble redusert fra det som originalt var planlagt, dette viser at det er mulig å redusere mengden injeksjonsmasse. Selv om det da er gjort endringer ved denne massen og prosedyren for injeksjon er det likevel kalksement og injeksjonsmasse som er den nest største bidragsyteren i det totale utslippet for stabilitetssikringen. I intervjuet med Helene Strømsvik forklarer hun en metode, som ikke er publisert, som sikrer bedre injeksjon i berget. Gjennom disse intervjuene og regnskapet, er det tydelig et eksisterende injeksjonsproblem. Her er det et stort forbedringspotensial og en løsning for injeksjonsproblemstillingen i bransjen er mulig.

Betong står for majoriteten av utslippet på prosjektet. Ole Kristian Egge forklarer i intervjuet at en mulig løsning for å få ned betongmengden er å bruke et annet alternativ for vann- og frostsikring. Dette vil da føre til mer vedlikehold enn det tunnelen er dimensjonert for. Skogertunnelen er, som nevnt tidligere, dimensjonert for 100 år og kalles for en vedlikeholdsfri tunnel. I samtale med BaneNor var dette, ifølge miljørådgiveren for prosjektet, en god løsning. Klimaregnskapet for den valgte stabilitetssikringen sammenlignet med et annet alternativ med lavere levetid, ville gått i null etter 100 år med tanke på vedlikeholdsarbeidet som eventuelt måtte blitt utført.

Utslippet kan kuttes drastisk hvis det eventuelt ble innført kun elektriske maskiner i tunneldrivingen. Figur 12 viser at det er mulig å spare 346105414,3 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter på prosjektet. Dette er kun et teoretisk scenario som ikke tar hensyn til elektrisitetskapasiteten i område. Et annet alternativ kan være å bruke hydrogendrevne maskiner. Ettersom at bergforskriften, per dags dato, sier dette er ulovlig har det ikke blitt tatt med beregninger på hvor mye det kunne redusert klimaavtrykket i tunneldrivingen.

#### 6.4 Videre arbeid

For at Veidekke skal bli klimanøytral innen 2045 må arbeidet med å kutte utslippene fortsette. Her er mulighetene og løsningene mange. Bedriften må tenke bærekraftig og lønnsomhet, kostnader er ikke alt.

Veidekke kan undersøke og forske mer på mulighetene til å utvikle andre materialer som kan erstatte betong. Framstilling av sement og betong er en klimaversting, ved å kutte mengden og endre produksjonen, eventuelt leverandør, kan utslippene kuttes drastisk. En annen mulighet kan være å kutte alt fossilt drivstoff på anleggsområdet, og kun bruke elektrisitet. Her må bedriften da sørge for å ha nok elektrisitetskapasitet.

I videre arbeid kunne det vært interessant å se på kostnadene knyttet til stabilitetssikring og maskinbruken. Og hvordan prosjektbudsjettet hadde sett ut ved å endre på disse momentene.

## 7 Konklusjon

Veidekke har et mål om å være klimanøytrale innen 2045. Formålet med denne oppgaven har vært å finne bidragsyterne til klimagassutslipp ved tunneldriving på UDK01 Skogertunnelen. Det er da utviklet et klimaregnskap som tar for seg utslippene knyttet til stabilitetssikringen og maskinbruken i tunneldrivingen.

Ved utviklingen av klimagassregnskapet for prosjektet kommer de største utslippene tydelig fram. I diagrammene utviklet fra regnskapet vises det at betong er det materiale i stabilitetssikringen som sørger for størst utslipp av klimagasser. Som vil si at det er her det er størst forbedringspotensial. Videre, i klimaregnskapet for utslippet av drivstoff fra maskinene i tunnelen er utslippsfaktoren til biodiesel neste ti ganger så stor som faktoren for elektrisitet. Se figur 12, ved å velge kun elektriske maskiner kan utslippet reduseres betraktelig.

Det er knyttet noe usikkerhet rundt regnskapet, da den kan bestå av feil og avvik grunnet antagelser og manglende informasjon. Valg av antakelser er begrunnet i kapittel for diskusjon og er nøye vurdert. Alle materialene er basert på samme byggefase, og har samme utgangspunkt, dette gir et reelt resultat og en god sammenligning. Drivstoffene baseres også på de samme verdiene for å gi et pålitelig vurderingsgrunnlag som brukes i regnskapet.

Det er fortsatt en lang vei å gå for å nå målene, men løsningene er mange og mulighetene er store. Som en av Skandinavias største entreprenører må de gå fram som et eksempel. Være et forbilde i det grønne skifte, tenke bærekraftig og langsiktig. Her kan Veidekke påvirke andre og være med på å forandre anleggsbransjen.

## 8 Referanser

Aga, F. (2020) *Veidekkes maskinpark klar for fossilfrie anleggsplasser – men sjefen advarer om biodieselutfordringer*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/veidekkes-maskinpark-klar-for-fossilfrie-anleggsplasser-men-sjefen-advarer-om-biodiesel-utfordringer/1455091!/>

Bane Nor. (2022) *Bane Nor teknisk regelverk*. Tilgjengelig fra: [Teknisk regelverk \(banenor.no\)](https://www.banenor.no/teknisk-regelverk)

BaneNor. (2012) *Full utstøping med membran*. Tilgjengelig fra: <https://www.banenor.no/contentassets/4d1abcd21ac54afd955d559d0a5e842f/nyhetsbrev-utstopping-med-membran.pdf>

Brown, P. S. og Gould, J. D. (1987) *An Experimental Study of People Creating Spreadsheets*. Tilgjengelig fra: [https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/27641.28058?casa\\_token=6pU6\\_DdEaRYAAAAA:ccajLHAzDorEh7--jCgc\\_m31xgUxdvJhieKgGmeDGjz7uJqYihkJOdJMamp9QBWgJvKjt-OcM2fCXQ](https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/27641.28058?casa_token=6pU6_DdEaRYAAAAA:ccajLHAzDorEh7--jCgc_m31xgUxdvJhieKgGmeDGjz7uJqYihkJOdJMamp9QBWgJvKjt-OcM2fCXQ)

Christensen, N., Næss, A. og Solberg, J. K. (2022) *Stål*. Tilgjengelig fra: [stål – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/stal)

Det kongelige kommunal- og moderniseringsdepartement. (2020) *Mål med mening*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/bcbcac3469db4bb9913661ee39e58d6d/no/pdfs/stm202020210040000dddpdfs.pdf>

Eide, I. B., Nesse, N. og Årtun, T. (2021) *Sement*. Tilgjengelig fra: [sement – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/sement)

FN-sambandet. (2022) *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>

Glava. (u.å.) *Betong – hva er det?* Tilgjengelig fra: [Hva er betong? \(glava.no\)](https://glava.no/hva-er-betong)

Hugsted, R. (2019) *Hjullaster*. Tilgjengelig fra: [hjullaster – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/hjullaster)

Hugsted, R. (2020) *Sprøytebetong*. Tilgjengelig fra: [sprøytebetong – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/sprøytebetong)

Hærland, A. (2020) *Er hydrogen fremtidens viktigste drivstoff?* Tilgjengelig fra: [Er hydrogen fremtidens viktigste drivstoff? \(nysgjerrigper.no\)](https://nysgjerrigper.no/er-hydrogen-fremtidens-viktigste-drivstoff/)

Kontrollrådet. (u.å.) *Hva er forskjellen på betong og sement?* Tilgjengelig fra: [Hva er forskjellen på betong og sement? | Kontrollrådet \(kontrollbetong.no\)](https://kontrollbetong.no/hva-er-forskjellen-pa-betong-og-sement/)

Kriterieveiviseren. (2020) *Klimagassberegninger for prosjektet.* Tilgjengelig fra: <https://kriterieveiviseren.difi.no/nb/content/nb-klimagassberegninger-prosjektet>

Laberg, B. (2020) *Vanntetting av tunneler kan gjøres raskere, billigere og tryggere.* Tilgjengelig fra: [Vanntetting av tunneler kan gjøres raskere, billigere og tryggere \(byggfakta.no\)](https://byggfakta.no/vanntetting-av-tunneler-kan-gjores-raskere-billigere-og-tryggere/)

Lien, E. A. (2018) *Elektrisitet som drivstoff.* Tilgjengelig fra: [Elektrisitet som drivstoff. Fordelen med elektriske biler - Ladefabrikken As](https://ladefabrikken.no/elektrisitet-som-drivstoff-fordelen-med-elektriske-biler/)

Miljødirektoratet. (2021) *Biodrivstoff.* Tilgjengelig fra: [Biodrivstoff i Norge - Miljødirektoratet \(miljodirektoratet.no\)](https://miljodirektoratet.no/biodrivstoff-i-norge/)

Miljødirektoratet. (2020) *Tabeller for omregning fra energivare til utslipp.* Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klima-og-energiplanlegging/tabeller-for-omregning-fra-energivarer-til-kwh/>

NFF. (2020) *Håndbok nr. 11: Bergbolting.* Oslo: NFF.

NFF. (2008) *Håndbok nr. 05: Tung bergsikring i undergrunnsanlegg.* Oslo: NFF.

Norcem. (u.å.) *Sementproduksjon og CO<sub>2</sub>* Tilgjengelig fra: [Sementproduksjon og CO<sub>2</sub> | Norcem AS i Norge](https://norcem.no/sementproduksjon-og-co2/)

Nordic Steel. (u.å.) *Ulike typer stål og materialgrader.* Tilgjengelig fra: [Ulike typer stål og materialgrader - Nordic Steel Group](https://nordicsteel.com/ulike-typer-stal-og-materialgrader/)

Norges Geologiske Undersøkelse. (2021) *Grunnvann i fjell.* Tilgjengelig fra: [Grunnvann i fjell | Norges geologiske undersøkelse \(ngu.no\)](https://ngu.no/grunnvann-i-fjell/)

Nysgjerrigper. (2020) *Intervju.* Tilgjengelig fra: [Intervju \(nysgjerrigper.no\)](https://nysgjerrigper.no/intervju/)

Orgeret, K. S. (2018) *Intervju.* Tilgjengelig fra: [intervju – Store norske leksikon \(snl.no\)](https://snl.no/intervju/)

Palmstrøm, A. (1992) *Arbeidssikring*. Tilgjengelig fra: [Microsoft Word - Arb-sikring NIF kurs.docx \(rockmass.no\)](#)

Palmstrøm, A. (1997) *Kurs i fjell-lære*. Tilgjengelig fra: [9 Fjellaere.pdf \(rockmass.no\)](#)

Ruralis. (2019) *Biodiesel like bra – bortsett fra pris*. Tilgjengelig fra: <https://ruralis.no/2019/12/10/biodiesel-like-bra-bortsett-fra-prisen/>

Ruud M. (2016) *Hvordan tettes vannlekkasjer i tunneler og bergrom?* Tilgjengelig fra: [Hvordan tettes vannlekkasjer i tunneler og bergrom? - Tu.no](#)

Rørslett, K. (2021) *Hevder rett materialbruk kan halvere utslipp fra veibygging*. Tilgjengelig fra: [Hevder rett materialbruk kan halvere utslipp fra veibygging – NRK Norge – Oversikt over nyheter fra ulike deler av landet](#)

Seehusen, J. (2012) *-Frykter at vi mister vår tunnelkompetanse*. Tilgjengelig fra: [- Frykter at vi mister vår tunnelkompetanse - Tu.no](#)

Solberg, M. G. (2016) *Betong står for 5 prosent av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp. Slik skal forskerne lage en renere variant som varer lenger*. Tilgjengelig fra: [Betong står for 5 prosent av verdens CO<sub>2</sub>-utslipp. Slik skal forskerne lage en renere variant som varer lenger - Tu.no](#)

Statens Vegvesen. (u.å) *Fjellbolting*. Tilgjengelig fra: [Brage - Statens vegvesen: Fjellbolting : veiledning \[Håndbok 215\] \(unit.no\)](#)

Statens Vegvesen. (u.å) *Teknologi og drivstoff*. Tilgjengelig fra: [Teknologi og drivstoff | Statens vegvesen](#)

Thue, J. V. (2019) *Betong*. Tilgjengelig fra: [betong – Store norske leksikon \(snl.no\)](#)

Unicon. (u.å.) *Unicon lavkarbonbetong*. Tilgjengelig fra: [Lavkarbonbetong - Unicon.no](#)

Valmøt O. R. (2006) *Fjell ingen hindring – bygger i berg*. Tilgjengelig fra: [Fjell ingen hindring - bygger i berge - Tu.no](#)

Veidekke. (u.å.) *Historien vår*. Tilgjengelig fra: [Slik jobber vi med miljø: - Kompetanse - Veidekke i Norge](#)



## 9 Vedlegg

## Vedlegg A

---

# Klimaregnskap – hva er bidragsyterne til klimautslippet ved tunneldriving?

---

Frida E. F. Graneng og Carmina J. C. Sønsterud

Vi må tenke langsiktig og bærekraftig!

**Bygg- og anleggsvirksomheten utgjør 15% av det norske klimautslippet, og 40% av det globale. Bransjen må tenke langsiktig og bærekraftig. En løsning på problemet er nødvendig.**

**Veidekke** er en av Skandinavias største entreprenører. Deres virksomhet er delt inn i tre områder, bygg, anlegg og industri. Bærekraft har en sentral rolle i bedriftens strategi. Et av hovedmålene er å bli klimanøytral innen 2045.

Studenter ved NTNU har gjennomført en studie for Veidekke for å finne bidragsyterne til klimautslipp ved tunneldriving. Her har studentene utviklet et klimaregnskap. Målet med oppgaven er bidra til å nå Veidekkes klimamål, som står i stil med FNs bærekraftsmål, og hjelpe bransjen i en mer bærekraftig retning.

Veidekke har et pågående tunnelprosjekt i samarbeid med BaneNor. UDK01 Skogertunnelen i Drammen, det er en dobbeltsporet jernbanetunnel. Den er lokalisert i urbant strøk med 6 km bergtunnel.



Inne i UDK01 Skogertunnelen, Veidekke er entreprenør på prosjektet.

Veidekke har mål om å bli klimanøytral innen 2045. De vil sette standarden for bransjen, og sørge for at andre følger etter.



Veidekke ønsker å finne hva som bidrar til de store utslippene på et tunnelprosjekt. Slik at de kan revurdere valgene og komme med nye løsninger.

Studentene har utviklet et klimagassregnskap som tar for seg utslippene av materialene brukt i stabilitetssikringen og drivstoffene i maskinene brukt i tunnelen. Verdiene i regnskapet er basert på GWP-verdier, mengder og utslippsfaktorer til materialer og drivstoff.

De største bidragsyterne på prosjektet er betong og biodiesel. I rapporten til Graneng og Sønsterud (2022) kommer det fram at 81% av materialutslippene kommer fra betong. Videre i rapporten kan man se at utslippsfaktoren for biodiesel er nesten ti ganger så stor som faktoren for elektrisitet.

Her bør Veidekke tenke langsiktig. En mulighet er å bytte ut betong med et annet materiale, eller redusere mengden. Bedriften kan også teste ut kun elektriske maskiner på anleggsområdet. De må da sørge for nok elektrisitetkapasitet.

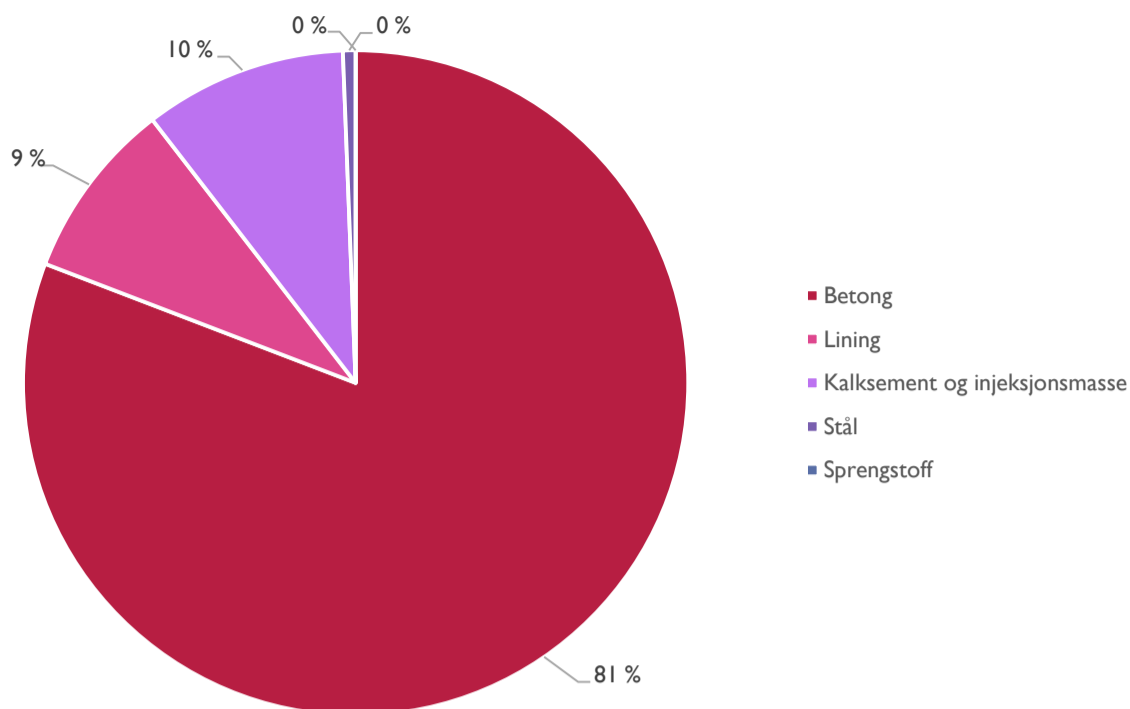
---

## Vedlegg B

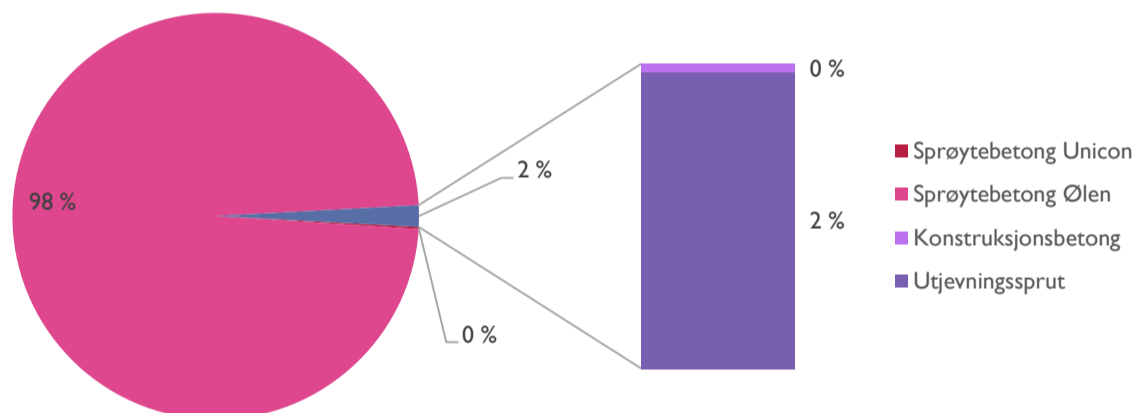
**Klimaregnskap for stabilitetssikring på UDK01**

		Mengde (tonn)	Mengde (kg)	GWP fra EPD (kg CO2e)	Utslipp	kommentar	EPD
Betong	Sprøytebetong						
	Unicon	451,5	451100,00	280,07	126339577		<a href="#">NEPD-1191-358-NO Sprøytebetong Ølen</a>
	Ølen Betong	264459,1	264459100,00	280,07	74067060137		<a href="#">NEPD-1191-358-NO Sprøytebetong Ølen</a>
	Konstruksjonsbetong						
	NorBetong/HokksundBetong	138	138000	256,51	35398380	mangler EPD	<a href="#">NEPD-389-275-NO</a>
	Utjevningssprut						
	B35 M45 D9	4460	4460000	280,07	1249112200	mangler EPD	<a href="#">NEPD-1191-358-NO Ølen</a>
Lining	Betonglining (hvelv)						
	B35 MF45 D22 LKB A 2kg PP	33053	33053000	207,68	6864447040		<a href="#">NEPD-1191-358-NO</a>
	Membranlining	70993	70993000	4,025	285746825		<a href="#">EPD-NAUE-CF-001-ref2</a>
	Geotekstil lining	70993	70993000	0,8387	59541829,1		<a href="#">EPD-NAUE-STX-001-ref2</a>
	Betong fundamenter ølen						
	B35 MF45 D22 LKB A	4398	4398000	207,68	913376640		<a href="#">NEPD-1191-358-NO</a>
Kalksement og injeksjonsmasse	Injeksjonssement						
	Norcem industriment	10863,7	10863700	720	7821864000		<a href="#">NEPD-2278-1028-NO</a>
	Mapei Micro	1407	1407000	720	1013040000	Norcem micro	<a href="#">NEPD-2278-1028-NO</a>
	Boltemørtel/ Gysemasse						
	Mapei Zinkbolt	703	703000	0,391	274873		<a href="#">NEPD-406-273-EN</a>
	Akselerator til sprøytebetong						
	Mapei Mapequick AF D03	1090,5	1090500	0,507	552883,5		<a href="#">EPD-S-P-01577-EN</a>
	Tilsetningsstoffer sement						
Mapei Grout tech system W	166,5	166500	1,88	313020		<a href="#">EPD-EFC-20150091-IAG1-EN</a>	
	Stabilisator sement (slurry)						
	Mapei Grout tech 5000	520,4	520400	720	374688000	mangler EPD	<a href="#">NEPD-2278-1028-NO</a>
Stål	Fjellsikringsbolter 5 meter	1257	1257000	15,7	19734900		<a href="#">NEPD-2620-1330-NO</a>
	Fjellsikringsbolter 4 meter	22172	22172000	13,2	292670400		<a href="#">NEPD-2565-1295-NO</a>
	Fjellsikringsbolter 3 meter	14196	14196000	11,6	164673600		<a href="#">NEPD-2619-1330-NO</a>
	Fjellsikringsbolter 2,4 meter	7217	7217000	10,7	77221900		<a href="#">NEPD-2618-1330-NO</a>
	Fin-bolt	640	640000	10,7	6848000	EPD for bolt 2,4	<a href="#">NEPD-2618-1330-NO</a>
	Fiberarmering		0	0,771	0	foreløpig tom	<a href="#">NEPD-1383-447-NO</a>
	Konstruksjonsstål		0	0	0	foreløpig tom	
Sprengstoff	AN- Emulsjon (Standard)						
	Orica	2215	2215000	2,65	5869750		<a href="#">NEPD-1591-615-EN</a>
	N-10 (ANE700E)						
	Orica	21,22	21220	2,95	62599		<a href="#">NEPD-1842-791-EN</a>
<b>Totalt utslipp</b>					<b>93378836554</b>		

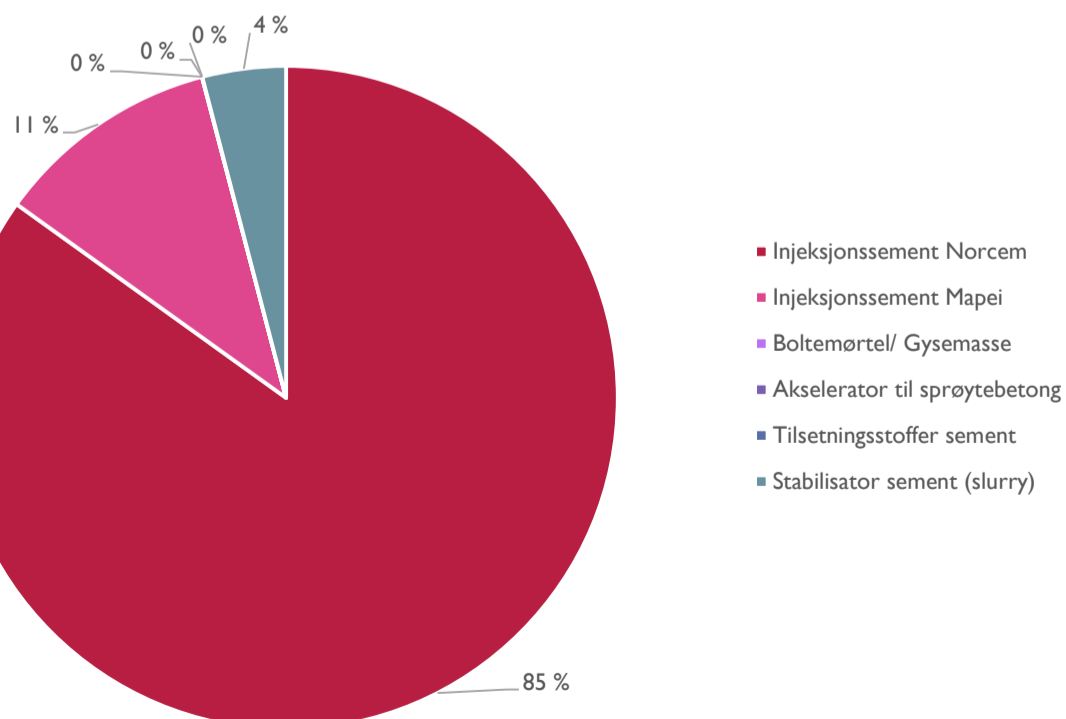
Materialutslipp i UDK01



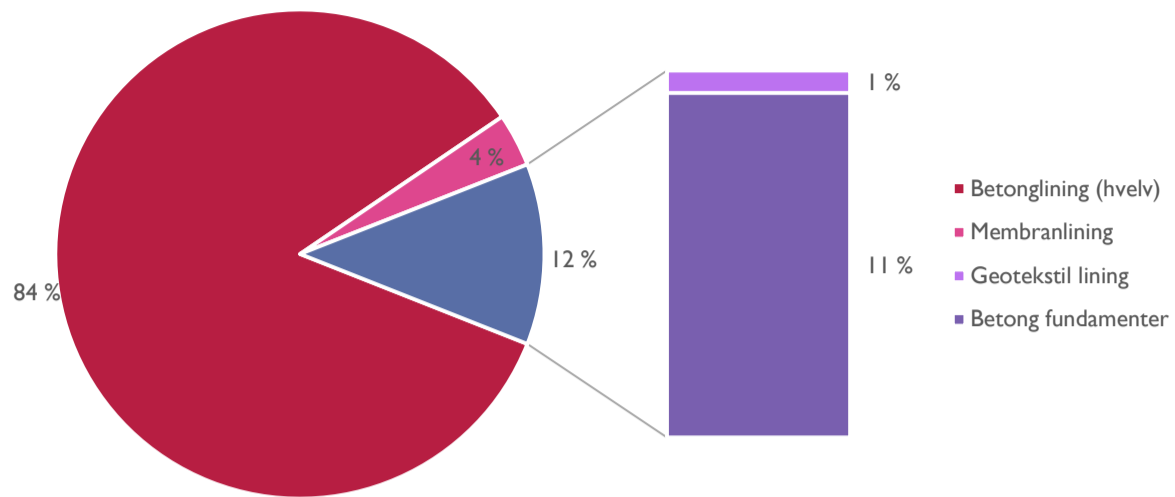
Klimautslipp for betongmaterialer



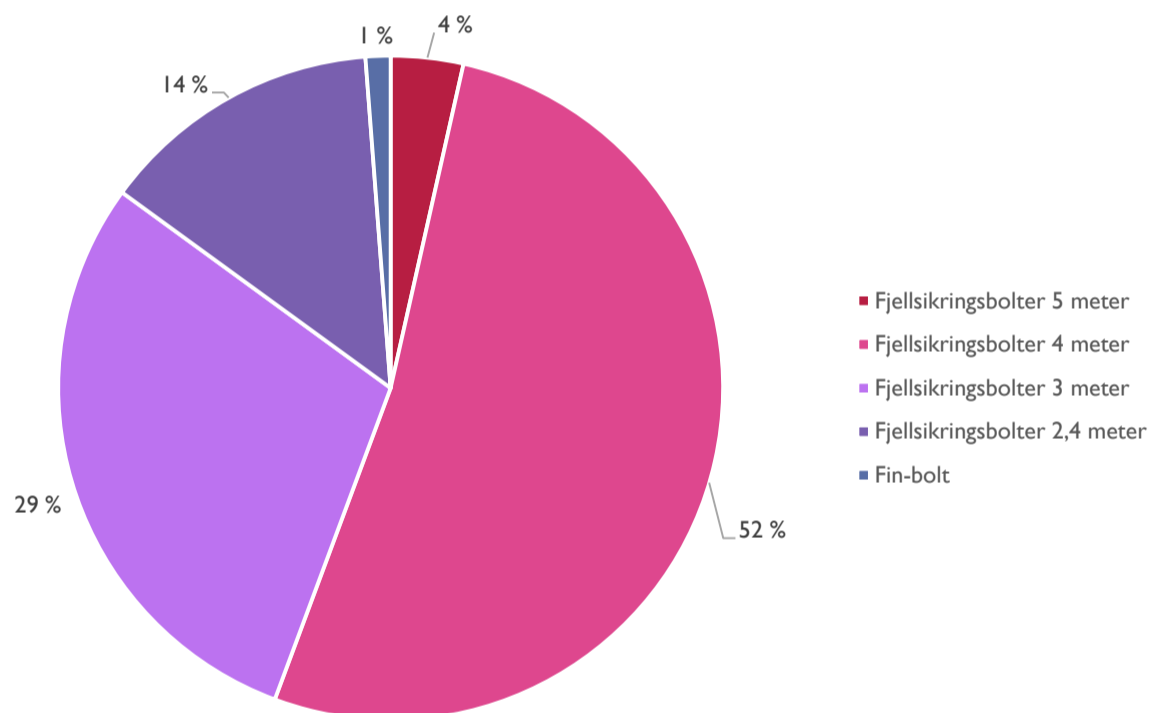
Klimautslipp for kalksement og injeksjonsmasse



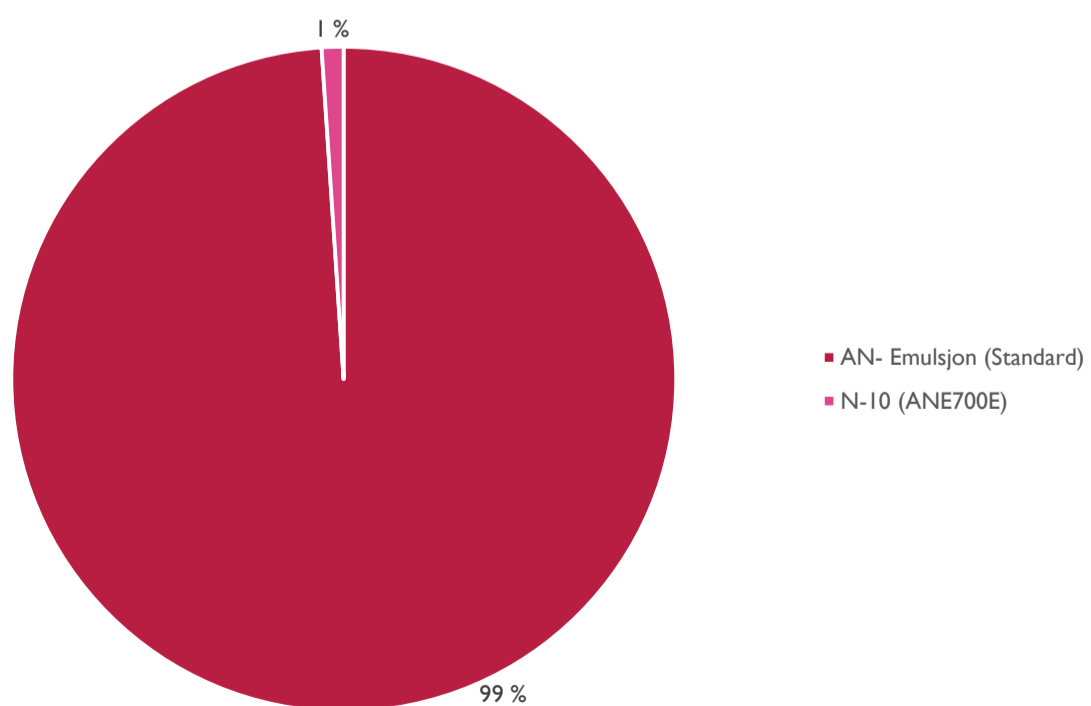
Klimautslipp for lining



Klimautslipp for stål



Klimautslipp for sprengstoff



## Klimaregnskap for drivstoff til maskiner

		Mengde (tonn)	Mengde (kg)	GWP(kg CO2e)	Utslipp
Biodiesel maskiner og kjøretøy	ECOI 2G Polar		1205942,21	0,32	385901507,2
Elektrisitet anleggsområde			14664697,2	0,033	483935007,6
Totalt:					869836514,8
Totalt klimagassutslipp:		869836514,8 kg CO2e			

Totalt utslipp i tunnel inkluderer biodiesel maskiner og kjøretøy og elektrisitet anleggsområde

**Totalt utslipp i tunnel: 869836514,8 kg CO2e**

	Mengden utslip
Biodiesel maskiner og kjøretøy	385901507,2
Elektrisitet anleggsområde	483935007,6

	Utslippsfaktor (GWP)
Biodiesel maskiner og kjøretøy	0,32
Elektrisitet anleggsområde	0,033

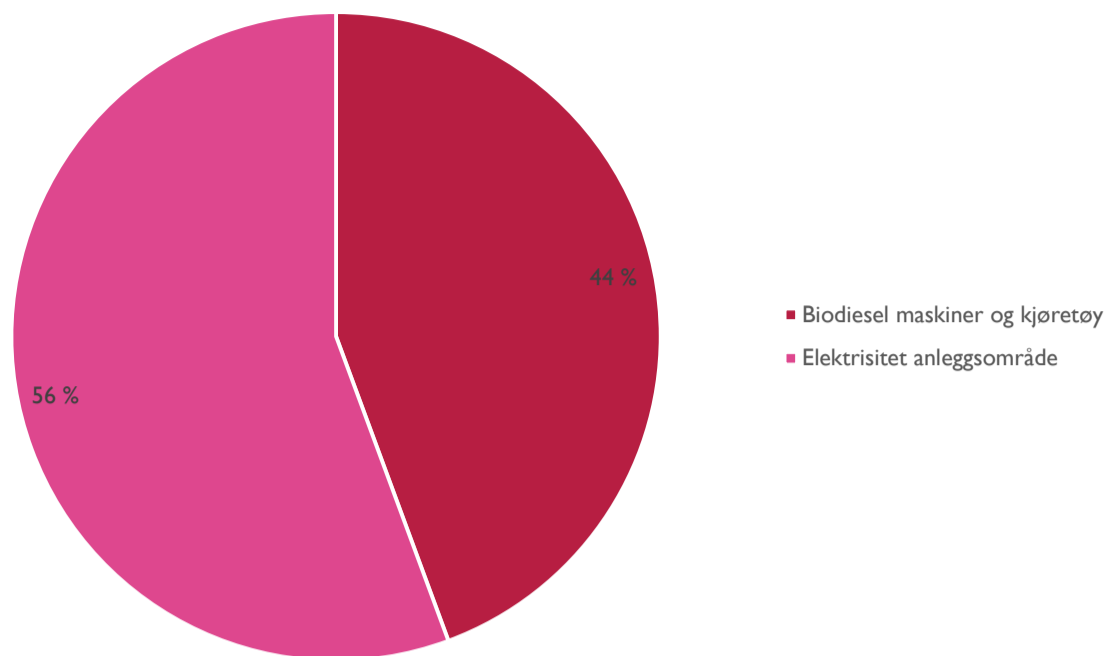
	Mengde brukt (kg)
Biodiesel maskiner og kjøretøy	1205942210
Elektrisitet anleggsområde	14664697200

	Utslippsfaktor	Mengden utslipp
Maskiner og kjøretøy	0,033	39796092,93
Elektrisitet anleggsområde	0,033	483935007,6
Totalt urslipp ved alt elektrisitet		523731100,5

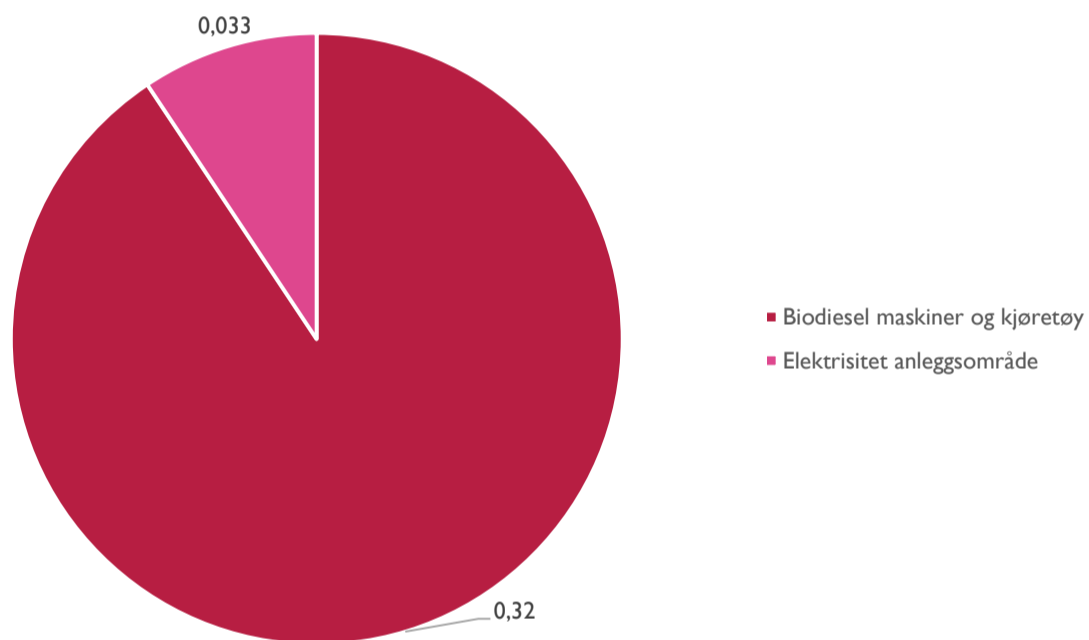
	Utslipp (kg CO2 ekvivalenter)
Original	869836514,8
Alt elektrisitet	523731100,5
Reduksjon av utslippet	346105414,3



### Klimautslipp for maskinbruk i tunneldriving



### Utslippsfaktor for maskinbruk i tunneldriving (GWP-verdi)



### Maskinbruk i tunneldriving Oppgitte mengder i kg CO2 ekvivalenter

