



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY  
STORBYUNIVERSITETET

**Institutt for Bygg- og energiteknikk - Bygg**  
Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo  
Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

GRUPPE NR.  
17

TILGJENGELIGHET

Telefon: 67 23 50 00  
www.oslomet.no

# BACHELOROPPGAVE

BACHELOROPPGAVENS TITTEL	DATO
<b>Optimalisering av landkarkonstruksjon</b>	25.05.2020
	ANTALL SIDER / ANTALL VEDLEGG
	130/6
FORFATTERE	VEILEDER
Jenish Baniya	Mohammad Hajmohammadian
Silmon Tsegai Berhane	Mahdi Kioumarsi
Haji Hossin Baqeri	

UTFØRT I SAMMARBEID MED	KONTAKTPERSON
<b>Betongelementforeningen</b>	John Eirik Reiersen

**SAMMENDRAG**  
Klimagassutslippene fra byggenæringene er høye, noe som gir miljøskadelige konsekvenser for fremtidens generasjoner. På grunnlag av dette ble det utarbeidet bacheloroppgave for å finne optimale landkarlørnsninger. Dette kan virke som et lite bidrag, men er viktige bidrag fordi mye av veibyggingen i Norge hendlr om å bygge nettopp broer. Gjennom litteraturstudiet ble det gjort forskninger på å finne mulige landkarlørnsninger som gir mindre miljøbelastninger. Det ble utført forskning på tre ulike landkartyper som jordarmerte, fugefrie og CLSM.

I tillegg ble det utført intervjuer for å kunne indentifisere årsakene til hvorfor mye materialer blir brukt til landkarkonstruksjoner og hvilke mulige tiltak finnes for minimering av material bruket. Under intervjuet ble det undersøkt faktorer som kan redusere betongmengde i landkarkonstruksjoner. Basert på rapporten kan materialressursene i landkarkonstruksjoner brukes mer effektivt. Dette er mulig ved bruk av optimale landkarlørnsninger som jordarmerte «GRS» landkarlørnsninger og andre mulige tiltak som terrengtilpassinger og veigeometri.

3 STIKKORD
Miljøvennlige landkarkonstruksjon
Alternative materialbruk
Sirkulær økonomi

## Forord

Denne oppgaven er et avsluttende arbeid for bachelorstudium våren 2020. Arbeidet markerer slutten på et treårig bachelorprogram i ingeniørfag. Bacheloroppgaven er skrevet i samarbeid med Betongelementforening som er en selvstendig bransjeforening for norske produsenter av betongelementer til bygg og anlegg.

Bacheloroppgaven baserer seg på å finne innovative og ressurs effektive løsninger i landkarkonstruksjoner. Oppgaven blir opplyst gjennom litteraturstudie og intervjuer av ulike aktører. Gjennom arbeidet med oppgaven ønsket bachelorgruppen også å ha en miljømessig vinkling. Ulike alternativer for materialbruk ble vurdert fra et miljømessige perspektiv og, årsaker til bruk av stort betongvolum i landkarkonstruksjoner ble diskutert. I denne oppgaven har vi fått muligheten til å anvende tidligere forkunnskaper og samtidig sette oss inn i nytt stoff.

Vi ønsker å rette stor takk til våre veiledere for motivasjon, gode ideer og oppfølging de har bestått gjennom arbeidet. Videre vil vi takke vår ekstern veileder ved Betongelementforening i tillegg for å som sette oss i kontakt med aktører fra byggebransjen.

### **OsloMet Storbyuniversitetet**

Mohammad Hajmohammadian

Mahdi Kioumarsi

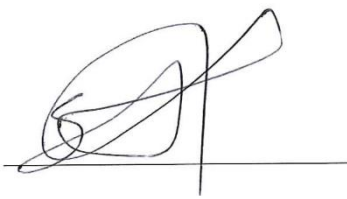
### **Betongelementforening**

John Erik Reiersen

Vi vil også bruke anledningen til å takke Idar T. Heskestad og Bård Hansen fra Spennbetong AS for å ha inviterte oss til befarung til betongfabrikken deres. Som ble dessverre avlyst på grunn av Covid-19 utbruddet. I løpet av oppgaven ble det gjennomført intervjuer med flere personer i bygg- og anleggsbransjen som vi ønsker å takke alle aktørene som har bidratt med kunnskap, engasjement og interesse under oppgaven skriving. I tillegg vil vi takke Gunnar Vaestad fra Nye Veier, og Ann-Karina Lassen for gode tilbakemeldinger og nyttige innspill for akademisk skriving.



Jenish Baniya



Silmon Tsegai Berhane



Haji Hossin Baqeri

## Sammendrag

Utslippene fra byggenæringen utgjør stor del av det totale norske klimagassutslippene. Samtidig stiller NTP krav til å redusere klimautslippene fra både byggebransjen og infrastrukturene frem mot 2030. Basert på det har det blitt utarbeidet forskning gjennom litteraturstudiet og intervjuer til å finne mulige landkarløsninger som gir mindre miljøbelastninger. I tillegg indentifisere oppgaven årsakene til hvorfor det brukes mye betongmaterialer i landkarkonstruksjoner i dag. Videre har det blitt utforsket muligheter til å optimalisere eller minimere betongmaterialet i landkarkonstruksjoner. Slik at ressursene av materialer blir effektivt utnyttet og forblir i konstruksjonen lengst mulig i en sirkulær økonomi.

Gjennom litteraturstudiet har det blitt utarbeidet tre følgende landkarløsninger: Jordarmerte, Integrertlandkar og CLSM landkar. Landkarløsninger som ble utforsket på litteraturstudiet er de aktuelle med tanke på effektiv materialbruk og miljøbelastning. Blant annet, i litteraturstudiet ble det fremstilt anbefalinger til landkarløsninger som gir mindre CO<sub>2</sub> utslipp. Videre i oppgaven ble det opplyst hvordan avfallsmaterialer og biprodukter kan gjenbrukes som råstoffer i landkarkonstruksjoner. Under oppgavene ble det utforsket muligheter til gjenbruk av gamle elementer og minimere avfallet.

For å avdekke årsakene for høy bruk av betongmengde i landkarkonstruksjon, ble det gjennomført intervjuer. Blant annet ble faktorer som prefabrikking, standardisering, linjeføring, terrengbehandling og grunnforhold tatt opp under intervjuet, for å se om disse faktorene ville redusere betongmengde i landkarkonstruksjoner. Gjennom intervjuet ble forfatterne belyst på holdningene av aktørene i bygg- og anleggsnæringen med bruk av miljøvennlige materialer. Interjuvene med ulike aktørene viser til utfordringer og hindringer i den norske bygg- og anleggsnæringen. Ifølge rapporten kan bygg- og anleggsnæringen utnytte ressursene mer effektivt i landkarkonstruksjoner med innovasjon og ulike tiltak. Dette kan oppnås ved å ta i bruk optimale landkarløsninger som jordarmerte landkar (GRS) med mindre betongvolumet.

## Abstract

Emissions from the construction sector make up a large part of the total Norwegian greenhouse gas emissions. National Transport Plan have set requirements to reduce greenhouse gas emissions from the construction sector and infrastructure by 2030. According to that, a research has been undertaken through literature review and interviews to find possible solutions that give less strain to environment. Furthermore, the thesis identifies the reasons behind the use of a large amount of concrete materials in abutment constructions today. Additionally, other possibilities have been explored to optimize and minimize the concrete material in abutment construction. So that the resources of materials are utilized effectively and remain in the construction for as long as possible in a circular economy.

Through the literature review, the following three types of abutment solutions such as Geosynthetic Reinforced Soil, Integral Abutment and CLSM abutment have been studied. Based on the report, the solutions discovered in the research can reduce GHG emissions. In the literature review recommendations were made for abutment solutions that can give less CO<sub>2</sub> emissions. It was also stated how waste materials and by-products can be recycled as raw materials in abutment constructions. The opportunities to recycle products and minimize waste were discussed further.

Interviews were conducted to reveal the reasons for employing high amount of concrete in abutment constructions. Among other things, factors such as precast concrete, standardization, road alignment, terrain processing and ground conditions were discussed during the interview. Throughout the interview, the authors highlighted the attitudes of the stakeholders in the construction industry regarding the use of environmentally friendly materials. The interviews done with various stakeholders shows the challenges and obstacles in the Norwegian construction industry. According to the report the construction sector can utilize resources more effectively in abutment constructions with innovation and various measures. This can be achieved by employing optimal abutment solutions such as geosynthetic reinforced soil (GRS) which uses less concrete.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>II</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IV</b>
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>V</b>
<b>DEFINISJON</b> .....	<b>VII</b>
<b>FORKORTELSER</b> .....	<b>VIII</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUNN – BYGG OG ANLEGGSNÆRINGEN SKAL REDUSERE SINE UTSLIPP. ....	1
1.2 FORMÅL .....	3
1.3 PROBLEMSTILLING .....	3
1.4 FORUTSETNINGER OG AVGRENSINGER .....	4
1.4.1 Tematisk avgrensinger.....	4
1.4.2 Geografisk avgrensinger.....	5
<b>2 TEORETISK UNDERLAG</b> .....	<b>5</b>
2.1 GENERELLE KONSTRUKSJONSKRAV .....	5
2.2 LANDKAR SOM BÆREKONSTRUKSJON .....	6
2.2.1 Fundamentering, fuger og lager.....	7
2.2.2 Estetikk vurdering og terrenginngrep.....	10
2.2.3 Grunnforhold.....	11
2.3 MATERIALETEKNOLOGI.....	14
2.3.1 Betong.....	14
2.3.2 Sement.....	15
2.3.3 Tilslag .....	17
2.3.4 Betong Armering.....	18
2.3.5 Ombruk og gjenvinning .....	19
2.3.6 Stål som byggemateriale og legeringsstoffer.....	21
2.3.7 Controlled low strength material (CLSM).....	23
2.3.8 Geosyntetisk.....	24
2.4 MILJØHENSYN .....	25
2.4.1 Miljøaspekter av materialer.....	25
2.4.2 Betongsinnvirkning på miljøet.....	26
2.4.3 Lavkarbonbetong .....	27
2.4.4 Norges miljø forpliktelse.....	29
<b>3 METODE</b> .....	<b>32</b>
3.1 REFLEKSJON OG KVALITETSSIKRING .....	33
3.1.1 Kildekritikk .....	33
3.1.2 Reliabilitet og Validitet.....	34
3.1.3 Valg av metode .....	35
<b>4 RESULTAT</b> .....	<b>41</b>

4.1	LITTERATURSTUDIET .....	41
4.1.1	<i>Fugefrie landkarbruer</i> .....	41
4.1.2	<i>Jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS)</i> .....	58
4.1.3	<i>CLSM Landkar</i> .....	78
4.2	INTERVJU AV YTTERLIGERE AKTØRER I BRANSJEN .....	100
4.2.1	<i>Årsaken til høyt betongbruk i landkar</i> .....	101
4.2.2	<i>Holdning av aktørene i bygg bransjen</i> .....	105
4.2.3	<i>Oppnåelse av klimamål</i> .....	109
4.2.4	<i>Utfordringer i byggsektoren</i> .....	113
<b>5</b>	<b>DISKUSJON</b> .....	<b>116</b>
5.1	OMBRUK OG GJENVINNING AV MATERIALER - UTFORDRINGER OG MULIGHETER .....	116
5.2	AVFALLSMINIMERING .....	119
5.3	ALTERNATIVT MATERIALBRUK .....	120
5.4	MILJØ INNVIRKNING AV LANDKAR TYPER.....	122
5.5	MULIGE TILTAK OG VIRKEMIDLER .....	124
5.5.1	<i>Prefabrikking</i> .....	124
5.5.2	<i>Standardisering</i> .....	124
5.6	KONSTRUKSJONS OPTIMALISERING OG BROSPENN .....	125
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON</b> .....	<b>126</b>
6.1	ANBEFALING TIL VIDERE ARBEID .....	129
<b>7</b>	<b>VEDLEGG</b> .....	<b>130</b>
7.1	INTERVJUGUIDEN.....	130
7.2	FORMEL FORESPØRSEL TIL RESPONDENTENE .....	132
<b>8</b>	<b>KILDELISTE</b> .....	<b>134</b>
8.1	FIGURLISTER.....	134
8.2	TABELL LISTER .....	135
8.3	REFERANSE.....	136

## Definisjon

**Endeskjørt:** Delkomponent i enden av brooverbygning som tar tverrbelastningene.

**Endeopplegg:** Landkarkonstruksjon av betong som tar påførte jordlaster fra massene bak landkar.

**Full height rigid:** Plasstøpt stålarmert betong mellom forskalingen og veggflaten pakket rundt med geonett forsterkning. FHR anvendes i jordarmert landkar som støttemur

**Fullt Integrert landkar:** Landkarkonstruksjoner uten lager-elementer, i tillegg er den direkte forbindelse med brooverbygningen

**GRS /jordarmert brulandkar:** Et jordarmert landkar designet og bygget for å støtte en bro.

**Jordarmert masser:** En sammensatt masse bygget med geonett som skaper en frittstående, intern stabilitet med redusert jordtrykk.

**Overdekning:** Avstanden mellom betongfasade til den nærmeste armeringen i konstruksjonen

**Post holes/ stolpehull:** Prefabrikkert ringformet element hvor pel-fundamenter føres in. Det vil lite rom mellom dem

**Pozzolanisk:** Pozzolan-stoff brukes som tilsats eller som erstatning for en del av portlandsement.

**Prefabrikkering/prefabrikasjon:** Betegner å forhånd produsere delelementer til byggeplassen.

**Punktlasten:** En kraft påført på et enkelt punkt på en bjelke eller struktur.

**Semi integrert landkar:** Landkarkonstruksjoner med lager-elementer, og har direkte forbindelse til brobjelkene.

**Semi retaning abutment:** Plassering av landkarkonstruksjon midt i terrenget.

**Sirkulær økonomi:** å utnytte ressurser på best mulig måte for å sørge for bærekraft og verdiskaping også på lang sikt.

**Silika:** Røykgass-støv fra ferrosilisium og silisiumproduksjon

**Sill abutment:** Landkarkonstruksjoner uten lager-elementer, i tillegg er den direkte forbindelse med brooverbygningen

**Standardiseringer:** Betyr å ta i bruk av en standard løsning, som gir krav og normer på utførelse og utarbeiding av produkt og tjeneste.

**Utvasking:** Vannstrømmingen gir masseforflytning av sand og andre tilslagsmaterialer.

**Veilinjeføring:** Utforming av veilinje med hensyn til terrenget og grunnforholdene.

## Forkortelser

<b>ACI</b>	American Concrete Institute
<b>AP</b>	Acidification
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Material
<b>CLSM</b>	Controlled Low Strength Material
<b>CMU</b>	Concrete masonry unit
<b>EP</b>	Eutrophication
<b>EOL</b>	End-of-life
<b>FA</b>	Flygeaske
<b>FHR</b>	Full height rigid
<b>FHWA</b>	Federal Highway Administration
<b>GHG</b>	Greenhouse gas
<b>GMSE</b>	mechanically stabilized earth
<b>GRS</b>	Geosynthetic Reinforced Soil
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>IBS</b>	Integrated Bridge System
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment
<b>LCCA</b>	Life-cycle cost analysis
<b>NTP</b>	National transport plan
<b>ODP</b>	Ozone depletion
<b>POCP</b>	Photochemical oxidant formation
<b>QD</b>	Quarry Dust
<b>RC</b>	Reinforced concrete
<b>RHA</b>	Rice Husk Ash
<b>RSF</b>	Reinforced Soil Foundation
<b>RWs</b>	Retaining walls
<b>SKB</b>	Selvkomprimerende betong
<b>SRW</b>	Segmental retaining Wall
<b>SSB</b>	Statistisk sentralbyrå



## 1 Innledning

### 1.1 Bakgrunn – bygg og anleggsnæringen skal redusere sine utslipp.

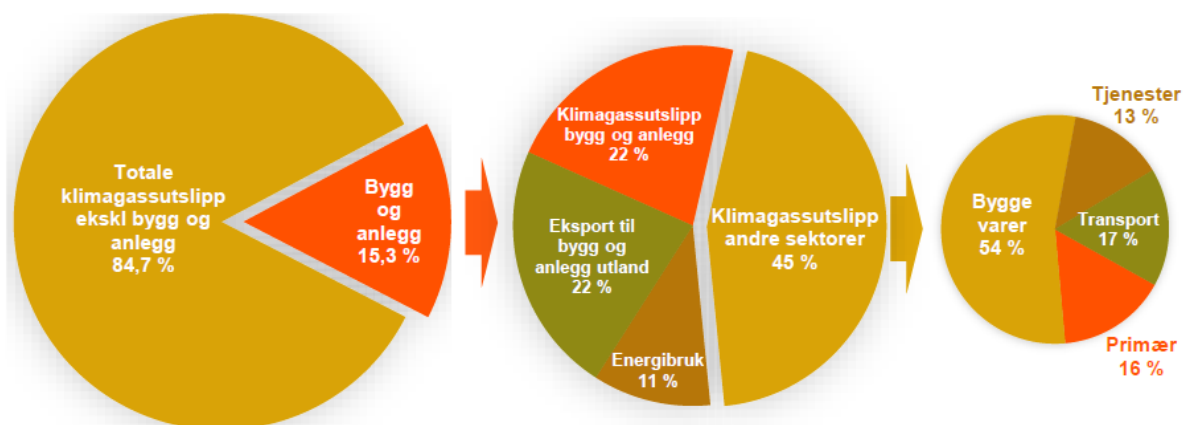
Skal man få ned klimagassutslippene fra bygg og anleggssektoren er det viktig å arbeide på flere fronter samtidig. Den felles nøkkelen for alt arbeidet som pågår for å få utslippene ned er at man arbeider kunnskapsbasert. Dette innebærer at man bruker sunn ingeniørfaglig metode i alt man gjør. Sjefen for Statsbygg (Harald Nikolaisen) sa for ca. et år siden at den beste og mest miljøvennlige bygningspolitikken er å ikke føre opp nye bygg, men å gjennomføre skikkelige behovsanalyser og først se på hva som kan gjenbrukes for å bygge rasjonelt. Når man kommer til at man likevel må bygge nytt er det viktig å velge riktig konstruksjon for formålet, dette innebærer også å optimalisere materialbruken slik at man bruker minst mulig materialer for å skape en funksjon/ytelse, ikke bare at man velger riktige byggematerialer og konsept. Klimagassutslipp og overforbruk av materialer henger nøye sammen.

I 2019 fikk Byggenæringens Landsforening (BNL) utarbeidet en rapport som diskuterte klimagassutslipp fra norsk byggenæring og byggevareindustri, altså det samme klimagassregnskapet som brukes når Norge skal rapportere sine utslipp til EU.

Rapporten (Larsen, 2019) sier at:

- *15,3 % av de norske klimagassutslippene kommer fra byggenæringen.*
  - Der 22 % kommer fra selve byggeaktiviteten
  - 11 % kommer fra energi til drift av bygg
  - 22 % eksport av varer og tjenester fra sektoren
  - 45 % skyldes andre sektorer som følge av aktiviteten i byggenæringen, og består av:
    - 54 % fra byggevareproduksjon
    - 16 % utslipp fra skoghogst
    - 17 % utslipp fra transport fra byggevareprodusent til byggeplass
    - 13 % andre utslipp

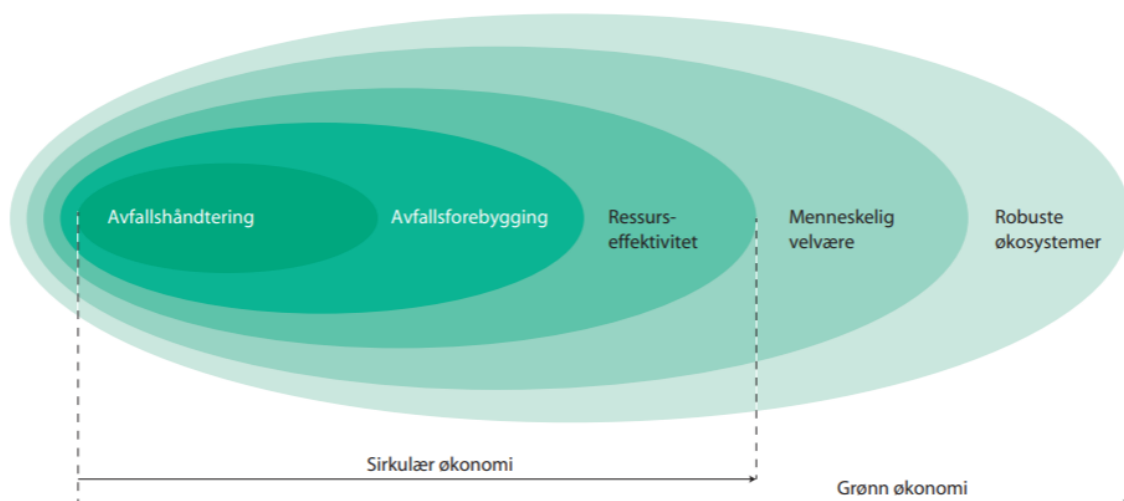
Se figuren under som illustrerer dette:



Figur 1.1 Oppsummerende figur på bygg og anleggssektorens andel av Norges klimagassutslipp (Larsen, 2019)

«Figuren 1.1 viser byggevarer står for 49 % av BAE-sektorens totale klimagassutslipp (2017)»

Rapporten viser at utslipp fra byggevarerproduksjon utgjør omkring halvparten av utslippene som verdikjeden bygg, anlegg og eiendom genererer i løpet av et år (globale utslipp). Betong er også en byggevarer, og illustrerer nettopp at mer optimal materialbruk kan bidra til lavere utslipp av klimagasser. Utslippene fra byggevarerproduksjon er sentralt tema, men hele logistikkoperasjonen frem til byggeplass har også stor betydning. Bruk av biodrivstoff på transportmidler og anleggsutstyr som pr i dag ikke kan elektrifiseres vil ha en elektrifisert bromontasje er et eksempel på viktige bidrag. (Larsen, 2019)



Figur 1.2: Viser sirkulær økonomi illustrert av Det Kongelige Klima og Miljødepartements (Samferdselsdepartementet, 2016-2017)

Norge må forberede seg på å bli et *sirkulært samfunn*. Med sin store verdiskaping og bruk av ressurser vil byggenæringen være sentral for å få dette til. Kfr. også EUs strategi for en sirkulær økonomi. Det vil føre for langt å beskrive alle mulighetene i dette brevet, men BNL kan gjerne presentere *sin analyse over den sirkulære økonomien i bygg og anlegg* for departementet. (Larsen, 2019)

## 1.2 Formål

Byggbransjen, byggevsareprodusentene er ansvarlig for store klimagassutslipp. I de siste årene har det kommet en tydeligere erkjennelse av at bransjen selv må bidra til forbedringer, det er en konsekvens av et engasjement i bransjen for et grønt skifte. Formålet med oppgaven er å studere ulike løsninger for landkarkonstruksjoner. Oppgaven har særlig fokus på tekniske løsninger opp mot materialbruk. Vi vil forstå landkarets funksjon i brokonstruksjonen, og sammen med samarbeidspartneren prøver å finne alternative og mer materialgjerrige løsninger for landkar, målet er å studere forslag til løsninger som kan bidra til bedre og mer miljøoptimale alternativer. I oppgaven vil vi diskutere forslag som kan bidra til mer optimaliserte landkar, med fokus på effektiv utnyttelse av material i sirkulær økonomi.

I dette arbeidet vil vi studere tiltak som kan redusere materialbruken og som kan bidra til at terrenget og topografien rundt brokonstruksjonen benyttes mer aktivt for å oppnå dette. Selv om brokar som regel er plassbygde i Norge vil vi se på om deler av dette kan prefabrikeres i fabrikk, på en slik måte at det bidrar til mer effektiv materialbruk. I løsningene skal vi også sette søkelys på tiltak som gir landkaret en bedre CO2 profil, dette kan oppnås ved en kombinasjon av redusert materialbruk og miljøoptimaliserte betongkvaliteter. Men det er en del hindringer, eller snarere bremseklosser for å nå målene som diskutere vi nærmere i oppgaven.

## 1.3 Problemstilling

Oppgaven ønsker å undersøke hvordan landkarkonstruksjoner kan bidra til grønt skift i byggebransjen. Under oppgaven blir det utforsket alternative bruk av materialer i en landkarkonstruksjoner i en sirkulær økonomi for å redusere klimagassutslippene. Det blir studert utfordringene og retningslinjer som kan forbedres for å sikre et miljøvennlige konstruksjon.

Derfor ønsker vi å belyse oppgaven med følgende problemstilling:

*«Hvordan kan materialer utnyttes effektivt for å optimalisere landkar?»*

For å belyse på problemstillingen har vi delt det igjen i underspørsmålene.

1. Litteraturstudie på innovative landkarløsninger for reduksjon av betongbruk?
2. Hva kan årsaken være til at det benyttes mye betong i landkarkonstruksjoner?
3. I hvilken grad kan man ved bruk av alternative materialer redusere Co2 utslippene i landkarkonstruksjon? Finne eventuelle hindringer og utfordringer?

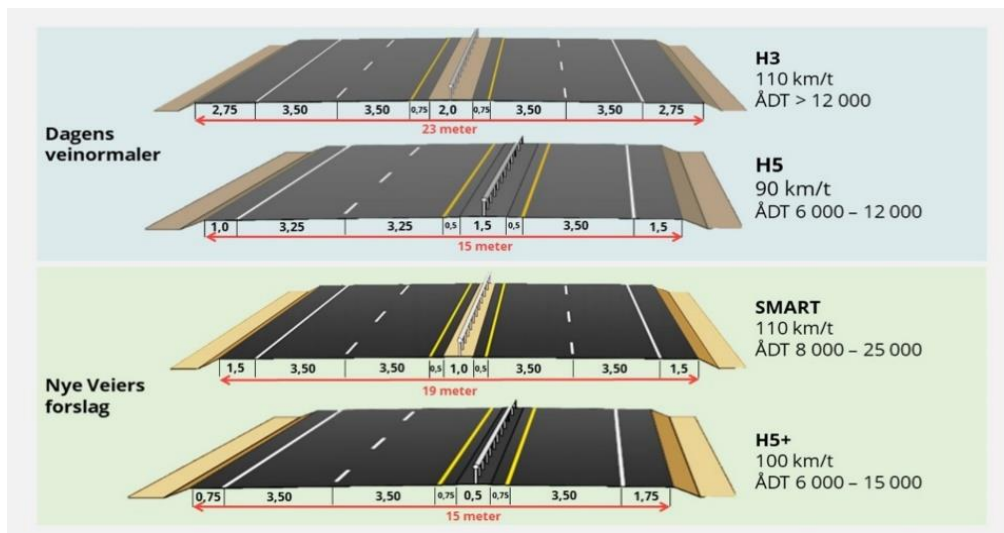
#### 1.4 Forutsetninger og avgrensinger

Hovedsakelig handler denne rapporten om bruk av betong i landkarkonstruksjon. Derfor settes avgrensingen på oppgaven ved landkar, dermed blir ikke det studerte øvrige konstruktive løsninger. Avgrensninger i oppgaven skyldes at vurdering av enkelte aspekter som krever mer tid, resurs og spesialkompetanse som rapportens forfattere ikke har til rådighet.

##### 1.4.1 Tematisk avgrensinger

Tematikken i oppgaven er konseptstudie på landkar, vi skal drøfte innovative løsninger på landkar som blir brukt her i Norge og i utlandet med tanke på materialbruk. Derfor er det ikke aktuelt med detalj dimensjonering av landkar. Underoppgaven tar ikke forfatteren hensyn til dimensjonering kravene i N400 og andre norske standarder for brokonstruksjon.

Nye Veier anbefaler en ny dimensjoneringsklasse for motorvei med bredde på minimum 19 meter, kjent som smartfire felt. (Aanesland, 2020) Det å redusere total veibredde til 19 m bidrar seg selv til redusert materialbruk. Derfor ønsker forfattere å ta hensyn til minst brospenn på 19 m i rapporten bro over en motorvei. På grunn av avgrenset kapasitet og tiden som er til rådighet, er det ikke mulighet til å ta stilling utover avgrensninger.



Figur 1.3: Viser ny dimensjonering av veibredden (Aanesland, 2020)

#### 1.4.2 Geografisk avgrensinger

Resultatene i oppgaven er teoretisk basert. Forfatteren trekker resultat på en litteraturstudie om innovative landkarløsningene fra andre landene og intervjuet av ulike aktørene fra norsk bygg og anleggsnæringen. Resultatene inneholder forslag og ideer om hvordan landkarkonstruksjon kan bidra til bærekraftig utvikling. Derfor er det ikke aktuelt å sette en geografisk avgrensning for at avgrensingene ikke skal gå utover kvaliteten på oppgavens omfang.

## 2 Teoretisk underlag

### 2.1 Generelle konstruksjonskrav

Generelle konstruksjonskrav for brokonstruksjoner finnes i Vegdirektoratets håndbok N400, manualen regulerer bruprosjektering jfr. spesielle ytelseskrav for Statens Vegvesen og fra som ivaretar kravene i NS-EN 1990 og NS-EN 1760 (utførelse betongkonstruksjoner).

Brokonstruksjoner skal prosjekteres og planlegges slik at de tar opp i seg hensynet til stedlig miljø, landskap, grunn og fundamenteringsforhold. I tillegg til dette skal brokonstruksjonen planlegges og gjennomføres slik at den påfører det ytre miljø minst mulig belastninger, man kan si at brokonstruksjonen skal tilfredsstillende de ytelseskravene som er stilt, men også være mest mulig miljøoptimal.

Brokonstruksjon skal dimensjoneres for fire ulike grensetilstander: bruksgrensetilstand, bruddgrensetilstand, utmattingsgrensetilstand og ulykkesgrensetilstand. Under prosjektering kontrollerer vi kapasitet i bruddgrensetilstand og deformasjon i bruksgrensetilstand. Hvor det er fare for at laster kan påvirke jordstyrke eller deformasjonsegenskaper foretas utmattingsgrensetilstand. Kontroll av ulykkesgrensetilstand omfatter blant annet skade ved jordskjelv og setninger.

## 2.2 Landkar som bærekonstruksjon

I Norge brukes det mye betong til å bygge landkar sammenlignet med andre land i Europa. Hovedspørsmålet i bacheloroppgaven vår handler om landkar for broer. Disse kan være utformet på ulike måter og etter forskjellige prinsipper som med landkarvingene, peler, veggskiver osv. Utformingen vil ofte være en kombinasjon hvor flere de overnevnte forholdene er relevante.

Landkar er underbygning ved enden av brokonstruksjon som kommuniserer bru overbygging med terrenget. Hovedsakelig er det bærekonstruksjon for brooverbygging som fører lastene til fundamentering. Funksjonen til landkaret er å danne overgangen fra bro og veibane, den bærer brukonstruksjonen og danner samtidig en støtte mot omkringliggende terreng. Landkar i broer har stor betydning for konstruksjonene og skal dimensjoneres for blant annet jordtrykk, terrenglast og trafikklaster. I tillegg skal den dimensjoneres for vertikale og horisontale krefter fra selve brua. I prinsippet som skiller landkarkonstruksjon fra støttemur er den påførte laster fra bruoverbygging.



Figur 2.1: Viser landkar som bærekonstruksjon til brooverbygging

Her er nevnt noen vanlig landkarutforming etter forskjellige prinsipper: (Vegvesen, 2014a)

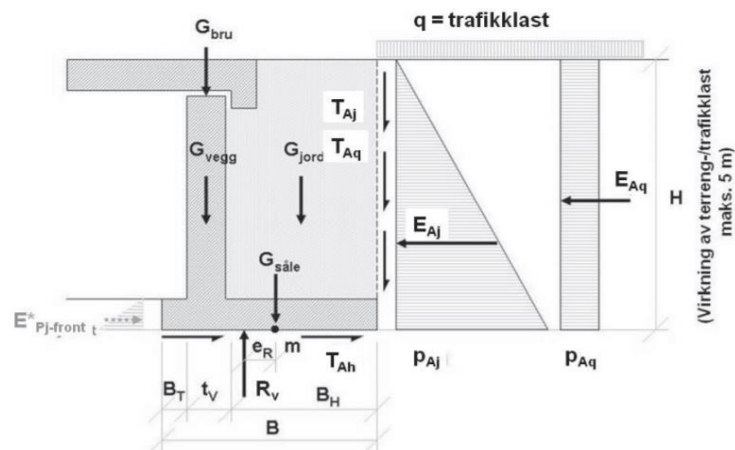
- Landkar med bakvegg og jordtrykk helt opp
- U landkar, U formet for å motstå jordtrykk og egenlast
- Landkar hvor landkarvingene tilhører landkaret eller overbygningen
- Landkar på sålefundament
- Landkar på veggskiver
- Landkar på peler
- Landkar med friksjonsplate for horisontalkraftopptak

Under prosjektering må landkar tilpasse seg best mulig til terreng og grunnforhold for å oppnå gode bruksfunksjoner. Disse vurdering i prinsippet er best egnet for å unngå store terrenginngrep og setninger. Det er spesielt viktig å ivareta hensyn til gode estetikk og atkomstforhold. Atkomstvei, terrengarbeider, overvannshåndtering og eventuelle støttemurer må planlegges med prosjektering av bru.

## 2.2.1 Fundamentering, fuger og lager

### 2.2.1.1 Fundamentering prinsippet

Fundament er den nederste liggende delen av konstruksjon. Funksjon er å overføre lastene fra overbygging i bruen til jorda som konstruksjon hviler på. Dimensjonering av fundament baserer seg på belastningene slik at det ikke overskrider jordas kapasitet. Ved feil dimensjonering kan det føre skadelige setninger eller skjærbrudd på jorda under. (Aarhaug, 1992)



Figur 2.2 Viser ulike lastene som blir påført på lankarfundament (Vegvesen, 2014a)

Generell dimensjonering av konstruksjon blir dokumentert etter statisk beregninger henhold til konstruksjons standardene som NS-EN 1990, NS-EN 1991 og NS-EN 1992. Statens Vegvesen har også sin egen håndbok N400 for bru konstruksjon. Fundamenteringsmetode etter håndbok N400 tas også hensyn til bruas betydning i vegsystemet samt etter en vurdering av: (Vegvesen, 2015b)

- fundamenteringens funksjon som del av bruas statiske system
- fundamenteringens robusthet overfor uforutsette hendelser
- gjennomførbarhet av løsningen

De vanligste fundamentering typer som finnes er delt i to deler.

#### 2.2.1.1.1 Direkte fundamentering

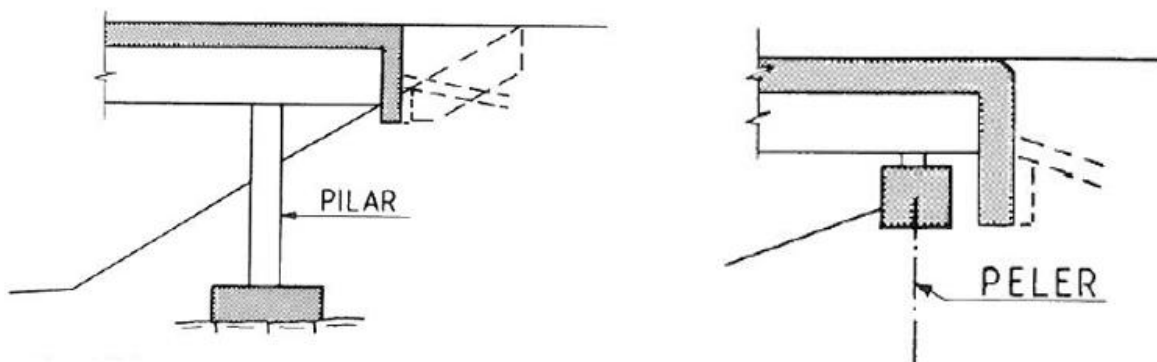
Direkte fundamentering føres ikke dypere enn det som er nødvendig for belastningen fra konstruksjon. Derfor benyttes denne type fundamentering ved gode grunnforhold i byggeplassen som ligger i fjell, fast sand, grus eller hard leire. (Aarhaug, 1992)

Det er stilt ulike kravene for dybde på direkte fundamentering. Hovedkravene er at fundamentering utføres ved frostfri sted eventuelt som ligger ved fjell. Henhold til byggeforskriftene skal fundamenteringen bygges i telefri masser eller ved frostsikring med isolasjon. I tilfelle av setning fare må fundament gå gjennom lite bæredyktig lagene som matjord og torv. Sammen med dybde krav må også kravet til bæreevne og maksimal setning oppfylles. (Ramstad, 2014)

#### 2.2.1.1.2 Dypfundamentering

Stor konstruksjon eller bygging ved lite bæredyktig jord i topp lagene benyttes det peler eller pilarer for overføring av ulike lastene fra overbygning til eventuelt fjell eller andre bæredyktig lagene. Fundamentering med peler eller pilarer kalles dypfundamentering. Pelers finnes av ulike materialene som rundtømmer, stål eller betong. Ved brofundamentering er det mer vanlig å bruke H-stål peler. Ved pilarfundamentering er det bunnflaten i pilarene som overfører kreftene fra konstruksjon til jorda. I prinsippet fungerer en pilar og en spiss bærende pel på samme måte, men pilarer har mye større diameter. Under pilarfundamentering graves bort jordmassene og fyller hullet med betong. (Aarhaug, 1992)





Figur 2.3: Illustrere ulike dypfundamentering prinsippet (Vegvesen, 1990)

I henhold til N400 skal valg av pæletype begrunnes på bakgrunn av tekniske vurdering. (Vegvesen, 2015a) Peler er delt i to deler avhengig av hvordan lastene blir overført til jord på. Der peler overfører kreftene fra konstruksjon til et fast lag av hard pakket morenen eller på fjell kalles spissbærendepeler. Svevepeler overfører kreftene som friksjonskrefter mellom pælen og jord i sin lengde. Her ligger pelen svevende i løs masser av leire eller sand uten kontakt til fjell. (Aarhaug, 1992)

Det er gitt aktuelle pæletyper i Peleveiledningen (NGF, 2012) og er nærmere spesifisert i håndbok R762 Prosesskode2.

### 2.2.1.2 Fuger og lager

I henhold til N400 skal fuger og lagre skal plasseres optimalt med hensyn til framtidig vedlikehold. (Vegvesen, 2015a) Fuge er konstruksjoner som hovedsakelig tar opp krefter og bevegelser i brokonstruksjoner. Fugekonstruksjoner ofte brukes til store brokonstruksjoner. Siden broer med store spennvidder er mer utsatte for skader og deformasjoner som oppstår på grunn av krefter og bevegelser på brua. Disse belastningene på brua kan komme av temperatur påkjenninger, trafikantene og terrenget. Utforming og valgene av fugene variere avhengig av lastpåkjenninger på brua. (Thue, 17. juni 2019)

Mekaniske fuger som fingerfuger blir mye brukt i dag til store brokonstruksjoner i Norge. Fugen er plassert i underkant av hver side til fugen som støpes med betong, og i tillegg har

fugen et gummibånd som blir dekket av metal. Bruk av asfaltfuger til brokonstruksjoner var en kjent løsningen tidligere. Asfaltfuger ble brukt til broer med mindre spenn, men bruk av asfaltfuger anbefales ikke i dag. Det er fordi løsningen viste seg å være dårlig på grunn av behov for flere erstatninger/ reparasjoner. (Nordbotten, 2015)

Lagerkonstruksjoner i er en delkomponent av brokonstruksjoner, elementet kan også brukes til store bygninger. Lagerkonstruksjonene er installert mellom over- og underbygningen av broer. Lagerkonstruksjoner overfører påført belastningen fra brooverbygningen til underbygningen. I tillegg gir lagerelementene rom for bevegelser mellom under- og overbygningen til brua. Det finnes mange ulike lagertyper. Valg av lagertype er i stor grad avhengig av belastning fra brooverbygningen. (Ooi, Adams, & Lawrence, 2019)

Basert på vedlikeholdskostnader og vannhåndteringsutfordringer ved fugekonstruksjoner i bruer, har det blitt utviklet og tatt i bruk fugefrie broer i de siste årene. I tillegg har det blitt utarbeidet rapport «optimal lengde på fugefrie broer» av Statens Vegvesenet i håndbok N400. I rapporten har det blitt opplyst blant annet at fugefrie broer har bedre overvannhåndteringsevne. Mer om fugefrie bruer er tatt opp i litteraturstudiet på optimale landkarløsninger. (Nordbotten, 2015)

### 2.2.2 Estetikk vurdering og terrenginngrep

Vurdering av utforming av broer og landkar har mye å si om estetikken av konstruksjonen. Estetikken ved konstruksjon går ikke utover stabilitet eller bestandigheten. Håndbøkene fra statensvegvesen setter tydelige estetiskkrav for de synlig broer for publikum. Broer og landkar må prosjekteres slik at de kan vedlikeholds og inspireres samtidig som trafikantsikkerheten opprettholdes, og trafikken kan avvikles mest mulig uforstyrret. Fremkommeligheten må ikke reduseres vesentlig under inspeksjoner/vedlikehold, og avbrudd må minimaliseres til absolutt nødvendige. (Vegvesen, 2015b)

Terrengforhold har mye å si om konstruksjon på landkar. Et skrått terreng foran landkaret fører til stor reduksjon av bæreevnen under landkarsålen. I byggebransjen finnes det et grunnleggende krav i prosjektering at konstruksjoner tilpasser terrenget, ikke omvendt. Terreng rundt konstruksjon innpasses slik at det gir minst belastning og ødeleggelse til vegetasjon og dyrearter. I tillegg kan formingen av sidearealene, tilsåing og annen beplantning rundt landkar er viktig erosjonsforebyggende tiltak. (Vegvesen, 1990)

## 2.2.3 Grunnforhold

### 2.2.3.1 Grunnundersøkelser

Grunnundersøkelsene blir utført før prosjektering for å avklare grunnforhold og geoteknisk problemstillinger. Ifølge N400 blir resultatene fra grunnundersøkelsene sammenfattes i en geoteknisk rapport som inngår i grunnlaget for valg av fundamenteringsmetode. Gjennom resultatene er det viktig å fastslå omfanget av dybder av fjell, hvor faste løs massene er, grunnvannsforhold og avrenningsforhold på terrenget. (Vegvesen, 2015b)

For grunnundersøkelsen er det viktig å skaffe opplysninger om grunnforholdene i området før det kan settes i gang. Bakgrunnsopplysninger er tilegnelig fra geotekniske undersøkelser, lokale og egne erfaringer, berggrunns geologiske kart, kvartærgeologisk kart, flybildetolkning, økonomisk kartverk, marin grense kart og kart over kvikkleireforekomster henhold til håndbok V220 fra Statens Vegvesen. (Vegvesen, 2014a)

### 2.2.3.2 Bæreevne

Fundamentering av konstruksjon blir generelt basert på geoteknisk undersøkelser og beregninger. Grunnlaget for beregningen må avklares før bæreevneberegningen om det skal utføres effektivspenningsanalyse eller totalspenningsanalyse. Videre må geotekniske parameter som fasthet, grunnvannstand, ruhetsforhold, ytre laster samt partialfaktorer for laster og materialstyrke avklares. Fast lagret sand og grus har største mens bløt leier har minst for å ta opp laster fra konstruksjonen. (Vegvesen, 2014a)

Bæreevne for fundamentering av landkar på steinfylling er avhengig av skråningshelningen foran (og på sidene av) fundament. Belastning som er tillatt ved sålefundamentering avtar ettersom skråningen blir brattere. I henhold til V220 har sprengsteinsfyllinger med naturlig skredvinkel, på land og i vann, har bedre stabilitet enn tradisjonelle beregningsmetoder viser. Beregningen av bæreevne på lagdelt grunn beregnes oftest på det svakeste laget som vil være den dimensjonerende. Setningsforhold bør vurderes for å avgjøre om setninger medfører bæreevne, før valg av tillatt bæreevne. (Vegvesen, 2014a)

### 2.2.3.3 Setninger

Setninger oppstår når en jordart utsettes for større belastning enn den tidligere har hatt. Når jordartene får belastning blir porevann presset ut, når kornskjelettet blir trykket sammen. Det kan også oppstå når grunnvannsstanden senkes på grunn av utgraving eller drenering. I fleste tilfeller oppstår setningene i vannrike jordart som leire og organiske jordarter. Setningene oppstår spesielt ved bygging på myr. Sand som jordart har også fare for setningen på grunn av ofte ujevn lagringstetthet. Men konstruksjon på leire kan utvikle setningen på utover lang periode. (Aarhaug, 1992)

Fundamenter med ujevn lastfordeling og/eller ujevnt grunnforhold gir skjevsetninger. Ifølge Statens Vegvesen håndbok V220 er den totale setninger ( $\delta_{tot}$ ) for et fundament består av følgende bidrag: (Vegvesen, 2014a)

- Initialsetningen ( $\delta_i$ ) er elastiske og/eller plastiske deformasjoner som oppstår umiddelbart etter fundamentet blir belastet.
- Primærsetningen ( $\delta_p$ ) er setning på grunn av utpressing av porevann i jordmassene.
- Sekundærsetningen ( $\delta_s$ ) er setningen som oppstår ved plastisk kryping av materialet og kan oppstå i lang tid etter primærsetningen er avsluttet.

### 2.2.3.4 Telefare

Når vann i grunnen fryser om vinteren og danner islinser som følge av kapillær vannsuging fra underliggende lag kalles tele. Islinse dannelse ekspanderer volumet av vann når det fryser som fører til at grunnen hever seg og det er telehiv. (Aarhaug, 1992)

Grunnen med mye silt har mer fare for telehiv dannelse, men bare jordarter som stein, grus og sand er uten telefare. I henhold til Byggforskserien 511.101 hvis man ikke foretar kornfordelingsanalyser for å vurdere telefaren, bør man gå ut fra at det er fare for tele i byggegrunnen. For å unngå telehiv føres fundamenter i konstruksjoner dypere enn det nivået frosten maksimalt kan oppnå til. Dybde på dette nivå er avhengig av klima på byggestedet, jordarten, fundamenteringsmåte og frostsikringstiltak. (Ramstad, 2014)

#### 2.2.3.5 Vinterbygging og fundamentering

Konstruksjon om vinter og særlig i norske vinterværet har stor belastning på økonomisk forhold. Fundamentering av landkar kan gi enda større tilleggskostnader som skylder snørydding, tining av grunnen og frostbeskyttelse av konstruksjonen. Skadene på konstruksjon skyldes på frost for eksempel på grunn av telehiv eller setningene som oppstår på frossen grunn eller på fyllmasser som inneholder snø og is. (Ramstad, 2014)

#### 2.2.3.6 Jordtrykk og stabilitet

Jordtrykk mot landkar og støttemurer er avhengig av massene som ligger ved byggeplass. Jordartestyrker og deformasjonsegenskaper, fyllingshøyden, terrengbelastning og konstruksjons bevegelsesmulighet har stor betydning. Disse faktorene er tatt med vurdering for beregning av jordtrykk som er gitt ved NS-EN 1997-1. (Ramstad, 2014)

Stabilitetsproblemer forekommer i skjæringer, skråninger, ved støttemurer og under fyllinger og fundamenter. Under prosjektering det er viktig med å dokumentere og vurdere tilstrekkelig sikkerhet mot grunnbrudd. Det er mulig å analysere stabiliteten gjennom totalspenningsanalyser eller effektivspenningsanalyse. Valget om analysemetoden er betinget av jordart, lagdeling, grensebetingelse og varigheten av situasjon for vurdering av stabiliteten. (Aarhaug, 1992)

#### 2.2.3.7 Overvannshåndtering

Overvann oppstår på grunn av regnvann eller fra snøsmelting. Vannet fra ulike kildene infiltrere ned i grunnen og vannet som ikke infiltrere renner på overflate som kalles for overvann. I henhold til V221 sikres det rundt landkaret mot erosjon fra strømmendevann og bølgeerosjon. Sikringen må fullføres umiddelbart etter at, eller samtidig med at andre avsluttende arbeider med landkar og tilstøtende fylling er ferdig. (Vegvesen, 2014b)

Sterkt basisk overvann er følsomt for påvirkningen rundt anleggsområdet som må sikres og eventuelt nøytraliseres. Tiltakene mot infiltrasjon velges etter grunnundersøkelse er utført. Overvannet kan tilbakeføres lokalt ut gjennom drensledninger dersom massene er egnet for infiltrasjon. Bedriften Basal har utviklet et dimensjoneringsprogram for overvannshåndtering: Programmet kan benyttes for å: (Basal, 2019)

1. Undersøke overflateavrenningen til et område (Vis nedbørsdata)
2. Beregne nødvendig fordrøyningsvolum
3. Dimensjonere et infiltrasjonsanlegg

## 2.3 Materialeteknologi

Hvordan vi velger riktig materiale for ulike bruksområder er avhengig av egenskapene i materialer. Materialenes egenskaper er avhengig av sammensetning og produksjonsmetode. For å utnytte potensiale av byggematerialene i konstruksjon er det nødvendig med å ta vurdering på materialenes sterke og svake sider.

### 2.3.1 Betong

Betong er en av de mest brukte byggematerialer. Det er så fleksibelt, sterkt og praktisk at vi bruker helt ufattelige mengder av materialet på verdensbasis. Betong består hovedsakelig av sand, stein, vann og sement. Betong lages ved å blande vann og sement med tilslag og tilsetningsstoffer. Sementen reagerer kjemisk med vannet, prosessen kalles hydratisering, og resultatet blir betong. Betong kan støpes i fastformer eller den kan støpes med glidende forskaling. Betong brukes både i prefabrikkerte betongelementer og plasstøpte konstruksjoner. Betong er et byggemateriale med egenskaper som godstyrke, god formbarhet, lang levetid, gode lydisolerende, stor trykkfasthet og god varmelagrende evne. Men betong har liten strekkstyrke mens armering har ganske god strekkstyrke, derfor må den armeres for at den skal kunne tåle strekkpåkjenninger i konstruksjonen. Kombinasjon av de to materialene gir en ganske solid konstruksjon. (ndla, 2018)

Betong er flytende etter blanding, og er derfor lett å forme. Men etter hydratiseringsprosessen bli den til et fast materiale. Derfor må utstøping og bearbeiding foregå i løpet av få timer mens betongen fremdeles er mulig å bearbeide. Det er mulig å styre egenskapene til betongen ved å forandre blandings forholdet mellom sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer.

I Norge produseres betong i henhold til standarden NS-EN 206. Standarden gjelder for betong til plasstøpte konstruksjoner, prefabrikkerte konstruksjoner og lastbærende produkter for bygg- og anleggskonstruksjoner. Betong produseres i flere forskjellige kvaliteter. Det er først og fremst styrke og bestandighet som skiller kvalitetene fra hverandre. (ndla, 2018)

Tabellen nedenfor gir grunnlaget for de forskjellige betongklasse som finnes i NS-EN 206-1.

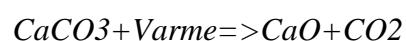
Tabell 2.1: Viser ulike eksponeringsklasser, bestandighetsklasse og fasthetsklasser. (Unicorn, 2016)

Eksponerings-klasse	Tilhørende fasthetsklasser	Bestandighets-klasse	Minimum luftinnhold	Bruksområder (eksempler)
X0	B20	M90		Betong inne i bygninger med lav luftfuktighet
XC1, XC2, XC3, XC4, XF1	B25 B30	M60		Fundamenter el. utendørs betong beskyttet mot regn. Vertikale flater utsatt for regn og frost
XD1, XS1, XA1, XA2, XA4	B35 B45	M45		Landbrukskonstruksjoner samt konstruksjoner nær/på kysten
XF2, XF3, XF4	B35 B45	MF45	4%	Horisontale konstruksjonsdeler utsatt for regn og frost
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XSA	B45 B55	M40		Svømmebasseng
XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XSA	B45 B55	MF40	4%	Veidekker, parkeringsanlegg eller maritime konstruksjoner i tidevannssone

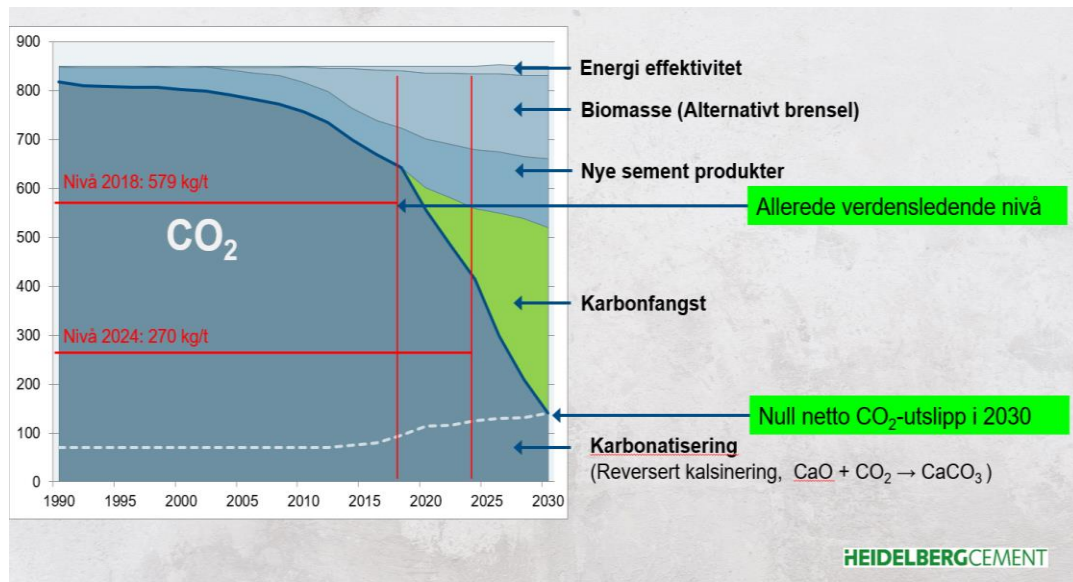
### 2.3.2 Sement

Sement er bindemidler i betong sammen med vann. Det går langt tid tilbake med bruk av sementbasert bindemidler. Portlandsement er den mest benyttet sementtype i byggebransjen i dag. Det har blitt et fellesbegreper for alle sement typer som inneholder i området 95-100% portlandsementklinker og mindre enn 5% av andre sekundære bestanddeler. Andre materialer som silikastøv, flygeaske, slagg, ulike naturlige pozzolaner, brent skifer eller kalkstein kan blandes med portlandsementklinker for miljømessige aspektene. Hvis innholdet av portlandklinker er større enn 65% henholdes det til standard NS-EN 197-1. (Maage, 2015)

Hovedårsakene til utslipp av CO<sub>2</sub> er brenselet som brukes for å nå de temperaturene man må opp i for å lage sement og det frigjøres store mengder karbondioksid når kalkstein som er hoveddel av sement brennes i sementovn. Her starter en kjemisk prosess som kalles kalsinering, hvor karbondioksid (CO<sub>2</sub>) drives bort fra kalksteinen slik at reaktivt kalsiumoksid (CaO) dannes. Prosessen kan enkelt beskrives slik: (Maage, 2015)



Norge og NORCEM er verdensledende på forbedringsprosesser som har til hensikt å redusere utslippene fra sementproduksjonen, allerede tidlig på 1980 tallet startet man arbeidet med å redusere utslippene fra sementproduksjonen. I de første årene handlet det om å skifte ut brensel til biogass, deretter gikk man over på optimalisering av prosessene i produksjonslinjen. (Sunde, 2019)



Figur 2.4 Viser hvordan NORCEM har redusert utslippene siden ca. 1990, i 2030 vil utslippene fra produksjonen være nøytrale i et LCA perspektiv. (Sunde, 2019)

Fra 2016 har man arbeidet med flere teknologier for karbonfangst, eller fangst av CO<sub>2</sub> før den går ut gjennom fabrikkpipen.



<p>Aminteknologi (S26) Aker Solutions</p>	
<p>Membranteknologi (FSC – Flate Ark) MC: NTNU, DNV GL, Yodfat Engineers *)</p>	
<p>Faststoffabsorbent- teknologi RTI (Fase I)</p>	
<p>Regenerativ Kalsium syklus, Alstom Power</p>	

Figur 2.5 Viser de fire teknologiene som er vurdert for NORCEM AS sin sementfabrikk i Brevik, i 2018 valgte man å gå videre med amin teknologien fra Aker Solutions (Sunde, 2019)

Dersom samfunnet investerer i den såkalte Northern Light lagringsinfrastrukturen (CCS) vil alle norske industribedrifter som har utslipp som kan fanges som en del av produksjonsprosessen. Produkter som (aluminium, stål, ferrosilisium og landbruks- og skogsindustrien) kunne lagre dette i dype sedimenter i Nordsjøen, dette er en sikker lagringsform siden støtetrykket fra miljøet rundt CO<sub>2</sub> en som pumpes ned vil bli høyere enn det kritiske trykket for at CO<sub>2</sub> blir flytende. Sementindustrien vil i så fall kunne levere bygg og anlegg som er klimanøytrale over livsløpet (LCA) fra ca. 2024 dersom investeringsbeslutningen fra Regjeringen kommer høsten 2020.

### 2.3.3 Tilslag

Størst andel av betongvolumet består av sand og steinmaterialer som kalles tilslag. Tilslagene utgjør ca. 2/3 av hele volumet av betong. Utvikling av betongsegenskaper som støpelighet i fersktilstand er avhengig av størrelsesfordeling og kornform av tilslagsmaterialene. Tilslaget

har også stor betydning for hvordan betongen utvikler mekaniske egenskaper. Forutsetning for at det benyttes riktig tilslagsmaterialene gir det større bestandighet av betongen og gir en lengre livstid for prosjektet. Tilslagets egenskaper bestemmer i høy grad nødvendig bindemiddelvolum for å oppnå en ønsket støpelighet. Når nødvendig bindemiddelsammensetning er gitt, bestemmer dermed tilslaget betongens sementinnhold, og dermed klimagassutslippet. Generelt gir tilslaget i Nord-Norge, Midt-Norge og det indre Østlandet større bindemiddelvolum enn ellers i landet, men lokale forskjeller forekommer. (betongforening, 2015)

Sand er løsmasser som består av bergartsfragmenter med kornstørrelse 0,06–2 mm. Sand brukes til mange formål hvor det stilles ulike krav til egenskaper og kvalitet. Sand brukes blant annet som tilslagsmateriale i betong, til veibygging og til rensing av vann og kloakk. Av det totale forbruket går ca. 54% til vegformål og 16 % til betong. De resterende 30 % går til kommunaltekniske formål som grøfter, drenering og fyllinger med mer, hvor kravene til kvalitet er lettere å tilfredsstille. På grunn av stort forbruk og nedbygging av forekomster er det knapphet på sand særlig nær byer og tettsteder. Fordi at det stilles økte kvalitetskrav til byggeråstoffer som naturlig grus ikke kan alltid dekkes. Det resulterer i at masse må transporteres over stadig lengre avstander for at behovet skal dekkes som fører til mer kostbar og miljøskadelig transport av langreist sand. Det er derfor nødvendig å øke levetiden på de ressursene som finnes og det trengs derfor en bevisstgjøring som hindrer sløsing med sand- og grusforekomstene. (undersøkelse, 2015) ("Sand," 2009)

#### 2.3.4 Betong Armering

Armering er jernstenger som blir lagt ned i forskalingen. Når vi fyller forskalingen med betong, vil armeringen være inne i betongen. Når armering blir innstøpt i betong, virker den sammen med betong for å bære de lastene som konstruksjonen blir påført. Så kort sagt brukes armering for å forbedre egenskapene til betong slik at det kan tåle større påkjenninger. Armeringsjernene er lagd med kammer eller riller, slik at armeringsjernet fester seg godt til betongen. Vi skiller vanligvis mellom tre typer armering slakkarmering, spennarmering og fiberarmering. (ndla, 2019)

Betong har god trykkfasthet, men tåler ikke mye strekk. Derfor trengs det armering i betongen. Armering har faktisk flere funksjoner i betongkonstruksjonen den hindrer riss og svinn under herdning, tar opp store deler av skjærekrefter og tar opp nesten alle strekkrefter.

Vanligvis blir det strekk i underkant av en bjelke, derfor må vi ha armering i underkant av bjelken. Før armeringsjernet kommer på byggeplassen, blir det oftest kappet og bøyd slik at det passer til forskalingen. For å beskytte armeringsjernene mot rust er det viktig å holde avstand fra yttersiden av betong og inn til armeringen i den ferdige betongkonstruksjonen. Avstanden fra betongoverflate og inn til armeringen mot rust kalles overdekning. Jo større overdekning, jo bedre beskyttet er armeringsjernene mot korrosjon. (ndla, 2019)

### 2.3.5 Ombruk og gjenvinning

EUs avfallsdirektiv definerer ombruk «*som materialer eller komponenter som ikke er avfall brukes igjen til samme formål som det var utformet til*». Ombruk kan også defineres som direkte gjenbruk av et produkt, uten at materialene i produktet gjennomgår en omformingsprosess før det kan brukes igjen. Betongprodukter er materialer med lange levetid som er egnet til ombruk. Ombruk av byggematerialer kan redusere klimagassutslipp fra materialproduksjon, transport og avfallsbehandling. Den konvensjonelle riveprosessen av bygg innebærer at materialer ødelegges. Derfor bør materialer og bygningsdeler demonteres og fraktes skånsomt ut av bygget for videre transport eller mellomlagring slik at de kan brukes om igjen. (betong, 2016; Viak, 2018)

Materialgjenvinning betyr å gjenvinne ressursene i avfallet til nye produkter, materialer eller stoffer. Det inkluderer omdanning av nedbrytbart avfall til biogjødsel, biorest eller kompost. Betongavfall material gjenvinnes ved at det knuses til tilslag (resirkulert tilslag) som kan benyttes til ulike formål. Byggforskserien deles bruk av resirkulert tilslag i to kategorier ubunden og bunden bruk. Ubunden bruk er løst tilslag til utlegging og mekanisk stabilisering. Bunden bruk er tilslag i en sement- eller asfaltbasert blanding.(Nordal, 2018; Viak, 2018)

#### 2.3.5.1 Resirkulering av betong

Generell urbanisering har ført til at eksisterende infrastruktur har blitt revet ned for å tilpasse byene til den voksende befolkning i byene. Riving av konstruksjon har ført til store mengder med avfall. Ifølge Statistisk Sentralbyrå var det 0,7 millioner tonn avfall ble produsert av tegl og betong konstruksjoner i 2018. Det utgjør nesten 50 prosent av den totale mengden. Ifølge rapporten fra norsk klima og miljødepartement og Statistisk Sentral Byrå ble bare ca. 50 prosent levert til ombruk/ materialgjenvinning i 2018.

Tabell 2.2 Oversikt fra byggeaktivitet i Norge fra Statistisk Sentral Byrå

	Avfallsmengde
	2018
Tegl og betong og andre tyngre bygningsmaterialer	
Avfallsbehandling i alt	677 459
Leveret til materialgjenvinning	396 042
Leveret til kompostering	0
Leveret til biogassbehandling	0
Energiutnyttelse	0
Leveret til deponering	277 390
Annen behandling/uspesifisert	4 024

Herdet betongavfall blir nedknust slik at det kan gjenbrukes som tilslag for ny betongmaterialene. Men et resirkulert betongen produserer ikke naturlig bindemiddeffekt. I Norge henvendes regler for slik resirkulering gitt i NS-EN 206/1/ og NS-EN 12620 /4/. Med bruk av resirkulert betong som tilslag oppnår ikke betongen egenskaper som rene naturtilslag. I dag er det mest brukt knust betong som delvis erstatning for rene naturtilslag. Det er vanlig å erstatte 20 % av tilslag med knust betong med tanke på betongens støpelighet og styrke. (Maage, 2015)

Det største problem med å gjenvinne betong er bruke rest betong fra blandetromlene på betongbilene. Nesten 3 % av betong av all ferskprodusert betong blir returnert til fabrikk. Nå har bedriften Mapei lansert nytt produkt i det norske markedet under produktnavn «Re-Con Zero EVO» som er videreutvikling av «Re-Con Zero». Her ved bruk av to-komponents pulverproduktet kan all rest betong fra betongsbil gjenvinnes til granulert materiale. (Maage, 2015) Det gir mulighet til å gjenvinne betongen fortløpende eller når arbeidet på byggeplassen er avsluttet. Norsk klima og miljødepartement har bestemt seg for å gjenvinne og minimere bruk av materiale for å skape en sirkulær økonomi.

#### 2.3.5.1.1 Miljø aspekter av resirkulert betong

Når det tas hensyn til miljø og bruk av resurs så har resirkulering av betong mange fordeler. Mange ser på resirkulering av betong som et miljøtiltak for å oppnå FN bærekraftig mål. Derfor ble det stilt strenge miljøkrav til nybygg ved nedlegging/flytting av Rikshospitalet på gamle tomte. Her ble det stilt med krav av å bruke 25% av vektandel gjenbruksmaterialer av

totalvekten av den nye bygningskonstruksjon. (Betongforening, 2018) Når betongen blir resirkulert reduserer vi CO2 utslipp fra transport av betongavfall til deponi. Det har blitt antatt at gjenvinning av ett tonn sement kan spare stor mengde med vann. Det aller meste av kunst betong fra gamle konstruksjoner brukes mest som fyllmasse i dag.

Sammenlignet med andre land i Europa ligger Norge bak i gjenvinning av betong. I Norge utgjør ca. 10 % av resirkulert betong benyttes som betongtilslag. Det skyldes mest på lett forekomst av naturtilslag i Norge. Deponikostnader er også relativt lavt i Norge sammenlignet med andre land. Men i dag konkurrerer mange bedriftene for teknologien til å gjenvinne betong. Som eksempel kan vi se på betongelementer produsert av Spenncon og første gang benyttet av Skanska i Pilestredet Park. (Betongforening, 2018)

#### 2.3.5.1.1.1 Generelle krav av resirkulert betong som tilslag

Reglene for bruk av resirkulert betong som tilslag er gitt i NS-EN 206 /14/ i dagens regelverk.

I det nasjonale tillegget defineres to typer av resirkulert tilslag: (Maage, 2015)

- Type BN: > 95% andel av betong/ stein/ murverk/ tegl
- Type AN: > 99 % andel av betong og/ eller stein

Ifølge NS-EN 206 /14/ i Norge er det best å bruke resirkulert grovt tilslag (> 4 mm). Med den er det mulig å oppnå fasthetklasser til B45 og bestandighet klasse M90 og M60. Her er det avgrensning å bruke inntil 20 % grovt resirkulert tilslag av type AN. Ved bruk av resirkulert betong som tilslagsmaterialer spares det naturforekomst av tilslag. (Maage, 2015)

#### 2.3.6 Stål som byggemateriale og legeringsstoffer

Stål er en av de viktigste og mest brukte material innenfor industrien i dag, spesielt i bygg og anlegg. Stål brukes til både store og små konstruksjoner, og er en blanding av primære elementer som jern og karbon under 2%. Egenskapene til stål er avhengig av mengde og type legeringselementene brukt i produktet. I tillegg er stålegenskapene styrt av behandling under produksjon, med tanke på hvor fort man kjøler stålet ned. Basert på karboninnhold og tilsatte stoffer i stål får vi følgende kategorier: (Almar-Næss, 11. april 2019)

- Ulegerte stål (Ingen tilsetningsstoffer)
- Legert stål (Stor mengde tilsetningsstoffer, gir spesielle egenskaper, rustfritt stål)

- Lavlegert stål (litt tilsetningsstoffer, bedre fasthet enn ulegert, bedre korrosjon motstand)

Ulegerte stål korroderer/ruster i områder som er åpent til omgivelser som i vann og lufta. Legerte stål derimot har bedre korrosjons motstand noe som er gunstig med tanke på minimering av overdekningen i konstruksjoner. Legeringselementer som kan minimere korrosjonshastigheten er krom (Cr). 12-13% krominnhold kan gi rustfritt stål. Da vil det dannes en tynn hinne av krom på ståloverflaten. (Almar-Næss, 11. april 2019) (Johansen, 2008)

Syrefaste stålelementer er et annet ståltype som er motstandsdyktige mot syrer og korrosjon. Denne type stål inneholder legeringselementer som Ni «*Nikkel*» og Mo «*Molybden*». (Almar-Næss, 11. april 2019)

I tillegg karboninnholdet i stålet har stor påvirkning på egenskapene til stålelementet. Økt karboninnhold fører til at stålet bli sterkere og mer «sprøtt». Videre gir økt karboninnhold redusert sveismulighet. Sprøtt stål, har mindre duktilitet enn seigt stål. Et sprøtt stål konstruksjon gir lite deformasjoner før brudd. Sprøbrudd er katastrofalt fordi bruddet skjer uten forvarsel. (Almar-Næss, 11. april 2019) (Johansen, 2008)

#### 2.3.6.1 Stål peler

Pelefundamentering er en kjent løsning som brukes ofte i brukonstruksjoner. Ofte blir det brukt stålpeler til landkarkonstruksjoner, siden løsningen har lite påvirkning på omgivelsene. Videre kan det benyttes betongpeler, som er forsterket med stålarmringer. En utfordring knyttet til pelfundamenter er at ofte de mister sin styrke ved korrosjon. Dermed må det iverksettes tiltak for å minimere effektene. Økt overdekningstykkelse er, og har vært kjent tiltaket, men som har ført til økt betongvolum. (Hällmark, 2006)

### 2.3.7 Controlled low strength material (CLSM)

Dagens samfunn ser på bærekraftig utvikling som en mulighet for innovasjon av løsning med hensyn til miljø og klima. Byggebransjen har i mange år tidligere engasjert seg i denne fenomenet. I byggebransjen er fagfolkene opptatt med å utvikle bærekraftig materialer som gir mindre belastning på miljø under produksjon og i bruk. CLSM eller Controlled low strength material på engelsk er et miljøvennlig og billig materiale. American Concrete Institute (ACI) Committee 22 definerer CLSM materiale som et selvkomprimerende material i flytende tilstand ved støping og utvikler en trykkfasthet på 8,3 MPa eller mindre etter 28 dager (ACI 229, 1999). (Alizadeh et al., 2014)

I motsetningen til vanlig betong har CLSM lite motstand styrke. Derfor er det ikke egnet som materialene som brukes i støtte konstruksjon i bygninger, broer og andre typer konstruksjon. Materialene har også høyere flytendeegenskap enn vanlig betong. CLSM materialene har trykk styrke på 1200 psi eller mindre. Men i nyere studiene har det gitt høyere motstand styrke av denne type materialene. Det er også mulig å bruke resirkulert materialene avhengig av prosjektene. Spesielle egenskapene til denne materialene kan oppsummeres som holdbar, bestandig mot erosjon, hurtig herding, gjenvinning av avfall materiale, vennlig til miljø og økonomi osv. (Alizadeh et al., 2014)

I USA brukes CLSM materialer som konstruksjonsmateriale for å redusere byggeperioden. I andre deler av verden brukes disse materialene mest som fyllinger i dag. CLSM er også kjent for små setninger når det brukes som fyllinger i konstruksjon. Ved støpe tiden flytter CLSM materiale som væske og oppfører som betong etter herdet. Hovedsakelig består CLSM masser av lite mengde av Portland sement, stor mengde av vann, tilslag og biprodukter som flygeaske i noen tilfeller. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 2.3.7.1 Biprodukter

Biprodukt er en sekundært eller utilsiktet restmateriale som er produsert fra fabrikk produksjon eller kjemisk reaksjon. I et miljø perspektiv forklarer International Energy Agency (IEA) biprodukt i sammenheng med livssyklusanalyse som materiale kan anvendes i liten grad. Biprodukter produserer av all typer av industrier fra jord bruk til elektrisk kraftverk.

#### 2.3.7.1.1 Flygeaske (FA)

Flygeaske er en av biprodukter som produseres av forbrenning av kul fra rensing av røykgassene i kullfyrte varmekraftverk. Det er en typisk pozzolan materiale som produserer i større grad enn silikastøv. Utvikling av egenskapene i flygeaske er avhengig av kullsammensetning og brenningsprosessen. NS-EN 197-1 beskriver to typer av flygeaske, en silikatholdig og en kalsiumholdig. (betongforening, 2015) (Maage, 2015)

Flygeaske inneholder 40-70 % av andel av  $\text{SiO}_2$  som varierer med kulltype og fyring. Silisiumoksidet er amorft eller glassaktig og har derfor pozzolan egenskaper. Det inneholder en stor mengde av aluminiumsoksid, jernoksid og kalsiumoksid i tillegg til  $\text{SiO}_2$ . Flygeaske som inneholder mindre enn 10% av kalsiumoksid kalles silikatholdig. Denne type av flygeaske er det som er benyttet i Norge i dag. (betongforening, 2015)

#### 2.3.7.1.2 Quarry dust (QD)

Quarry dust er rest støvmateriale som produseres fra kapping og knusing av stein. Det produseres stor mengde av quarry dust fra produksjon av tilslagsmaterialer. Naturforekomst av tilslag knuses slik at steinen blir knust til steiner i liten størrelse som produserer stor mengde av støv partikler som kastes som avfall. Ved bruk av denne restmaterialer i byggverk reduserer bygge kostnadene og sparer konstruksjonsmaterialer. (Shyam Prakash & Rao, 2016)

Mange landene i verden har begynt å erstatte fint aggregat med et alternativt materiale som Quarry dust. I dag benyttes det til forskjellige formål i byggebransjen som byggematerialer, veibyggematerialer, fint tilslag, murstein og fliser. (Shyam Prakash & Rao, 2016)

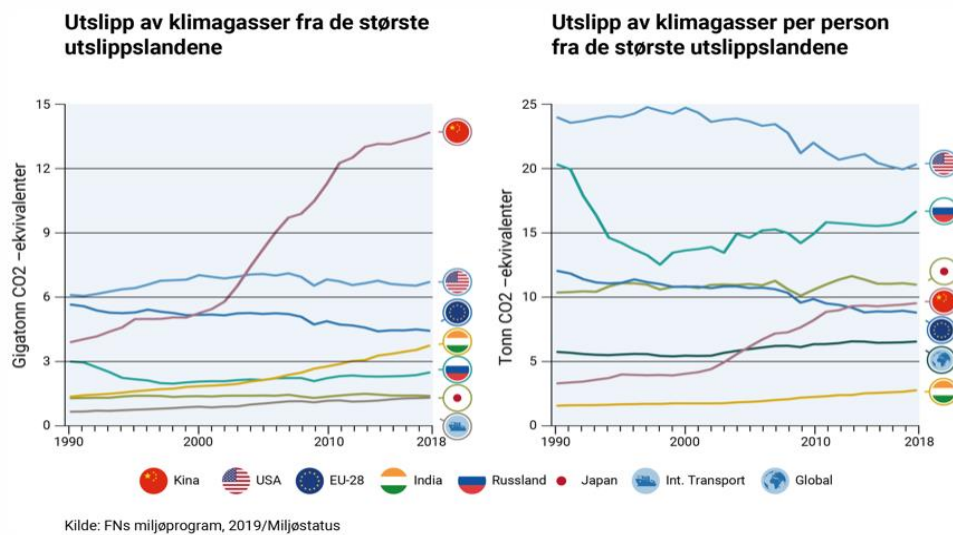
#### 2.3.8 Geosyntetisk

Geosyntetisk er materialer laget av ulike polymerer benyttes til å stabilisere og forsterke terrenget i geotekniske konstruksjoner. De mest benyttede polymerne er polyestere og polyolefiner. Geosyntetiske armerings produkter lages i form av striper (endimensjonal), nett eller duk (todimensjonal) eller med celle/bikube strukturer (tredimensjonal), eller fibrer og filamenter. Spesifikt brukes de til å angi ett eller flere av følgende funksjoner; separasjon, forsterkning, filtrering, drenering eller væske barriere. Materialenes last-deformasjonsegenskaper er meget viktige forhold som må tas hensyn til ved bruk av geosyntetiske armerings produkter. (Industrifond, 2006)



## 2.4 Miljøhensyn

Siden miljø er et av de viktigste aspektene som bør vurderes i oppgaven, har gruppen bestemt til å evaluere de avgjørende faktorene i byggebransjen som har innvirkning på miljøet. Den viktigste drivkraften for klimagassutslipp er økonomisk vekst og befolkningsvekst. Folketallet i verden er tredoblet siden 1950 – fra 2,5 milliarder til 7,5 milliarder. Produksjon og bruk av energi er også den største kilden til klimagassutslipp. Omtrent 70 % av CO<sub>2</sub> kommer fra fossile brensler og sementproduksjon, og rundt 30 prosent kommer fra avskoging og endret bruk av landarealer. (Miljødirektoratet, 27.05.2019)



Figur 2.6: Sammenligner CO<sub>2</sub>- utslipp fra forskjellige landene i verden fra 1990-2018 (Miljødirektoratet, 27.05.2019)

Bygg og anlegg utgjør en god del av klimagassutslipp, derfor er det viktig at samfunnet tar ansvaret til å gjøre det på en mer miljøvennlig måte. Som et resultat av dette, har vi bestemt oss å gå i detalj på miljø og utslipp. Det vil undersøkes innvirkningene av transport, avfall og materialer på miljø.

### 2.4.1 Miljøaspekter av materialer

Byggematerialer har stor miljøpåvirkning, derfor materialer og produkter som inngår i anlegget, bør velges slik at den samlede ressursbruken og miljøbelastningen over byggets livsløp blir så lav som mulig. Trine Dyrstad Pettersen, teknisk sjef hos Byggevareindustriens Forening påstår at materialer som er produsert mer miljøvennlig, og har høy livsløpsverdi, vil

være mer bærekraftige. Men det er likevel mange aspekter som påvirker bærekraften til et materiale. Både lave utslipp, energieffektiv ressursbruk, resirkuleringsgrad, innhold av helse- og miljøskadelige stoffer og emisjon til inn klimaet. Betong og stål er mest brukt byggematerialer i tradisjonelle brulandkar. Fordelen med herdet betong er at den kan bli knust og deretter gjenbrukt som tilslag på nytt. Det går an å bruke 20% resirkulert betong i den nye tilslaget uten å påvirke betongkvaliteten. (Byggeindustrien, 2013)

Å bruke materialer smartere gir lavere klimagassutslipp. Norconsult ser at utslipp i byggefasen normalt utgjør mer enn 80% av prosjektets samlede utslipp i prosjektets levetid. Det betyr at de valg som gjøres under planleggingsfasen i dag har direkte betydning for oppnåelse av nasjonale klimamål. (Betongforening, 2018)

#### 2.4.2 Betongsinnvirkning på miljøet

Den viktigste ingrediensen i betong er sement, og verdens totale sementproduksjon var i 2016 ca. 4,2 milliarder tonn. Sement er en av blandingsmaterialene i betong, og opptrer som bindemiddel. En kubikkmeter betong inneholder vanligvis 250-400 kg sement. Sement og betong er blant de faktorene som bidrar til CO<sub>2</sub> utslipp. Sementindustrien står i dag for fem prosent av verdens samlede utslipp. Med råmaterialene som benyttes i dagens sementproduksjon, er det derfor nødvendig å drive CO<sub>2</sub> bort fra kalksteinen for at betongen skal stivne og oppnå ønsket fasthet. Kalsineringen bidrar derfor til et vesentlig klimagassutslipp. (Betongforening, 2018) (Betongforening, 2008)

Globalt slippes det gjennomsnittlig ut cirka 900 kilo karbondioksid for hvert tonn som produseres. Mesteparten av utslippene fra sementindustrien kommer fra kalsineringsprosessen, resten kommer fra oppvarming av ovnene og transport. Så CO<sub>2</sub>-utslipp fra betongproduksjon kommer fra sementproduksjonen, og sementproduksjon slipper ut 1 tonn CO<sub>2</sub> pr tonn sement. Globalt sett er 50 % fra kalsinering av kalkstein, 40 % fra termiske energi og 10 % fra mekaniske energi. CO<sub>2</sub> utslipp fra sementproduksjon varierer avhengig av klinkerandel i sement, utslipp fra elektrisitetsforbruk til mekaniske energi, termisk energi og avfallsbasert/ biologisk brennstoff. (Betongforening, 2008)

CO<sub>2</sub> utslipp pr. tonn sement i Norge er mye lavere enn globale. Bruk av primært hydroelektrisk energi, avfallsbasert biologisk brennstoff og en økende andel av

substituttmaterialer (blandingssementer) har brakt CO<sub>2</sub> utslippstallene nedover i Norge. Norsk sementproduksjon slipper ut ca. 1,19 millioner tonn (2,7 %). Norsk betongproduksjon slipper ut ca. 1,40-1,45 millioner tonn (3,3 %), inkludert utslipp fra sementprodusert utenfor Norge og anslått utslipp fra transport. (Betongforening, 2008)

Bruk av substituttmaterialer, innblandet i sement, eller som en egen komponent i betongreseptene, er det klart viktigste virkemidlet for å redusere utslipp av CO<sub>2</sub> i en global sammenheng. En måte å redusere CO<sub>2</sub>-utslippene på er også å erstatte deler av klinkeren med andre materialer, slik som slagg, kalksteinpulver, flygeaske, silikastøv og naturlige pozzolaner. Type erstatningsmaterialer avhenger av tilgjengelighet og avhenger derfor av sementfabrikkens geografiske beliggenhet. (Betongforening, 2008)

Økt bruk av alternativt brensel er viktig faktor i sementindustriens innsats til å minimere CO<sub>2</sub> utslipp. I forbindelse med produksjon av sement, kommer 1/3 av klimagasser (CO<sub>2</sub>) fra brenselet som brukes i forbrenningsprosessen. For å redusere CO<sub>2</sub> utslipp i sementproduksjon, er det viktig å identifisere reduksjonspotensialet i å erstatte fossilt brensel med avfall basert brensel eller andre alternativt brensel. På denne måten en stor del av avfall vil gå til deponi og bruk av kull vil reduseres slik at utslippene fra produksjonsprosessen minimeres. (Betongforening, 2008)

### 2.4.3 Lavkarbonbetong

Lavkarbonbetong er betong som gir et lavere karbonavtrykk sammenlignet med tradisjonelle betong. Betongforenings publikasjon nr. 37/3/ definerer lavkarbonbetong som betong der det er gjort tiltak for å begrense karbonavtrykket. Norbetong i samarbeid med Norcem har utviklet lavkarbonbetonger som gjør det lettere for byggherre å velge rett betong til et prosjekt. Klimagassutslippet er målsatt som CO<sub>2</sub> - ekvivalenter, der bidraget fra andre gasser enn CO<sub>2</sub> er vektet i henhold til GWP (Global Warming Potential). Lavkarbonbetong er kategoriseres i klasse A, B og C med hensyn til styrken i publikasjon 37: (Norsk betongforening 2015)

- Lavkarbon A: den strengeste klassen, krever som regel bruk av spesielle tiltak
- Lavkarbon B: kan som regel oppnås med ordinære resepttekniske tiltak
- Lavkarbon C: kan oppnås med relativt enkle resepttekniske tiltak

	B20 M90	B25 M90	B30 M60	B35 M45/MF45	B35 M40/MF40	B45 M40/MF40	B55 M40/MF40
Maksimalt tillatt klimagassutslipp [kg CO <sub>2</sub> -ekv pr m <sup>3</sup> betong]							
<b>Lavkarbon A</b>	170	180	200	210	230	240	250
<b>Lavkarbon B</b>	200	220	240	270	300	310	320
<b>Lavkarbon C</b>	240	260	280	320	350	360	370
<b>Bransjeref.</b>	280	300	320	370	410	420	430

Figur 2.7: Viser CO<sub>2</sub> utslippene fra ulike klasser av lavkarbonbetongfasthet (betongforening, 2015)

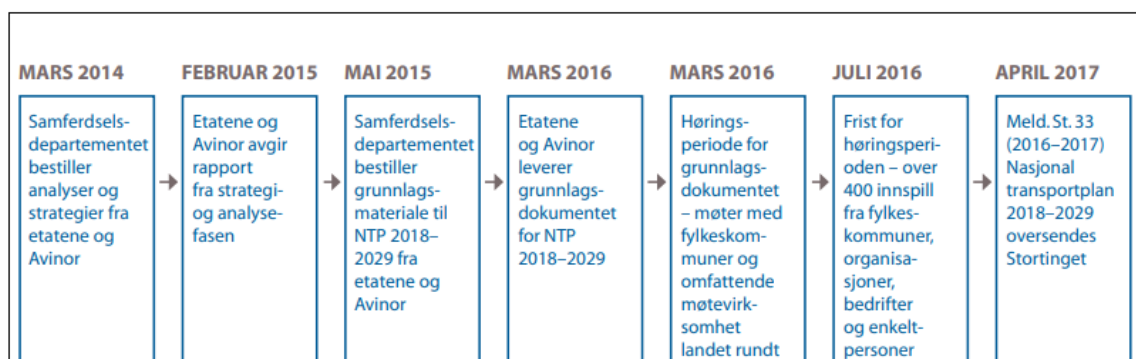
Virkemidlet for å nå målet for lavkarbonbetong kan være optimalisert materialsammensetting med lavt bindemiddelbruk der flygeaske eller slag tilsettes som sementerstatning. Bruk av slag, flygeaske og silika påvirker betongen på forskjellige måter og, dette kan føre til tekniske egenskap utfordringer med hensyn til byggbarhet. Bruk av disse materialer gjør at betongen får tregere fasthetsutvikling, redusert varmeutvikling og økt temperaturfølsomhet. Bruk av lavkarbonbetong kan også ha innvirkning på betongens konsistens. Ved krav om klasse A kan det være viktig å gå bort fra bruk av betong med høy komprimerbarhet og høy synk for å oppfylle klimakravene. Fordi at en betong med ekstra høy konsistens, som en selvkomprimerende betong (SKB), vil typisk ha høyere bindemiddelvolum og dermed høyere klimagassutslipp enn en vibrerebar betong. (betongforening, 2015)

## 2.4.4 Norges miljø forpliktelse

### 2.4.4.1 Nasjonal transportplan

Nasjonal transportplan (NTP) er tolvårs plan som settes av regjeringen. Denne planen basere seg på investering, vedlikehold og drift av vei, jernbane-, luft- og sjøtransport. Planen er et langsiktig mål i transportpolitikken for regjeringen og målet er «*Et transportsystem som er sikkert, fremmer verdiskaping og bidrar til omstilling til lavutslippssamfunnet.*»

(Samferdselsdepartementet, 2017)



Revidering av planen skjer hvert fjerde år og det sendes til Stortinget i forkant av stortingsvalg. Hovedsakelig kan man si at planen basere seg på tre hovedmål, (1) bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet, (2) redusere transportulykkene «nullvisjonen» og (3) redusere klimautslippene og andre miljøskadelig gasser «lavutslippssamfunn». (Samferdselsdepartementet, 2017)

#### 2.4.4.1.1 Klima og miljø

I denne kategorien har regjeringen mål om å redusere klimagassutslippene med visjon om å bli et lavutslippssamfunn og redusere andre negative miljøkonsekvenser. Norge har forpliktelse fra EU om å redusere klimagassutslippene med 40% frem mot 2030, det vil måles opp mot tallene fra 1990. Nesten 60% av total ikke-kvotepliktige utslippene er fra transportsektoren, for å minimere det satser regjeringen på å gi folk god kollektiv tilgang, bruke av teknologien som el-biler for å minimere CO<sub>2</sub>. (Samferdselsdepartementet, 2017)

Utslipp fra infrastrukturer er klimagassutslipp som har direkte tilknytting til konstruksjonen i ulike faser. Disse utslippene kan for eksempel være fra produksjon av betong som utslipper

CO<sub>2</sub>, transport av byggevare og andre maskiner som gir klimagassutslipp fra bygging, drift og vedlikehold av konstruksjonen. Regjeringen sammen med Avinor og transportetatene har forslått følgende mål frem mot 2030: (Samferdselsdepartementet, 2017)

- 40% utslipp reduksjon av infrastruktur bygningen.
- 50% reduksjon i drift og vedlikehold av infrastrukturer.

Videre forslår de bruk av nullutslippsteknologi, erstatning av miljøfarlige drivstoff med miljøvennlige drivstoffer eller eventuelt elektrisk bruk. I tillegg forslår de at det bør velges gode løsninger, som for eksempel valg av materialbruk og det nødvendige materialmengden til bygning, drift og vedlikehold av infrastrukturen. Det skal lages plan for at byggeplasser eller anleggsplasser blir fossilfrie, det er samferdselsdepartementet som skal lage denne planen. (Samferdselsdepartementet, 2017)

#### 2.4.4.2 Transport

Transportsektoren står for omtrent en tredjedel av klimagassutslippene i Norge. Nasjonal transportplan 2018 -2029 vil legge til rette for betydelige kutt i klimagassutslippene fra bygg og anleggsnæringen. Tungtransport utgjør 5,8 prosent av nasjonale klimagassutslipp. En stor andel av tungtransport skylder forflytning av byggematerialer, fyllmasser og avfall fra riveprosjekter. I konstruksjonsperioden fraktes masser fra og til anleggsplassen i forbindelse med grunnarbeidet for å jevne ut eller stabilisere grunnen. Anleggsmaskiner og andre mindre verktøy som brukes i byggeplassen må transporteres til anleggsplassen. I tillegg vil det være behov for transport av andre materialer. (bygg21, 2018)

Under konstruksjon vil det genereres store mengder av avfall. Dette avfallet må transporteres fra byggeplassen til egnet mottak. Dette påvirker total utslipp selv om mengde og transportlengde varierer fra byggeplass til byggeplass. Dessuten vil det være mye persontransport fra og til byggeplassene. En fersk rapport fra 2018 anslår at kun transport av maskiner og materialer utgjør på 0,77 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, det vil si 25 prosent av tungtransporten i Norge. (bygg21, 2018)

Byggsektoren kan redusere utslipp i transportsektoren gjennom riktig lokalisering og krav til fossilfri transport. Både nåværende lokalisering, relokalisering av etablerte virksomheter,

samt lokalisering av nye virksomheter, byggprosjekter og boliger har derfor stor betydning for nasjonale klimagassutslipp. Byggeiere begynner også å etterspørre fossilfri transport til og fra byggeplass, og entreprenører ser at de sparer både penger og utslipp ved å gå over til elektriske biler. (bygg21, 2018)

#### 2.4.4.3 Avfall

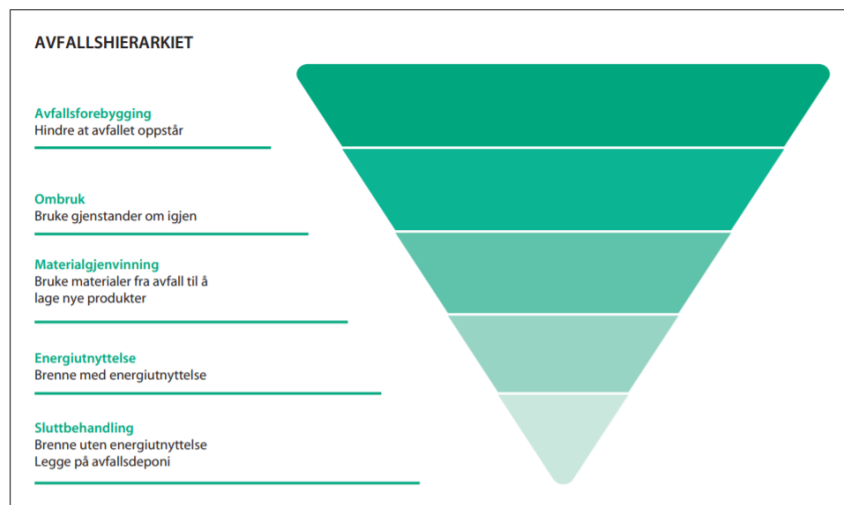
Utslipp fra avfallssektoren utgjør omtrent 4,1 prosent av norske klimagass- utslipp. Bygg- og anleggsvirksomhet bidrar til 21 prosent av avfallsmengden. Avfallsmengdene fra bygging, rivning og rehabilitering av bygg gikk ned med 4 prosent fra 2017 til 2018. Gjennom arbeidet i Nasjonal Handlingsplan for bygg og anleggsavfall gikk næringen fra å deponere over 80 prosent til 11 prosent i løpet av en tiårsperiode. Siste statistikk viser totalt 79 prosent gjenvinning, henholdsvis 30 prosent energigjenvinning og 49 prosent materialgjenvinning i 2015. Statistikk for 2018 viser også at den totale mengde 1 819 948 tonn var avfall fra byggeaktivitet som omfatter nybygg, rehabilitering og riving. Av dette har SSB beregnet at 35 % kommer fra nybygging, 27 % fra rehabilitering og 38 % fra riving.

Tabell 2.3: Hentet fra Statistisk Sentralbyrået som viser avfallsmengde fra byggeaktivitet

Genererte mengder avfall fra nybygging, rehabilitering og riving. Tonn. Hovedgrupper.			
	Tonn	Andel	Endring i prosent 2017 - 2018
2018			
Byggeaktivitet i alt	1 819 948	100,0	-4,0
Nybygging	650 511	35,7	-1,2
Rehabilitering	450 789	24,8	-6,0
Riving	718 648	39,5	-5,3

Byggsektoren kan redusere utslipp av avfall gjennom tiltak mot avfallsreduksjon og økt material- gjenvinning som vist i regjeringens omvendt avfallshierarkiet. For å redusere utslipp fra avfallssektoren må det innføres tiltak både for å redusere avfall, tiltak for å materialgjenvinning framfor å forbrenne og karbonfangst på avfallsanleggene. Byggevareprodusenter kan også gjennomføre en rekke tiltak for økt materialgjenvinning og

avfallsreduksjon. Å produsere produkter med lengere varighet og ombruk, økt materialgjenvinning og bruk av avfallsbaserte råvarer i nye materialer kan være et godt tiltak for sirkulær økonomi. (bygg21, 2018)



Figur 2.9 Viser regjeringens omvendt avfallshierarkiet (Samferdselsdepartementet, 2016-2017)

### 3 Metode

Store norske leksikon (Dag Gundersen, 2017) beskriver vitenskape som «*Systematisk, metodisk og kritisk undersøkelse, studium eller forskning innenfor et område*». Metode i en vitenskapelig sammenheng er et middel for å søke kunnskap for et spesifikt problem. Gjennom formidling av kunnskap og informasjonene ved hjelp av kvantitativ og kvalitativ metode hjelper å sette søkelys på løsningene på forskningsproblemet.

Forskningen der kvalitativ data blir samlet og analysert, er kjent som kvalitativ metode. Kvalitative data er informasjon som først og fremst beskriver et emne fremfor å måle inntrykk, meninger og synspunkter. Når dataen er hentet gjennom en kvalitativ metode er det nødvendig å kombinere de fem følgende teknikkene: direkte observasjon, direkte deltaking, informant og respondentintervju og dokumentanalyse. (Holme, 1996)

Kvantitative data består av kalde, harde fakta, altså tall. Kvantitative data er strukturert og statistisk, og er nyttig når du trenger å trekke generelle konklusjoner fra undersøkelsene dine. Informasjoner blir ofte samlet gjennom et spørreskjema som blir analysert ved å benytte statistisk analyseteknikker. (Andersen, 2019) Det går også an å kombinere metoder. Hensikten med dette er å styrke og gjøre det mer troverdig, å belyse saken fra flere vinkler.



### 3.1 Refleksjon og Kvalitetssikring

#### 3.1.1 Kildekritikk

Samfunnet i dag digitaliseres i høy fart. Det mest av informasjon og kunnskap blir fordelt gjennom internett. Det er viktigere i dag å være bevisst på hvor informasjon blir hentet. Kildekritikk er en metode som kan bli benyttet for å ta hensyn til hvilke kilder og kriterier som blir mest vektlagt ved å ta vurdering til relevans og kvalitet. Relevans kan bli vurdert etter hvilken verdi kilden har for å utforske problemstillingen. Kvalitet blir vurdert etter å se på forfatter og utgiver, målgruppen og sjanger og om teksten er fagfellevurdert.

En vitenskapelig artikkel kvalitetssikres ved fagfellevurdering (peer reviewing). Derfor ble det benyttet kilder fra pålitelig database for akademisk forskning som Science Direct og Engineering Village produsert av Elsevier. I noen tilfeller ble det brukt kilder som Researchgate, Knovel og relevante fagbøker som sekundære kilder for å finne relevante artiklene. Til slutt ble det benyttet enkelte søk i «Google Scholar» hvis det manglet relevans i artiklene.

Under litteraturstudiet ble det hentet informasjon fra tidligere forskningsartikler. Enkelte av artiklene som ble benyttet i oppgaven, ble vurdert etter tittel og abstrakt for å finne hvordan det kunne være til hjelp for å belyse problemstillingen. Deretter var det viktig å finne kredibilitet og objektiviteten i artiklene. Det ble gjennomført etter en vurdering av bakgrunn til forfatteren og forskningsinstituttet som publiserer artiklene. Hovedsakelig benyttet man artiklene som var publisert av delstatlige samferdselsdepartement i USA.

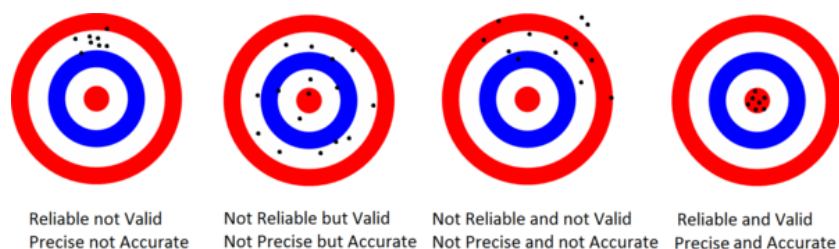
I denne oppgaven benyttes det en kombinasjon av flere metoder. Disse underbygger store mengder med informasjon som brukes for å belyse problemstillingen. Under intervjuet ble det hentet fram ulik informasjon fra respondentenes egen kunnskap og erfaringer. Dataene ble samlet og analysert slik at forskeren kunne tolke datamateriale ved å stille grunnleggende spørsmålene som: «Hva handler dette om, og hvordan kan jeg forstå det?» Det gir forskerne mulighet å finne mønster og uregelmessigheter i datamaterialet fra ulike informanter med forskjellige roller. I tillegg forsøkte gruppen å intervju minst to respondenter av samme rolle. Det gir forskerne mulighet til å analysere informasjon mellom aktører i samme rolle som har lignende erfaring fra hver aktør for å hindre bias informasjon.

### 3.1.2 Reliabilitet og Validitet

Reliabilitet, validitet og generaliserbarhet er konsepter som brukes i en forskningsoppgave for å evaluere kvaliteten. I forskning hjelper til det med vurdering av datainnsamlingene gjennom en kritisk prøving og nøyaktigheten ved behandlingen av materialet. Disse konsepter hjelper med til å ta vurdering av informasjonen og hvordan oppgaven anvender dataene.

Reliabilitet betyr «pålitelighet». Ifølge Store Norske Leksikon (Svartdal, 2020) forklares det «i hvilken grad man ut fra resultatene av et forsøk eller en studie kan trekke gyldige slutninger om det man har satt seg som formål å undersøke.» Det gir en god konsistens i oppgaven når undersøkelser av samme fenomenet gjentas flere ganger. Hvis resultatene blir det samme i undersøkelsene, uavhengig av målinger, gir det høy reliabiliteten.

Validitet betyr «gyldighet». Den gir en oversikt over i hvilken grad resultatene i studiet er gyldige. Den tar stilling til hvordan målingene i et forskningsprosjekt er gjennomført, og hvor nøyaktig resultatene eller informasjonene er. Validiteten kan deles i to deler, ytre validitet og indre validitet. Ytre validitet eller kjent som generaliserbarhet som betegner i hvilken grad resultatene fra en studie, kan overføres til andre sammenhenger og utvalg. Indre validitet brukes i en studie som gir resultatene som forklares gjennom forskerens intensjoner og undersøkelsen. Det er mulig å kontrollere mulige avvik i resultater eller slutninger med høy indre validitet. (Grønmo, 2018) (Anne Birgitte Leseth, 2018)



Figur 3.1: Illustrerer forhold mellom reliabilitet og validitet med nøyaktighet (Hernandez, 2017)

### 3.1.3 Valg av metode

Når det velges metode, bør det tas hensyn til problemstillingen. Metoden skal kunne illustrere problemstilling på en tydelig måte. I oppgaven benyttes litteraturstudie og intervju som metode. Derfor skal det legges vekt på kvalitative data fra ulike kilder, for å opplyse, forklare og reflektere rundt tema. Kvantitative data skal derimot ikke utelukkes under skriveprosessen med tanke på bakgrunnen for problemstillingen.

#### 3.1.3.1 Litteraturstudie som metode

Litteraturstudie er en metode for et spesifikt tema. Det gir oversikt over nåværende kunnskap, identifisere relevante teorier, metoder og mangel på løsninger fra allerede publiserte kilder eller etablert kunnskap. Gjennomføring av litteraturstudie setter søkelys på innsamling, analysering og kritisk analysering av informasjoner og publikasjoner. (lectures, 2018)

Fordelen med litteraturstudie er at det er mulig å kombinere kunnskap fra forskjellige kilder. Det frembringer et teoretisk perspektiv og oppsummerer kunnskap. Gjennomføring av litteraturstudie forklarer slik: (lectures, 2018)

1. Definere tema eller problemstilling
2. Søk i relevante databaser, rapporter og artikler
3. Kritisk evaluering av funnene
4. Analysering av emner og underemner
5. Publisere et resultat

Det er mange fordeler med å bruke litteraturstudie som metode. Men det er også en del ulemper som kommer frem ved bruk av denne metoden. Ulempen er at det må brukes litteratur som allerede finnes. Da blir det vanskelig å få egen vinkling og perspektiv på oppgaven. Løsningen blir avhengig av vinklingen som forfatteren bruker.

##### 3.1.3.1.1 Reliabilitet og Validitet i litteraturstudie

Nesten alle artiklene som er brukt som litteratur i denne litteraturstudien er opprinnelig på engelsk. Derfor er det viktig å stille spørsmål om hvor reliable er oversettelsen av litteraturstudie til norsk. Når pålitelighet i en forskningsartikkel svekkes, fører det til at gyldigheten også blir lite. Oversettelsen av forskningsartiklene fra ulike landet og ulike kultur

gir en utfordring for validiteten. Utfordring ligger i at det som står i artiklene, er det egentlig forfatteren mener det. For eksempel et utsagn på engelsk «*Doctor uses too many medicine.*» på norsk betyr det ikke at det er legen som bruker mange medisiner, men at legen forskriver mange medisiner.

I løpet av prosjektoppgaven har gruppen benyttet ulike løsninger for å kvalitetsikre oppgaven. I løpet av skriving prøvde gruppemedlemmene å skrive sammen og de presenterte sine funn for hverandre og diskutert fortolkningene mellom seg. Men på grunn av virusutbruddet ble det begrenset fysisk kontakt mellom studentene, ettersom samarbeidet mellom gruppemedlem flyttet til digital løsning som Microsoft Teams eller Skype.

Gruppen var også heldig å få aktiv veileder fra Instituttet, og samarbeidspartner som stilte med nødvendig hjelp og forslag. Litteraturstudiet ble kvalitetsikret av fagpersoner som gruppen kom i kontakt med gjennom den eksterne veilederen. Fagpersoner ble aktivt benyttet å presentere ved presentasjon av funnene i litteraturstudiet til Nye Veier AS og Spenn Betong AS, som har lang erfaring med brukonstruksjoner i Norge. Gjennom å presentere for hverandre og til fagpersoner oppnådde oppgaven en god validitet og reliabilitet.

### 3.1.3.2 Kvalitativt intervju

Vi valgte å kombinere både litteraturstudier og forskningsintervju for å sikre kvaliteten på resultatet av problemstillingen. I denne oppgaven skal det tas intervjuer istedenfor spørreundersøkelser slik at det hentes ønskende informasjon til oppgaven. I tillegg vil erfarende intervjuobjektene gi et mer fullstendig svar til spørsmålene, og videre kan de begrunne svarene.

Intervjuobjekter vil være erfarende fagpersoner, entreprenører og byggherre. De vil gi et fullstendig bilde av byggeprosessen av et landkar. Disse intervjuobjektene vil videre avklare utfordringene ved bebyggelse av landkar. Her kan en fagperson delta med kunnskap, perspektiv og erfaring med oppgavetemaet, slik at oppgavens løsning blir mer nyansert og kvalitet sikret.

#### 3.1.3.2.1 Kvalitative intervju som metode

For å oppnå et representative resultat i oppgaven, er det brukt forskjellige metoder for å hente informasjon. Vår problemstilling handler om et tema med såpass lite informasjon fra før, derfor var det nødvendig å hente informasjon og datasamling gjennom kvalitative intervjuer av fagfolk fra ulike bedrifter.

Strukturert intervju er blant metodene som er benyttet i oppgaven. I et strukturert intervju er spørsmålene og rekkefølgen av spørsmålene klart formulert på forhånd. Det sikrer informasjon som er lett å reprodusere (høy reliabilitet) og det gir gode muligheter for å sammenligne svarene til de som har blitt intervjuet. Strukturerte intervjuer har som fordel at de sikrer eksakt samme spørsmålsstilling i hvert tilfelle, og dermed gir informasjon som er lett å reprodusere (intervjuene har høy reliabilitet). Svakheten ved strukturerte intervjuer er deres rigiditet, noe som gjør at spørsmålsstillingen ikke kan tilpasses den enkelte. (Malt, Ulrik. (2015, 12. mai)

#### 3.1.3.2.2 Intervjuobjekter

Etter å ha diskutert med ekstern veilederen, ble vi enige om å intervju fem aktører fra ulike bedrifter som var hensiktsmessige å forske. Respondenter var fordelt i fem ulike aktører av gode representanter fra byggebransjen. Dette innebærer byggherre, entreprenører, underentreprenører, ansvarlige for vedlikehold og miljørådgiver.

For å få så høy validitet og utfyllende informasjon som mulig valgte vi å intervju minst to personer fra ulike bedrifter innenfor samme aktør. Intervjuobjektene har forskjellige bakgrunn med lang og bred kompetanse innenfor det aktuelle fagfelt. Enkelte informanter ble anbefalt av andre fagdyktige personer og ekstern veilederen. Til sammen ble det foretatt 9 strukturert intervjuer. Vi synes intervjuene ga oss tilstrekkelig informasjon for å kunne komme frem til gode resultater og konklusjoner. Informasjonene ble analysert uavhengige i forhold til hverandre.

Tabell 3.1: Viser en anonymisert oversikt over intervjuobjektene og erfaring

<b>Respondent</b>	<b>Aktør i bygg bransje</b>	<b>Erfaring</b>
1	Byggherre	24 års erfaring med prosjektering av samferdsels konstruksjoner og 7 års erfaring med prosjektering av næringsbygg og offentlige bygg
2	Byggherre	21 års erfaring som sjefingeniør for brukonstruksjoner
1	Hoved entreprenør	22 års erfaring som betong teknolog i hoved entreprenør firma
2	Hoved entreprenør	Over 8 års erfaring som prosjektleder, 5 års erfaring som anleggsdirektør
1	Under entreprenør	Over 20 års som dagligleder hos entreprenør/producent firma
2	Under entreprenør	Over 15 års erfaring som driftssjef/prosjektsjef hos entreprenør/producent firma
1	Vedlikehold	6 års erfaring som seksjonsleder for samferdsel konstruksjon og over 6 års erfaring som senior bruingeniør
2	Vedlikehold	Over 16 års erfaring som senior bruingeniør
1	Miljørådgiver	Over et år erfaring som miljørådgiver

### 3.1.3.2.3 Intervjuguide

Det er utarbeidet en intervjuguide for å få en bedre oversikt. Intervjuguiden hjelper også til å holde fokus og sørger for at hovedtemaene blir tatt opp. Vår intervjuguide består av ferdig formulerte spørsmål om landkar med hensyn til miljø og materialer. Det ble stilt samme spørsmål til alle informantene, og intervjuformen tillot at informantene fikk muligheten til å kunne dele sine synspunkter med oss. Det var litt utfordrende å utarbeide en intervjuguide som kan passe nøyaktig for informanter med ulike bakgrunn. Noen av informantene ga tilbakemelding om at flere spørsmål i intervjuguiden ikke passet til deres rolle.

Vi valgte tema basert på bakgrunn av problemstillingen og forskningsspørsmål. Spørsmålene ble delt inn i tre hovedkategorier:

- Miljøperspektiv
- Materialbruk
- Innovativløsning

#### 3.1.3.2.4 Gjennomføring av intervjuet

I utgangspunktet ønsket vi å utføre intervjuer ved å møte intervjuobjektene personlig, men på grunn av koronautbruddet ble det ikke noe fysiske møter. Derfor måtte vi gjennomføre intervjuet gjennom nettbaserte funksjoner. Vi opplevde ikke stor forskjell i kvaliteten på intervjuet eller informasjonsinnhenting, men lydopptakene fra opptaksutstyret ble utydelig i noen tilfeller.

Informantene var på hjemmekontor noe som gjorde at det ble litt støy og avbrytning under intervjuet på grunn av personer rundt i omgivelsen. Noen av informantene møtte til intervjuene uten noen formening om hva det skulle snakkes om. I slike tilfeller ble intervjuguiden benyttet på en slik måte at intervju fikk en mer strukturert form. De fleste intervjuene ble avholdt med informantene individuelt på nett. Mens underentreprenør ble intervjuet samtidig ved å veksle spørsmålene mellom seg, og det ble litt vanskelig å fullt fokus på to informanter samtidig. Intervjuenes varighet var mellom 45-60 minutter.

#### 3.1.3.2.5 Etikk

Når det utføres et kvalitative intervju, bør det tas hensyn til etiske aspekter. Informantene ble informert om hensikten med intervjuene og at dataene de genererte vil bli brukt i forbindelse med en bacheloroppgave. Dessuten opplyste vi til informantene at personopplysninger som behandles i prosjektet ikke anvendes til uforenlige formål eller på andre måter enn det respondentene eller informantene har samtykket til. I tillegg ble de informert om at vi har taushetsplikten, og personopplysningene deres vil bli anonymisert under skriving og transkriberingsprosessen. De ble også informert om å samtykke frivillige for bruk av lydopptak, og ved prosjektets slutt, ble alle opptak slettet.

### 3.1.3.2.6 Datainnsamling og Databehandling

Dataene ble innsamlet ved intervjuer av informantene som ble utvalgt til å delta i kvalitetsintervju. Dermed ble lydopptak benyttet av gruppen under datainnsamlingen. Årsaken til at det ble valgt lydopptak framfor skriving er fordi at det ville være stressende å skrive mens intervjuet pågikk og sannsynligheten for tap av informasjon er stor under en slik prosess. Etter at intervjuet ble gjennomført, lyttet gruppen til lydfilen og transkribert intervjuet. Lydfilen og de transkriberte intervjuene ble oppbevart i en mappe som bare bachelorgruppen har tilgang til.

### 3.1.3.2.7 Reliabilitet, Validitet og Generaliserbarhet

Reliabilitet er en fornorskning av det engelske ordet reliability som betyr pålitelighet. Reliabilitet er forbundet med målesikkerhet. Hvis den samme måling gjentas mange ganger, er målet reliabelt om vi får det samme svaret hver gang (forutsatt at vi måler det samme). Hvis en annen gruppe hadde utført intervjuet ved å bruke samme intervjuguide som oss, er det ingen garanti for at det hadde gitt samme resultat. Derfor må reliabilitet til dataene innsamlet i form av transkripsjon vurderes om det er sannsynlig at andre vil komme til samme resultat.

Det er brukt strukturert intervju i denne studien. Som nevnt tidligere strukturert intervju har samme spørsmålsstilling i hvert tilfelle, og dette gjør at en oppnår høyere grad av reliabilitet i forskningen sin. Intervjuguiden med en liste over de forskjellige temaene ble sendt til Intervjuobjektene på forhånd, slik at intervjuet holder seg innenfor de planlagte temaene. For å styrke studienes reliabilitet, ble forskningen gjennomført på en tillitskrevende måte. vi har også forsøkt å unngå ledende spørsmål under intervjuet.

Validitet (gyldighet) handler om i hvilken grad man ut fra resultatene av et forsøk eller en studie kan trekke gyldige slutninger om det man har satt seg som formål å undersøke. (Dahlum, Sirianne. (2018, 20. februar)). I et kvalitative intervju, må det velges intervjuobjekter som er relevante for det tema som skal forskes. Det vil si at validiteten for informantene må vurderes. For at informantene skal ha høy validitet, må intervjuobjektene ha tilstrekkelige kunnskap og erfaring om tema som skal utforskes, slik at informantene kan ha sine perspektiv rundt oppgaven og reflektere over tema. I oppgaven vår var det relevant å intervju dyktige fagpersoner med bakgrunn innen byggebransjen med vesentlig kunnskap og erfaring.



Basert på de informasjonen vi fikk fra intervjuinformantene, kan vi si at våre resultater er generaliserbare. Resultatene kan benyttes i forskjellige tilfeller og situasjoner, siden våre løsninger er ikke forbundet til et spesifikt prosjekt. Informasjonen er basert på personlige erfaring til informantene, derfor er resultatene på naturalistisk generalisering form.

## 4 Resultat

### 4.1 Litteraturstudiet

#### 4.1.1 Fugefrie landkarbruer

##### 4.1.1.1 Introduksjon

Fugefrie broer kalles "*Integral Abutment Bridges*" på engelsk, og er brokonstruksjoner uten fuger i overgang landkar - brooverbygning. I motsetning til de tradisjonelle landkarløsninger med fuger, baserer fugefrie brokonstruksjoner seg på kontinuerlig overgang mellom broenden til landkaret. Fugefrie broer bygges i økende grad i Norge. Statens Vegvesen begynte å prosjektere og bygge fugefrie broer fra ca. 2015. Fugefrie løsninger brukes i USA, Sverige, Canada, UK og Finland og mange andre land. (Nordbotten, 2016; Vegvesen, 2015b)

*Håndbok N400 Bruprosjektering* definerer en fugefri bro slik: «*Fugefrie bruer karakteriseres ved at de er uten fugekonstruksjon, at bruoverbygningen avsluttes direkte mot vegfyllingen, og at belegningen føres kontinuerlig over bruenden. Endeskjørt/tverrbærer og eventuelle vingemurer er monolittisk forbundet med overbygningen.*» (Vegvesen, 2015b)

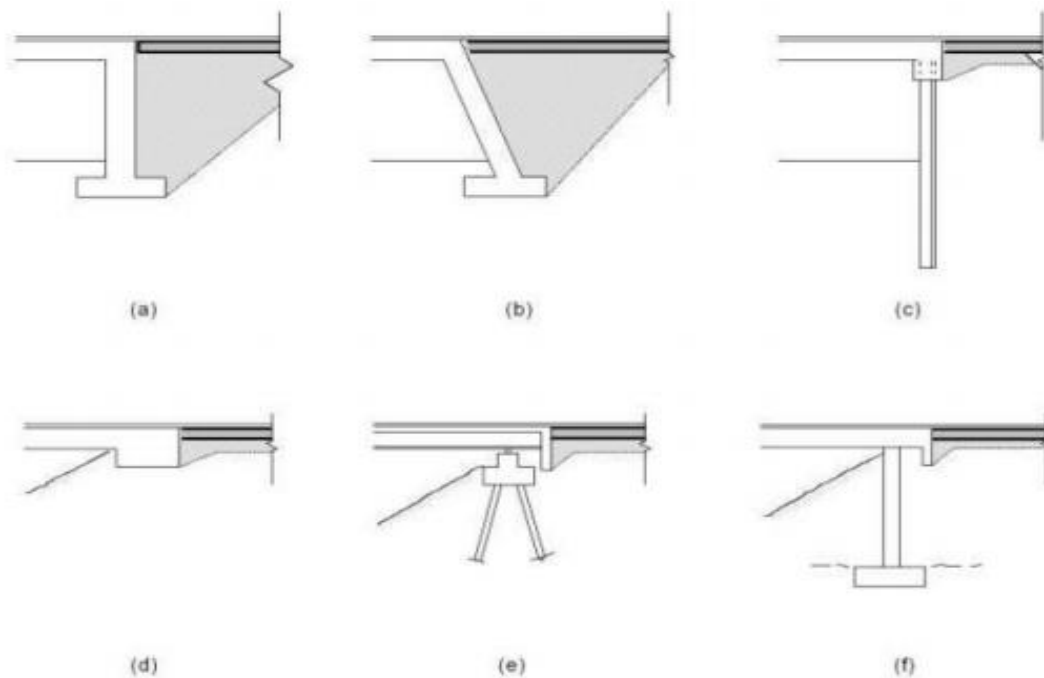
Det har blitt bygd mange fugefrie broer i Norge, og i de fleste tilfellene har løsningen vist seg å fungere bra. Men det var noen tilfeller hvor løsningen ikke fungerte, og måtte endres fra fugefrie til klassiske konstruksjoner med fugeløsning. Et eksempel på ikke velfungerende fugefrie løsning, er bru 06-1883 Karlsplassen. Det er fremdeles uklart på hvorfor løsningen ikke fungerte. Likevel, fugefrie broløsninger har i hovedsak vist seg å være en velfungerende løsning i Norge. (Nordbotten, 2016)

Vedlikeholdskostnadene i broens driftsfase kan bli høye. I de fleste tradisjonelle brokonstruksjoner vil man finne fugekonstruksjon som danner forbindelse mellom broenden og veikonstruksjonen. I brukonstruksjoner med fuger og lager, vil vannet fra overbygningen komme til å trenge inn i konstruksjonen. Når lagerkonstruksjonen fanger opp dette vannet,

begynner den å ruste slik at den mister sin styrke, og det vil oppstå behov for tiltak eller reparasjon. I tillegg vil det være periodisk vedlikeholdsbehov for fugekonstruksjoner.

I dag blir denne type løsninger mye brukt i mange land. Integrert landkar har en kontinuerlig forbindelse fra overbygningen som avsluttes direkte mot vegfylling som kalles endeskjørt. Fugefrie broer kan fundamenteres både på peler og sålefundamenter. I tillegg har denne løsningen en overgangsplate som føres videre fra bruenden. I motsetning til bruer med fugekonstruksjoner har fugefrie broer bedre evne til å hindre inntrengning av vannet inn mot utsatte steder i konstruksjoner, noe som gjør denne løsningen gunstig. Likevel har fugefrie broer en del ulemper, som blant annet at det oppstår store momentspenninger i broenden som kan medføre riss/sprekker i broenden. (Pétursson, 2006) Store temperaturvariasjoner, som i typisk innlandsklima, bidrar også til å øke risikoen for riss/sprekker.

Dersom det oppstår sprekker i asfalten til brooverbygningen, vil ikke overvannet trenge inn i konstruksjonen, men vannet vil renne ut på overgangsplaten og videre vil vannet renne ut i vegfyllingen. Med tanke på sprekker som oppstår på grunn av store momentspenninger i konstruksjon, vil fugefrie løsninger gi begrenset brospenn. Optimale spennvidde på fugefrie broer diskuteres senere i kapitlet. (Nordbotten, 2016)



Figur 4.1 Viser ulike fugefrie broløsninger, med ulike landkar former. Det er inkludert rammekonstruksjon ((a),(b)), fullt integrert landkar ((c),(d)) og semi-integrert landkar ((e),(f)). (Hällmark, 2006)

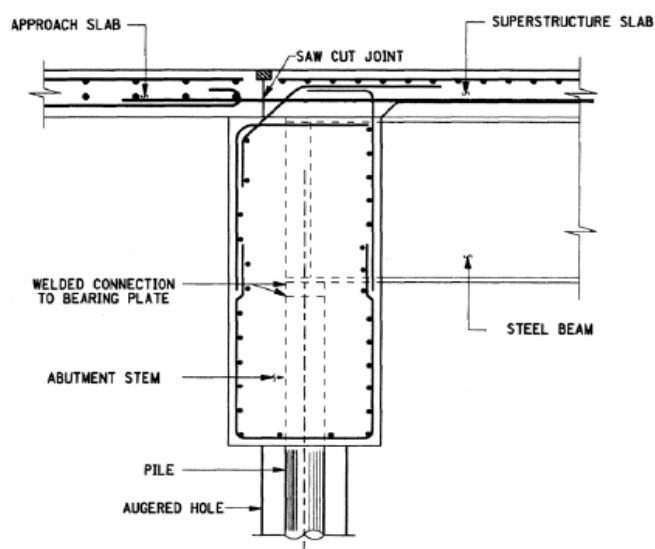
#### 4.1.1.1.1 Bakgrunn og modifisering av Full- og Semi-Integrertlandkar broer

##### 4.1.1.1.1.1 Fullt Integrerte landkar

Som ble nevnt tidligere ble det første integrert landkar i USA prosjektert av «*New York State Department of Transportation*» (NYSDOT) mot slutten av 1970-tallet. I dag brukes integrert landkarbroer i mange land. Gjennom årene har det skjedd flere justeringer i design og detaljerer i fugefrie landkarløsninger for å få bedre ytelser.

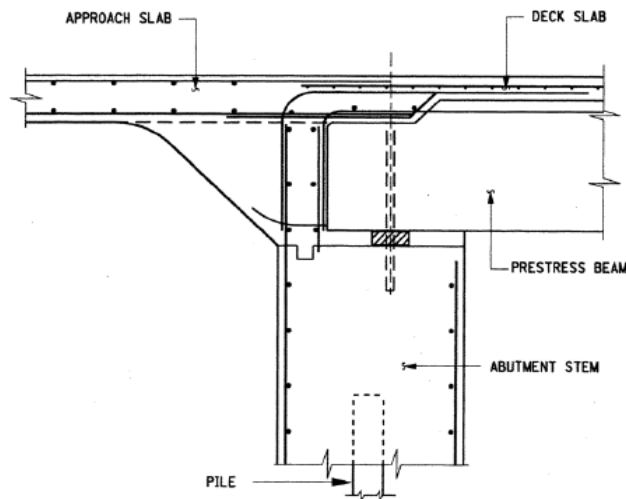
Mange av prosjektene ble bygget for å teste om løsningen var en velfungerende løsning eller ikke. I perioden 70-tallet ble fugefrie broer prosjektert som ettspennskonstruksjoner, med maks spennlengde på 30 m. I tillegg ble H-stål profiler brukt som peleløsning, senere ble stålpeleer byttet ut med landkarkonstruksjon som tar påførte jordlastene fra massene bak landkaret. I denne perioden var sveising en kjent løsning. Stålbjerkene for brooverbygningen ble sveiset til stålpeleene og ga et kontinuerlig ledd mellom brooverbygningen og landkar. På toppen av stål-konstruksjonen ble det brukt plasstøpt betong. (Pétursson, 2006)

Beregningsmessing så man bort fra bøyingsmoment i peleer på 70-tallet, mens endestøttene og vingemur var designet for passivt jordtrykk. I figuren 4.2 kan vi se et eksempel på det typisk integrert landkar, med stålbjelker til brooverbygning. (Pétursson, 2006)



Figur 4.2 Typiske integrerte landkar med stålbjelker. (Pétursson, 2006)

Videre i denne perioden ble forspente brobjelker mye brukt både i USA og andre land. For at integrert løsning skulle bli en gunstigløsning i markedet, var det viktig i den perioden å tilpasse forspente brobjelker for fugefrie landkarløsninger. Problemet med denne løsningen var at det ikke var sammenhengende forbindelse mellom over- og underbygningen. Videre ble skrående endeopplegg brukt for at overgangsplatene og dekket kunne plasstøpes kontinuerlig. Broen hadde samme type design som broer med stålbjelker i overbygningen. (Pétursson, 2006)



Figur 4.3 Viser en detaljtegning av integrert bro med forspente brobjelker til brooverbygningen. (Pétursson, 2006)

I perioden 1970-80 tallet viste fugefrie løsninger seg å være god løsning for korte broer. Dermed ble det bygget flere integrert landkarbroer i perioden samtidig som det ble gjort modifisering på modellen for å oppnå høyere brokvalitet. Det utviklet seg ny modell vist i figuren 4.3 integrert landkar med vertikalt endeopplegg. Videre ble dekkplaten og overgangsplatene uavhengige av hverandre (separate deler). Platene ble montert sammen med forsterkningsstenger med vinkel på 45 grader. Det førte til reduksjon av momentkapasitet i leddet som ga overgangsplatene mulighet til rotasjon under setninger i fyllingen. Den nye modellen håndterte belastningene bedre og fikk mindre sprekker enn tidligere modeller, vist i figur 4.2 og 4.3 i stål og prefabrikkerte brobjelkene. (Pétursson, 2006)

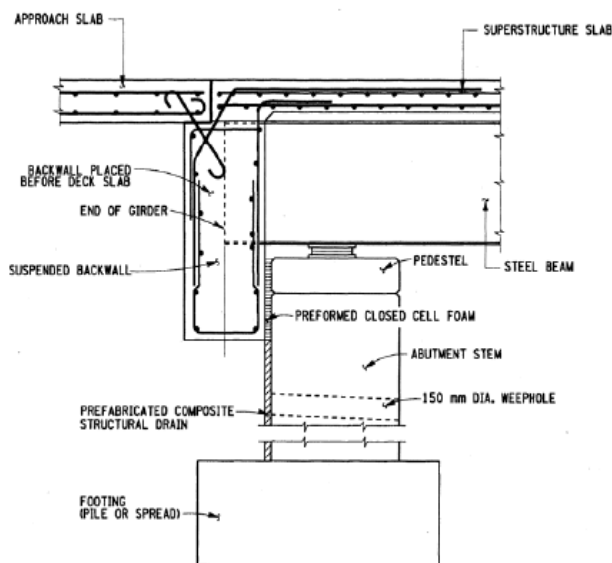
Basert på fordelene som løsningen ga ble fugefrie broer mer akseptert i byggebransjen. En av fordelene ved integrert løsning er at det ikke er behov for store sålefundamenter. Isteden kan man bruke enkle betongformer til landkarkonstruksjoner. Sammenlignet med tradisjonelle landkarkonstruksjoner kan den enkle landkarformen i de fugefrie løsningene gi reduserte kostnader ved bygging av landkar. I tillegg vil løsningen føre til redusert materialbruk og raskere bygging. (Pétursson, 2006)

#### 4.1.1.1.2 Semiintegrert landkar

I 1998 ble det utviklet en ny type integrert landkar, kalt «*semi-integrert*». Denne type landkar kan brukes i områder der fullt integrert landkar ikke er en velfungerende løsning. Semi integrert landkar har mange fordeler sammenlignet med fullt integrerte landkarløsninger. Blant annet gir denne løsningen større frihet med bro lengder.

I semi integrert landkar er det en forbindelse mellom brobjelken og endeskjørt, men endeskjørt støtter ikke brobjelkene, støttene til bjelkene kommer fra annen konstruksjonsordninger. Semiintegrerte landkar har lager mellom overbygningen og selve fundamentet, dette lageret opptar bevegelsene fra brooverbygningen. Dette fører til at landkaret blir mindre belastet av horisontale krefter (bl.a. kontraksjon og dilatasjon) fra overbygningen. Det vil si forskyvninger og rotasjoner som oppstår fra brooverbygningen vil ikke ha vesentlig negativ virkning på landkarene. For Semiintegrert landkar er viktig å ha fokuset på kun jordtrykket og dermed er det viktig å stabilisere terrengmassen. Stabilisering av jordmassen kan gjøres ved lagvis fylling f.eks. og når mobilisering er gjort kan små sålefundamentet plasseres på toppen av mobilisert jordmasse. Semiintegrert landkar kan konstrueres både på peler og massive betong fundamenter. (Pétursson, 2006)

I semiintegrert landkar er brolageret sensitivt, dermed bør de beskyttes godt mot skader som f.eks. rustangrep. Brobjelkene og endeskjørt danner forbindelse og det kan oppnås ved bruk av en endeplate og spikker for met forbindelser som er vist i figuren 4.4. Forbindelsen mellom bjelken og endeskjørt vegen vil gi brobjelkene side og vridningsbegrensning. Under bygging kan det bli fremdeles nødvendig med avstivning. Overgangsplater har samme forbindelse med brooverbygningen som integrert landkar. (Pétursson, 2006)



Figur 4.5 Detaljtegning av semi integrerte landkar (Pétursson, 2006)



Figur 4.4 Endeskjørt (Pétursson, 2006)

#### 4.1.1.2 Anbefalinger ved fugefrie broer i Norge

##### 4.1.1.2.1 Brolengde

Bruk av fugefrie broløsninger gir begrensinger på lengde av broen. Men hvor lange fugefrie broer man egentlig kan bygge er ikke definitivt ut fra rapporten «*Optimal lengde på fugefrie broer*» fra Statens Vegvesenet. Det har vist seg at fugefrie broer kan konstrueres opp mot 70m lang spennvidde uten vesentlige problemer, da vil broen være fugefri i begge ender og ha et fasthold i midten. Broer med større spennvidde, 70 -100 m har større sjanse for å få sprekker og ujevnheter, men dette har foreløpig ikke vist seg å gi problemer i Norge. Videre, fugefrie broløsninger med spennvidde over 100m og fastholdt på midten gir både store sprekker og ujevnheter på broen. Løsningen er velfungerende, men det trenges omfattende rehabilitering, og er derfor en betydelig ulempe med denne metoden. Som nevnt tidligere vil store momentpåkjenninger i brokonstruksjonen kunne forårsake sprekker og skader i brooverbygningen, med påfølgende vanninntrenging og omfattende korrosjon i konstruksjonen. Rehabiliteringskostandene kan i slike tilfeller bli svært betydelige om skadene får utvikle seg over tid. For broer med lengre spennvidde kan man bruke fugekonstruksjon i den ene broenden, der den andre enden er fugefri. Denne løsningen brukes for lange broer hvor fugefrie løsninger kan gi skader på broen. (Nordbotten, 2016)

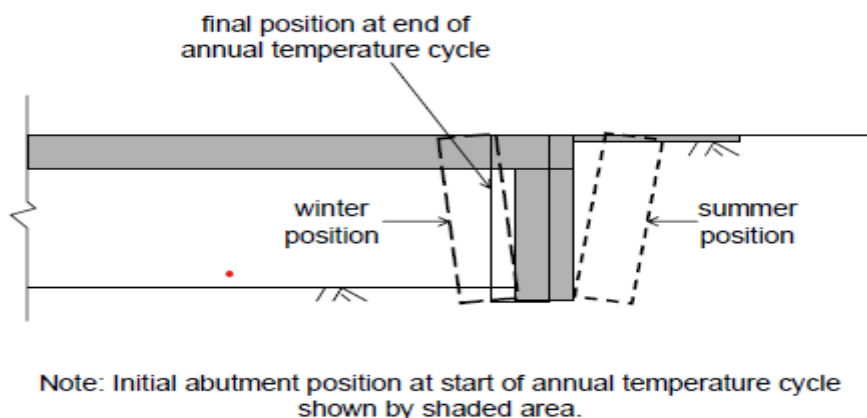
#### 4.1.1.2.2 Fylling

For at fugefrie broer skal gi en god løsning med tanke på å unngå store ujevnheter på vegen mot bruendene, er det viktig å ha fokus på massfylling. Det er viktig å ha samme type fyllmasser på begge sidene av broenden, for å unngå ulikt jordtrykk i endestøttene. Videre vil termiske påvirkninger gi forskjellige jordtrykk i broenden. Derfor er det viktig å ha samme type fyllmasser i begge endene. I tillegg benyttes overgangsplater for å gi en bedre overgang mellom broenden og vegen. Overgangsplatene har vist seg å være en velfungerende løsning for fugefrie bruer. Derfor brukes disse overgangsplatene ofte i fugefrie brokonstruksjoner. (Nordbotten, 2016)

#### 4.1.1.2.3 Asfaltering

I fugefrie broer vil broen asfalteres kontinuerlig fra broenden til vegen. I slike tilfeller benyttes det ofte polymermodifisert bindemiddel i asfaltdekket mellom broenden og vegen. Det har vist seg å være en god løsning. I tillegg brukes det asfaltfuge i noen fugefrie broer. vanligvis medfører denne løsningen sprekker og ujevnheter inn mot broene. På fugefrie broer er det viktig å legge bind- og slitelag med engang før åpning av vegen for trafikken. Da vil vegen være sterkere mot trafikkeffekter. (Nordbotten, 2016)

#### 4.1.1.2.4 Termisk påvirkning

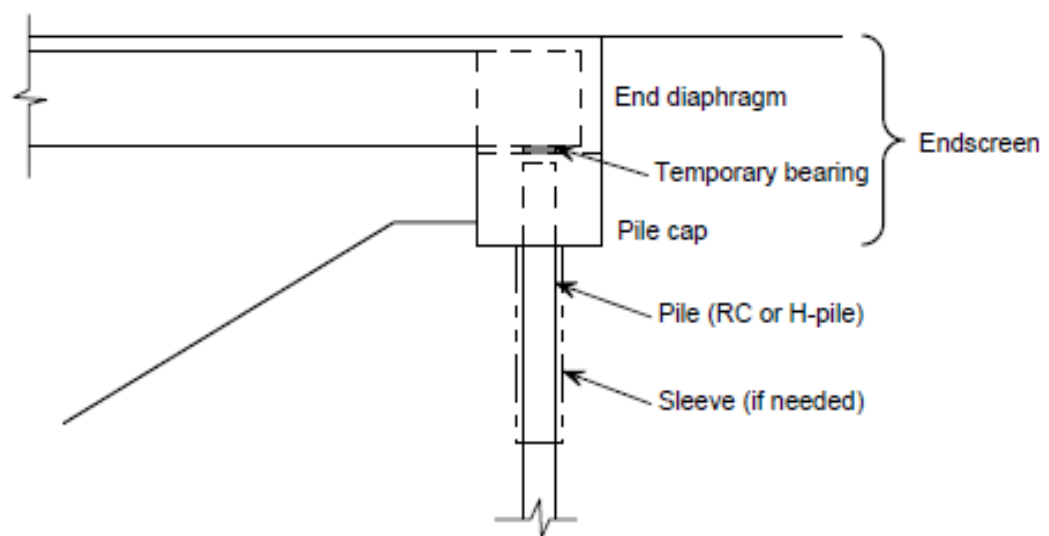


Figur 4.6 Illustrere termiske påvirkningen på integrerte landkar (Arenas, Filz, & Cousins, 2013; Arsoy, Barker, & Duncan, 1999)

Figuren 4.6 viser termiske påvirkningen på integrert landkar. I sommerperioden når temperatur er relativt høy, vil brooverbygning få ekspansjon, og i vinterperioden vil brokonstruksjonen få en sammentrekning på grunn av de kalde omgivelsene. Ekspansjon og sammentreknings størrelser i brokonstruksjoner er avhengig av flere faktorer, men generelt vil man peke på tre hovedfaktorer: bro lengden, materialeegenskaper og temperatur variasjoner. Det er viktig å bestemme termiske forskyvninger på broen for å kunne estimere mulige skader, «sprekker» i broen. Dermed må man ha oversikt over sesongens temperaturer i området der brokonstruksjon skal bygges. I områder med store temperaturvariasjoner bør valg av fugefrie broer vurderes grundigere. (Arenas et al., 2013; Arsoy et al., 1999)

#### 4.1.1.3 Fullt integrerte landkar på perler i Storbritannia

Peler i en brokonstruksjon har lastbærende funksjon, og videre hviler brooverbygningen på endeskjørt vegger. Pelene skal være koblet direkte til endeskjørt, som har forbindelse med brooverbygningen. Pelene kan enkelt fundamenteres med maskiner, og endeskjørt kan støpes på toppen av pelene. I Områder med mye nedbør og høyt grunnvann nivå skal bruk av stålperler til fundamentering vurderes. I tillegg setter N400 krav at stålperler ikke skal brukes dersom det oppstår behov for sveising av pelene for å nå den nødvendige pelelengden som trenges for å ta belastningene. (Pétursson, 2006; Vegvesen, 2015b)



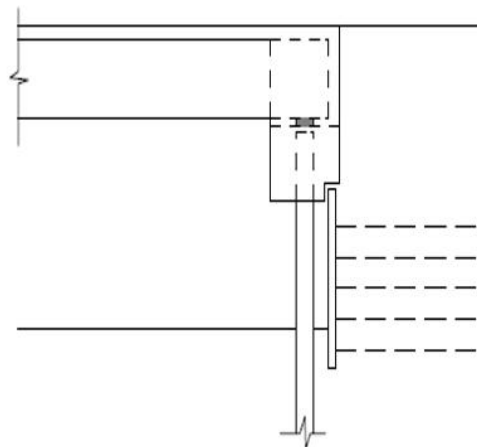
Figur 4.7 Viser detaljtegning av integrert landkar på pel. (Pétursson, 2006)



Storbritannia har ganske høyt grunnvannivå som er problematisk for stålpeler med tanke på korrosjon. I Storbritannia benytter de betongpeler til fundamentering, noe som gir bedre bestandighet og er kostnadsbesparelser med tanke på vedlikehold i driftsfasen. Betongsøyler har samme detalj som H-stål bjelker med tanke på endeskjørt. Betongpeler som brukes i konstruksjonen, er ofte slanke og sterke sammenlignet med stålpeler som er massive H-stålpeler. (Pétursson, 2006)

I Storbritannia er det en del brodesignere som velger å bruke stolpehull «post holes», for å unngå langsgående forskyvninger av peler i landkar som oppstår på grunn av sesongs temperatur endringer. Stolpehull «Post holes» er en prefabrikkert ringformet betonghull hvor betongpeler blir plassert inn i med lite rom rundt pelene. Dersom det velges stolpehull som løsning for å minimere langsgående forskyvninger av landkar, er det en del punkter som man må være nøye på. På grunn av det åpne rommet mellom pelen og prefabrickerte betongelement, skal det gjøres vurderinger for knekkelengden og holdbarhet av pelene. I tillegg må det gjøres tiltak for å redusere mulig korrosjon av pelene. (Pétursson, 2006)

Rommet mellom ringformet prefabrikkert betong og pelen skal ikke fylles med masser. Videre skal det ikke være direkte forbindelse mellom overbygningen og det «ringformet betongelementet». Det skal i tillegg være begrenset side bevegelser for pelene. I tillegg skal toppen av ringrommet skjermes mot inntrenging av jord. I områder med dårlig grunnforhold kan jordarmerte landkar brukes med stolpehull «*post holes*» landkar. «*Post holes*» landkar løsningen kan bygges foran den jordarmerte veggen. Løsningen kan minimere brolengden og materialbruket i konstruksjonen som kommer senere i terrengtilpassing delkapitlet. (Pétursson, 2006)



Figur 4.8 a) Illustrere pel fundamenter av «post holes» b) Viser detaljtegning av pel fundament kombinert med jordarmerte løsning (Pétursson, 2006)

#### 4.1.1.4 Material gjerrige løsninger

##### 4.1.1.4.1 Gummiinnhold i fyllmasser

På verdensbasis er det estimert 1,5 milliard tonn av dekkavfall. Resirkulering av dekkene er kun mulig i begrenset antall ganger. Dekkene som ikke kan resirkuleres, er avfall som ikke kan slippes ut i naturen, siden det ikke kan nedbrytes biologisk. Forbrenning av det kan medføre farlige klimagassutslipp. Derimot bruk av dekk restmaterialer som fylling i landkarkonstruksjoner kan være en bærekraftig løsning. Blanding av dekk avfallet/ «gummi» sammen med sand, grus og voll kan bli benyttet som fyllmasser til landkarkonstruksjoner.

I motsetning til jordmaterialer som blir benyttet i massfylling, har gummi/dekk avfallet mindre permanente deformasjoner ved belastning. Dermed kan denne egenskapen være gunstig med tanke på å dempe forskyvninger og bevegelsene i bakken. Effektene kan endres ved gummiinnhold i blandingen som prosentvis. Basert på egenskapene som bevegelse depende i bakkene kan gummiblanding være en god løsning for å dempe seismiske belastninger. (Argyroudis, Palaiochorinou, Mitoulis, & Pitilakis, September 2016)

Optimale mengder gummiinnhold i fyllmasser er uklar, men basert på rapporten, «*Use of rubberised backfills for improving the seismic response of integrert abutment bridges*» ble det påvist at fyllmasser med gummiinnholdet fra 10 til 30 % av hele fyllmassen har gode effekter på konstruksjonen med tanke på å dempe seismiske effekter på broer. Videre i rapporten ble det opplyst at gummiinnholdet i fyllmasser kan redusere følgende:

- Setninger ved broenden
- horisontale forskyvninger av brodekket
- trykk fra brooverbygningen

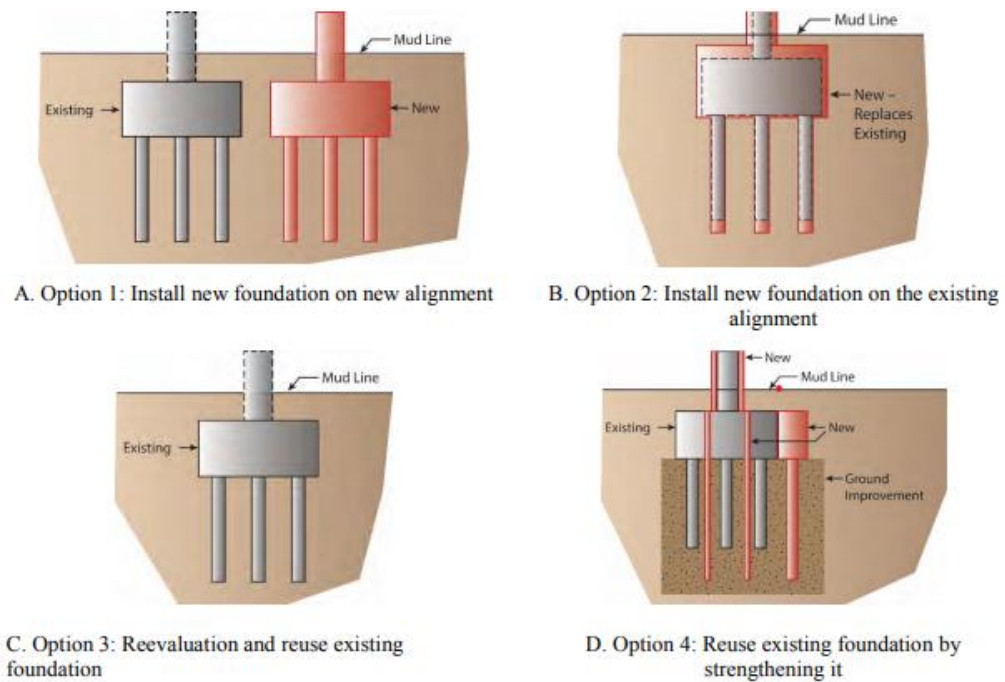
I rapporten ble det opplyst at 10% gummiinnhold i fyllmasser, gir 50% reduksjon av setninger ved broenden, sammenlignet med vanlig fylling, og 55% reduksjon ved 30% gummiinnblanding i massene. Videre ble det også påvist at gummiinnholdet reduserer gapet mellom broenden og fyllingene som kan oppstå ved seismiske og termiske belastninger. Derfor kan innblanding av gummi i fyllmasser være en god løsning. (Argyroudis et al., September 2016)

#### 4.1.1.4.2 Bruk av gamle fundamenter

Tidligere ble det adresserte at fugefrie landkarløsninger gir rask byggeprosess. Det er mange som benytter løsninger til dimensjonering av broer. Fugefrie broer i dag kan ses på som en innovativ løsning siden løsningen muliggjør en enkelt fundamentering og gjenbruk av eksisterende fundamenter til nye bro eller rehabilitering av infrastrukturen. (Agrawal et al., 2018)

I dag er det mange gamle broer som blir erstattet av nye broer, og i noen tilfeller blir gamle broer tatt vare på fordi de har blitt en del av landets historie. Basert på dette kan gjenbruk av eksisterende fundamenter være gunstig med hensyn til miljø, kulturelle verdier og kostnader. En gammel bro som utgjør et landemerke kan være viktig å ta vare på, dermed kan rehabilitering av broen være den mest aktuelle løsningen. Dette betyr også at man gjenbruker gamle eksisterende fundamentene. Basert på rapporten «*Foundation Reuse for Highway Bridges*» fra «*Federal Highway Administration i USA*» er det mulig å benytte gamle, eksisterende fundamenter til ny konstruksjon. Metoden baserer seg på fire ulike metoder vist i figuren 4.9.

Basert på fundamentenes lastekapasitet kan man velge den mest aktuelle løsningen. Alternativ 1 baserer seg på ny fundamentering ved siden av de gamle fundamentene. Dette alternativet gir ikke materialbesparelser, men kan minimere tiden dersom man lar det gamle fundamentet stå. Alternativ 2 baserer seg på gjenbruk av gamle fundamenter. Fundamentet kan få behandlinger for å nå den nødvendige kapasiteten. I noen tilfeller kan det eksisterende fundamentet bli revet og gjenoppbygget. I alternativ 3 gjenbruker man de eksisterende fundamenter som har nok kapasitet til belastningene. I alternativ 4 blir eksisterende forsterket og gjenbrukt. Ut fra de fire nevnte alternativer vil alternativ 3 og 4 være løsninger hvor eksisterende fundamenter gjenbrukes. (Agrawal et al., 2018)



Figur 4.9: Viser ulike fundamenteringsmetoder. (Agrawal, Jalinoos, Davis, Hoomaan, & Sanayei, 2018)

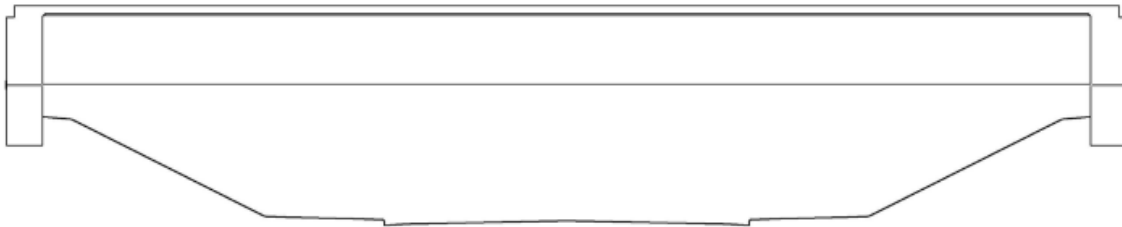
Fugefri landkarløsning er godt egnet til prosjekter med gjenbruk av gamle fundamenter. I tillegg til materialbesparelse i fundamentene kan løsningen være gunstig med tanke på tid- og kostnader. Et eksempel hvor det ble benyttet eksisterende fundamenter, er prosjektet i Del Mar, California med bro «North Torrey Pines». Broen «North Torrey Pines» er en av landemerkene i landet. Broen ble bygget i 1933. På grunn av dette var det viktig at broen var vernet, og at det ikke oppsto estetiske endringer i konstruksjonen. Basert på «Pushover» analysen og andre seismiske analyser ble det avslørt at broen ville få problemer ved seismiske hendelser. Videre ble det angitt av analysen at det ville oppstå store skjær- og momentbelastninger på søylene og fundamentene. Dermed ble det utført et rehabiliteringsprosjekt for å ivareta disse utfordringene. Basert på analysen ble eksisterende fundamentene forsterket for seismiske belastninger. Videre ble landkarene skiftet ut, og man tok i bruk integrert landkar som konstruksjonsløsning for broen. (Agrawal et al., 2018)

#### 4.1.1.4.3 Landkar plassering i forhold til terrenget

Landkaret kan plasseres i ulike posisjoner i forhold til terrenget. Hovedsakelig er det tre plassering som ofte blir benyttet. En kan velge å plassere landkarkonstruksjonen på toppen, bunnen eller midt imellom bunnen og toppen av terrenget. Disse plasseringene kan ha både fordeler og ulemper basert på grunnforholdene og selve fundamenteringen. Nedenfor er disse plasseringene forklart litt grundigere. (Keltner, 2015; M. Xu, Clayton, & Bloodworth, 2007)

#### 4.1.1.4.3.1 Fundamentering på toppen av terrenget

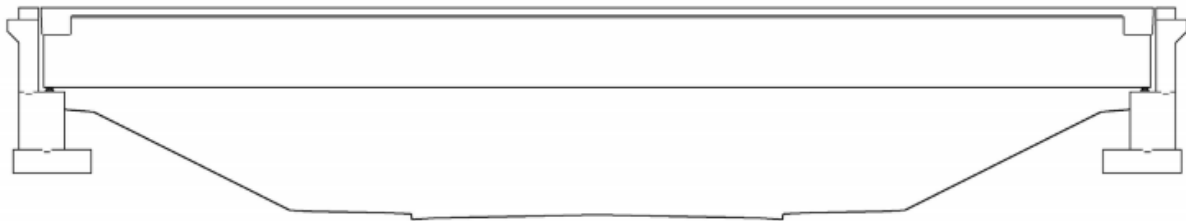
Det ene plasseringen av endestøttene i brokonstruksjonen kan være på toppen av terrenget, «*Sill abutment*» på engelske. Denne type landkarkonstruksjon kan betraktes som et smalt sålefundament på toppen av terrenget som er billigere og lettere å bygge. Denne type landkar har redusert betongbehov på grunn av størrelsen. Plasseringen av landkarene vil føre til større bro lengde som kan føre til økt materialbruk i overbygningen sammenlignet med den andre landkarplasseringene nedenfor. Dermed bør valg av denne type landkarplasseringen vurderes opp mot de andre plasseringene. (Keltner, 2015)



Figur 4.10 «*Sill abutment*» landkar plassering i toppen av terrenget. (Keltner, 2015)

#### 4.1.1.4.3.2 Fundamentering midt imellom terrenget «*Semi-Retaining*»

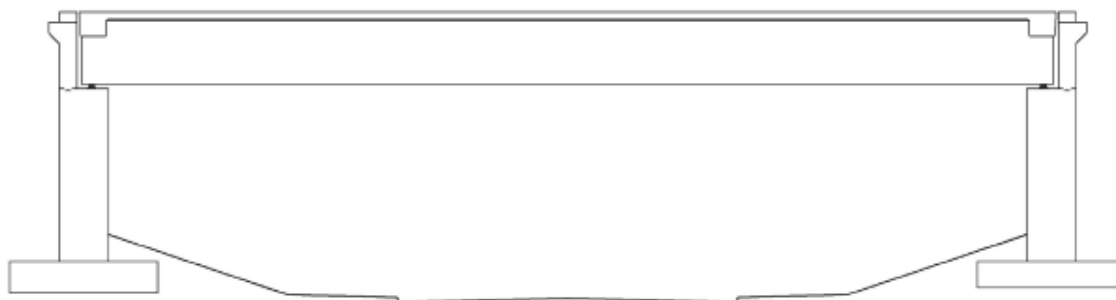
Det andre plassering av endeoppleggene kan være midt imellom bunnen og toppen av terrenget eller fyllingen. Denne plasseringen kan være en god løsning med hensyn til materialbruk, både i fundamenteringen og overbygningen. Figuren 4.11 viser «*Semi retaining*» landkar. I tillegg til materialbesparelse kan plasseringen gi bedre veisikt for trafikanter, og nedsetting av fyllmassene bak landkaret vil være mindre. (Keltner, 2015)



Figur 4.11 Illustrerer «Semi-Retaining» (Keltner, 2015)

#### 4.1.1.4.3.3 Fundamentering i bunn av terrenget «Full Retaining»

En kan velge plassering av landkaret helt i bunnen av terrenget. Det fører til litt kortere brospenn noe som er positivt med hensyn til redusert materialbruk i brooverbygningen. Likevel kan denne plasseringen ha ulemper som er viktig å vurdere. For eksempel blir det behov for større landkar til å ta horisontalt jordtrykk og trafikklaster. I tillegg blir landkarløsningen mer kostbart å bygge, og løsningen har øket materialbehov. Bak landkaret skal det fylles med fyllmasser som gir støtte til brokonstruksjonen mot jordtrykket, og i tillegg skal fyllmassene ta horisontale belastningen fra overbygningen. Løsningen har større risiko for setninger bak broenden og løsningen gir dårligere sikt for trafikanter. (Keltner, 2015; M. Xu et al., 2007)



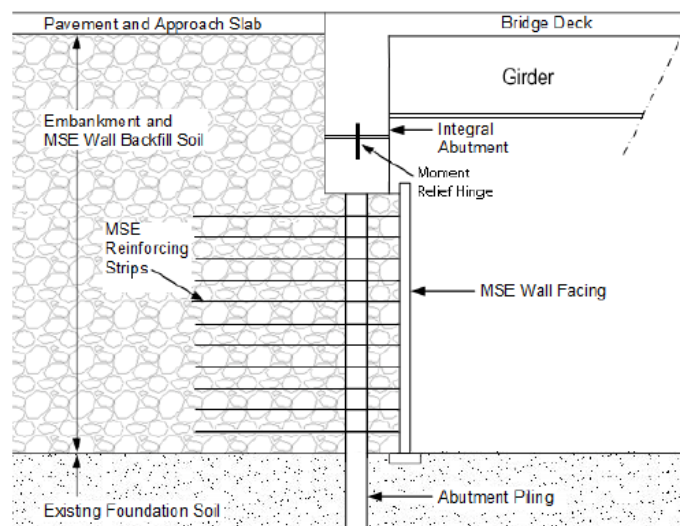
Figur 4.12 Fremstiller «Full retaning» plassering av landkaret på bunnen av terrenget. (Keltner, 2015)

#### 4.1.1.5 Integrert landkar kombinert med jordarmerte masser

I rapporten fra Virginia presenteres Integrert landkar av peler på jordarmert masse «Mechanically Stabilized Earth» (MSE). I denne rapporten ble det gjort analyse av (MSE) vegg

med U-formet endeopplegg. For å undersøke de statiske egenskapene til jordarmerte masser under termisk belastning, som ekspansjon og sammentrekning på integrert landkar, ble mer enn 65 tredimensjonale analyser gjennomført. (Arenas et al., 2013)

Figuren 4.13 viser en typisk integrert bro, med pelfundamentering. I tillegg viser figuren MSE/jordarmert masse som er brukt til å ta vertikale belastninger. Armeringen som er ført i fyllingen, holder denne kledningen mot MSE veggen. Videre viser figuren landkar med lager som danner forbindelse mellom endeskjørt og «pile cap». Lager-element «Dowels» (i dette tilfelle) ble brukt, for å minimere skjær og moment krefter på pelene. Fyllingen og endeskjørt opptar horisontale belastninger fra overbygningen. (Arenas et al., 2013)



Figur 4.13 Integrert landkar kombinert med «MSE» jordarmering (Arenas et al., 2013)

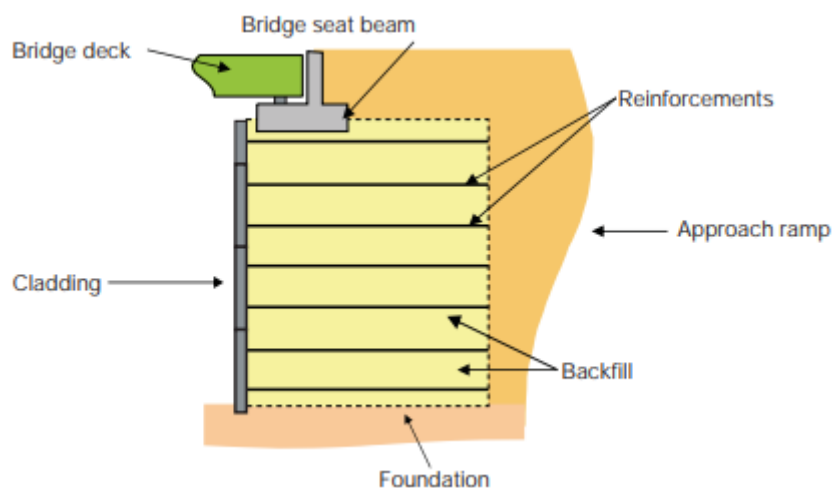
#### 4.1.1.5.1 Kombinasjon av Mechanically Stabilized Earth (MSE) og sålefundament

Jordarmerte masser kan kombineres med både pel og sålefundamenter for fugefrie brokonstruksjoner. Løsningen av pel kombinert med MSE har vist seg å være en kompleks byggeprosess fordi pelene må føres gjennom de jordarmerte massene. I motsetning til pel, gir sålefundamenter av kombinert med jordarmering en enklere byggemetode. I denne løsningen skal jordarmerte masser tilbakeholde terrenget og i tillegg støtte brokonstruksjonen.

Design og geometri for landkaret på toppen av den jordarmerte massen «MSE» bestemmes av mange faktorer. Blant annet bestemmes designet av belastningene konstruksjonen skal utsettes for, dekkstørrelse og type, geometri i strukturen med mer. Sålefundamentet skal

dimensjonere som et vanlig fundament for å ha god ekstern stabilitet. Lastene fra brodekket overføres til sålefundamentene og videre til den jordarmerte massen. (Smith, 2013)

Figuren 4.14 viser en detalj for MSE og integrert landkarløsningen. Den armerte landkarkonstruksjonen vil ta lastene fra brooverbygningen og overføre lastene inn i MSE-massen. (Agrawal et al., 2018)



Figur 4.14 Illustrere bruk av MSE landkar kombinert med «bankseat» (Agrawal et al., 2018)

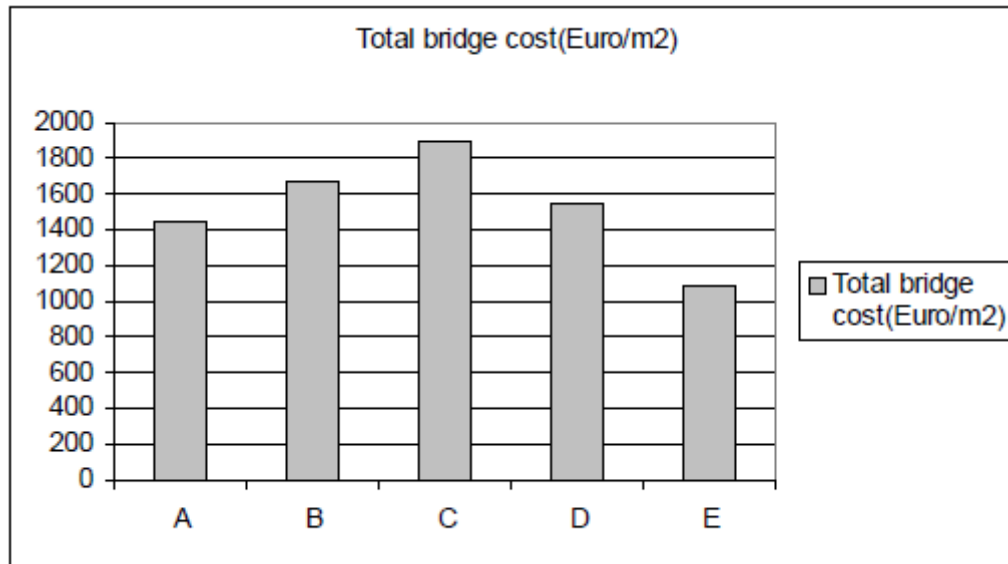
#### 4.1.1.6 Økonomiske forhold ved integrert brokonstruksjon

Basert på masteroppgave av Anna Nilsson og Kristoffer Torén ble det opplyst at fugefrie landkarløsninger hadde det laveste konstruksjonskostnaden. Når det gjelder fundamentering i områder med høyt vanninnhold er konstruksjonen bedre beskyttet mot vanninntrenging sammenlignet med andre type landkar. Masteroppgaven inneholder økonomiske analyser av 15 svenske broer. Det ble utført kostnadsanalyse på fem av dem med ulike landkarløsninger. De fem landkarløsningene er følgende: (Pétursson, 2006)

- Fundamentering over grunnvannstanden (A)
- Fundamentering under grunnvannstanden (B)
- Spuntvegg med betong i underlaget for å hindre vann inntrenging (C)
- Høye fundamentering (D)
- Fundamentering av integrert landkar (E)



Figur 4.15 viser hoved kostandene ved de fem fundamenteringene på fire svenske broene. Alle fire broene er bygget av betong og armering med ulike spennlengde og nesten like bredt spenn. (Pétursson, 2006)



Figur 4.15 Viser kostnadsoversikt over de fem fundamenteringstype. (Pétursson, 2006)

#### 4.1.1.7 Oppsummering

For å kunne svare på om integrert bro er en velfungerende løsning i Norge, er det flere faktorer man må vurdere. For eksempel vil områder med store temperaturvariasjoner kreve at fugefrie landkar vurderes grundigere, i tillegg har bro lengden betydning. For bro lengder i intervallet 70-100 m har løsningen vist seg å fungere, men for broer over 100m brospenn bør fugefrie bru vurderes nøyer. Fugefrie løsning har lite vedlikeholdsbehov og er lettere å bygge. Videre kan man benytte eldre fundamenter som har nok kapasitet til å holde konstruksjonen. Løsningen har i tillegg ulemper som oppsprekking og riss, begrenset toleranse for skjevhet og lengdeutvidelse og kontraksjon, torsjon med mer. Fordeler og ulemper ved fugefrie broer er vist i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Viser oversikt over fordeler og ulemper ved fugefrie bruer

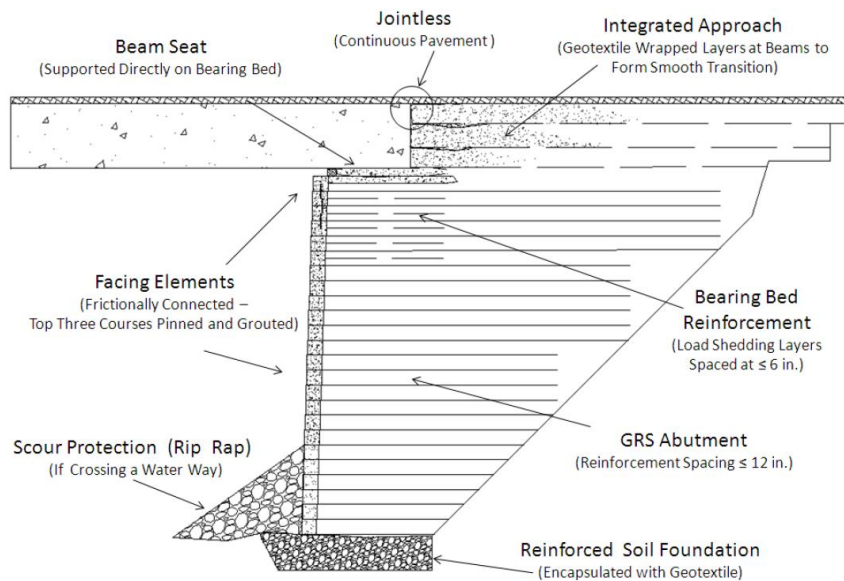
<b>Fordeler</b>	<b>Ulemper</b>
Nesten vedlikeholdsfritt, som gir kostnadsbesparelser.	Integrert landkar har behov for overgangsplater
Fugefrie landkar er relativt lettere å bygge sammenlignet med annen type landkar.	Sprekker i overbygningen.
Integrert landkar har større kapasitet mot natur katastrofer enn de vanlige bro løsninger. Bruk av gummiinnholdet i fyllmasser kan redusere seismiske effektene.	Nesten nødvendig å ha «gummi fuger» i broenden der bro avsluttes mot hovedveien, for å unngå sprekker.
Erstatning av brokonstruksjoner er enklere ved integrert landkar. Fugefrie broer kan bygges på eksisterende fundamenter, og utgraving av fundamentet vil ikke være nødvendig.	Spennvidde og skjevhet til integrert landkar er begrenset.

#### 4.1.2 Jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS)

##### 4.1.2.1 Introduksjon

Jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) ble opprinnelig utviklet av Federal Highway Administration (FHWA) for ca. 20 år siden for å imøtekomme kravene som stilles til korte bruspenn. De kan bygges raskere og til en lavere pris og gir en forbedret ytelse.

Jordarmeringen er ekstremt stabil og klarer seg bra under belastning fra jordskjelv når den er konstruert og designert etter håndboken (FHWA-HRT-11-026, 2018). Jordarmert landkar kan bygges med lett tilgjengelige materialer ved bruk av vanlig konstruksjonsutstyr uten stort behov for arbeidskraft. Den kan bygges i varierende klimasoner og er enkelt å tilpasse uforutsette forhold. (Adams, Nicks, Stabile, Schlatter, & Hartmann, 2012)



Figur 4.16: Viser oppbygging av jordarmert brulandkar (Adams & Nicks, 2018)

Jordarmert brulandkar (GRS-IBS) er bygget av flere lag med komprimert masser lagt lagvis med tett plassert geosyntetisk forsterkning imellom. Landkaret inneholder tre hovedkomponenter: fundament, armert fylling og integrasjonssonen. Fundamentet er steinmasser som er komprimert og pakket inn i fiberduk. Dette øker bærebredde og kapasiteten for det jordarmerte landkaret. Den armerte fyllingen gir direkte støtte til broen uten behov for dype fundamentering. Den er bygget opp av flere komprimerte steinlag med geonet imellom. Lagene er plassert tett for å ha tilstrekkelig kapasitet som skal ta opp egenlast og nyttelaster. Integrasjonssonen forsikrer for en jevnovergang fra bruelementet (overbyggingen) og inn mot eksisterende terreng. (Adams et al., 2012)

GRS blir ofte feiloppfattet som den samme teknologien som geosyntetisk mekanisk stabilisert jord (GMSE). Selv om begge jordarmert (GRS) og (GMSE) geosyntetisk mekanisk stabilisert jord har samme prinsippet og bruker det samme materiale (eks. fylling, geosynte forsterkning og frontmur), har MSE landkar større avstand mellom armeringene enn GRS. Armerings avstander i GRS er maks på 30 cm mens i MSE er minimum 46 cm. Dermed ligger hovedforskjellen mellom GRS og MSE i stor grad i den interne stabiliteten, internt brudd kan oppstå når det blir svikt på grunn av forlengelse eller brudd i jordarmeringen. For jordarmert landkar (GRS) forsterkningene er ikke bare opptak av strekk krefter kritisk, men også å hindre lateral deformasjon av jorda, forbedre opptak av komprimeringsinduserte spenninger, og øke duktiliteten osv. (Adams & Nicks, 2018)

Jordarmert integrert landkar (GRS-IBS) kan benyttes til ulike broer på alle typer veier. Den ble utviklet for å dekke behovene for de fleste vanlige broer, men den er ikke egnet overalt. Fordi den har en grunnfundamentering som overfører lastene til grunnen i nærheten av overflaten, dermed ifølge (FHWA 2018) teknologien er mest tilegnet for brokonstruksjoner i motorvei (Grade Separations). Ved jordarmert integrert landkarkonstruksjon i vann må det tas hensyn til den hydrauliske analysen for å sikre langsiktig stabilitet under mulige utvasking forhold for jordmasser. Siden utvasking er en av de viktigste faktorer som svekker konstruksjonen vesentlig, er det viktig å vurdere stedet og sikre stabiliteten under store nedbørslaster. Hvis det estimeres for store utvaskingsdybder, vil bruken av jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) sannsynligvis være for dyr eller vanskelig å konstruere, og et alternativt fundamentsystem bør vurderes. Men tilstedeværelse av vann utelukker imidlertid ikke bruk av jordarmert brulandkar. (Adams & Nicks, 2018)

Som presisert tidligere jordarmert brulandkar har (GRS-IBS) har mindre delelementer enn tradisjonell brulandkar, derfor krever det mindre vedlikehold. Men som alle andre broer, hovedkomponentene i jordarmert landkar er overbygging og underbygning. Brooverbyggingen er samme som tradisjonelle broer, altså trenger den det samme inspeksjon, vurdering, og vedlikehold. Ifølge håndboken (FHWA 2018) over 300 broer med jordarmert landkar har blitt bygget i USA og, ut fra helhetsvurdering broene har vist en god ytelse så langt. I tillegg til at jordarmert brulandkar har færre komponenter i konstruksjonen, er den også designet for en jevn overgang, og reduserer dermed påvirkning av belastningen. (Adams & Nicks, 2018)

#### 4.1.2.2 Fordeler ved bruk av jordarmert landkar (GRS-IBS)

Baser på erfaring fra prosjekter, er jordarmert brulandkar (GRS-IBS) mer effektiv enn tradisjonell brokonstruksjon under noen forutsetninger. Den krever mindre arbeidskraft, er et fleksibelt design, gir et tryggere arbeidsmiljø og konstruksjonen er mindre påvirket av værforholdene. I tillegg bygges jordarmert på kortere tid og gir dermed kortere perioder med stengninger av veien, forstyrrelser til andre trafikanter, lavere materialer og arbeidskostnader. (Adams & Nicks, 2018)

Teknologien er en gunstig løsning som har både minimale miljøpåvirkning og lavere betongbruk. Jordarmert brulandkar er en tidssparende og økonomisk gunstig metode som ikke

har behov for fuger og lagre mellom broelementet og landkar. Kostnaden for å bygge jordarmert landkar (GRS-IBS) kan være 25-60 prosent lavere i noen tilfeller enn for tradisjonell utførelse. Kortere byggetid, bruk av lett tilgjengelige materialer og eliminering av den dype fundament er hovedfaktorene som reduserer kostnadene under oppføring av konstruksjonen. Metoden har redusert kostnad med tanke på vedlikehold i driftsfase fordi den eliminerer muligheten for setning (telehiv) som kan oppstå i enden av broen (Adams & Nicks, 2018)

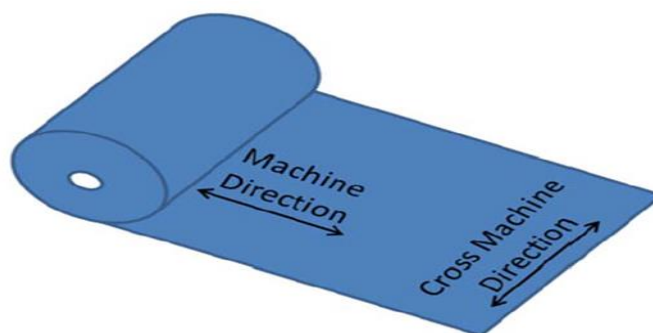
#### 4.1.2.3 Materialer brukt i jordarmert landkar

##### 4.1.2.3.1 Geosynteter

Geosynteter er en rekke av syntetiske produkter brukt for mest mulig effektiv stabilitetsegenskapene i materialer som stein, grus og jordmasser. Det er mange typer geosyntetisk materialer med ulike styrker for landkarkonstruksjoner. Geosyntetisk duk som er laget av polypropylen som har like styrke i begge retninger er det meste brukte i anleggene hittil. Hovedgrunnen for at den brukes mye av denne type materiale, er at den har relativt lave kostnader, lett å håndtere og den har evnen til å ta opp friksjonen som oppstår i anlegget. Selv om en hvilken som helst geosyntetisk kan brukes i anlegg, må en fiberduk brukes til fundamentet og integrasjonssonen for å stabilisere massene.(Adams et al., 2012)

Strekkekreftene som oppstår når konstruksjonen belastes blir tatt opp av geonettet i anlegget. Friksjonen som oppstår mellom steinmassene og geosynteten holder steinmassene på plass, dermed kan konstruksjonen ta opp mye større laster enn vanlig fylling uten jordarmering. (Adams et al., 2012)

Geosynteten kan være enten en-akset eller toakset, det vil si at forsterkningen har enten større styrke i en bestemt retning eller like store styrke i begge retninger. Hvis en en-akset-forsterkning brukes, gir den større styrke i tverr-maskinretningen (Cross Machine Direction) som sørger for en enkel plassering, da den geosyntetiske kan rulles ut parallelt med veggen. Vanlig praksis er at man begrenser den nødvendige forsterkningsstyrken til mindre enn belastningskapasiteten på 2 prosent belastning, vil sikre langsiktig ytelse og brukbarhet av materialet. Dreningsegenskapene er en ganske viktig faktor når det velges utforming og egenskapene til geosynteten. God drening er viktig for videreføring av nedbør, grunnvann og andre væsker i planet av et geonettet.(Adams et al., 2012)



Figur 4.17: Illustrasjon av geosyntetisk rulleretning (Adams & Nicks, 2018)

#### 4.1.2.3.2 Massefylling

Massefylling er svært viktig siden dette er en av hovedkomponentene i konstruksjonen. Massene må komprimeres tilstrekkelig med komprimeringsgrad minimum 95% av maksimum tørr densitet i armertsonen. Komprimeringsgraden skal være høyere i integrasjonssonen. (Adams et al., 2012)

Det skal bemerkes at noen utfyllingsmaterialer er lettere å jobbe med enn andre. Visse masser er mer egnet for komprimering bak støttemursegmentet enn andre. Det er en del faktorer som bør vurderes når det velges massefylling for et gitt prosjekt. Det er observert at noen finkornet sand og åpen graderte grove aggregater med maksimal kornstørrelse større enn 50.8 mm er vanskelig å komprimere rett bak fasaden, til en friksjonsforbundet delt fasaden betong-blokk (CMU). Derfor er det viktig med riktig valg av masser og kornstørrelser for å:

- Sørg for tilstrekkelig komprimering inntil fasadeelement
- Kontroller fasadejustering
- Begrens horisontal deformasjon etter konstruksjon

Siden jordarmert landkar er designet for å bære overbygning av bru, sees dette som en bærende konstruksjonsdel. Massene bør bestå av knuste, harde, motstandsdyktige fragmenter av stein. Disse materialene skal være frie for organisk materiale eller skadelige materialer som skifer, glimmer eller andre myke partikler som har dårlig holdbarhet. Materialene må tilfredsstillende kravene for knuste løsmasser. Massene som brukes i fyllingen må være enten, velgradert eller drenerende masser. (Adams et al., 2012)

De viktige egenskaper til massen er:

- Evne til å sikre komprimering.

- Drenering (drenerende masser anbefales for et anlegg som ligger i en flomsone for å sikre seg at vannet ikke blir igjen inne i anlegget).
- Kantende masser anbefales for å maksimere skjærstyrken til jordarmeringen.

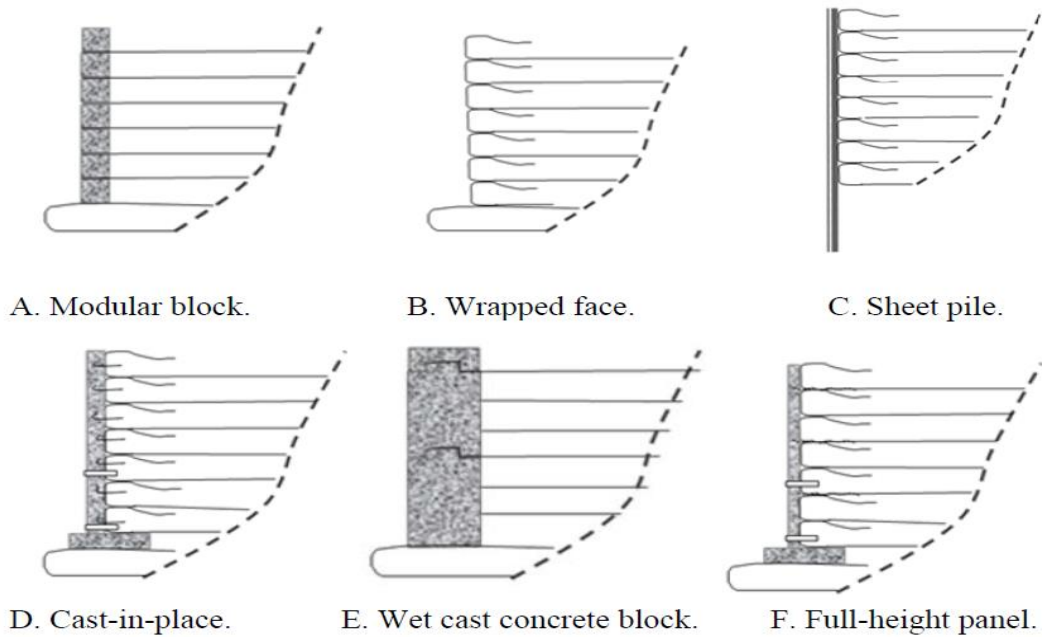
#### 4.1.2.3.3 Integrasjonsone

Overgangen fra bruplaten til eksisterende terreng kalles integrasjonssonen. Det er viktig å få en jevn overgang i denne sonen for å oppnå bedre kjørekomfort. Materialet som blir brukt i integrasjonssonen bør være tilnærmet likt massene som blir brukt i fundamentet. (Adams et al., 2012)

#### 4.1.2.3.4 Støttemurselementer

Støttemurselementer er ikke en del av bærekonstruksjonen i jordarmert brulandkar. Hensikten er å gi en skjerm mot ytre påkjenninger, brukes som en fasade og beskytte det kornete fyllet mot utvendig forvitring. Siden støttemurselementet ikke er en del av bærekonstruksjonen, er det opp til byggherren å velge materiale. Derfor står man fritt til å velge den støttemurselement typen man vil. Den kan bli bygget av betong, naturlig stein, metall, tresviller, gabionkurver osv. Men mest brukt støttemurselement for jordarmert brulandkar er CMU- (prefabrikkert betongblokker). (Adams et al., 2012)

Det er flere typer CMU som ofte brukes i jordarmert brulandkar (GRS) som solid, hul kjerne og hjørneblokk. Alle disse blokkene kommer med standard dimensjoner. CMU blokker er mest brukt i jordarmert brulandkar (GRS) fordi at de er lett tilgjengelige, billige og tilfredsstillende friksjonskravet mellom betongblokkene og geosyntetene. Som nevnt tidligere frontmuren ikke er en del av bærekonstruksjonen i anlegget, dermed kan det brukes ulike støttemurselementer til konstruksjonen. (Adams et al., 2012)



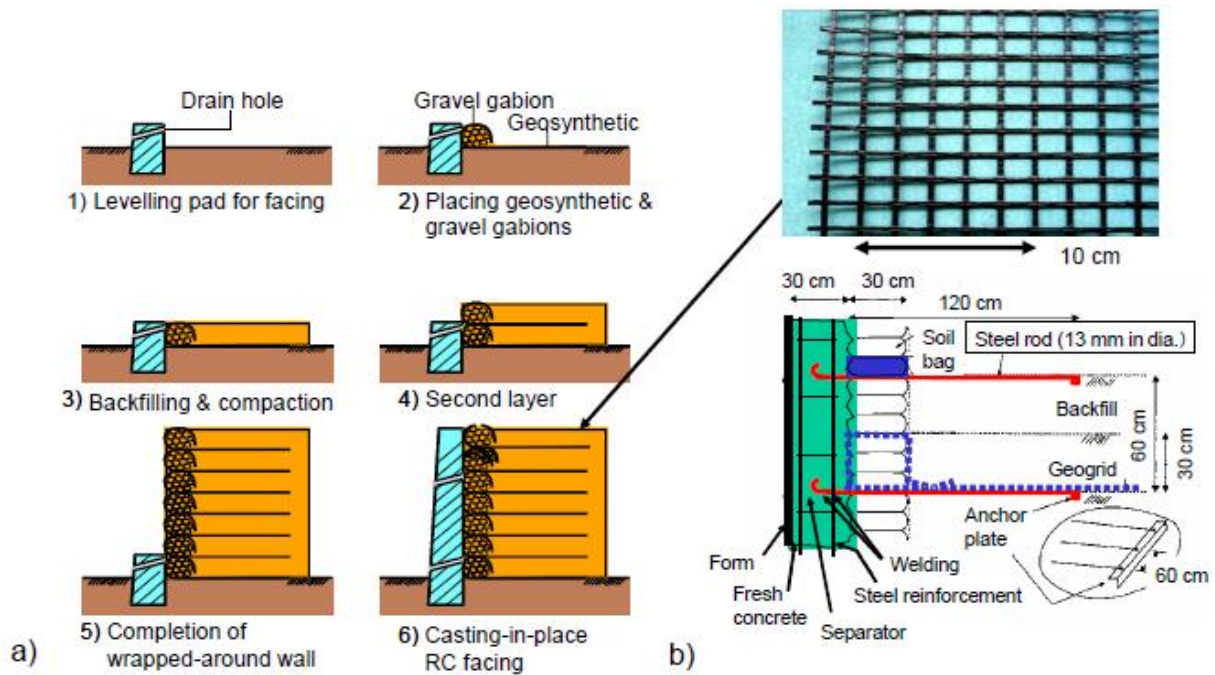
Figur: 4.18 Illustrasjon av frontmur med forskjellige støttemur (Adams & Nicks, 2018)

#### 4.1.2.4 Forskning og konstruksjon av jordarmerte integrerte brokonstruksjoner (GRS-IBS)

Konstruksjonsdesign for jordarmert brulandkar brukt i Japan er annerledes enn det som er forslått av FHWA. Tatsuoka et al. (2009) foreslo et konstruksjonsdesign der overbygningen er fullstendig integrert (*Fully Structurally Integrated*) på toppen av støttemursegment FHR (*full-height rigid*). På den annen side utviklet FHWA (Adams et al., 2010) brosystem der overbygningen hviler på fyllingen uten strukturell integrasjon (*Structural Integration*). (Tatsuoka et al., 2016)

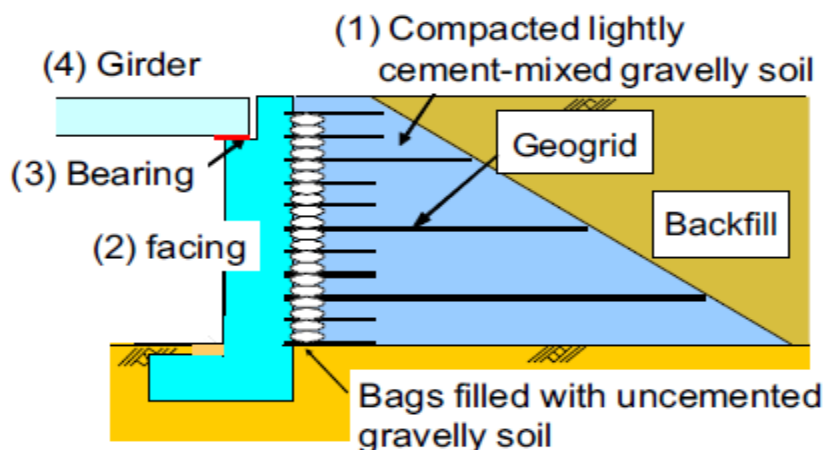
*“Steel-reinforced full-height-rigid (FHR) facings are constructed by casting-in-place concrete on the wall face wrapped-around with the geogrid reinforcement. Finally, a continuous girder is constructed with both ends integrated to the top of the FHR facings”.* (Tatsuoka et al., 2016)





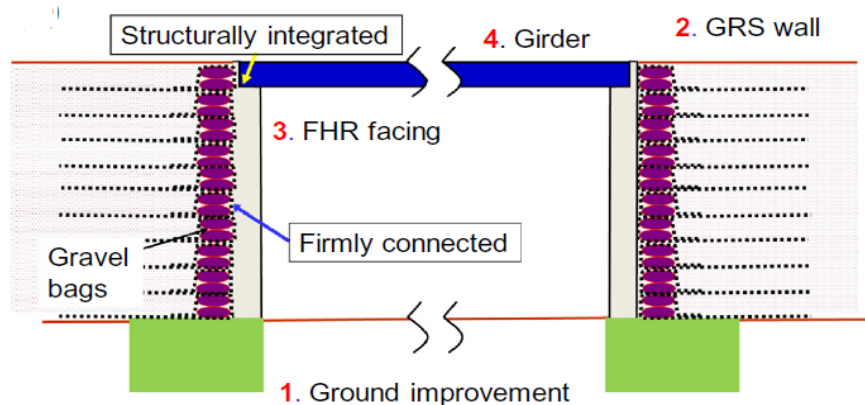
Figur 4.19 Illustrerer A) Byggeprosedyre B) Detaljer om forbindelsen mellom fasaden og det armerte fyllingen (Tatsuoka et al., 2016)

Japanske forskere har beskrevet fordelene ved bruk av jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) med FHR som støttemursegment/frontmur og hvordan teknologien utviklet seg i Japan. I hovedsakelig jordarmert (GRS) landkar ble utviklet for å unngå problemene som oppstår ved den tradisjonelle broen. Forskeren pekte på to hovedproblemer i tradisjonelle bro. Den ene er at det oppstår dumpet bak landkaret av seismiske belastninger og spenningen av uforsterket fylling, og dumpen blir større ved forskyvninger av landkaret. Det andre problemet inkluderer behov for en massiv armert betong støttestruktur som vanligvis støttes av peler for å hindre setning og sideforskyvninger av landkaret og for å sikre tilstrekkelige stabilitet spesielt mot seismiske belastninger. For å unngå disse ulempene, ble en ny type landkar kalt jordarmert (GRS)-landkar utviklet. Overbygningen hviler på toppen av FHR (*Full Height Rigid*) via et fastlager og glidelager som vist i figuren nedenfor. (Tatsuoka et al., 2016)



Figur 4.20: Jordarmert landkar (GRS bridge abutment) (Tatsuoka et al., 2016)

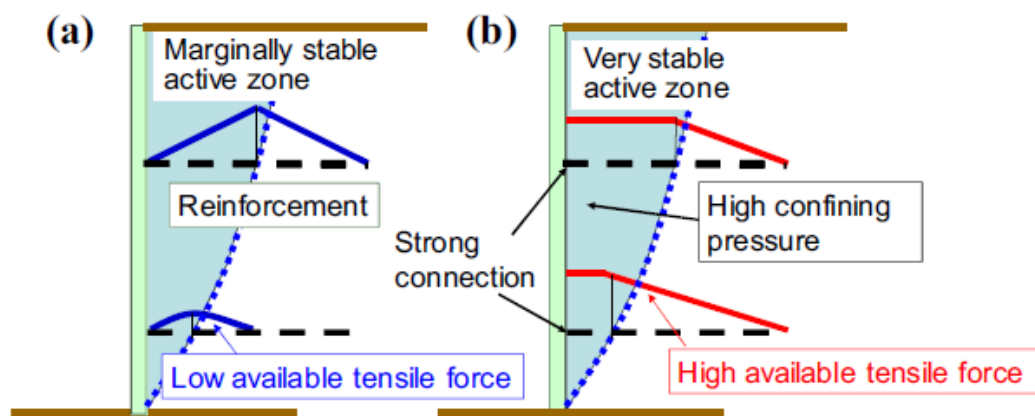
Denne metoden kan være rimeligere og ha lavere betongbruk sammenlignet med den tradisjonelle landkarskonstruksjonen. Men jordarmert landkar (GRS) har altså to hovedproblemer sammenlignet med den tradisjonelle. Den har høy konstruksjons- og vedlikeholdskostnad for lager og en lav seismisk stabilitet for bjelken ved brolager. For å eliminere disse problemene, ble GRS- jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) utviklet. I jordarmert integrert brulandkar er bærebjelken konstruert med begge ender strukturelt integrert til toppen av FHR (*Full Height Rigid*) uten lager. FHR er konstruert ved å støpe betong mellom forskalingen og veggflaten pakket rundt med geonett forsterkning. (Tatsuoka et al., 2016)



Figur 4.21: Jordarmert integrert brulandkar (GRS integrert bridge abutment)

Forskerne trekker frem faktorer som indikerer at jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) er mer kostnadseffektiv og gir høyere ytelse enn en brokonstruksjoner som består av en enkel bærebjelke støttet av jordarmert-landkar (GRS). For det første blir konstruksjon og vedlikehold av brolager unødvendige. Dessuten blir bærebjelken slankere på grunn av en betydelig reduksjon av maksimalt moment. For det tredje øker seismisk stabilitet på grunn av økt strukturell integritet og at treghetskraften reduseres. Øket strukturell integritet og reduksjon i bærebjelkens tykkelse øker stabiliteten mot eksempelvis tsunami vesentlig. Viktigheten av høy motstand mot tsunami ble anerkjent etter enorme skader på et stort antall av konvensjonelle broer etter det store jordskjelvet i Øst-Japan i 2011.(Tatsuoka et al., 2016)

Videre understryker forskerne på påstanden om at FHR (*Full- height rigid*) som frontmur/støttemurselement gir bedre ytelse enn som består av betongblokker eller andre type materialer. Når frontmuren/støttemurselementer eller fyllingen blir belastet må den aktive sonen opprettholde høyt lokalt og global stabilitet for brokonstruksjons statiske likevekt. Dette kravet blir tilfredsstilt ved bruk av en FHR (*Full- height rigid*) som støttemurselement. Det vil si at punktlasten blir overført til FHR fasaden deretter til de forsterket lagene fra toppen til bunnen, derved tas punktlasten opp av hele veggen. Jordarmert-brulandkar (GRS) og integrert jordarmert brulandkar (GRS-IBS) drar full nytte av disse egenskapene ved bruk av støttemur som FHR. Når det påføres punktlast i jordarmert landkar på paneler eller støttemurselement/frontmur uten FHR blir lastene overført til det forsterket lagene på toppen. Fordi paneler eller betong blokker støttemurselementer/frontmurer ikke kan ta imot stor vertikal punktlast.(Tatsuoka et al., 2016)



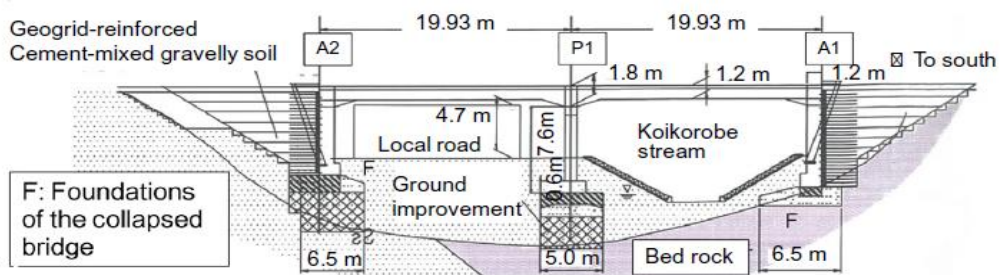
Figur 4.22: Viser aktivt sone når jordarmert landkar påfører laster

Det ble rapportert modelltester der jordarmert (GRS) med støttemurer «*Retaining Walls*» (RWs) som har fleksibel eller deformbar støttemurselement/frontmur kollapset på grunn av lokalsvikt (local failure) av vertikal punktlast på toppen. Støttemurselementer av paneler eller betong blokker, gir mulige masse utstrømming gjennom skjøter dersom det ikke er god nok tetting. I motsetning til støttemurselementer av betongblokker og paneler gir ikke FHR (Full Height Rigid) løsningen masse utslipingsproblemer. (Tatsuoka et al., 2016)

I 2011 ble bjelkene og fyllinger for mer enn 340 broer for veier og jernbaner vasket bort av en stor tsunami på grunn av det store vit japanske jordskjelvet. En del broer med enkeltstøtte bærebjelken ble vasket bort. Landkaret, søylene og fundamentet ble alvorlige skadet. Disse skadet broer ble gjenoppbygd ved å konstruere jordarmert integrert bro (GRS-IBS) med Stålarmeret betong som frontmur (FHR) som er økonomisk gunstige broer og svært motstandsdyktig mot tsunami. (Tatsuoka et al., 2016)

#### 4.1.2.4.1 Koikorobe-Sawa jordarmert integrert bro

Koikorobe-sawa jordarmert integrert bro (GRS-IBS) var en av de broene som ble gjenoppbygd etter jordskjelvet i Japan. Koikorobe-sawa bro var en tospennsbro med opplagret bærebjelke som ble fullstendig vasket bort av tsunamien. Deler av fundament som var igjen etter hendelsen, ble brukt til å bygge det nye jordarmerte og integrerte brulandkaret. Lengde på bjelken var 40 meter og, dermed er den termiske nedbøyningen for bjelken ikke vesentlig. Dessuten er det ingen spesifikk høydebegrensning under bærebjelken. Derfor valgte man dekkbro med en armert betongbjelke «*Reinforced Concrete*» (RC). Siden Jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) er mer stabile mot tsunami enn tradisjonelle bro, presiserte forskerne at den kunne ha overlevd tsunamien hvis denne løsningen lå til grunn under tsunamien. Den høye integriteten til bjelkene, støttemurselement og integrasjonssonen gir jordarmert integrert brulandkar en høy stabilitet under jordskjelv. Forskyvninger er definert null når bærebjelken blir integrert i støttemur/frontmuren. Forskyvningene i bunnen av FHR-fasadene er også null, noe som indikerer at FHR-fasadene roterer om bunnen deres.(Tatsuoka et al., 2016)



Figur 4.23: Koikorobe-sawa bro i Japan (Tatsuoka et al., 2016)

#### 4.1.2.4.2 Den første integrert bro med FHR-fasader i Europa

Den første jordarmert integrert brulandkar med FHR (*Full Height Rigid*) -fasaden i Europa ble bygd over Pavlovski potok elv i landsbyen Ẓerovinci i Nordøst-Slovenia i 2014. På grunn av tids og kostnadsberegninger ble det benyttet jordarmert integrert brulandkar med FHR-fasade for å sikre god eksternt stabilitet og, samtidig minimerer det mulige negative effekter av vesentlig grunn setningen etter ferdigstillelse av broen. I konstruksjonen ble dype fundamenter erstattet av grunnfundamenter laget av fyllmasser og forsterket med geonettet. FHR-fasade ble benytte som fasadeelement for konstruksjonen av denne jordarmert integrert broen. FHR-fasadene er konstruert ved hjelp av plassstøpt betong i mellomrommet mellom forskalingen og veggflaten som er pakket rundt med geosyntetisk (geonett) forsterkning. En sterk forbindelse mellom fasadene/ frontmuren (FHR) og forsterkningslagene er avgjørende for riktig ytelse av jordarmert landkar (GRS) med FHR-fasader. (Lenart, Kralj, Medved, & Šuler, 2016)

På grunn av mangel på tidligere erfaring med denne type brokonstruksjonen (*GRS RW with FHR facing*) ville entreprenøren bruke kunnskapen fra Japan for jordarmert integrert

brosystemkonstruksjon. Dermed består brosystemet med brodekket plassert på toppen av jordarmert-landkar (GRS-IBS) bak FHR-fasadene/frontmuren for å minimere risikoen selv om brodekket skulle ville på toppen av FHR-fasade. Rapporten viser flere viktige fordeler ved anvendelse av jordarmert brulandkar i forhold til konvensjonelle stålmert betong landkar. Siden bruk av peler, stålmert betongkonstruksjon, og vingemur er unødvendige i jordarmert (GRS)-teknologien, bruk av betongmengde reduseres betydelig dermed minimeres CO<sub>2</sub> utslippet. (Lenart et al., 2016)

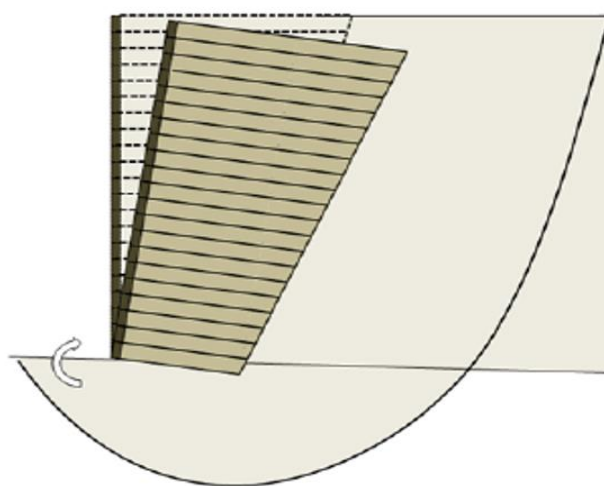
#### 4.1.2.4.3 Numeriske undersøkelser av jordarmert integrert brulandkar (GRS-IBS) landkar

Egenskapen til jordarmert (GRS)-strukturer er undersøkt av en rekke forskere gjennom bruk av labtester, og numerisk simulering. En bro (GRS-IBS) med 33 meter spennvidde på Hawaii ble instrumentert for å måle overbygningsspenninger, vertikaltrykk under sålet, sidetrykk bak endeveggen og sideveis forskyvninger av fasaden. Undersøkelsen ble gjennomført av forskere Phillip S. K., Michael T. Adams, og Joseph B. Lawrence. Feltundersøkelser ble også utført for å måle sålefundamentets setning. Resultatet av undersøkelse ble sammenlignet med den tidligere undersøkelsen gjort for tre år etter at broen ble ført opp. Følgende data ble observert; påkjenningene i alle betongelementer endret seg sesongmessig med temperatur. Når temperaturen avtar, trekker betongen i overbygningen sammen og dette medfører at trykkpåkjenningen økte, omvendt når temperaturen øker. Tre år etter konstruksjon var sålens setning 3,03 cm. De vertikale trykket under sålefundamentet, sidetrykk bak endeveggen og overbygning påkjenninger endrer seg syklisk. Den vertikale såletrykket nærmest elven ble utsatt for en betydelig daglig trykkvariasjon, mens den nærmeste endeveggen opplevde minst. (Ooi et al., 2019)

Endeveggens horisontale trykk er sykliske på daglig basis og sesongavhengig. Basert på resultatet er trykkspenningene vurdert til høyest om sommeren og lavest om vinteren. Dette er fordi overbygningen utvides når det er varmt og dytter seg mot fyllingen, noe som øker sidetrykket. Det omvendt skjer når det er kaldt. Endeveggs horisontale trykk viser en synkende tendens med tid på grunn av overbygningens betong som kryper og krymper med tiden. Dette bekreftes av de økende trykkpåkjenninger i overbygningen med tid. (Ooi et al., 2019)

Betongelementenes «*Concrete Masonry Unit*» (CMU) horisontal trykk nå sitt høyeste nivå når omgivelsestemperatur var kaldest og omvendt når det er varmest. Når omgivelsestemperatur er høy, utvider overbygningen og får sålefundamentet til å forflytte bort fra betongblokkene (CMU). Som et resultat av dette, reduseres horisontal trykk mot baksiden av CMU-blokk. Når det er kaldere, overbygningen trekker seg sammen og øker horisontaltrykk mot baksiden av betong-blokken (CMU). (Ooi et al., 2019)

På langsikt beveger støttemurselement/frontveggen (CMU) seg mot fyllingen. Det finnes to mulige forklaringer som kan understreke påstanden. Den første forklaringen er at det oppstår setningen i jordarmert-landkars fylling (GRS) på grunn av den vertikale lasten på sålen, og setningen av fyllingen får geonettet til å trekke CMU-blokkene bort fra. Deretter beveger støttemur/frontmuren (CMU) mot fyllingen. Den andre forklaringen er når etterspenningskraften blir avslappet på grunn av kryp og krymping av overbygningen som får overbygningen til å synke og fundamentsålet til å rotere. Det er denne fundamentsålerotasjonen som fører til at CMU (fasadeelement/frontmuren) beveger seg mot fyllingen.(Ooi et al., 2019)



Figur 4.24: Viser intern stabilitet i landkar (Adams & Nicks, 2018)

Basert på resultatene fra sykliske triaksiale tester på et basaltaggregat som tilsvarer jordarmerings (GRS) fyllingsmasser, ble det beregnet at den permanente belastningen er tilnærmet lik 1%, sammenlignet med hva som ble observert i sålefundamentet. Etter tre år, er det totale setningen omtrent 1,6% av den jordarmert-landkars høyden. Omtrent 0,7% av dette skyldes strukturens egenvekt og resten skyldes syklisk belastning.(Ooi et al., 2019)

Det har blitt gjennomført en del undersøkelser for å finne ut hvordan jordarmert strukturer reagere under seismiske belastninger ved jordskjelvsimuleringer i rigg, der man fant ut at jordforsterket landkar hadde god ytelse under seismisk belastning på grunn av deres duktilitet og fleksibilitet. Til tross for de fleste jordarmert strukturer har god ytelse, ble mange jordarmert vegger totalødelagt under Chi-Chi, El Salvador og Nisqually USA-jordskjelvene av ulike årsaker, for eksempel utilstrekkelige forsterkningslengde, stor avstand mellom forsterkningene, utilstrekkelige støttemurs forbindelse, og utilstrekkelig komprimering av massefyllingen. Derfor er det behov for ytterligere analyse av seismisk ytelse for jordarmerte alternativer.(C. Xu, Luo, Shen, Han, & Ren, 2019)

Etter at jordarmert integrert landkar (GRS-IBS) ble utviklet av *The US Federal Highway Administration (FHWA)*, har de blitt utført en rekke undersøkelser og numeriske studier for å undersøke ytelsen til jordarmert landkar under statisk belastning. Helwany et al. (2012) utførte en ristebordtest av et GRS-landkar under en tredimensjonal tilstand usatt for en langsgående sinusformet bølgebevegelse. Resultatene fra testen indikerte at GRS-landkar viste tilfredsstillende seismisk ytelse og, det ble ikke observert betydelige bevegelser eller strukturelt brudd (*structural failure*). Men det ble observert noen lokale sprekker i nederste hjørner av landkaret da akselerasjonsamplitude ble større enn 0,67 g. Zheng et al. (2017 og 2018c) utførte også ristebordtester på en 2,7 m høy halv-skala GRS-landkar utsatt for risting i henholdsvis langsgående og tverrgående retning. Studiet legges vekt på likhetsforholdet mellom modellen og prototypen GRS-landkar. Testresultatene viste at GRS-landkar generelt hadde god seismisk ytelse med tanke på sideforskyvninger og bevegelser i brosetet.(C. Xu et al., 2019)

En skalert test av ristebord ble også utført av flere andre forskere (Chao Xua, Minmin Luo, Panpan Shen, Jie Han, Feifan Ren) for å undersøke den seismiske ytelsen til et geosyntetisk jordarmert bro (GRS-IBS) med en full lengde bro bjelke som hviler på to GRS-landkar utsatt for jordskjelvsbevegelser i lengderetningen. Denne testen ble gjort for å undersøke virkninger av armeringsstivhet og avstanden mellom armeringene på den seismiske ytelsen til GRS-IBS.

Testresultatene viste at det var mer fordelaktig å redusere armerings avstanden for å minimere den seismiske effekten på GRS-landkar enn å øke armerings stivheten. Det ble observert mindre horisontal fasade forskyvninger i høyre GRS-landkar enn de i venstre landkar, noe som indikerer at reduksjon av forsterkningsavstanden var mer gunstig for å forbedre seismisk

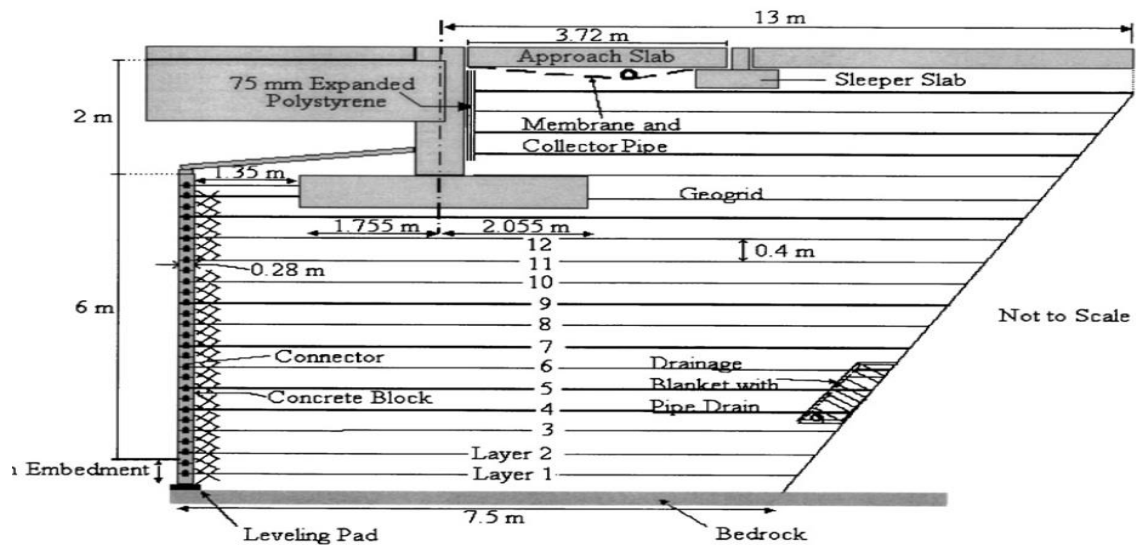


ytelse av GRS-landkar med tanke på horisontal fasade forskyvninger induisert av jordskjelvbevegelse. Generelt sett GRS-IBS opplevde ikke store strukturelt brudd (*structure failure*) og betydelige forskyvninger under og etter risting testen. Risting i lengderetningen til brobjelken økte den vertikale spenningen i den forsterket jordsonen. De maksimale strekkreftene oppstå i de øvre og nedre geonett lagene på grunn av risting under midten av bjelkesetet (*beam seat*) og ved landkars støttemursegment. (C. Xu et al., 2019)

#### 4.1.2.4.3.1 Virkninger av fundamenteringsmasse på GRS- landkar

En viktig egenskap ved Jordarmert landkar (GRS) er at den har evnen til å eliminere bruk av peler selv om den ligger over et svakt fundament. Dette vil ikke bare reduserer kostnadene, men også bro dumper (bridge bumps). Denne studien ble utført for å undersøke virkninger av fundamenteringsmasse på GRS- landkar med tanke på differensialsetningene mellom landkaret og fyllingen og for å finne ut jordarmert landkars (GRS) evnen for å redusere fyllings setningen (approach settlements). Dette har blitt undersøkt av noen få forskere (eks, Sam M.B. Helwanya, Jonathan T.H. Wu, Burkhard Froessler). (S. M. Helwany, Wu, & Froessler, 2003)

Dermed ble det gjennomført en parametrisk undersøkelse med dataprogrammet DACSAR for å undersøke virkningene av ulike fundament jordarter fra løs sand til stiv leie på jordarmert landkar (GRS). Spesiell oppmerksomhet ble lagt på maksimale vertikale og horisontale bevegelser av landkaret i tillegg til egenskapen til fyllings setning / (approach settlement characteristics). (S. M. Helwany et al., 2003)



Figur 4.25 Founders/Meadows jordarmert brulandkar konfigurasjon (S. M. Helwany et al., 2003)

Da det ble utført en parametriske analyse for å undersøke effekten av fundamenteringsmasse på egenskapene til GRS-broanlegg, Konfigurasjonen av Founders/Meadows GRS bro landkar nylig konstruert av Colorado Department of Transportation ble benyttet for analysen. Fem representative grunnmassen ble undersøkt: en tett sand, en middels tett sand, en løs sand, en stiv leire, og en middels stiv leire. (S. M. Helwany et al., 2003)



Figur 4.26 Founders/Meadows jordarmert brulandkar nær Denver, Colorado. (S. M. Helwany et al., 2003)

Analysen indikerer at ytelsen til jordarmert landkar ble betydelig påvirket av egenskapene for byggegrunn (underliggende masse), alt fra tett sand til siltig leire. De løse og middels tette

massene førte til større forskyvninger enn det kompakte sandfundament under belastning. Den beregnet vertikale forskyvningen for det tette sandfundamentet var 24 mm, og 77 mm for det løse sandfundamentet. Likevel ble disse forskyvningene ansett som utholdelige i henhold til kriteriet foreslått av Wahls (1990). (S. M. Helwany et al., 2003)

For stiv leire og medium leire var egenskapen til GRS-landkar med tanke på horisontale og vertikale bevegelser akseptabelt, ifølge Wahls 'kriterium. De beregnede setningene var henholdsvis omtrent 20 mm for stiv leire og 35 mm for det medium leire grunnmassen i grunnen. Ifølge det tillatte kriteriet for fyllingen foreslått av Wahls (1990) og Stark et al. (1995), var de beregnende fyllingen (*approach slopes*) med leierfundament, alt fra -0.00134 for stive leiere til - 0.00161 for middels leire akseptable. Dette viser at jordarmert landkar har stor mulighet til å redusere setningen som oppstår mellom landkaret og fyllingen. (S. M. Helwany et al., 2003)

#### 4.1.2.5 Livsløpsvurdering av jordarmert landkar

Det har blitt presentert noen resultater fra et miljø undersøkelser av et jordarmert landkar (GRS-IBS). Pavlovski-Potok elven i Slovenia er brukt som referanse i en slik undersøkelse. Det er den første jordarmerte broen med «*Full Height Rigid*» (FHR) støttemur i Europa, og ble bygget i 2014. Hensikten med undersøkelsen var å sammenligne to forskjellige typer broer: det nye GRS-brosystemet, og en konvensjonell armert betongbro med hensyn til miljøbelastning. Resultatene fra en miljømessig livssyklusvurdering (LCA) viser at GRS-brosystemet har lavere miljøbelastning enn konvensjonell bro bygget med armert betong.(Bizjak & Lenart, 2018)

Miljøkonsekvensene ble beregnet ved å ta hensyn til produksjon av materiale/bygningsdeler, byggearbeid, vedlikehold og «*End Of Life*». Fem konsekvenskategorier ble undersøkt som konsentrerer seg om menneskers helse og økosystemet. De fem kategoriene er global oppvarming (GWP), forsuring (AP), Ozonreduksjon (ODP), fotokjemisk oksidasjonsdannelse (POCP) og overgjødsling (EP). En beregnet miljøpåvirkning for betongbrua er presentert i tabell 4.2 og for GSR-brosystemet i tabell 4.3. (Bizjak & Lenart, 2018)

Tabell 4.2: Viser oversikt av miljøbelastning av tradisjonelle brokonstruksjon (Bizjak & Lenart, 2018)

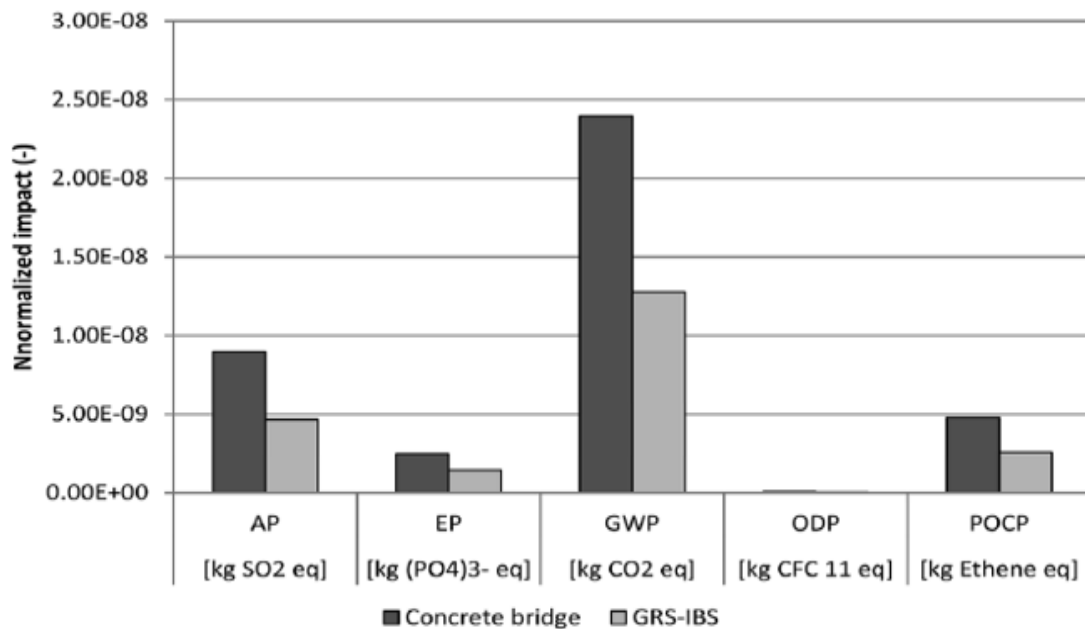
Environmental impact for the concrete bridge.					
	AP	EP	GWP	ODP	POCP
	[kg SO <sub>2</sub> eq]	[kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	[kg CO <sub>2</sub> eq]	[kg CFC 11 eq]	[kg Ethene eq]
<b>TOTAL</b>	<b>2,52E+02</b>	<b>3,26E+01</b>	<b>1,20E+05</b>	<b>3,60E-04</b>	<b>4,05E+01</b>
<b>Material production</b>	<b>2,07E+02</b>	<b>2,45E+01</b>	<b>1,04E+05</b>	<b>3,52E-04</b>	<b>3,37E+01</b>
Gravel	1,71E+01	2,26E+00	1,04E+04	4,48E-06	1,44E+00
Asphalt	8,98E+00	1,20E+00	3,30E+03	5,07E-08	6,95E+00
Steel reinforcement	1,09E+02	8,68E+00	3,93E+04	3,44E-04	1,69E+01
Concrete	7,16E+01	1,24E+01	5,12E+04	3,48E-06	8,34E+00
Geogrid	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
<b>Construction</b>	<b>1,22E+01</b>	<b>2,80E+00</b>	<b>2,84E+03</b>	<b>4,77E-06</b>	<b>1,33E+00</b>
Transport of materials and machines	1,05E+01	2,44E+00	2,42E+03	4,77E-06	1,15E+00
Operating of machines	1,63E+00	3,56E-01	4,23E+02	7,10E-09	1,84E-01
<b>Maintenance</b>	<b>7,87E-01</b>	<b>1,66E-01</b>	<b>1,74E+02</b>	<b>2,46E-07</b>	<b>8,77E-02</b>
Transport of materials and machines	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Operating of machines	5,22E-01	1,21E-01	1,22E+02	2,43E-07	5,65E-02
<b>End of life</b>	<b>3,21E+01</b>	<b>5,15E+00</b>	<b>1,30E+04</b>	<b>3,30E-06</b>	<b>5,47E+00</b>
Transport to landfill	3,22E+00	7,47E-01	7,48E+02	1,49E-06	3,50E-01
Landfill of removed material	2,61E+01	3,81E+00	1,16E+04	1,80E-06	4,81E+00
Operating of machines	2,73E+00	5,96E-01	7,09E+02	1,18E-08	3,09E-01

Tabell 4.3: Viser oversikt over miljøbelastning av GRS-IBS (Bizjak & Lenart, 2018)

Environmental impact for the GRS-BS.					
	AP	EP	GWP	ODP	POCP
	[kg SO <sub>2</sub> eq]	[kg (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> eq]	[kg CO <sub>2</sub> eq]	[kg CFC 11 eq]	[kg Ethene eq]
<b>TOTAL</b>	<b>1,14E+02</b>	<b>1,62E+01</b>	<b>5,57E+04</b>	<b>1,01E-04</b>	<b>1,96E+01</b>
<b>Material production</b>	<b>8,35E+01</b>	<b>1,03E+01</b>	<b>4,38E+04</b>	<b>9,35E-05</b>	<b>1,47E+01</b>
Gravel	2,26E+01	2,99E+00	1,38E+04	5,90E-06	1,90E+00
Asphalt	6,80E+00	9,07E-01	2,50E+03	3,84E-08	5,26E+00
Steel reinforcement	2,74E+01	2,18E+00	9,85E+03	8,62E-05	4,24E+00
Concrete	2,32E+01	4,00E+00	1,66E+04	1,13E-06	2,70E+00
Geogrid	3,46E+00	2,48E-01	1,09E+03	2,44E-07	5,84E-01
<b>Construction</b>	<b>1,11E+01</b>	<b>2,54E+00</b>	<b>2,62E+03</b>	<b>4,29E-06</b>	<b>1,21E+00</b>
Transport of materials and machines	9,25E+00	2,15E+00	2,15E+03	4,28E-06	1,00E+00
Operating of machines	1,80E+00	3,92E-01	4,66E+02	7,87E-09	2,03E-01
<b>Maintenance</b>	<b>1,99E+00</b>	<b>4,39E-01</b>	<b>4,65E+02</b>	<b>6,23E-07</b>	<b>2,20E-01</b>
Transport of materials and machines	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Operating of machines	1,33E+00	3,08E-01	3,10E+02	6,19E-07	1,44E-01
<b>End of life</b>	<b>1,77E+01</b>	<b>2,93E+00</b>	<b>8,88E+03</b>	<b>2,13E-06</b>	<b>3,53E+00</b>
Transport to landfill	1,60E+00	3,71E-01	3,73E+02	7,45E-07	1,74E-01
Landfill of removed material	1,39E+01	2,08E+00	7,95E+03	1,37E-06	3,11E+00
Operating of machines	2,17E+00	4,73E-01	5,63E+02	9,37E-09	2,45E-01

Analysen viser at broteknologien (GRS-IBS), der man bruker naturlige (stedlige) grusmateriale armert med geosyntetisk har mindre negativ innvirkning på miljøet. Hoved miljøbelastningen oppstår på grunn av GWP. Jordarmert brosystem har en GWP-normalisert

påvirkning som er to ganger mindre enn konvensjonell betongbru. Produksjonen av materialer hadde størst innvirkning på resultatene. Betongmateriale hadde stor innvirkning på miljøet på grunn av det høye forbruket av sement, mens jordarmert brosystem bruker mye mindre sement. Dersom prosentandelen av det resirkulerte materialet var lav, ville EOL (*end of life*) hatt en mye større effekt på resultatene. (Bizjak & Lenart, 2018)



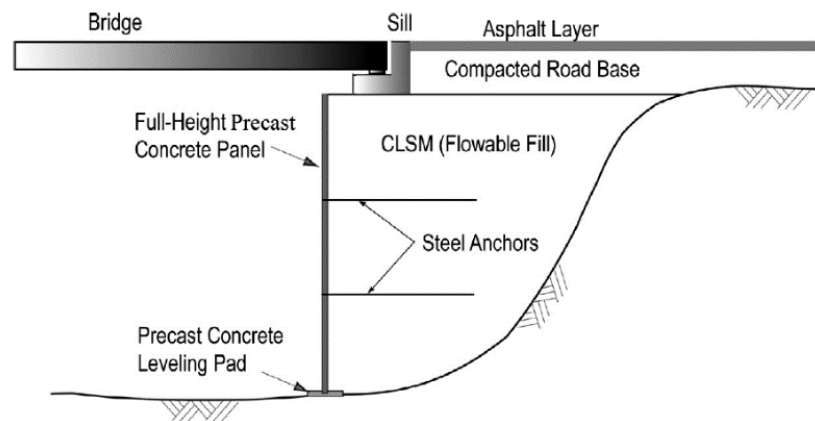
Figur 4.27: Sammenligner innvirkninger av begge brokonstruksjoner (Bizjak & Lenart, 2018)

Figuren 4.28 viser de normaliserte resultatene av miljøbelastningen for begge typer broer. Resultatene tar hensyn til materialproduksjon, byggearbeid, vedlikehold, levetid og transport for hvert trinn. Hvis vi ser nærmere på den normaliserte GWP-effekten, er forskjellene åpenbare. GWP-resultatet fra GSR-brosystemet er mer enn to ganger lavere enn for betongbrua. Generelt sett er Jordarmert landkar (GRS) en mye mer bærekraftig konstruksjon enn den tradisjonelle broen. Den har mindre innvirkning på miljøet. Men slutt resultatene kan alltid variere siden det brukes forskjellige LCA-metoder under undersøkelser. (Bizjak & Lenart, 2018)

### 4.1.3 CLSM Landkar

#### 4.1.3.1 Bakgrunn

CLSM materialene kan brukes for å redusere byggetiden for brokonstruksjon. Landkar med CLSM masser består av prefabrikkert paneler satt sammen med stål armering (*ankere*). Stål armering (*ankere*) i landkar sørger for at massene og paneler oppfører monolittisk. Ved analysing må panelene og armertmasser analysert som en enhet. Her tar CLSM landkar alle belastninger fra overbygging som vist i figuren 4.29. I tillegg må antall armering og avstand mellom stålanker bestemmes. Bestemmelsen av disse verdi er grunnlagt på belastningen fra overbygging slik at det ikke overskrider landkarets kapasitet. Betongelementer blir også dimensjonert for å ta kreftene fra massene. (S. Helwany et al., 2012)

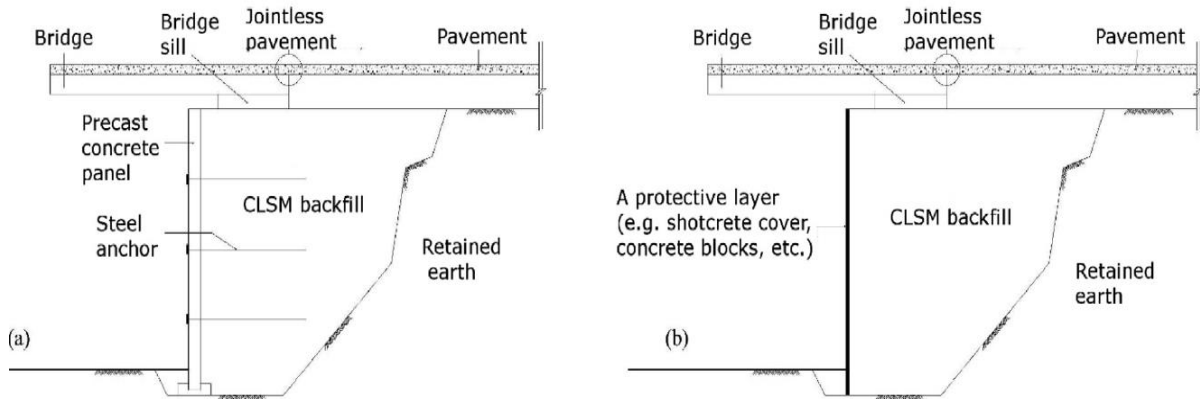


Figur 4.28: Landkar med CLSM masser (Alizadeh, Helwany, Ghorbanpoor, & Oliva, 2014)

CLSM gir en alternativ metode for byggebransjen til å løse mange utfordringer knyttet til miljø og vedlikehold i konstruksjon. Når det sammenlignes med vanlig fyllingsmaterialer koster CLSM materiale mer per kubikk meter. Men CLSM landkar gir fordeler med større duktilitet, fleksibilitet i konstruksjon og redusert kostnader i byggeprosjektet. Når det er brukt landkar med CLSM materialer er det enkelt å få en gradvis overgang fra bru til veien uten tradisjonelt overgangssystem. Det gir et mer behageligere overgangserfaring for trafikantene. (S. Helwany et al., 2012)

CLSM landkar kan bygges med to prinsipper avhengig av bøyemotstanden. Denne type landkar bygges enten som stiv eller fleksibelt. Stiv CLSM landkar har et kontinuerlig armert betongpanel sammen med enten prefabrikkert eller plasstøpt som er festet til CLSM masser med stålankere. Paneler med ankere gir motstand mot trykk fra CLSM masser. Siden ankere

fester CLSM masser og betong paneler oppfører hele landkar som en enhet etter herding. Figuren 4.30 viser bygge konsept av en stiv CLSM landkar av ulike komponenter. Mens fleksibelt CLSM landkar motstår ikke strukturelle belastninger i systemet. I figuren 4.30 vises det fleksibel CLSM landkar sammen med fyll masser og brosil. (Alizadeh, 2019)



Figur 4.29 CLSM landkarkonstruksjon typer (Alizadeh, 2019)

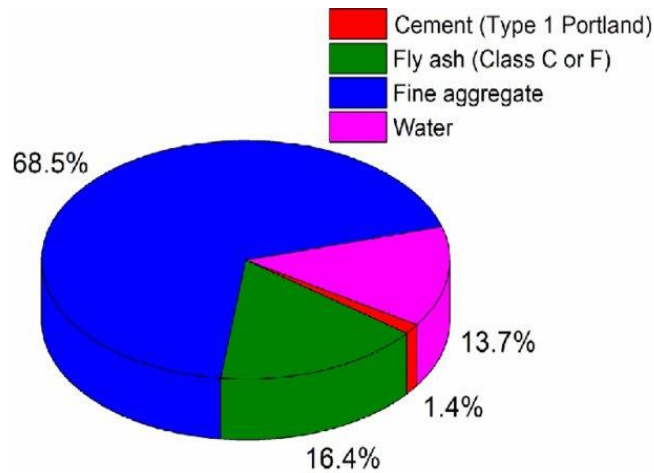
Landkar med CLSM fyllmasser fordeler lastene over landkar. Det gir et fleksibelt mulighet med å fundamentere landkar på pelene. Derfor er denne type metoden også egnet ved dårlig grunnforhold. Men ved stedene hvor grunnen har stor fare for erosjon eller setninger kan 1 m av jordlaget kan erstattes av flytende CLSM masser. Det gir en mer stabilisert jord. Denne metoden er mer praktisk å bruke for enkelt spennbruer. (S. Helwany et al., 2012)

#### 4.1.3.2 Materialer som brukes i CLSM

Valg av CLSM materialene som brukes i blandingen er basert på tilgjengelighet, kostnader og egenskapen av delmaterialene. Blanding har ulike kravene etter styrke og densitet for å bli kategorisert som CLSM masser ifølge American Concrete Institute (ACI). Andelen av materialer som anvendes for å produsere CLSM masser er avhengig av plassering og bruksfunksjoner av landkar. CLSM masser utvikler ulike trykkfasthet avhengig av materialene brukt i blandingen som er viktig for å ta belastning fra overbygningen.

Andelen av tilslagsmaterialer utgjør stor del av CLSM blandingen. Alle typer tilslagene som er godkjent for å bruke i en vanlig betong kan brukes i en CLSM blandingen. Men CLSM materialene har krav for flyteevne i fersk tilstand. Kraven for flyteevne kan oppnås ved bruk

av finkornet tilslag og bruke naturlig sand. CLSM kan blandes som en vanlig betong enten ved anleggene eller betongbiler. (Schmitz, Parsons, Ramirez, & Zhao, 2004)



Figur 4.30: Typisk andel av materialer i CLSM (Ling, Kaliyavaradhan, & Poon, 2018)

CLSM masser bruker sement i blanding for å blande materialene. Men sement er brukt i begrenset andel og utvikler styrke i CLSM. Portland sement av type I og II er mest benyttet i USA ifølge (*American Society for Testing Materials*) ASTM C 150. Men det er også mulig å bruke andre mer miljøvennlige sementer i blandingen. Andel av sementinnhold i blanding varierer fra 30 til 120 kg/m<sup>3</sup> avhengig av situasjon eller bruk. Høyere andel av sement i blanding utvikler høyere motstand og reduserer herdings tid. I tillegg kan det brukes biprodukter som flygeaske som gir høyere flytbarhet, større styrke og reduserer riss og svinn i ferdig herdet CLSM. (Etxeberria et al., 2013)

Henhold til ASTM har krav på flyteevne i CLSM på 200 til 300 mm. Flyteevne er avhengig av forholdet mellom vann og sement i blanding. Ved høyere v/c tallet i blanding utviklet CLSM materiale mer flyteevne. Luftinnførende stoffer i blanding kan også øke flytbarheten med 40% når det brukes sammen med flygeaske. (Etxeberria et al., 2013)

Ifølge (*American Concrete Institute*) ACI 229R har de krav for CLSM materiale en våt tetthet på 1840-2320 kg/m<sup>3</sup>. Men når det brukes tilslag med lavere vekt kan blandingen oppnå kraven om lav egenvekt. Siden CLSM primært brukes som fyllmasse eller strukturell fylling er trykkfastheten i masse største faktor for materialenes bæreevne. ASTM D4832 har også krav til CLSM for trykk fastheten etter 28 dager som må være høyere enn 0,7 MPa hvor en



godt komprimert jord varierer fra 0,3 til 0,7 MPa. Men når det brukes som strukturelle fylling må CLSM materiale utvikle trykk fasten som er høyere enn 2 MPa. (Etxeberria et al., 2013)

Andel av vann brukt i CLSM blanding er høyere enn vanlig betong. Vann mengde andel i blandingen varierer fra 193 til 344 kg/m<sup>3</sup> for mest av CLSM blanding som inneholder tilslag. Når blanding inneholder fint tilslag, øker det behov for vann innholdet. VC tallet i noen forskning varierer fra 1,00 til 1,75 for blanding som bruker Portland sement. Men når blanding inneholder flygeaske og sement blanding kan vanninnholdet være høyt som 590 kg/m<sup>3</sup> for å oppnå en god flytbarhet.(Etxeberria et al., 2013)

Med økt bevissthet i byggebransjen for bærekraftig utvikling og effektiv resirkuleringens teknologi ser bransjen måten å bruke rest materialene. Meste av rest materialene er egnet til å bruke som CLSM materialene. Mengden av resirkulert tilslag materiale som brukes i CLSM blanding ligger rundt 1500 til 1800 kg/m<sup>3</sup>. Støpesand kan også benyttes i blanding som et substituttmateriale for flygeaske som gir økning i blødning i massen eller naturlig sand som gir en reduksjon av trykkfastheten. Muligheten for å benytte resirkulert tilslag med grovt og fint tilslag og flygeaske i CLSM blanding uten Portland sement ble bestemmes av en eksperimentelle studiet. Gjennom resultatene fra studiet visste at det kan produseres CLSM for en lang brukperiode er mulig. Spesielt var egnet til å benytte slik CLSM masser i konstruksjon som krever strukturelle støtte og rask herding. (Etxeberria et al., 2013)

Luft innholdet i CLSM kan bidra til egenskapene som høyere brukbarhet, redusert svinn, liten eller ingen blødning, minimal segregering, lavere egenvekt og kontrollerte av den styrkeutviklingen etter herding. I stedene hvor tilgangen av flygeaske er lite er det sterkt anbefalt å ha høyere luftinnholdet i CLSM. Vanninnholdet kan redusere så mye som 50% ved bruk av luftinnførende tilsetningsstoffer. Noen forskning antyder at innblanding av luftinnførende stoffer i CLSM bør holde mengden av blandet luft i blandingen i et område mellom 15% og 30%. (Etxeberria et al., 2013)

#### 4.1.3.3 Fasthet av CLSM materialer

Man gjennomførte trykktester (sylinder) for å finne trykkfastheten for CLSM materialer. Det ble brukt sylinder på 100 x 200 mm som ble testet etter 1 dag, 7 dager og 28 dager som herdes i rom temperaturen. CLSM materialene bestå av flygeaskesement (FA, CEM II), vann og

tilslag. Vanninnhold har størst betydning for trykkfastheten i CLSM materialet. Det er vist på tabellen under sortert etter tid for utherdning. (S. Helwany et al., 2012)

Tabell 4.4 Viser utviklet trykkfasthet av ulike CLSM blandingsmaterialer (S. Helwany, Ghorbanpoor, & Oliva, 2012)

Mixture	Mixture proportions (kg/m <sup>3</sup> )					Flow (mm)	Compressive strength (MPa)		
	Type I Portland cement	Fly ash, Class F	Sand	Water	Plasticizer		1-Day	7-Day	28-Day
M1	79	20	1458	452	-	241	-	0.16	0.38
M2	76	497	1338	287	1.6	330	0.19	1.97	4.39
M3	50	270	1569	245	-	210	0.16	0.21	0.4
M4	58	331	1557	234	1	191	0.30	1.41	2.87
M5	95	572	1240	267	1.9	305	0.42	3.68	8.20
M6	56	319	1501	263	1.1	267	0.13	1.02	2.14
M7	45	258	1516	303	-	356	0.08	0.38	0.85
M8	123	31	1215	706	-	140	-	0.24	0.59
M9	57	323	1521	266	1	330	0.16	0.94	1.88
M10	87	299	1545	251	1	229	0.44	1.92	3.90

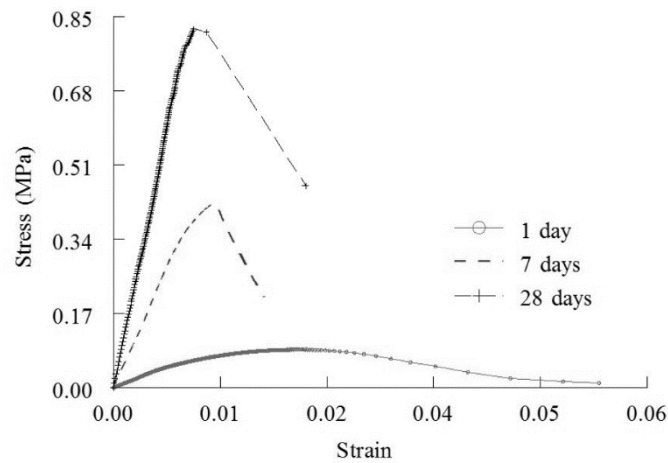
Tabellen 4.5 viser blandingsforholdet i CLSM og fasthetsutviklingen over tidsparameteren. Denne kunnskapen er viktig for å planlegge byggetid siden landkaret er viktig for planlegging av montasjeprosessen for broens overbygning. I tabellen har blanding 1 og 2 trykkfasthet på 0,2 og 0,4 MPa eller første dagen. Blanding 3 og 4 utvikler trykk fasthet av 0,8 og 1 MPa etter 3 dager og blanding 5 har 1,2 MPa etter en uke. (Alizadeh, 2019)

Tabell 4.5: Utvikling av fasthet av blanding etter herding (Alizadeh, 2019)

Mix no.	Mixture Proportions (kg/m <sup>3</sup> )				Compressive Strength, $f'_c$ (MPa)			
	Cement	Fly ash <sup>a</sup>	Sand	Water	1-day	3-day	7-day	28-day
I	62.0	351.6	1554	248.2	0.2	0.54	1.04	2
II	51.4	291.4	1554	274.2	0.4	0.66	1.96	3.78
III	43.9	248.7	1554	292.6	0.44	0.8	1.92	3.9
IV	38.3	217.0	1554	306.3	0.35	1	1.97	4.4
V	69.8	395.6	1424.5	279.2	0.15	0.32	1.2	2.21

Prøvene viste at ved høyere v/c tallet reduseres trykkfastheten av CLSM. Den andre faktoren var mengde av sement som ble benyttet. Blandingen med samme v/c-tallet gir høyere trykkfasthet når mengden av sement økes i blandingen. Trykkfastheten i prøvene økes også når blandingen inneholder høyere mengde av flygeaske (FA). Prøvene viste også mer duktilitet i startfasen av utherdningen. Men etter at herdeprosessen gikk over tid ble de karakteristiske egenskapene mer lik betong med høy fasthet og liten duktilitet. Figur 4.34

viser hvordan strekk og spennings diagrammet forandrer etter ulike herdning perioden. (S. Helwany et al., 2012)



Figur 4.31 Spenning som oppstår etter ulike dager (S. Helwany et al., 2012)

#### 4.1.3.4 Bruk av biprodukter

FN klimamål for bærekraftig utvikling gir mer interesse for CLSM materialene i bygge og anleggsværing som et alternativ til å bruke biprodukter og bygge avfall i en trygg og effektiv metode. Industrielle biprodukter som flygeaske (FA), Rice Husk Ash (RHA) og Quarry Dust (QD) er utforsket for å bruke som blandingsmaterialene i CLSM masser. (Nataraja & Nalanda, 2008)

Ulike andel blanding av CLSM materiale som består av industrielle biprodukter ble det utforsket i lab for å finne egenskaper i masser. Her ble det testet 32 typer blanding for flyteegenskap. Og 13 andre blandinger for andre egenskaper som trykkfasthet, spennings, tetthet, vanninnhold, flyteegenskap og volumet forandring. Testen viste at styrke egenskapen i alle blandinger er direkte avhengig av materiale komponenter blandingen består av. Tabellen 4.6 viser det ulike andel av biprodukter som brukes for å produsere CLSM som blir testet for egenskapene. (Nataraja & Nalanda, 2008)

Tabell 4.6 Ulike andel av materiale i CLSM blanding (Nataraja & Nalanda, 2008)

Mix proportions of the different CLSM mixtures													
Mix	CFS	CRS	CSI	CS2	CQ	CFQ	CRQ	CF1	CF2	CF3	CR1	CR2	CR3
Cement (kg/m <sup>3</sup> )	30	30	75	144	60	30	30	102	159	276	72	118	195
Fly ash (kg/m <sup>3</sup> )	360	–	–	–	–	360	360	1785	1590	1380	–	–	–
Rice husk ash (kg/m <sup>3</sup> )	–	360	–	–	–	–	–	–	–	–	1260	1180	975
Sand (kg/m <sup>3</sup> )	1500	1500	1875	1800	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Quarry dust (kg/m <sup>3</sup> )	–	–	–	–	1500	1500	1500	–	–	–	–	–	–
Water (kg/m <sup>3</sup> )	495	900	563	576	180	390	870	714	636	621	1368	1328	1170
w/c	16.5	30.0	7.5	4.0	3.0	13.0	29.0	7.0	4.0	2.3	19.0	11.3	6.0
w/cm	1.3	2.3	–	–	–	1.0	2.2	0.4	0.4	0.4	1.0	1.0	1.0
Flow (mm)	195	210	163	165	205	208	203	215	205	202	210	200	204
Cement (%)	1.59	1.59	3.85	7.41	3.85	1.59	1.59	5.41	9.09	16.67	5.41	9.09	16.67
Fly ash (%)	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	19.05	19.05	94.59	90.91	83.33	0.00	0.00	0.00
Rice husk ash (%)	0.00	19.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	94.59	90.91	83.33
Sand (%)	79.37	79.37	96.15	92.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Quarry dust (%)	0.00	0.00	0.00	0.00	96.15	79.37	79.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

#### 4.1.3.4.1 Flyteegenskap

V/C tallet i ulike blanding ble brukt for å bestemme flyteevnen fra 175 til 275 mm.

Flyteevnen økte drastisk av høyere vann og sement forhold uavhengig av materiale i blandingen. Det ble også observert at blanding med flygeaske kan oppnå høyere flyteevnen sammen med lavt v/c tall sammenlignet med andre materialer som RHA. Blanding som består av QD kunne også oppnå ønsket flyteevnen sammen med lav VC-tallet sammenlignet med blanding som består av sand. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.4.2 Tetthet

Tetthet av materiale er avhengig av enhetstygde av masse eller tilslagsmateriale. Testene som ble utført konkluderte at gjennomsnittlig tørr tettheten av alle blandingene var innenfor 899-1832 kg/m<sup>3</sup>. Hvor tettheten av overflaten var rundt 1365-2088 kg/m<sup>3</sup>. Disse verdien oppfylte kravene av normal tettheten av vanlig CLSM materiale henhold til ACI eller American Concrete Institute. Tettheten av blanding som bestå av QD materialer var høyere enn blandingen med vanlig sand. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.4.3 Trykkfasthet

Blandingene ble testet etter 7 dager, 28 dager, og 60 dager. Resultatene ble bestemt i lab av kubikk og sylindertestene. Disse resultatene viser at andel på mengden av materialer har stor påvirkning på styrken. Tillegg til det beviste testen at styrken i blandingen varierer stor på grunn av vanninnholdet for å oppnå flyte krav. Fra testen ble det observert at CLSM utviklet

høyere styrke etter herdning prosessen selv om økningen var liten. Det ble utviklet lite styrke i blandingen med tiden blandingen herdes på grunn av redusert pozzolainsk aktivitet i masser. Denne utviklingen ble observert i alle blandingene. (Nataraja & Nalanda, 2008)

Etter 28 dager var blanding med flygeaske i kubikkform utviklet trykkfasthet på 0,617, 1,63 og 4,23 MPa i CF1, CF2 og CF3 som vist på tabellen 4.6 Mens blanding med RHA hadde fastheten på 0,22, 0,33 og 0,53 MPa som representerer blandingen CR1, CR2 og CR3. Disse blandingene med QD, FA og RHA kan benyttes avhengig av nødvendig styrken. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.4.4 Senning og tøyinger

Testen viste at blandingene kan motstå spenning i CLSM masser til 0.035 (3,5%) av tøyning før brudd. Men for blanding CQ var tøyning i blanding 0.045 (4,5%) før bruddet. Det påviser høyere duktilitet i blanding CQ sammenlignet med CFQ og CRQ. Videre ble det observert at CLSM masser kan motstå spenning på ca. 0,052 (5,2%) og 0,075 (7,5%) tøyning før bruddet i CF2 og CF3. Henholdsvis opprettholdte blanding CR1, CR2 og CR3 spenning på 2,8%, 3,6% og 4,8% tøyning. Det påviser at blanding som inneholder FA masser utviklet mer duktilitet. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.4.5 Vannabsorpsjon

Vann absorpsjon i blandingen som inneholder RHA var høyere sammenlignet med andre blanding. Det var på grunn av høyere porøsiteten enn andre blandingen. Overallt prosent andel av vannabsorpsjon senket når sement andel i blandingen økte. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.4.6 Svinn

RHA blandingene var mer utsatt for svinn i masser etter vann i blanding fordampes. I alle blandingene reduserte det svinn når andel av sement i blanding økes. Økning i sementandel i blandingen reduserte også fare for sprekkene i masser etter herding. Når v/c tallet økte i blandingen økte også risiko for svinn. Men det ble ikke observert svinn etter 28 dager av herdning. (Nataraja & Nalanda, 2008)

#### 4.1.3.5 Resirkulert betong som tilslag i CLSM

Bygging og riving avfall er mest produsert av betong, bitumen, steiner og keramisk masser som kan benyttes som resirkulert tilslag. Resirkulert fint tilslag endrer egenskapene av fersk og herdet betongegenskap. Det har utført mange teser og forskning for å bruke nye materialene som resirkulert tilslag i dag. Bruk av resirkulert tilslag er begrenset med å benytte 50% resirkulert tilslag som fint tilslag i betong blanding. I henhold til kravene fra ASTM resirkulert tilslag kan produseres en god CLSM blanding sammenlignet med CLSM av naturlig fint tilslag. Men bruk av resirkulert materiale som tilslag er fortsatt begrenset og det er mer behov for forskningen. (Etxeberria et al., 2013)

I en studie av Polytechnic University of Catalonia om resirkulert fint tilslag til å produsere CLSM blanding utførers i tre stadier. Stadium I inneholder blanding av Portland sement, vann, luftinnførende stoffer og naturlig fint tilslag. I stadium II utforsket det bruk av resirkulert fint tilslag for flyteevne, konisiteten, egenvekt, luftinnholdet og trykkfasthet styrke egenskaper. Resirkulert tilslag brukt i 20%, 30%, 40%, 50% og 100% substitusjon for naturlig tilslag. I denne stadium III bestemte det blødning og motstand av CLSM i fersk tilstand og tettheten, porøsitet og absorpsjon i herdet tilstand. Stadium III blanding av CLSM med naturlig sand og 20%, 40%, 50% og 100% av resirkulert tilslag benyttes. (Etxeberria et al., 2013)

I alle blandingen luft volumet og tettheten i fersk tilstand ble målt for å verifisere estimering i blanding. For produksjon av CLSM en sement/tilslag på 1/13, 110 kg av sement og vann- sement forhold på 1,79 brukt i alle blandingene. Ulike mengde av materiale av sement, vann og tilslag ble brukt for å produsere CLSM med spesifikt egenskapen i fersk og herdet tilstand. Kravene for CLSM materialene var flyteevne på mindre enn 200 mm per enhet, luftinnhold (20-25%) og trykkfastheten (0,7-1,4 MPa). I naturlig sand som blir brukt i blanding var det antatt å ha vannabsorpsjon kapasitet av 50% og 80% i resirkulert sand. (Etxeberria et al., 2013)

#### Stadium I

Blandings materiale mengde bestemmes etter v/c tallet og sement mengden som blir brukt for å produsere 1 m<sup>3</sup> CLSM masser. Deretter regnes det mengde av vann for blandingen. Det blir

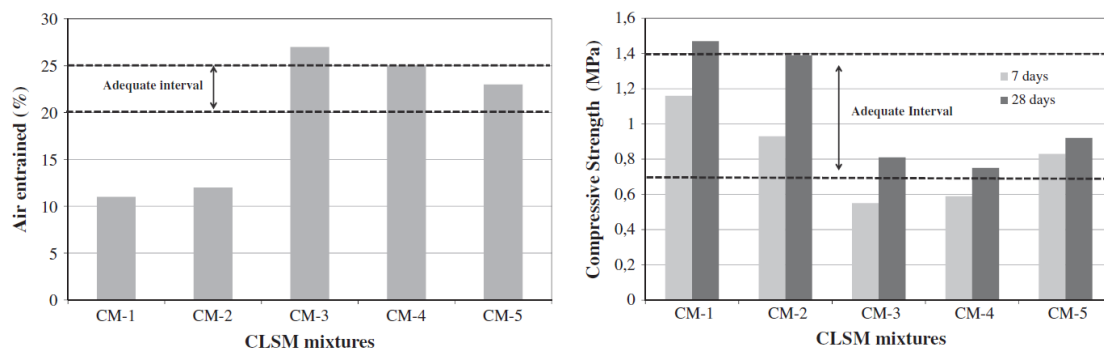
antatt luft innholdet i CLSM masser ligger mellom 20-25%. Ulike tilsetningsstoffer ble det benyttet som er vist i tabellen 4.7. (Etxeberria et al., 2013)

Tabell 4.7: Blanding andel av CLSM per kubikk meter og resultatet (Etxeberria et al., 2013)

Mix proportions per m<sup>3</sup> of material production and results (designation: CM-Y, where Y refers to the numbering). All fabrications were performed in 16 l except for MC-5.

Description	CEM (kg)	Natural aggregate (kg)	Water (kg)	Air entraining admixture (g)	w/c ratio	Produced volume (l)	$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Entrained air (%)	Flow test (mm)	Inverted slump test (cm)
CM-1	110	1335	197	500	1.79	16	-	11	190	51.0
CM-2	110	1335	197	500	1.79	16	-	12	180	50.0
CM-3	110	1335	197	1560	1.79	16	1.69	27	220	56.0
CM-4	110	1335	197	1000	1.79	16	1.71	25	215	63.5
CM-5	110	1335	197	910	1.79	22	1.77	23	255	65.0

Blanding CM-4 og CM-5 utviklet god egenskap i fersk tilstand. CM-3 hadde en god nok flyteevne. Etter testen av ulike blanding viste at høyere luftinnholdet gir en lite flytbare materiale enn CM-4 og CM-5. Figuren 4.37 viser blandingene med høyere luft innholdet utvikler lavtrykkfastheten i massen. CM-4 og CM-5 utviklet alle kravene for styrke i materiale. (Etxeberria et al., 2013)



Figur 4.32: Luft innhold og trykkfastheten av CSLM med naturlig tilslag. (Etxeberria et al., 2013)

## Stadium II

Blanding av CLSM benyttet 20%, 30%, 40%, 50% og 100% av resirkulert tilslag for å substituere naturlig tilslag i CLSM blanding. I denne blandingen ble det brukt tørr, resirkulert og naturlig sand for å lage CLSM blanding. Etter blanding ble det tilsatt igjen andel av vann som ble absorbert av tilslag. Tabellen 4.8 viser blanding av CLSM produserer med resirkulert tilslag. (Etxeberria et al., 2013)

Tabell 4.8: Blanding av CLSM med resirkulert tilslag (Etxeberria et al., 2013)

Mix proportions (1 m<sup>3</sup>) for CLSM with recycled aggregate (designation CM-RAX%-Y is used for CLSM with 20%, 30%, 40%, 50% and 100% of recycled aggregate, where "X" refers to the percentage of recycled aggregate and "Y" to the numbering). Fresh and hardened properties of CLSM with recycled aggregate.

	CM-RA20%-1	CM-RA30%-1	CM-RA40%-1	CM-RA50%-1	CM-RA100%-1	
<i>Mix proportions</i>						
Cement (kg)	110	110	110	110	110	
Natural sand (kg)	1068	935	801	668	-	
Recycled aggregate (kg)	204	306	408	510	1020	
Water (kg)	197	197	197	197	197	
Air entraining admixture (g)	909	938	938	938	938	
w/c	1.79	1.79	1.79	1.79	1.79	
Vol. (l)	22	16	16	16	16	
<i>Properties</i>						
$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1.76	1.69	1.60	1.67	1.43	
Entrained air (%)	22.5	23	25	22	30	
Flow test (mm)	225	215	227	185	190	
Inverted slump test (cm)	56.5	51.5	54.0	45.5	46.5	
Compressive Strength (MPa)	7 days	0.64	0.40	0.32	0.44	0.06
	28 days	0.99	0.72	0.49	0.75	0.23
	90 days	1.09	0.89	0.66	-	-

Tabellen 4.7 viser at tettheten på CLSM masser øker sammen med andel av resirkulert materialer. Men tettheten er avhengig av mengde av luftinnholdet i CLSM blanding. Forskning viser også at høyere andel av resirkulert tilslag gir mindre flyteeve og luftinnholdet hadde mer innflytelse i blandingen. Det viser også at blanding hadde lite forandring når det sammenlignes med blanding av naturlig tilslag med 30% av resirkulert tilslag. CLSM blanding oppnådde ikke kravene henhold til ASTM i fersk og herdet tilstand med høyere enn 40% av resirkulert tilslag. Trykkfastheten utviklet av CM-RA100% på 0,23 MPa etter 28 dager. (Etxeberria et al., 2013)

For å oppnå tilfredsstillende krav for CLSM masser med høy andel av resirkulert tilslag ble det benyttet ny andel av materialer som vist i tabellen 4.9. Sement mengde i CLSM ble økt til 125 kg (13,6% mer enn standard blanding) for blanding med 40% og 50% resirkulert tilslag og v/c tallet ble redusert til 1,74. CLSM med 100% av resirkulert tilslag benyttet 135 kg av sement og v/c tallet på 1,72. Det ble påvist at resirkulert tilslag på 40%, 50% og 100% oppfyller kravene med høyere mengde av sement og lavere v/c tallet. CLSM med høyere volumet av resirkulert tilslag utviklet mer styrke på grunn av høyere andel av sement og fint kermaisk material. (Etxeberria et al., 2013)

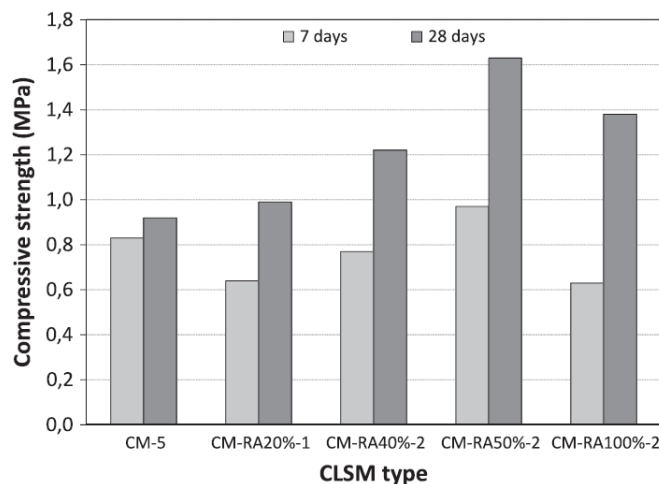


Tabell 4.9: Viser andel av materiale i blanding av CLSM med 40%, 50% og 100% (Etxeberria, Ainchil, Pérez, & González, 2013)

	CM- RA40%-2	CM- RA50%-2	CM- RA100%-2
Cement (kg)	125	125	135
Natural sand (kg)	765	645	–
Recycled aggregate (kg)	390	493	931
Water (kg)	218	218	232
Air entraining admixture (g)	938	1000	1000
w/c	1.74	1.74	1.72
Vol. (l)	22	22	22
$\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	1.79	1.84	1.62
Entrained air (%)	19	14	19
Flow test (mm)	210	245	225
Inverted slump test (cm)	50	61	53
Compressive strength (MPa)			
7 days	0.86	0.97	0.63
28 days	1.42	1.63	1.38
90 days	1.87	1.76	

### Stadium III

CLSM masser gir lite blødning når blandingen benytter resirkulert tilslag på grunn av høyt og rask absorpsjon kapasitet av resirkulert tilslag. Men blanding med 100% resirkulert tilslag oppstå mer blødning i massen. Tørr tettheten av CLSM blanding til det benyttes 50% av resirkulert tilslag ligger på 1,60 kg/dm<sup>3</sup>. Når det ble benyttet 100% resirkulert tilslag var tettheten i CLSM materialet på 1,37 kg/dm<sup>3</sup>. Porøsiteten lå mellom 16,40% til 26,81% som er økte sammen med andel av resirkulert tilslag. (Etxeberria et al., 2013)



Figur 4.33 Trykkfastheten av fem CLSM blandinger (Etxeberria et al., 2013)

Trykkfastheten av alle blandinger oppfylte alle kravene av CLSM henhold til ASTM. CLSM produsert av naturlig fint tilslag økes med 10% fra dag 7 til dag 28. Men i blandingen CM-RA20%, CM-RA40%, CM-RA50% og CM-RA100% økte med 54%, 67%, 68% og 119%. Det kan skyldes på tilstedeværelse av sement og fint keramisk material i resirkulert tilslag

som kan ha en pozzolaneffekt som forbedrer langsiktig styrke på blandingen. (Etxeberria et al., 2013)

#### 4.1.3.6 Bruk av CLSM landkar

CLSM er en lavstyrke materiale som tradisjonelle sett brukes som fyll masser, gulvfundament, veifylling, stabiliserende element osv. CLSM materialene er selvkomprimerende og flytende. Det fører til kortere konstruksjonstid ved bruk av CLSM i landkar som fyllmasser. Landkar med CLSM som fyllmasser gir høyere egenskap for trykkfasthet for å motstå lastene fra brooverbygning. Konstruksjon og fylling med CLSM blanding er enkelt å grave selv om materialene er herdet. Derfor benyttes CLSM massene til å bygge konstruksjoner for kort bruksperiode. (Ling et al., 2018)

CLSM materialene er bestandig, motstår erosjon og er selvkomprimerende. Sammenlignet med vanlig betong herdes CLSM materialene raskere. Materialene gir mulighet å benytte mer miljøvennlig masse som flygeaske og resirkulert betong i blandingen. Det er også ikke nødvendig med å komprimere materialene og bruk av tunge maskiner for pelene til å fundamentere. Da er det ikke nødvendig med arbeidere for inspeksjon og føre maskiner som gir en økonomisk besparelse for prosjektet. Det er også mulig å støpe betong på plass på en gang. (S. Helwany et al., 2012)

Mesteparten av CLSM er biprodukter eller industrielle avfall som ellers ville gå til deponi. CLSM vil i noen tilfeller benytte tilsetningsstoffer for å øke herdnings prosessen. CLSM masser er en type materiale mest brukt som fyllmasser for utgraving, veiene og støtte murene. Det ble vist etter mange år med erfaringer at det er gunstig å bruke som fyllmasse for brulandkar. Når det er brukt CLSM istedenfor vanlig fyllmasser gir en økonomisk fordel ved å kutte kostnadene på arbeidere i byggeplass. Det gir også en reduksjon på konstruksjons perioden som reduserer belastinger på trafikantene.

Alle brutyper i Norge prosjekteres for en levetid på 100 år. Mange broer i dag dekomponeres og erstattes av nye bruer. Istedenfor å dekomponere gamle bruer kan CLSM materiale brukes som fyllmasser bak landkar eller støtteveggen slik at gamle bru kan gjenbrukes som kulverter. I USA har noen delstater konvertert eksisterende bro til en kulvert på mindre enn 2 måneder ved å benytte CLSM materialene. Det gir en besparelse på materialbruk ved konstruksjon av

ny bru. I miljøperspektiv gir det mindre belastning på nye råmaterialer når det gjenbrukes gamlebroer. (S. Helwany et al., 2012)

Metodene å anvende CLSM materialene gir en alternativløsning for gjenbruk av rest og avfall materialer. Det er en bærekraftigløsning som brukes i konstruksjon som ellers hadde blitt kastet til deponi. Når det gjenbrukes restmateriale eller resirkulert betong som tilslag i konstruksjon sparer det naturforekomst av nye tilslags materialer. Det reduserer også bruk av sement som utgjør nesten 90 % av det samlede karbonavtrykket til betong. Det gir en bærekraftig løsning og mindre belastning på miljø. (Alizadeh, 2016)

Byggetiden på bro med landkar som består av CLSM materialene er rundt en uke sammenlignet med andre typer bruer bygget i flere måneder. Herdet CLSM materialene komprimeres ikke slik at det oppstår lite setninger sammenlignet med vanlig betong eller andre fyllmaterialer. I nyere tiden har det vært mer vanlig å bruke CLSM for å unngå setningene ved konstruksjon. Reduksjon av setningen er en av det største fordel ved bruk av CLSM materiale. Lite setningene ved brolandkar fører til eliminasjon av dumpene ved overgangen av bru og veien som gir trafikanter mer behageligere overgangen. (S. Helwany et al., 2012)

CLSM komprimerer og oppnår tettheten sin på egenvekt etter det er støpt. Ved å støpe materialene på en gang sparer det tiden og kostnader. Blandingen herdes raskere derfor kan bru åpnes til trafikantene etter noen timer ved bruk av CLSM materialer som fyllmasser. Denne løsningen er mer egnet til å bygge ved dårlig været. CLSM kan støpes under kald temperatur ved samme metoder som vanlig betong. Herdingsprosessen av CLSM materialene er lang ved kald temperatur og utvikler lite styrke som i vanlig betong. Det er mulig å tilsette tilsetningsstoffer for å øke herdingsprosessen i blandingen. (Schmitz et al., 2004)

Ved konstruksjon av et landkar kan CLSM materialene brukes som fyllmasser bak en prefabrikkerte betong panel som vist i figuren ovenfor. Vanligvis er det betong paneler festet sammen med stålanker til CLSM masser. CLSM landkar gir en last bærende støtte for brooverbygning. Når en bru konstruksjon benytter slik løsning er det ikke nødvendig med å bruke pæler i underbygning. Eliminering av pælene i konstruksjon er det største faktor som påvirker broens konstruksjon tid. Derfor er det ikke nødvendig å benytte tunge maskiner for graving, komprimering eller å sette pælene. (Alizadeh, 2016)

CLSM massens flyttende egenskap gir bekymring i bransjen for at disse massene kan tette dreneringsmateriale eller avløp i landkar. Men testene utført av Kansas Department of Transportation i USA viser at vann strømmet lett ut av materialet i basen av apparatet av CLSM masser. Etter testen ble dreneringsmaterialet inspisert visuelt som ga ingen vesentlig infiltrasjon av CLSM i dreneringsstoffet. (Schmitz et al., 2004)

CLSM masser er støpt i flytende tilstand som gir et aktiv trykk på veggene i landkar. Men trykket avtar etter det er støpt. Aktiv trykket av fyllmasser i paneler kan gi høyere risiko for brudd under konstruksjon. Største fordel med CLSM er mulighet til å støpe materialer på en gang. Men hvis det ikke er mulig kan det støpes flere ganger i ulike lager. Når det støpes i flere lager, må den forrige laget herdes før andre laget kan støpes igjen. (Schmitz et al., 2004)

Landkar med CLSM materialene er mer utsatt for inntrenging av overvanns som kan bidra til landkaret bestandighet reduseres. I noen tilfeller kan også materialene blokkere pumpe maskiner som gjør at materialene kan som gir en dårlig blanding av betongen. CLSM materialene er mer utsatt for frost som reduserer bestandighet i materialene. Derfor er ikke anbefalt å bruke CLSM ved kaldere miljø eller ved vinterkonstruksjon uten tiltak mot vinterkonstruksjon. (S. Helwany et al., 2012)

CLSM materialer er lite utsatt for setningene. Fordi CLSM materialer komprimeres ikke etter herdning. Men setningene kan oppstå i under liggende jordartene som CLSM landkar ligger i på grunn av egenvekten. Derfor er det viktig med grundig grunnundersøkelse av underliggende masser for å avklare fremkommelighet av setningene. Potensielt metoder som kan også reduserer setningen er å bruk massene i CLSM materialer som har lite egenvekt for å redusere trykk på jorda. (Schmitz et al., 2004)

Landkar av CLSM materialene er mest egnet til bruk ved enkelt spennbruer uten pilarer. Fordi i virkeligheten er CLSM landkar ukjent og brukt lite i brukonstruksjonen. Derfor har det utført mange lab undersøkelsene for å bestemme potensialet av landkar for å ta lastene fra bru overbygning. Mest av konstruksjon og forskning av CLSM landkar er utført i USA og Kina. (Ling et al., 2018)

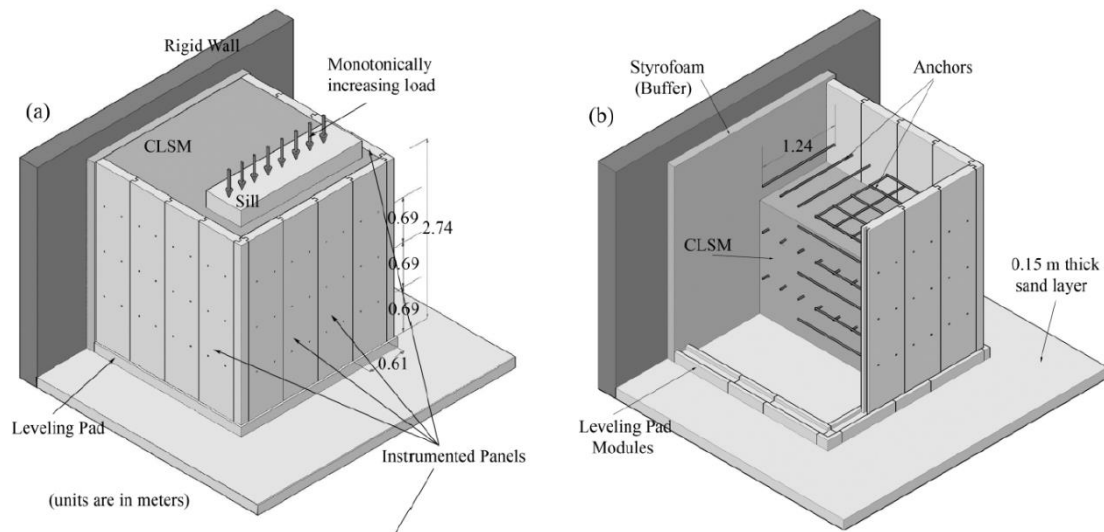
Fordelene og ulempene over tradisjonelle materialene kan bli oppsummert etter følgende:

Tabell 4.10: Oppsummerer fordeler og ulemper ved bruk av CLSM materialer

Fordeler	Ulemper
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evne til å flyte bedre etter det er støpt.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materialene gir høy trykk mot panel vegg ved støping.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herder raskere enn vanlig betong.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mer utsatt for svinn enn vanlig betong.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ukomprimerbar etter herding.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestandighet av landkar kan bli redusert på grunn av overvannet.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Miljøvennlig og bærekraftig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduserer trykkfasthet fordi det er mer utsatt for frysing og tining.</li> </ul>

#### 4.1.3.7 Parametrisk studiet av CLSM landkar

I artikkelen «*CLSM bridge abutments – Finite element modeling and parametric study*» ble det forsket på CLSM masser for å dimensjonere et optimaliserende CLSM blanding av masser for å bruke som landkar fyllmasser. Landkar var på 2,7 m bredde og 2,7 m lengde. Sammensatt av fire prefabrikkert paneler med høyde på 2,74 m. Hver paneler var festet av 6 anker av 12,7 mm stål armering. Hoved objektivet med testen var å undersøke brukskapasitet og deformasjon etter 7 dager. Kriteriene for undersøkelsen var materialer med høy styrke på tidlig fasen av støpning og endelig styrke som ikke overskrider 8,3 MPa. I totalt er det brukt 20 CLSM blanding med forskjellige andel av flygeaske og vann i sement med ulike v/c tallet. (Alizadeh et al., 2015)

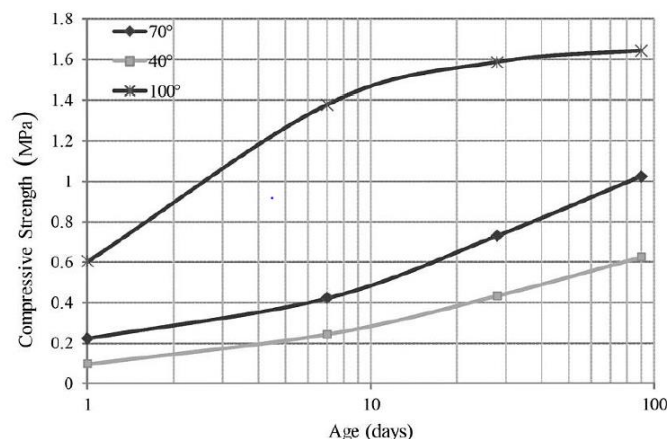


Figur 4.34 Testmodellen av CLSM landkar (Alizadeh et al., 2014)

#### 4.1.3.8 Flygeaske i landkar fyller masser

Flygeaske i denne testen er rest materialer fra elektrisk kraftverk som kan brukes i CLSM materialene. Denne artikkelen utfører forskningsstudiet med flygeaske for å produsere blanding av CLSM materialene som kan brukes som fyllmasse. Bruk av rest materialene fra fabrikkene og kraftverkene som fyllmasser gir en løsning som er bærekraftig og bevarer naturforekomsten av materialene. (Alizadeh, 2016)

Temperatur i rommet har mye å si for herding prosessen i betongen som bestemmer trykkfastheten av blanding. I studiet ble det undersøkt blanding i 5 F, 23 F og 38 F i 90 dager for herding av materialene. Figuren 4.42 viser trykkfastheten av blanding etter ulike temperaturen i en 100 dagers perioden. Her er det vist at materialene utvikler høyere trykkfasthet under høyere temperaturen. Under høyere herde temperatur får materialene høyere fasthet ved start dagen. Under 100 dagers perioden har masse 60 % mindre fasthet ved kaldere temperatur i 40 F enn ved romtemperaturen var 100 F. (Alizadeh, 2016)



Figur 4.35: Viser 100 dagers utvikling av trykkfasthet i CLSM masse herdet under forskjellige temperatur (Alizadeh, 2016)

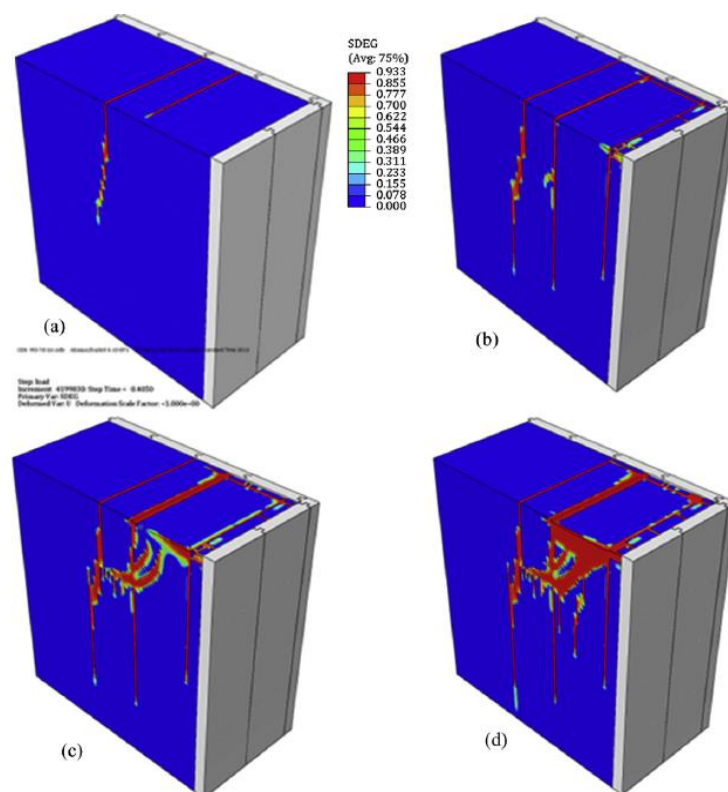
CLSM brolandkar ble testet med en prefabrikkert betong paneler for å se hvordan landkar oppfører under statisk belastning. Etter testen ble det konkludert at bru med CLSM materialene som fyllmasser er i stand til å ta belastning fra en vanlig bru med en høy sikkerhetsfaktor. Bruen ble belastet med høyest 780 kN av vertikalt last på landkar uten brudd eller skadet på landkar. Det var ikke mulighet for å belaste landkar med høyere verdi enn 780 kN innen i et lab. Sammenlignet med belastning av egenlast fra et enkelt spenn bro på 24 m i lengde og 11 m bredde som ligger rundt 93 kPa. Derfor var trykket på CLSM landkar seks ganger større enn trykket i en vanlig bro. Gjennomsnittlig setning på grunn av belastning i landkar var 6 mm. Den største forflytning i landkar foregikk ved toppen av panel med 3 mm og forskyving i andre deler av landkar var liten. CLSM landkar var utsatt for relativt små forflytting i midt og bunnen. (Alizadeh, 2016)

En alternativ byggeteknikk av landkar som bruker flygeaske i blanding. Bruk av CLSM materiale gir en stor mulighet for en bærekraftig løsning ved å redusere behov for utgraving av nye materialene. Landkar med CLSM bruker mindre tid for å bygge og har ikke behov for å benytte tunge maskiner for utgraving og komprimering. Når det er velges blanding som er bedre egnet gir det høyere trykkfasthet og en mer flytende blanding som fyller landkar bedre. Testen konkluderte at landkar med CLSM gir et kortere herde perioden og er i stand til å ta belastning med høyere sikkerhetsfaktor. (Alizadeh, 2016)

#### 4.1.3.9 Analysering av CLSM landkar

Elementmetoden ble brukt for å simulere landkar med CLSM som fyllmasser som ble utført en lab testen. For stålanker ble det brukt Youngs modulus på 200 GPa og Poisson tallet på 0,3 i plastisk tilstand. For betongpaneler ble det antatt Youngs modulus på 25 GPa og Poisson tallet på 0,2. Materialene ble antatt å ha trykkfasthet egenskap av blanding av Portland sement type I på 50 kg som er blandet med 270 kg flygeaske type F sammen med sand på 1569 kg og vannmengde på 245 liter. (Alizadeh et al., 2015)

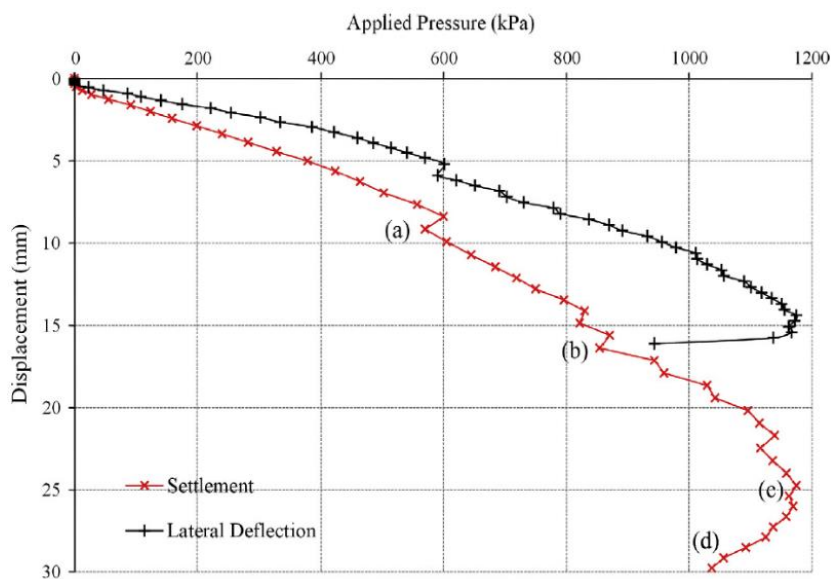
Figuren 4.43 illustrere fire stadier av landkar hvor høyest belastning er representert av rødt farge. Landkar begynte å utvikle høyt skjærmotstand når CLSM massen ble belastet av 570 kPa som er 48% av total kapasitet. Deretter økte skjærmotstand i landkar med trykket fra belastning som vises på figuren fra stadium a til d. Det begynte å oppstå lite forflytning i paneler når trykket fra belastning nådde 70% av bæreevne av CLSM landkar. (Alizadeh et al., 2015)



Figur 4.36 Viser deformasjon som oppstå på landkar under belastning (Alizadeh et al., 2015)

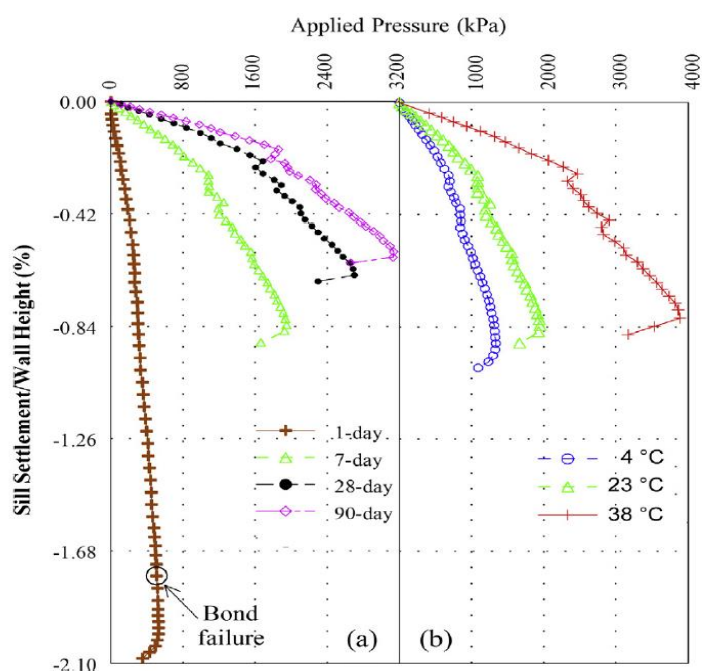


Under lab testen var det ikke mulig med å belaste landkar med høyere trykk enn 483 kPa. Men ved hjelp av numerisk beregning gjennom elementmetoden kan landkaret belastes til det oppstår maksimalt forflytting ved betong paneler og eventuelt kollapset. Resultatene fra elementmetoden er presentert i figuren 4.44 som gir totalt bærekapasiteten av landkaret. Ved maks trykket ble det klart at bruene kollapser under hvor overbygningen plasseres på landkaret. Resultatene fra elementmetode stemte overens med målingene oppnådd i en fullskala laboratorietest på en CLSM landkar til 483 kPa. Til slutt etter numerisk regning bestemte at landkaret har bærekapasitet på 1175 kPa før det kollapser. (Alizadeh et al., 2015)



Figur 4.37 Forflytning av panel ved ulike belastning (Alizadeh, Helwany, Ghorbanpoor, Oliva, & Ghaderi, 2015)

CLSM landkar fylles av masser som bestemmes av utviklet styrken av CLSM, påvirkning av herdningstid og innflytelse av trykkfasthet av CLSM blanding. Det ble analysert en blanding med trykkfasthet på 0,08, 0,38, 0,85 og 1,03 MPa utover dag 1, 7, 28 og 90 etter blanding ble støpet. Figuren 4.45 viser at bærekapasitet av landkar øker, men duktilitet reduseres etter blandingen herdes. Bærekapasiteten i første dag ligger rundt 500 kPa, men etter første uke økte kapasiteten eksponentielt. Temperaturen blanding herdes er avhengig for utvikling av styrken i blanding og bærekapasiteten i landkar. Etter 7 dager utviklet blandingen i 4 grader, 23 grader og 38 grader trykkfasthet i disse temperaturen var 0,24, 0,38 og 1,38. Figuren viser at bærekapasiteten når det støpes i kald temperatur som 4 grader har 30% mindre bærekapasitet når det støpes ved 23 grader. Landkar utvikler dobbelt så større styrken når det støpes ved høy temperatur som 38 grader. (Alizadeh et al., 2015)



Figur 4.38 CLSM landkar (a) Herdings tid (b) Herdings temperatur

Deformasjon i paneler er avhengig av høyden, maksimum deformasjon oppstår på toppen av paneler eller vegg. Hovedsakelig hvis blandingen utvikler god styrke deformasjoner i paneler blir høyt før brudd. Det skyldes at blanding som utvikler god styrke oppføres mer stiv og har små deformasjoner. I armeringen (ankere) som står på toppen av landkar oppstår det høyere spenning. Armering i dårlig blanding er mer utsatt for spenning i landkar fordi god blandingene overfører lite krefter til armering. (Alizadeh et al., 2015)

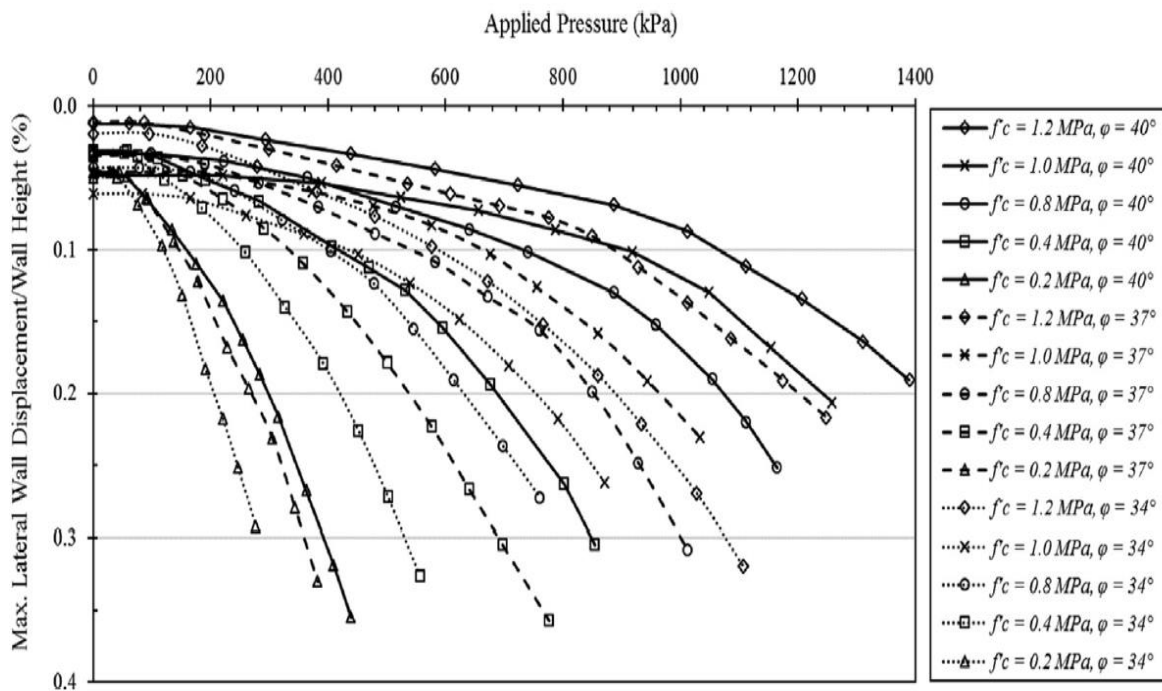
#### 4.1.3.10 Bærekapasitetsanalyse

I artikkelen «*Analytical study for allowable bearing pressures of CLSM bridge abutments*» av (Alizadeh, 2019) ble totalt 60 analyse utført for å bestemme bærekapasitet av CLSM landkarbro. Her ble det analysert både stiv og fleksibelt landkar med lastbredde på 0,8 og 1,5 m, CLSM trykkfasthet ( $f'c$ ) på 0,2, 0,4, 0,8, 1 og 1,2 MPa med forskjellig friksjonsvinkel ( $\varphi'$ ) på 34, 37 og 40°. Under element metoden ble det brukt elementmesh av CPE4R som er kjent som «*plain strain elements*» for CLSM fyllmasser, armertjord, fundamentering, betong paneler og brosil. Materialene ble antatt til å ha elastisitetmodulen på 25 GPa og Poisson forhold på 0,21. (Alizadeh, 2019)

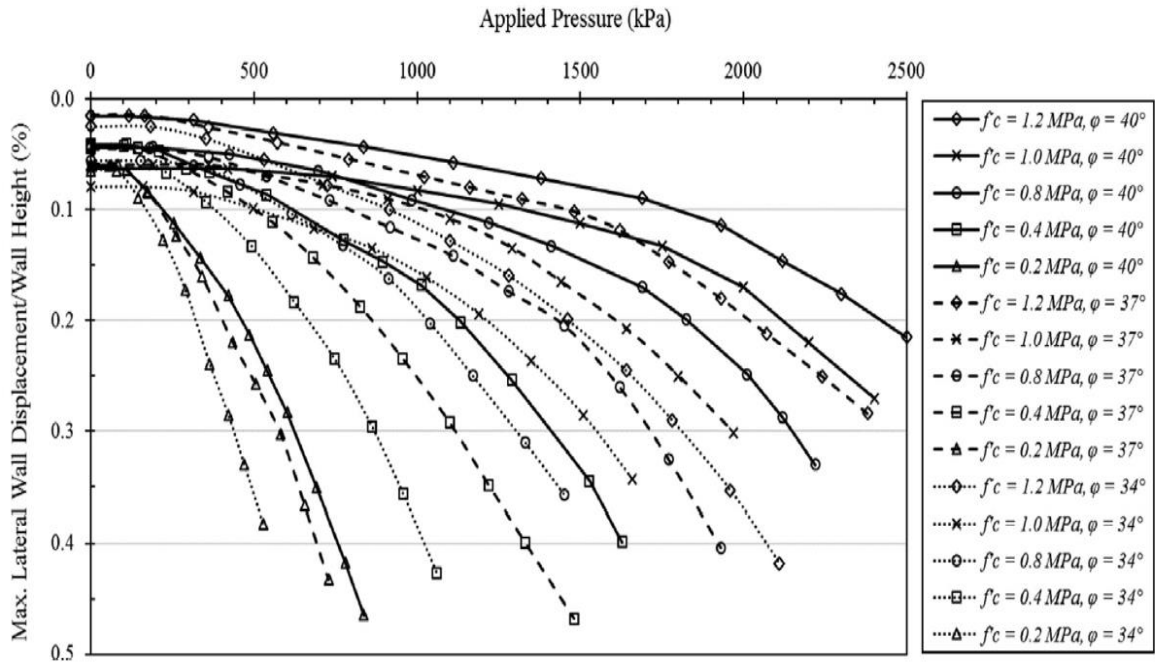
Gjennom simulering for landkar viser mest utsatt sted for brudd på CLSM masser.

Resultatene viser stivt landkar var stabilt til belastning på 1200 kPa. Konstruksjon av stivt landkar med bedre kvalitet av CLSM masser kan motstå belastning på 3500 kPa uten stabilitet problemer. Men fleksibel løsning hadde stabilitet problemer når belastning overskredet 600-1800 kPa avhengig av materiale egenskap og bredden på brosil. Grunnen for fleksibel konstruksjon tåler mindre last er at stålanker i stivt landkar gir støtte til trykket fra CLSM landkar. Støtten fra ankeret gir høyere bærekapasitet. (Alizadeh, 2019)

Jordfriksjons vinkel på brosil setning og forflytning hadde effekten på total tillate bærekapasitet av landkar. Når vinkelen var mellom 34 og 37 grader var det mer avhengig av friksjonsvinkel for fundamentering og forflytning enn ved vinkel på 37 og 40 grader. Det antyder på at vinkel kan økes med bedre valg av fyllings CLSM masser og/eller med blanding med høyere komprimeringsfaktor får å oppnå høyere bærekapasiteten ved landkaret. Denne løsningen kan være mer gunstig for jord med lavere friksjons vinkel. (Alizadeh, 2019)



Figur 4.39 Forhold mellom belastning og forflytning av panel ved fleksibelt landkar, bredde på 1,5 m (Alizadeh, 2019)



Figur 4.40 Forhold mellom belastning og forflytning av panel ved stivt landkar, bredde på 1,5 m (Alizadeh, 2019)

Figuren 4.46 og 4.47 viser resultatet av setningen under brosil og forflytning som oppstår i paneler. Setningene under brosil var mindre for landkar ved stiv konstruksjon enn fleksibel konstruksjon. Maks forflytting av veggen ved fleksibelt metoden var dobbelt som høyere enn stiv metoden. Mens ingen av metoden hadde forflytting på mer enn 1% av sin høyde. Styrken av massen var avhengig av setningen og forflytting av vegg overflaten spesielt for landkar med fleksibel konstruksjon. Flexibelt metoden med høyere styrke på CLSM masser sannsynligvis kan være mer effektiv enn landkar med stål ankere med lite styrke av CLSM masser for å oppnå samme egenskapene. Det fører til en raskere og mer økonomisk konstruksjon av CLSM landkar. (Alizadeh, 2019)

## 4.2 Intervju av ytterligere aktører i bransjen

I denne delen av oppgave presenterer vi funnene fra 9 intervjuer med ulike aktører i byggenæringen. Vi har kategorisert funnene med utgangspunkt i intervjuene, altså ut fra respondentenes perspektiv. Byggherre kan eksempelvis ha et annet perspektiv enn underentreprenør. Vi drøfter respondentens svar/kommentarer ut fra deres rolle og agenda i prosjektene. For å gi oversikt av funnene fra intervjuene til leseren er det lagt en ordsky som er vist i figuren 4.48. Ordskyet oppsummerer hovedfunnene og avklarer dybden av intervjuet.



fundamentere. Sammenlignet med grunnforholdet i Innland og Oppland med fjell, grus, morene eller hard morene. Derfor er det mer vanlig å bruke direkte fundamentering på en såle i slike tilfeller. Hovedentreprenør utdypet også om at fundamentering i løsmasser har stort landkar som fylles opp bak for å motstå kreftene.

Byggherre under intervjuet nevnte at i enkelte steder er det mulig å bygge opp en stor sprengstein-fylling til fundamentering med dårlige grunnforhold. Andre steder kan man fundamentere peler eller annen type fundament. Respondenten utdypet at på steder der avstanden er kort til fjell kan direkte fundamentering landkar på fjell. En annen respondenten påstå også at *“Det er ofte en gunstig løsning å føre kreftene ned”*.

Byggherre under intervjuet kommenterte at noen entreprenører eller prosjekterende ikke har den nødvendige kunnskapen om laster og jordtrykk. Dermed blir landkarkonstruksjonen i mange tilfeller (bygningmessig) belastet mer enn nødvendig, som medfører at konstruksjoner ofte blir overdimensjonert. Dette resulterer ofte til unødvendig materialbruk i landkarkonstruksjonen.

#### 4.2.1.2 Regelverk og standarder

En av hovedentreprenør opplyste at Norge har strenge krav som skal følges. Respondenten pekte på at det legges høye sikkerhetsfaktorer i utførelsen og detaljer. Videre ble det pekt på at i noen prosjekter, velger entreprenører å overdimensjonere på grunn av de sikkerhetskravene som stilles. Informanten nevnte også at i noen tilfeller øker man bredde og høyde på landkarkonstruksjoner for sikkerhets skyld. I tillegg pekte informanten på at det brukes tykke overdekninger på landkar for å beskytte konstruksjonen mot korrosjon, noe som gir følgekonskvenser for konstruksjonen, den blir mer massiv og mer materialkonsumerende. Respondenten belyste konsekvensene slik; økt betongvolum i overdekningen vil øke vekten og belastningen på konstruksjon, noe som påvirker materialbruket i landkarkonstruksjonen.

Videre ble det kommentert at på 70 og 80 tallet, var det i praksis ikke krav til overdekning noe som førte til at konstruksjonene fra perioden er mye slanker enn det vi har i dag. Informanten forklarte videre at de strenge kravene vi har i dag er kommet fordi samfunnet ønsker å oppnå lengre og mer forutsigbar levetid for konstruksjonen. I tillegg kommenterte vedlikehold informanten at både eurokoden og N400 stiller strenge krav på utførelse av konstruksjoner. Informanten mente at slike krav har store påvirkningen på materialbruket i landkar.

#### 4.2.1.3 Terrengbehandling og brolengde

For landkar til brokonstruksjoner finnes det generelle krav til terrenget og estetikken rundt landkaret. I henhold til N400 skal utforming av landkar og terrenget rundt konstruksjon ikke være en hindring for inspeksjon eller vedlikeholdsarbeid. Landkar i brokonstruksjon dimensjoneres slik at det er et harmonisk samspill mellom landkar, overgangsplater og terrenget.

Byggherre viste at brospenn er en av de viktigste faktorene som gir høyt forbruk av materialer i landkarkonstruksjonen. Informanten mente at brospenn kan påvirke sideveggene og frontveggen i landkar. Under intervjuet opplyste byggherren at det ofte ikke benyttes den optimale tilpasningen i forhold til terrenget, og særlig ikke med tanke på bruk av jordarmering for å få minimert brospennet. Informanten mente at terrengtilpassinger kunne redusere materialbruket i broen. Dersom løsningen ga et mindre brospenn, vil det i seg selv minimere materialbruk i brooverbygningen.

Byggherren viste tilbake til 1990 tallet, som var et startpunkt for å ta mer hensyn til estetiske forhold ved planlegging av brukonstruksjoner. Frem til 1990 var det lite CO<sub>2</sub> utslipp, arbeidskraften var relativt billigere enn i dag og betongarmering var dyrt. Derfor ble det dimensjonert så korte broer som mulig med veldig høye landkar. I dag har man mer fokus på estetikken, noe som fører til mer åpent tverrsnitt under brua med større spenn som muliggjør bruk av lave landkar. Videre ble det kommentert av byggherren at brokonstruksjoner med kortere spennvidde bruker mindre betongvolum ved landkarkonstruksjoner, men at det kan gi mer betongbruk til overbygningen. I sum kan det gi høyere kostander ved slike konstruksjoner.

Vedlikehold informant pekte under intervjuet at terrenget påvirker plasseringen og høyden av landkar. I brokonstruksjon som har direkte fundamentering på såle vil størrelsen av landkar være avhengig av brospenn. Fordi det er nødvendig å fylle mer under landkaret for å få høyde ved bro med lang spennvidde. Respondenten utdypet i påstanden videre med eksempel *«hvis avstanden fra overkantdekk til underkant av landkar som er ca. 3m, men hvis man skal ha kortere bro blir frontveggen større så kan den høyden bli 6-7 m med større jordtrykk.»* Det blir brukt større betongvolumet ved landkarkonstruksjon med kortere brospenn. Da må sålefundament bli enda større, og tykkelsen på veggen blir også større.

Under intervjuet trakk byggherren frem at det er mulig å spare penger ved å redusere spennvidde som gir en høyere landkar, men da brukes det mindre betong materiale til overbygningen. Byggherren påstå også at det er ofte billigere å lage kortere spennvidde selv om landkaret blir høyt.

Landkar utforming er avhengig av hvordan området ser ut og hvordan landkar tar opp kreftene. Gjennom intervjuet ble det opplyst at landkartype er hovedsakelig avhengig av brospenn. Vedlikehold informant under intervjuet nevnte at brokonstruksjoner med kortere brospenn kan bygges som fugefrie broer, som på engelsk kalles «*Integrert Bridges*». Under intervjuet trakk en av respondenten at landkarkonstruksjon ved lengre brospenn er avhengig av kreften som blir tatt opp av endeskjørt. Under intervjuet ble det opplyst at landkaret har også funksjon til å holde jordmassen som ligger bak konstruksjonen for å forebygge erosjon og lignende fare. Det ble utlyst gjennom intervjuet at det brukes massivt konstruksjoner som kan motstå fare som skred og erosjon. I bro konstruksjon over en elv med farer for erosjon brukes det peler under landkar.

#### 4.2.1.4 Veilinjeføring

Landkarstørrelsen er avhengig av veilinjeføring. Vedlikehold informanten kommenterte at det bør være mer samarbeid mellom bru og veingeniør for å finne en gunstig brokryssing med hensyn til materialet. Linjeføring reduserer skjevhet i forhold til broakse som gir optimalisert materialutnyttelse i konstruksjoner. Under intervjuet opplyste byggherren at mer enn 30 grader skjevhet gir 15% økning i frontveggen. Når bro har 45 grader eller større skjevhet gir det større frontvegg og komplisert landkar. Kostandene og materialbruk stiger desto øker skjevheten i brokonstruksjon.

De fleste respondentene under intervjuet mente at veilinjeføring skjer i planleggingsfase og rollene deres ikke har store påvirkning på veilinjeføringen. Byggherre mente at bredden på veier er avhengig av veilinjeføringen som påvirker siktforholdene til trafikanter. Under intervjuet belyst en informant at i gamle brokonstruksjoner velges det korte og rette overføring sammenlignet med dagens brokonstruksjoner. I dag bygges det brokonstruksjoner mer skrått på grunn av siktforhold til trafikanter.

I tillegg kommenterte byggherre at veiprofilet har store påvirkning på mengde betong som blir brukt i landkar. Respondenten mente at motorvei bør ha 3,5 m bredde i hvert kjørefelt i en



firefeltsvei med krav for skulder. I områder med stor trafikk så ønsker man å utforme begge sidene av veien med 7 m slik at det skal være kjørbare samtidig som det står en bil til siden av veien. Videre kommenterte byggherre at dersom du har en standard profil på veibredden og skulder i underliggende veien gir det kortere brospenn. Dersom det er mindre brobredde vil det bli mindre belastninger på landkaret som er gunstig med hensyn til material besparelse i landkaret. Dermed mente respondenten at det konservative veiprofilet og lite hensyn til tilpassing av lokalt veier er faktorene som har stor påvirkning på betongmengden på landkar.

#### 4.2.2 Holdning av aktørene i bygg bransjen

##### 4.2.2.1 Gjenvinning av betong fra gamle konstruksjoner

Byggsektoren står for nesten 40% av CO<sub>2</sub> utslippene i verdensbasis ifølge Sintef. En del av utslippene kan relateres til herdet betong eller sementproduksjon, utslippet er nesten like stort som utslippet fra avskoging (arealendring) 2,3-2,6% av de samlede utslippene av klimagasser. Betong er et energikrevende materiale i fremstillingsfasen. Derfor er det viktig å gjenvinne og gjenbruke betongmaterialer, det vil være et positivt bidrag til en mer bærekraftig utvikling. Under intervjuet ble informantene spurt om deres perspektiv og holdning i forhold til resirkulert betong og CLSM materialene i brokonstruksjoner. De fleste av respondentene var positivt innstilt til mer bruk av gjenbrukt betong i konstruksjonen.

*«...resirkulert betong eller CLSM materialer hvor avfall er gjenvunnet brukes veldig lite...»*

Byggherre opplyste at resirkulert betong er brukt i mindre grad ved brokonstruksjoner. Respondenten utdypet påstanden at brokonstruksjoner trenger høy fasthet i betong materialet for å ta imot kreftene fra overbygning. Dermed er bruk av resirkulert betong som tilslag med dagens teknologi og kompetanse ikke gunstig for brokonstruksjoner. I dag brukes resirkulert betong som erstatning av stein eller masser for underbygning. Hovedentreprenør påstå også liknende utsagn under intervjuet. Det ble nevnte at resirkulering av betong og andre avfalls produkter er strengt regulert i henhold til norsk standard. Hovedentreprenør pekte også på at utfordring ligger ved kravene og standardene for knusing og kontroll på materialene. Intervjuobjektene kommenterte at hvis entreprenør får mulighet til å bruke resirkulert betong, vil de benytte det i prosjektet.

CLSM materialet er benyttet i USA for brokonstruksjoner i stor grad, for å redusere byggetiden. Under intervjuet var byggherre positivt innstilt til CLSM masser selv om det var

ukjent i Norge. Men det største problemet i Norge er tilgangen til CLSM materialer i det norske markedet. Byggherren pekte på at Norge er relativt langt bak andre europeiske land med tanke på å gjenbruke betong. En annen informant støtte også denne påstanden at byggebransjen i Norge har ikke vært systematiske tilrettelagt for gjenvinning av betong. Flere av informantene syntes at norsk byggenæringen mangler kunnskap om materialer som er tilgjengelig og egnet for bruk i landkarkonstruksjoner. Likevel var alle aktørene i stor grad enige om at teknologi for å gjenvinne av betong og kompetanse blir bedre i fremtiden.

Miljørådgiver under intervjuet mener at regelverk bør sette mer krav til funksjon og ikke krav til spesifikke materialer. Informanten utdypet videre at reglene i byggebransjen bør i større grad fokusere på betongens bestandighet og fasthet. I dag er reglene i Norge strenge, dermed gir det ikke stor rom for kreativitet og alternativ materialbruk. For å få en bærekraftig utvikling er det viktig at kravene i byggebransjen forholder seg mer til kvalitet istedenfor å sett krav på hva som skal innblandes i betong. Miljørådgiver kommenterte at kravene til funksjon er viktig for å bruke forskjellige materialer i betongen, istedenfor å forklare hvordan konstruksjon bygges og materiale som er brukt.

Flere av respondentene synes at Europa har blitt flinkere til å bruke materialer som flygeaske, silika og andre produkter enn den norske byggenæringen. Byggherren synes at det er mangel på kompetanse og kunnskap for å bruke materialer som resirkulert betong eller CLSM i landkarkonstruksjonen. Byggherre var ukjent med anvendelse av CLSM og resirkulert betong i konstruksjonen, men var villig til å finne løsninger for å anvende avfall materialer fra landene som Nederland eller USA. Under intervjuet opplyste byggherre muligheten til å kombinere resirkulert betong eller CLSM materialer sammen med jordarmering. Informanten utdypet det ved å gi eksempel på en mulig kombinasjon hvor landkar kan bygges med jordarmering og har resirkulert betong ble brukt på toppen eller ved å bruke det som et begrenset gravitasjonsstøtteelement i frontmuren.

Hovedentreprenør opplyste under intervjuet at det ikke brukes resirkulert betong i dag for brokonstruksjoner. Informanten opplyste at bruk av resirkulert betong er streng regulert i norsk standard. Respondenten viste til sin egne erfaring fra 20 år siden hvor de begynte å erstatte 25% av betongen med resirkulert betong i et halvt års tid. Erfaringene ved å bruke resirkulert betong var ikke god nok og ble følgelig ikke benyttet etter dette. Hovedentreprenør opplyste under intervjuet at det nå er mange forskningsprosjekter som går på nedkusing av betong og hvordan vi kan bruke det som tilslag i ny betong.

## 4.2.2.2 Effektiv bruk av betong som konstruksjonsmateriale

### 4.2.2.2.1 Standardisering

Standardisering av visse konstruksjoner har vist seg å være nyttig med tanke på redusert materialbruk og mer effektivitet. Det er vanskelig å vurdere akkurat hvor mye standardisering av broer kan bidra til redusert materialbruk. Dermed stilte vi spørsmålet til respondentene under intervjuene.

Under intervjuet opplyste byggherre om at det er mangel på standardisering og optimalisering i landkarkonstruksjon. Informantene opplyste videre at mangel på standardisert og optimalisert løsning fører til at prosjektene bruker mer tid til å dimensjonere broer.

Underentreprenør kommenterte at standardisering ofte er vanskelig å oppnå i brokonstruksjoner. Videre kommenterte informantene at det vil ta langt tid til å finne en optimal løsning som gir material reduksjon i alle broprosjekter. Respondenten mente at dimensjoneringen ikke er lønnsomt siden det tar tid på å finne en optimal løsning som passer til prosjektet. Informanten utalte at dersom det er flere broer med samme forhold og at den optimale dimensjoneringen hadde passet til alle tilfellene, ville standardiseringen og tiden som er brukt til å dimensjonere har vært fornuftig. Siden alle brostedene ikke er like, mente entreprenør at standardisering vil ofte være vanskelig og ikke material reduserende i mange tilfeller.

I tillegg til hovedentreprenør hadde vedlikehold og underentreprenør det samme synspunkter, de kommenterte at standardisering er vanskelig å oppnå i broprosjekter. De kommenterte at en standard løsning ikke kan være effektivt for alle brokonstruksjoner. De mente at det optimale løsningen i et broprosjekt vil variere fra sted til sted. I tillegg til det pekte aktørene på at standardisering vil sette strenge krav som gir lite rom for innovative løsninger som kan føre til reduksjon av materialbruk. Videre kommenterte vedlikehold at regelverket er utydelige, og at det er vanskelig å oppnå alle kravene som stilles, og samtidig bruke innovative løsninger.

Underentreprenør utalte at standardisering kan være en hinder for optimalisering og materialreduksjon, siden man ikke får det friheten til å jobbe med noe nytt. Den andre byggherre mente det samme som de aktørene overfor, at det er vanskelig å føre standardisering for brokonstruksjoner på grunn av ulike grunnforhold og klimaforhold i hvert enkelt prosjekt.

En annen respondent med erfaring fra brokonstruksjoner hadde et annet synspunkt på saken. Informanten mente at standardisering av veigeometri kan føre til optimalisering og materialreduksjon i broer. Respondenten anbefalte å føre rundkjøring lengre unna broendene. Det vil føre til eliminering av «dråp» ved borende som fører til at brobredden ikke utvider seg i bredden. Dette kan gi materialbesparelse i brooverbygningen. Dette mente informanten ville være en optimal løsning som kunne blitt standardisert.

#### 4.2.2.2.2 Prefabrikkering

Prefabrikkering av broer har vært en kjent løsning i mange år. I perioden 1970 – 1980 tallet var prefabrikkering mye brukt i Norge til bro overbygningen sammen med plasstøpt betong. I dag benyttes ikke prefabrikkering like mye som plasstøpt løsninger i Norge. Akkurat som standardisering er det vanskelig å vurdere hvor mye prefabrikkert kan bidra til materialreduksjon i brokonstruksjoner. Under intervjuet ble det opplyst at prefabrikkering hjelper med å minimere avfall generert under produksjon og gjenbruke restmaterialer. Ved prefabrikkerte løsninger flytter avfallsgenereringen fra anleggsplass til produksjonsbedriftene.

Hovedentreprenør under intervjuet synes at prefabrikkering av elementer har større kvalitet som ikke trenger stor sikkerhetsfaktor, hvor for eksempel prefabrikkert elementene har mindre overdekningen enn det plasstøpt løsning. Underentreprenør opplyste under intervjuet at deres firma er ledende selskapet i Norge innen levering av prefabrikkerte bruer.

Informanten kommenterte at det er lite betong til overs under produksjon av prefabrikkerte betongelementer. Siden nye betongelementer bruker rest betongen i produksjon igjen.

Vedlikehold informant pekte at bruk av prefabrikkerte elementer kan være en optimal løsning med tanke på reduksjon av materialbruket. Videre kommenterte informanten at prefabrikkerte elementer er ganske gode fordi det gir en kortere byggetid og er slankere konstruksjon enn plasstøpt betongkonstruksjon. Noe som reduserer vekten på overbygningens konstruksjon. Dette fører til mindre belastning i landkaret hvor man kan slippe å dimensjonere massive landkar elementer for å ta imot store spenninger. I tillegg kommenterte vedlikehold informanten at prefabrikkeringen vil ha utfordringer med hensyn til vedlikehold, et eksempel som informanten pekte på var at det vil samle seg mye forurensing under brobjelken som kan øke kostnadene i driftsfase.

Respondenten underentreprenør mente at prefabrikkerer broer vil gi mindre materialbruk i brooverbygningen. Videre utlyste informanten at prefabrikkerte elementer kunne utformes på

ulike former hvor man kan få slankere konstruksjon elementer mens det er vanskeligere å redigere forskalingsformene på en plasstøpt konstruksjon.

Byggherre mente at selve prefabrikkering vil ha lite påvirkning på materialbruk i brokonstruksjoner. Videre kommenterte informanten at prefabrikkering kan redusere byggetiden med hensyn til herdetiden av plasstøpt konstruksjoner i byggeplassen. Men en annen respondent hadde en annen vinkling på saken. Informanten mente at prefabrikkering gir besparelser i materialet i noen tilfeller, men det er vanskelig å bruke prefabrikkerte elementer overalt. Fordi det er lite standardisering av prefabrikkerte elementer i brolandkar mens mer på brobjelker. Informanten utalte at bruk av prefabrikkerte elementer med kombinasjon av plasstøpt kan gi reduksjon på betongbruk i broprosjekter.

En av respondenten mente at prefabrikkerte elementer med bedre betongkvalitet kan effektivisere tverrsnittene. Med tanke på utnyttelse av den gode betong kvalitet vil man få en slankere konstruksjon. Slankere betongelementer gir reduksjon på materialene i brokonstruksjoner. Dermed gir det mindre belastningen fra overbygning som gir mindre størrelsen på landkar.

#### 4.2.3 Oppnåelse av klimamål

Norge har mål om å redusere utslippene med 40 prosent for å oppnå karbonnøytralt klimamål innen 2030. De ulike aktørene i byggebransjen har ansvar for å finne en løsning for å nå klima målet. De fleste informantene mente at det bør benyttes publikasjon nummer 37. I tillegg ble det anbefalt å erstatte en del av sementen med flygeaske for å redusere på CO2 avtrykket. Videre presiserte informantene at entreprenører er mer opptatt av penger enn miljø og dermed velger den billigste løsningen som tar lite hensyn til miljø. En respondent forklarte at optimalisering av konstruksjoner med tanke på materialbruk og miljø, har en forbindelse til tid og effektivisering. Ofte vil en entreprenør benytte like type konstruksjoner i alle akser og ikke vil drive med å optimalisere fordi det vil koste tid og penger. Dessuten kommenterte informanten at byggherre må oppfylle de kravene som stilles fra regjeringen. I tillegg bør de sett eget mål til å redusere materialbruk i prosjekter ved å etterspørre dette hos entreprenørene. Videre nevnte informanten at det kan brukes totalentreprise som gir større frihet til å velge optimale løsninger, men da må byggherre tydeliggjøre deres forventninger til reduksjon av CO2. Byggherren kan også komme med bonusordninger som gir motivasjon til entreprenøren for å oppnå de målene.

En informant uttalte også at det er mulig å redusere materialbruk ved å benytte slanke konstruksjoner. Under intervjuet ble det opplyste videre at reduksjon i materialbruk betyr å redusere betongmengde noe som gir en miljøvennlig løsning. Informanten belyste også at det er ganske viktig at vi har søkelyset på livsløpet regnskaper og miljøavtrykket på konstruksjoner. Det kan være et effektivt tiltak hvis vi kan bygge konstruksjoner av bro og bygg som kan stå noen år til enn å redusere betongbruk og akseptere mindre levetid på konstruksjonen. Informanten mente også at slankere tverrsnitt, mindre armering og effektivisering er viktig faktorer som kan bidra til å redusere betongbruk. Miljørådgiveren mente at det viktigste er å identifisere og synliggjøre hvor utslippene oppstår, slik at man kan finne tiltak for å redusere utslippene. Dessuten nevnte miljørådgiveren at logistikk og transport har mye å si i slik situasjoner. Miljørådgiveren kommenterte videre at logistikken må optimaliseres i byggeplassen og prøve å finne materialer som ikke trenger lange transport avstander.

#### 4.2.3.1 Bruk av lavkarbonbetong

NOR betong i samarbeid med Norcem har utviklet lavkarbonbetong som gjør det lettere for byggherre å velge rett betong til et prosjekt. Men det er ikke helt klart på hvor mye av den betongen som brukes i dag i bygg og anleggsbransjen. Hovedentreprenør har nevnt at deres firma begynte å benytte lavkarbonbetong allerede i 2007. De har klarte å spare mer enn 4 000 tonn CO<sub>2</sub> utslipp kun i Oslo ved å forandre betongresepten. En annen hovedentreprenør påstå at de allerede har begynt å utnytt materialer med reduserte karbonavtrykk. Videre ble det kommenterte at byggherren kan stille krav til bruk av lavkarbonbetong i prosjektet. Slik at entreprenør følger de kravene for å bruke lavkarbonbetong i byggebransjen.

Vedlikehold ansvarlig mente at lavkarbonbetong har begynt å bli tatt mer i bruk i større grad etter at det har kommet veileder som gjør det mye enklere å benytte. Videre opplyste informanten at geografisk beliggenheten er også viktig faktor, fordi tilgangen til de forskjellige tilslagene varier litt over landet. En annen vedlikehold ansvarlig pekte på at det ikke er mulig å ha lavkarbonbetong A og B på konstruksjoner der det er brukt mye armering for at man må ha selvkomprimerende betong i slike konstruksjoner. Fordi det ikke er mulig å vibrere og, i slike tilfeller er man avhengig av å ta flytende masse for å avslutte alle armeringen da er det klasse C som vanligvis brukes.

Byggherren kommenterte at betongsammensetning av materialet inne i betongen som gjør at man kan bruke sementer som FA-sement, anlegg-sement med flygeaske og kombiner det med ekstra mengde flygeaske og eventuelt silika og andre stoffer noe som gjør at betongen kan anvendes til brobygging i dag. Denne betongsammensetningen vil ha betydelig lavere CO<sub>2</sub> utslipp enn det som ble brukt for 30 år siden. I tillegg ble det nevnt at det ikke er relevant å bruke resirkulerte betong i brobjelken, men i landkar kan potensialet være litt større. Derfor må det vurderes om resirkulerte betong kan benyttes i fremtiden i landkarkonstruksjon. Videre opplyste byggherren at det brukes materialer som har betydelig lavere CO<sub>2</sub> utslipp i dag enn det som ble brukt for noen år siden.

Underentreprenøren mente at det er litt vanskelig å bruk materialer med mindre CO<sub>2</sub> utslipp i brokonstruksjoner i henhold til spesifikasjoner som setter krav til at det skal brukes miljøvennlige produkter. For å oppnå karbon nøytralt klima mål må vi kunne å bruke gjenbrukte masser. Informanten nevnte at det ikke er lov å benytte gjenbrukt masser i dag, og mente at staten må endre denne loven. Med tanke på landkarkonstruksjon blir det litt vanskelig hvis du ikke får lov til å bruke miljøvennlige materialer for tilbakefylt masser i landkaret. Miljørådgiveren mente at byggherres krav og hvordan det kontrakten er oppført vil ha større påvirkning på det med utslippene og løsningen entreprenører tar i bruk. Miljørådgiveren presiserte videre at byggherrens krav er avgjørende på hvor mye av miljøvennlige materialer som brukes i et prosjekt.

Det finnes i dag en del utfordringer og hindringer som gjør at miljøvennlige materialer som lavkarbonbetong og andre produkter ikke blir benyttet i konstruksjon. Utfordringene kan være dagens regelverk, tilgang til materialer og andre faktorer. Hovedentreprenøren mente at de ønsker å finne nye løsninger og hensiktsmessige metoder å jobbe på. Men da er det en del eksisterende regelverk de må utfordre. I tillegg vil den tradisjonelle metoden være en motstand mot optimalisering. I betongkonstruksjoner finnes det regler, metoder, dimensjonerings, beregninger og kontroll av systemet som må følges. Videre opplyste informanten at de nevnte faktorer vil være en hinder for optimaliserte løsninger.

Byggherre mente at det å produsere lavkarbonbetong kan være litt dyrere, dermed er kostnadsforskjellen mellom de vanlige og lavkarbonbetong en hindring. Men byggherren kan gjøre det attraktivt eller nødvendig for entreprenøren til å velge det som reduserer CO<sub>2</sub> utslipp for å nå de målene. Byggherren opplyste også at reduksjon av betongvolumet kan kanskje gi større besparelse, enn å velge et lavkarbonbetong. En av underentreprenørene mente at det finnes en del utfordringer som hindrer oss fra å bruke av miljøvennlige materialer som

flygeaske. Lavkarbonbetong har tekniske utfordringer i forhold til seig herding, at det tar lengere tid å herde, som medfører at kostnaden går opp. En annen underentreprenør forsterket påstanden og, sa at mer bruk av flygeaske svekker herdningsegenskapen i betongen, det vil ta mer tid. Underentreprenør kommenterte videre at å bruke lavkarbonbetong der du har veldig lav CO<sub>2</sub> utslipp vil ta lengere tid til å utføre konstruksjonen.

#### 4.2.3.2 Ansvar av byggebransjen for å oppnå klimamål

Det er tydelig at for å oppnå klima målet må bygg og anleggsnæringen ta sitt ansvar, men det er litt uklart om det er de ulike aktørene, staten eller andre parter som har ansvaret for at bygg og anleggsnæringen skal bruke miljøvennlige materialer. Vanligvis har man søkelyset på miljøet, men når det dukker opp usikkerhet og kostnad som man ikke har krav til, faller fokuset på miljøet vekk. Dermed dukker det spørsmålet om hvem skal sørge for at miljøvennlig materialer tas i bruk i større grad i dagens samfunn. En hovedentreprenøren mente at alle aktørene må ta sitt ansvar, men mest av ansvaret legges til politikerne at de må legge rammer og komme med kravene slik at vi må bruke lavkarbonbetong for å minimere CO<sub>2</sub> utslipp. En annen hovedentreprenør mente at byggherren har det største ansvaret, men det ikke er rimelig å overlate alt til byggherren. Derfor må alle bidra til dette og, entreprenører er selvstendige både til ansvar og interesse til å bidra til dette. Informant nevnte også at regelverkene og standardene ikke er gode nok for de miljøvennlige løsninger, og det bør absolutt gjøres en utvikling i dette området.

Vedlikehold ansvarlige forsterket påstanden videre at den største ansvar andelen ligger hos byggherre siden det er altså han som lyser opp oppdragene som setter krav i sine kontrakter. Dessuten ble det kommentert at byggherren må finne miljøvennlige løsninger. For eksempel byggherre kan ha bonusordninger, sånn at entreprenøren får poeng i en konkurranse situasjon når de bruker miljøvennlige materialer. Både byggherre og entreprenør kan samarbeide for å oppnå miljøvennligmål. Byggherren var litt usikker på hvor alle ansvarene ligger, men konkluderte med at vi må ha tydeligere krav fra myndighetene for å nå målene. En annen byggherre mente at de største byggherrene som SVV og Nye Veier har mye ansvar. Hvis de er villige til å betale ekstra for at løsningene skal kunne brukes og at nye løsninger kan lanseres, vil det bidra til å nå klima målet.

Miljørådgiveren mente at i utgangspunktet er det ikke entreprenører og produsenter som er begrensningen, men byggherren som setter kraven sånn at de jobber med noe som kanskje blir



dyrere enn det tradisjonelle, men miljøvennlig. I tillegg opplyste respondenten at vi har litt strenge krav når det gjelder utførelse for eksempel de håndbøkene fra statensvegvesen er veldig detaljert på utførelsen og tykkelsen som gir veldig lite rom til kreativitet og erstatning av materialer. De setter for mye teoretiske krav istedenfor å sette funksjonskrav som gir større rom for kreativitet og materialbesparelser.

#### 4.2.4 utfordringer i byggsektoren

I bygg og anleggsbransjen er byggherren eller tiltakshaveren den som bestiller og gir budsjett for byggeprosjekt. I Norge ved bygg og anleggsnæring er det statlig selskaper som Statens Vegvesen og Nye Veier som bestiller prosjektene gjennom anbud til entreprenørfirmaer. Entrepriseform og kontrakt mellom byggherre og entreprenørfirma setter rammer og kravene for landkarkonstruksjoner. En arkitekt og rådgivere prosjekterer og tegner armerings mengder, tykkelser og betong kvalitet.

*«Vi har ofte en tendens til å velge det vi kan og har bygget ofte vi har ikke så mye ensidig på nye løsninger som er litt ukjente.»*

Underentreprenør pekte at konstruksjon av landkar er avhengig av byggeperioden for at konstruksjon skal ferdigstilles. Prosjektet er vanligvis tidsavgrenset av byggherren i anbud fasen og kontrakten. Det gjør at hovedentreprenør ofte velger tradisjonelle metode med lite risiko. Under intervjuet viste også vedlikehold informant at budsjett og tidskjema begrenser muligheter for innovative løsninger. Landkarkonstruksjon i prosjektet med begrenset tid gir høyere risiko for brudd når det brukes innovative og nye løsninger. Nye løsninger og materialer er også lite gunstig med tanke på kostnader enn å bruke tradisjonelle løsninger og materialer.

De fleste informantene kommenterte at regelverket og kravene i håndbok N400 er også en hindring. Underentreprenøren synes at kravet i håndbok som begrenser om forbindelse mellom over og underbygning må enten være monolittisk støpt, eller skal det brukes lager, eller kan broen være leddet. Under intervjuet utalte flere av respondenter til eksempel om kraven i N400 som begrenser å ikke benytte mer enn to vertikallagre per akse for bruer med mindre totalbredde enn 15 m. En av respondenten trakk frem fuge krav for rom under broer bestemmer også hvordan bro utformes. Hovedentreprenør i intervjuet pekte også til

regelverket som bestemmer tykkelse, volum og fasthet for betong. Det begrenser mulighet til entreprenør å bruke materiale som er miljøvennlig i prosjektet.

Gjennom intervjuet med hovedentreprenør ble vi opplyst at de bygger etter rammene som prosjekterer og byggherre legger. Underentreprenør trakk også valg mellom plasstøping eller bruke prefabrikkert elementer i kontrakten som kan påvirke eventuelle valg av landkar type. Det gir lite mulighet for entreprenør for å ta i bruk innovative løsninger. En av hovedentreprenør under intervjuet pekte på at eneste de kan bidra med er å bruke miljøvennlige materialer i konstruksjon. Ifølge hovedentreprenøren hadde de begynt med å bruke lavkarbonbetong i konstruksjoner i henhold til kasser gitt i publikasjon 37.

Hovedentreprenør synes at det var viktig for entreprenørene å være bevist og villige til å bruke gjenbrukte betong i prosjektet. Respondenten utdypet også at entreprenørene kan bli bevist når de har oversikt over total ressursbruk i et landkar. Vedlikehold informant under intervjuet kom med innspill at det er også viktig å ha oversikt over LCCA «*Life Cycle Cost Analysis*» og LCA «*Life Cycle Assessment*» i prosjektene for å ha oversikt over kostandene i levetiden og miljøkonsekvenser. Informanten synes LCCA og LCA burde være grunnlaget for alle nye konstruksjoner for å få alle aspektene i prosjektet. Informanten så utfordring i dag hovedsakelig av utenlandske entreprenør som bygger i Norge stor grad fra Kina og Sør-Europa med billigere arbeidskraft. Disse selskapene benytter ofte den billigste løsningen i landkarkonstruksjoner som er ikke gunstig for miljøet, med tanke på frakt, vekt og vedlikehold. Informanten synes at entreprenørene burde ha krav i kontrakten til å ta vurdering til LCCA og LCA.

Underentreprenører mente at prosjektørene tar kjente løsninger som har blitt brukt tidligere og at de er ikke så flinke til å tenke nytt. Videre kommentere informanten at de gamle løsninger er ofte slike at det krever mye betong. I tillegg pekte underentreprenører på kontraktsformen som i dag blir brukt av, basert på de strenge kravene i kontrakten og lite spillerom i kontraktene benyttes ofte de gamle løsninger. Videre kommentere respondenten at det ikke ville være lønnsomt for entreprenørene å bruke tiden og ressurser til å spare materialer i konstruksjon. Underentreprenør mente at det er lite spillerom i kontraktene og at entreprenørene må få større frihet til å påføre tiltak for reduksjon av betong bruk i brokonstruksjoner.

Byggherren opplyste at både entreprenører og byggherre er opptatt av å bygge hurtig fordi det gir kostnad besparelsen. Dermed velger de ofte å benytte vanlig materialer istedenfor

miljøvennlige betong materialer som bruker lengre tid til herdning og dette kan bli dyrere. På grunn av herde forsinkelsen i miljøvennlige betong velger de å bruke vanlig betong som herder fortere og gi mer tidsbesparelser. Respondenten mente at begrensinger på effektivitet og tidsbruk er faktorene som gjør at man bygger det tradisjonelle landkartype som de har alltid bygd og baser seg på det samme. Videre kommenterte informant, «... Når vi tegner et landkar så er vi opptatt av å gjøre det enkelt å bygge ... kan hende at vi bruker mer materiale ...» mente at det er en del entreprenører som prioritere tidsbesparelsen over materialbesparelsen dermed blir det benyttet litt ekstra betong materialer.

#### 4.2.4.1 Utfordringer med innovative løsninger

I den litteraturstudiedel av oppgaven har det blitt diskutert ulike type løsninger av landkar som ble presentert til informantene før intervjuet. Basert på det som ble presentert kom informantene med forslag om hvilke av løsningene som kunne være aktuelt i Norge. De fleste informantene mente at jordarmert landkar er den meste relevante løsningen i Norge. ved bruk av jordarmert landkar har man muligheten til å redusere betong bruk, og samtidig minimer CO<sub>2</sub> utslippet fra konstruksjonen. En av informantene mente at jordarmert landkar kan brukes som et komplett landkar, men videre mente også at jordarmerte løsningen kan brukes i kombinasjon med enten semi eller fullt integrert landkar. Informanten synes at landkar kombinasjonene kan redusere materialbruket i betraktelig.

De har også pekt på at integrert landkar kan vær god løsning selv om den har blitt brukt før. En respondent mente at hvis vi klarer å lage konstruksjon uten lager og fuger som gir vedlikeholdsproblem vil det være en fordel. Integrert landkar er en god løsning for å redusere vedlikeholdskostnader. En av informantene utalte at fugefrie broer, er stor sett vedlikeholdsfritt i de neste 100 årene. I tillegg nevnte en annen informant at det kan være aktuelt å bruke alternativer til betong for sidemurer og frontmur, men akkurat fundament og opplegg for broer, kommer an på hvor stor bro det er, og hvor mange brospenn det er. Derfor er det en del faktorer som man må ta hensyn til når det velges løsninger.

Under intervjuet mente miljørådgiver at kravene i norske standarder er veldig detaljert, noe som gir lite rom for nye løsninger. Informanten viser seg til fagfolkene i byggenæringen som ikke er god nok til å se etter nye løsninger. Mange aktørene i bransjen har gamlevaner å innarbeide det som er bygd tidligere og fortsetter med å bygge med det samme konsept.

## 5 Diskusjon

Litteraturstudiet viser ulike teknisk løsning for landkarkonstruksjon som er miljøvennlig og materialegjerrige. Gjennom intervjuundersøkelsen med ulike aktører i byggenæringen kom det frem mange utfordringer og muligheter ved bruk av miljøvennlige løsninger i konstruksjoner. I dette kapitlet diskuterer vi det funnene fra intervjuene, der vi diskuterer dette opp mot litteraturen og teorigrunlaget for arbeidet. Målet med diskusjonen er å avdekke hva slags muligheter, utfordringer og hindringer som finnes i byggenæringen for bruk av mer miljø- og marterialoptimale løsninger for landkar i brokonstruksjoner.

### 5.1 Ombruk og gjenvinning av materialer - Utfordringer og muligheter

Alle aktørene fra byggenæringen som vi intervjuet var positivt innstilt til bruk av resirkulert betong og andre resirkulerte/gjenbrukte materialer i brokonstruksjoner. Byggenæringen kan bruke ressursene på en bedre måte ved å gå bort fra den tradisjonelle modellen med å planlegge bygg- og anlegg fra vugge til grav. Dersom næringen bruker ideene fra en mer sirkulær økonomi, slik at materialenes kretsløp er mer fra vugge til vugge, altså fra bruk i en funksjon til en ny når det opprinnelige formålet ikke lengre oppfylles.

Betong utgjør 80% av avfallsmengden ved demontering/riving av bygg og anlegg. Ved å bruke resirkulert betong og avfall i brokonstruksjoner er det åpenbart en stor miljøgevinst, siden man reduserer bruken av nye materialer og råstoffer. Resirkulering av betong og avfall gir stor gevinst knyttet til både økonomi og miljø. Hvis byggenæringen utnytter resirkulert betong eller andre resirkulerte materialer igjen i nye konstruksjoner sparer det altså naturressurser ved å redusere behovet for nye materialer i konstruksjoner. Når et prosjekt gjenvinner betong, kan det bidra til å redusere samlede kostnadene ved å kjøpe nye råvarer og i tillegg transportere rivningsmaterialene fra et annet prosjekt til deponi. I de tradisjonelle forretningsmodellene ser man ikke flere (adskilte) prosjekter i sammenheng, vi mener dette er et viktig funn i seg selv; at bygge og riveprosjektene ikke sees i sammenheng. Et veldig ferskt eksempel på mer helhetlige tenking finner vi i Statsbyggs prosjekt nytt regjeringskvartal. Der gamle bygningsdeler og materialer får ny bruk etter rivningen av bygningen som stod nærmest Høyblokka under terrorangrepet i 2012. Betongelementene fra bygningen ombrukes i et nybygg på Tullinløkka og i den nye Storbylegevakten. Dette gir reduserte klimagassutslipp

og redusert ressursbruk, i tillegg kan det gi redusert transport som er et sentralt miljømål i NTP. Resirkulering av betong skaper også nye sysselsettingsmuligheter i jobbmarkedet.

Byggebransjen er konservativ sammenlignet med andre bransjer i å iverksette å bruke resirkulering og ombruk av betongmaterialer i konstruksjoner. Informantene pekte utfordring med knusing og kontrollering av herdet betong til tilslags materialer som kostbart og tidskrevende prosessen. Det gjør at fagfolkene velger tradisjonelle løsninger med mindre risiko. Derfor er det nødvendig å fokusere på kunnskapen fra andre land som har mer erfaring med å bruke resirkulert og rest betong som tilslag. Staten har også mulighet å bidra med å gi økonomiske insentiver til alle aktørene i verdikjede som har betydelige utfordring med å knuse betong til granulert tilslag.

Alle respondentene i intervjuet var enige i at utfordring med å anvende resirkulering betong som tilslag ligger i regelverket og kravene i standarder. Disse kravene er konservative som har høye sikkerhetsfaktor for utførelsen og detaljer av konstruksjon. Gjennom intervjuet ble det opplyst brokonstruksjon har høy fasthets krav for betongmaterialet. Fordi landkarkonstruksjon må ha egenskap til å ta store kreftene fra brooverbygning. Tilslag av resirkulert betongen produseres ikke naturlig bindemiddel som rene naturtilslag. Betongmaterialet produsert med tilslag materialer av resirkulert betong gir mindre fasthet sammenlignet med naturtilslag. I mange andre konstruksjoner har det begynt å bruke resirkulert betong som delvis erstatning for naturlig tilslags materialet. Ifølge NS-EN 206/14/ er det mulig å oppnå fasthet klasse til B45 og bestandighet klasse M90 og M60 ved å delvis erstatte naturtilslag med resirkulert betong i Norge.

I dag benyttes det resirkulert betong som erstatning av fyllmasser på konstruksjoner. Under intervjuet opplyste respondentene at betong resirkulering er strengt regulert henhold til norsk standard. Informantene pekte på utfordring ligger også ved å kontrollere og dokumentere materialer. I dag har Mapei utviklet et produkt kjent som Re-Con Zero for å bruke rest betong fra betongbiler. Produktet omdanner betong til granulert materiale med god fasthet når det har herdet. Her kan det mulig å delvis eller fullstendig erstatte natur tilslag i normal betong. Mapei har utført undersøkelse og tester med granulert materialer. Det viser seg at egenskapene i materialene endres ikke etter betongen er gjenvunnet. Når det er brukt av gjenvunnet materialene er det mulig å bruke 5% av resirkulert granulert i ny betong uten dokumentasjon i tillegg. Nå jobber mange firmaene for å utvikle nye metoder for å øke prosentandelen.

Under intervjuet fortalte hovedentreprenør om dårlige erfaringer med å erstatte 25% av tilslags med resirkulert betong, men denne erfaringen er 20 år gammel og er etter vår vurdering representerer ikke dagens situasjon. Vi mener det kan være mange faktorer som påvirket for 20 år siden, slik som mangel på teknologi og kunnskap å bruke resirkulert betong. I en studie av (Etxeberria et al., 2013) som er nevnt i litteraturstudiet av Polytechnic University of Catalonia fra 2013 utforsket det mulighet til å bruke resirkulert fint tilslag i CLSM masser. I studiet varierte egenskapene etter blandings materialer etter v/c tallet og andel av resirkulert betong. CLSM blandingen utviklet bedre tetthet når det benyttes høyere andel av resirkulert betong. Men det ble utviklet mindre flyteevne som var også avhengig av luftinnhold i blandingen. Blandingen med 110 kg av sement, 1020 kg av resirkulert tilslag og 197 kg vann utviklet trykkfastheten på 0,23 MPa etter 28 dager. Studiet viser at hvis det økes sement mengde til 135 kg og brukes 931 kg av resirkulert betong som 100% av andel av tilslag med v/c tallet på 1,72 utvikler det trykkfasthet på 1,38 Mpa. Forskningen viser at CLSM massen tilfredsstillende alle kravene satt av ASTM ved å bruke 40 %, 50% og 100% av andel som resirkulert tilslag.

I litteraturstudiet ble det utforsket på prosjekter der gammel eksisterende fundamenter blir gjenbrukt i fugefrie landkar. Basert på rapporten «*Foundation Reuse for Highway Bridges*» fra *Federal Highway Administration*. Kan ombruk av gammel eksisterende fundamenter være en mulighet. Integrert landkarløsninger kan benyttes i prosjekter med eksisterende fundamenter. Broen *North Torrey Pines* var et prosjekt der det ble utnyttet eksisterende fundamenter mens de endestøtten ble erstatte av integrert landkar. Rehabilitering av de eksisterende fundamenter ble satt i gang til å motstå beregnet belastninger som seismiske og overdrevent skjær og momenter i konstruksjonen. Løsningen reduserte materialbruk under konstruksjon av ny bro.

Byggenæringen har stor mulighet til å skifte til bærekraftig utvikling i konstruksjonen ved å bruke tilslagsmaterialer av knust brukt betong eller gjenbruke gamle betong elementer i landkarkonstruksjon. Det fører til reduksjon av klimagasser fra transport til deponi og bevarer naturforekomst av nye materialer. Alle informantene under intervjuet mente at alle aktørene i bransjen har ansvar for å ta i bruk resirkulert betong. En av respondenten under intervjuet pekte til mangel av offentlige investeringer og satstinger for å utvikle teknologi og kompetanse i byggenæringen for å gjenvinne eller gjenbruke betongmaterialer. Men det er byggherrene under prosjektene som må ta ekstra ansvar med hensyn til krav, budsjett og tid. Informant under intervjuet mente at bonusordninger fra byggherre kan gjøre det mer attraktivt

for entreprenør. Det kan redusere risikoen til entreprenører i prosjektene for å bruke miljøvennlig materialer. En aktiv politikk fra staten og engasjement fra byggherre for sirkulær økonomi styrker næringslivets konkurranse til grønn økonomi.

## 5.2 Avfallsminimering

I tråd med norsk regjering klimastrategi er det klar mål å redusere mengden av avfallet enten skal det gjenvinnes ellers ombrukes. Regjering har i det siste årene fokusert på mer effektiv ressursutnyttelse hvor avfallsmengdene reduseres. Byggebransjen har også blitt opptatt å øke mulighet for gjenbruk og bruke sekundære råvarer i produksjon for å skape en sirkulær økonomi. Men ifølge SSB fra 2017 ble bygg avfall lite ombruk eller gjenvunnet som utgjorde ca. 21 prosent av totalt avfallsmengden.

Gjennom intervjuet ble det opplyst at avfallsmengdene i Norge har halvert fra 90 tallet etter at fabrikkene har flyttet ut av Norge. Industriene i 2014 produserte rundt 22 prosent av avfallsmengdene i Norge. Fall av avfallsmengden i Norge kan forklares også ved at mer og mer av biprodukter og avfall brukes som nytt råvarer. Det er både internasjonalt og nasjonalt bærekraftigmål å redusere mengden av avfall materiale fra alle bransjen. Byggenæringen har mulighet til å utnytte industriens biprodukter og avfall på nytt til råvarer når det brukes som CLSM masser eller fyllinger i konstruksjon.

Forebygging av avfall har høyest prioritet i norsk regjeringens plan mot sirkulær økonomi. Underentreprenør pekte under intervjuet at det er lite overskudd av betong under produksjon av prefabrikkerte elementer i bedriften deres. Allerede i planleggingsprosessen av konstruksjon må byggherre ta grep for å forebygge avfall med å bruke prefabrikkerte betongelementer i brokonstruksjoner. Prefabrikkerte betongløsning flytter avfallsgenereringen fra bygg og anleggsplass til produksjonsbedrifter. Det hevdes at mengden av genererte avfall vil være mindre når betong elementene industrialiseres. Eventuelle overskuddsmateriell med dokumenterte egenskaper kan bli brukt igjen i produksjon av nye betongelementer. Prefabrikkerte betongelementer er også ombruksvennlig løsning som i dag ikke er vanlig i Norge selv om det er mulig.

Avfall materialer må enten gjenvinnes eller ombrukes igjen istedenfor å sluttbehandles som avfall. Biprodukter eller restmaterialer som Flygeaske (FA), Rice Husk Ash (RHA) og Quarry Dust (QD) kan brukes som blandingsmateriale i CLSM masser. Flere av informantene under

intervjuet opplyste at Flygeaske importeres fra andre land i Europa og Tyrkia etter behov i Norge. Quarry Dust er rest støv materialer som produseres ved produksjon av tilslags materialer. Artiklene i litteraturstudiet opplyste at QD materialer gir høyere tettheten i blandingen enn med vanlig sand. Rice Husk Ash er biprodukt som produseres i stor grad fra industriene i østlige delen av verden. Det er lite tilgang til RHA i Norge. Forskingen i litteraturstudiet om CLSM masser med biprodukter som FA, RHA og QD viste lite setningen og god mekanisk egenskap. I et globalt perspektiv gir disse produkter bedre ressurseffektivitet ved å anvende som råvarer i konstruksjon prosjektene.

I vår verden i dag er det estimert 1,5 milliarder tonn av dekk avfall som er farlig for helse og miljø. Dekkene eller gummiene kan ikke nedbrytes biologisk og resirkulerings muligheten er begrenset. Gjennom litteraturstudie ble det opplyst at blanding av gummi sammen med sand, grus og voll kan brukes som fyllmasser i landkarkonstruksjoner. Gummiinnhold i fyllingsmasser gir bedre motstand til lastene på grunn av sin høy bruddtøyninger og lav elastisitetsmodulen. Det gjør at fyllingen gir bedre egenskap å ta seismiske kreftene og oppstår mindre setninger i konstruksjon sammenlignet med andre fyllingsmasser. I rapporten i litteraturstudiet fant forskere at 10 til 30 % av totale fyllingsmasser kan erstattes med gummiinnhold med gode egenskaper i fugefrie broer.

### 5.3 Alternativt materialbruk

Ifølge NTP utslipp fra infrastruktur og samferdsel har en forbindelse til konstruksjon i ulike faser. Disse utslippene kan oppstå på grunn av tungtransport som skylder forflytning av byggematerialer og maskiner. Transport og generell produksjon av betong bidrar til høyt klimautslipp fra byggebransjen. Det kongelige klima og miljødepartement vil redusere klimagassutslippene med 40% frem mot 2030. Gjennom litteraturstudiet og intervju gjennomført med de ulike informantene ser vi at det er behov for å redusere utslipp av klimagasser i byggebransjen.

I landkarkonstruksjon benyttes det en massiv armert betong som vanligvis støttes av peler for å unngå setning og sideforskyvninger av landkaret. Betong er et viktig byggemateriale og produksjon av betong står i dag for 5 prosent av verdens klimagassutslipp. Å erstatte deler av sement med alternative bindemidler som flygeaske, slagg og silika gir mulighet til å redusere karbonavtrykk fra betong produksjon. Utfordringen som de fleste informantene opplyste under intervjuet, var at mer bruk av flygeaske og slagg gir tregere fasthetsutvikling enn



betonger uten disse materialene. Selv om flygeaske svekker herdnings egenskapen i betong sammensetting, er det et viktig virkemiddel for å redusere klimautslipp og varmeutvikling fra betong.

Blant de løsningene som ble utforsket i litraturstudie var integrert brolandkar den som har stor mengde bruk av betong. Dype fundament og massive konstruksjoner i integrert brolandkar krever mye materialbruk noe som fører til høyere CO<sub>2</sub> utslipp. Bruk av lavkarbonbetong kan være et alternativt byggemateriale for å redusere CO<sub>2</sub> utslipp. Lavkarbonbetong er i Norsk Betongforenings Publikasjon 37 definert som betong der det er gjort tiltak for å redusere klimagassutslippet ved å bruke alternativt bindemiddel. Norsk Betongforening Publikasjon 37 har delt inn lavkarbonbetong i tre klasser A, B og C hvor A er den strengeste og C er den enkleste å oppnå.

Ifølge publikasjon 37 er det viktig å være klar over at egenskapene til delmaterialene, og valg av proporsjoneringstekniske virkemidler, kan gi effekter på klimagassutslippet. Det typiske proporsjoneringstekniske virkemiddelet vil være å redusere bindemiddelvolumet. Redusert steinstørrelse og redusert steinmengde, vil føre til behov for mer bindemiddel og dermed gi høyere klimagassutslipp. Betong med ekstra høy konsistens, som en selvkomprimerende betong (SKB), vil typisk ha høyere bindemiddelvolum og dermed høyere klimagassutslipp enn en vibrerebar betong. Vedlikehold ansvarlig under intervjuet presiserte også at det kan være litt vanskelig å benytte de høyeste klassene av lavkarbonbetong i konstruksjoner som landkar med mye bruk av armeringer. Informanten indikerte også at det bør brukes selvkomprimerende betong i slike konstruksjoner.

Det anses derfor ikke som praktisk gjennomførbart å benytte de høyeste klassene av lavkarbonbetong i landkarkonstruksjon, der det ikke er mulig å vibrere på grunn av høy armeringens benyttelse i anlegget. Dermed er det viktig å se nærmere på lavkarbonbetong og finne muligheter til å bruke de høyeste klassene av lavkarbonbetong i slike konstruksjoner på en bedre måte. Videre bør bruk av lavkarbonbetong vurderes opp mot andre tiltak som kan begrense klimagassutslippet for prosjektet. Gjennom intervjuet nevnte informantene at bruk av slanke konstruksjoner gir muligheten for reduksjon av betongvolumet og CO<sub>2</sub> utslipp. Under intervjuet viste en av respondenten på overdekningskrav i norske standarder gir lite rom for å redusere tykkelsen i konstruksjoner. I dag er det mulig å redusere overdekningen i konstruksjon ved å bruke syrefaststål eller rustfrittstål som har bedre egenskap mot korrosjon. I tillegg til alternativt bruk av materialer har valg av utformingen, spennvidder og tverrsnittsdimensjon har mye å si for det totale betongforbruket, og på klimagassregnskapet.

Dermed bør disse faktorene tas i vurderingen i kravene og standardene som myndighetene stiller.

Under intervjuet tydet en av aktørene at mange av hovedentreprenører fra utlandet velger tradisjonelle materialer som ikke er gunstig for reduksjon av klimagassutslipp. Dermed adresserte respondenten at det burde legges krav om å følge «LCCA og LCA» i prosjekter for å finne mulige løsninger til materialreduksjon som kan være optimal med tanke på klimagassutslipp og kostnadsbesparelse. LCA «*Life Cycle Analysis*» er en analyse av produktene om hvor stor miljøbelastning material har med tanke på klimagassutslipp. Metoden baserer seg på to forskjellige deler, energibruk og klimagassutslipp som tar utgangspunkt i hele livssyklus til et produkt. I tillegg til LCA bør brukes LCCA «*Life-cycle cost analysis*» analysen ved prosjekter. LCCA analysen er en metode for å estimere kostnadene ved prosjektet for hele levetiden. Videre gir denne metoden oversikt over material kostnader som er gunstig for entreprenører for å ta hensyn miljøperspektiv.

#### 5.4 Miljø innvirkning av landkar typer

Liturstudie viser at jordarmert integrert brolandkar (GRS-IBS) kan være en god løsning for å redusere CO<sub>2</sub> utslipp, siden bruk av peler, stålarmerbetongelementer, og vingemur er unødvendig i jordarmert (GRS)-teknologien. Disse faktorene gjør at bruk av betongmengde reduseres betydelig i jordarmert landkar. Som nevnt i liturstudie fra Japan introduserte en ny metode å bygge jordarmert brolandkar, der frontmuren er plasstøpt med stålarmerbetong slik at punktlasten tas opp av frontmuren. Frontmuren har en mindre innvirkning på miljø fordi den har en slankere konstruksjon som krever mindre bruk av betong. Det er forskjellige metoder og prinsipper å bygge bro med jordarmert landkar, men man kan konkludere at de ikke blir enorm økning i CO<sub>2</sub> utslippet selv om det brukes ulike metoder. Informantene hadde samme synspunkt med det som ble utforsket i litteraturstudie der mente de at jordarmert landkar kan bidra til å redusere betong og, samtidig minimer CO<sub>2</sub> utslippet fra konstruksjonen.

I tillegg opplyste de at en kombinasjon av jordarmert landkar med enten semi eller fullt integrert brolandkar eliminere dypfundament i brokonstruksjon. Dermed kan materialbruket reduseres i konstruksjonen i en større grad og, dette gir en miljøvennlig løsning. Intervjuet i sin helhet gir et inntrykk av at det er en mangel på kompetanse og erfaring i forhold til bruk av nye metoder for GRS-IBS landkar i Norge og mange andre Europeiske land. Som det er

beskrevet i litteraturstudie da den første integrert broen med full-height rigid-fasade ble bygd i 2014 i Europa. Måtte entreprenøren kombinere den teknologien som er mye brukt i Japan, med GRS- integrert brosystemkonstruksjon presentert av FHWA (USA). På grunn av mangel på tidligere erfaring med denne type bro konstruksjon. Derfor kan vi si at mangel på erfaring og kompetanser er en av de viktigste underliggende årsaker til at løsninger fra andre land ikke brukes i Norge. Sett ut fra kostnadens perspektiv jordarmert landkar er billigere til å bygge enn tradisjonell metoden.

CLSM landkar bruker rest materialer fra konstruksjon og biprodukter i fyllingen. Denne løsningen har et mindre behov for betongproduksjon. Sement brukes også i en mindre grad, men fortsatt kan denne metoden gi en forutsetningen for en miljøvennlig løsning. Bruk av sement i CLSM masser er også avgrenset som varierer fra 30 til 120 kg/m<sup>3</sup>. Som det vises i litteraturstudies er mest av restmaterialene er egnet til å bruke som blandingsmaterialer i CLSM. En studiet viste at CLSM masser kan produseres uten Portlandsement med rask herding egenskap. De fleste Informantene under intervjuet presiserte at de var positivt innstilt til mer gjenbruk eller gjenvinne betong i konstruksjon. Men nesten alle respondentene var ikke godt kjent med CLSM landkar og kunne ikke reflektere sine meninger rundt det. Intervjuene har gitt oss et innblikk av at det er en mangel på kompetanse og erfaring blant de norske fagfolk med hensyn til CLSM landkar. Selv om CLSM landkar kan være en optimal løsning med tanke på miljø, er det utfordringer for å ta i bruk CLSM landkar i Norge. Største faktorene i Norge som hindrer for å benytte CLSM landkar er regelverket for gjenbrukt av betong, mangel på kunnskap, erfaring og begrenset lengde på spennvidde. Som litteraturstudie viser CLSM har ikke behov for tungtransport og anleggsmaskiner under konstruksjonen som fører til reduksjon av karbonavtrykk.

Det er visse utfordringer som forhindrer bruk av nye metoder fremfor de tradisjonelle. Som de fleste respondentene belyste at prosjekter er alltid tidsavgrenset og entreprenøren prioritere valg av de tradisjonelle metoder med mindre risiko. Avtalt kontrakten med begrenset tid, budsjett og rammene satt av byggeren utelukker mulighetene for hovedentreprenører å benytte innovative landkarløsninger. Entreprenørene vil ikke optimalisere konstruksjon med hensyn til miljø fordi det er tidskrevende og kostbart. Derfor må myndigheten komme tydeligere krav slik at det brukes miljøvennlige materialer. Byggherre og entreprenør må også ha en tydelig strategi og være åpen for nye løsninger.

## 5.5 Mulige tiltak og virkemidler

### 5.5.1 Prefabrikkering

Prefabrikkert konstruksjon krever kortere tidsramme enn plasstøpt konstruksjon. Under produksjonsfasen gir prefabrikkering også mulighet for kvalitetskontroll og redusere behovet av arbeidskraft under montasjen av konstruksjon. Dette vil redusere de samlede bygge kostnadene. Men som intervjuene viser er det ganske stor usikkerhet om bruk av prefabrikkert konstruksjon kan redusere betongbruket og karbonavtrykket. Noen av informantene mente at prefabrikkertelementer påvirker materialbruket i en mindre grad. Derimot mente andre respondentene at prefabrikkert elementer kan gi en reduksjon i betongbruk og karbonavtrykk siden de er slankere og gjør at overbygningen blir lettere med hensyn til vekten. Dette fører til mindre belastning i landkaret hvor man kan slippe å dimensjonere massive landkar.

Prefabrikkertelementer er optimalisert enn plasstøpt konstruksjoner fordi at unødvendig egenvekt unngås. Disse forandringer gir fordeler med hensyn til klima, redusert betongbruk som regel betyr redusert utslipp. Ulempen med prefabrikkering kan være at de har lengere transportvei. I tillegg har de behov for tungtransport og anleggsmaskiner. Ifølge NTP utgjør tungtransport 5.8 prosent av nasjonale utslipp. Derfor er det ganske viktig å vurdere klimagassregnskapet med tanke på transport når prefabrikkering sees som en løsning. Generelt må det settes søkelys på de aspektene ved konstruksjonsløsningene som er direkte tilknytning til klimagassutslippet. Det er også viktig å belyse fordeler ved benyttelse av prefabrikkertelementer i konstruksjonen i et miljøperspektiv. Dette er vurderinger som må gjøres i hvert enkelt prosjekt.

### 5.5.2 Standardisering

Som det er beskrevet i resultatdelen standardisering av bygg konstruksjoner har vist seg å være nyttig med tanke på materialreduksjon og effektivitet. Men det er litt uklart om standardisering av landkar kunne hjelpe med å minimere materialbruket og karbonavtrykket. Blant annet at det er ofte vanskeligere å standardisere siden prosjektene er ulike fra hverandre. Dette ble også frempeket av intervjuobjektene under intervjuet. Hvor de opplyst at Norske myndighetene ofte stiller strenge krav på utførelsen av konstruksjonen som kan medfører at man benytter de tradisjonelle løsninger, uten noen forbedringer. En entreprenør belyste at standardisering vil ofte være vanskelig og ikke materialreducerende i mange tilfeller. Videre ble det klart at standardisering er en ressurskrevende prosess som krever mye tid, penger for

dimensjonering. Basert på intervjufunnene standardisering anses som ikke gunstigløsning for broprosjekter hvor ulike prosjekter har ulike forhold og ulike løsninger. En annen informant kritiserte også håndbøkene fra statensvegvesen at de har for mye teoretiske krav istedenfor å ha funksjonskrav som gir større muligheter for å finne løsninger og materialbesparelser.

I jordarmert landkar så brukes det prefabrikkert betongblokker (CMU) som frontmur. Prefabrikkert paneler benyttes også i CLSM landkar. Dersom det er mulig å standardisere disse elementene slik at de gir en minimert materialbruk, vil det bidra med å oppnå reduksjon i karbonavtrykket.

## 5.6 Konstruksjons optimalisering og brospenn

Under intervjuet ble det opplyst at det finnes mange faktorer som kan påvirke brospenn. Det ble opplyst gjennom intervjuet at veilinjeføring i prosjektet bestemmes i forhold til broakse. Basert på intervjuet tydet mange av intervjuobjektene at veglinjeføringer er et viktig punkt som påvirker materialbruket. I prosjektene blir veilinjeføringen vurdert for å minimere skjevheten i brokonstruksjoner som gir mindre brospenn. Vi mener at mindre skjevheten gir kortere brospenn som fører til mindre bruk av betongmaterialet. Det ble opplyst at mange av valgene som blir tatt i planleggingsfasen av linjeføringen er avgjørende for kostnad, materialbruk, effektivitet og tiden man bruker i prosjektene. Dersom det brukes et standartprofil på veibredde og skulder i underliggende vei gir det kortere brospenn. Da trenges ikke massivt landkarkonstruksjon siden det gir mindre belastningen fra brooverbygging. Under intervjuet ble det opplyst at veilinjeføring er avhengig av sikthorhold for trafikanter. Vi mener at en godt planlagt veilinjeføring i prosjektet har mulighet til å unngå dårlig sikthorhold i broovergang. Det fører til korte og rette overføring i brokonstruksjoner.

Optimalisering av veigeometri gir muligheter til reduksjon av betongmaterialer. Med optimalisering av veigeometri menes det å mimere brobredden og brospenn så kort som mulig. Brobredden kan mimeres ved å føre veikrysningen lengere unna broenden da vil dette eliminere behov for skulder i broenden. For å minimere brospenn kan man benytte jordarmerte masser i korte broprosjekter. Løsningen vil da eliminere behov for massivt landkar av betong for å oppnå en «*Full retaining abutment*» men heller benyttes det jordarmering som endestøtte.

Videre er grunnforholdene et viktig punkt som påvirker utforming og materialbruket til landkaret. Dårlig grunnforhold i landkarkonstruksjon under et broprosjekt kan unngås med grunnundersøkelse og geotekniskrapport i planleggingsfasen. Dette vil føre til lettere landkarutforming med mindre kostnad og materialer. Det ble opplyst av respondenter under intervjuet at dårlige grunnforhold gir større dimensjonerings utfordringer, som ofte fører til større mengder materialbruk i prosjektet. I tillegg adresserte en av informantene at fagfolk mangler nødvendige kunnskap om laster og jordtrykk som fører til overdimensjonering av landkarkonstruksjon. Derfor er det nødvendig for samarbeid mellom geotekniske ingeniører og bruingeniører under landkarkonstruksjon. Videre ble det kommentert av informanten at fundamentering ved fjell gir besparelse på betongbruk.

I tillegg til grunnforholdene skal det tas hensyn til terrengbehandling under broprosjektering. Basert på funnen fra intervjuet kan tilpassing av terreng føre til materialbesparelser som gir mindre klimagassutslippene. Videre ble det opplyst av respondenter at mange legger vekt på estetikk i brokonstruksjoner, noe som har ført til man dimensjoner lengere brospenn sammenlignet med perioden før 1990. Fokus på estetikken fører til mer åpent tverrsnitt under bro som fører til lengre brospenn. Videre ble det utpekt av respondenten at i perioden 1990 ble det benyttet høye landkarkonstruksjoner til stabilisering av massene bak landkar mens løsningen førte da til kortere brospenn. Basert på funnen fra intervjuet og litteraturstudiet kan terrengtilpassing benyttes aktivt til å få gode løsninger med tanke på å minimere materialbruket i brokonstruksjoner. Ved terrengstilpassinger er det viktig å vurdere materialbruket i hele konstruksjon og ikke velge løsninger som f.eks. gir materialreduksjon i landkar, mens gir mer materialbruket i overbygningen.

## 6 Konklusjon

Gjennom bachelorstudiet oppdaget vi ulike tiltak og utfordringer i bygg og anleggsnæringen for å optimalisere landkarkonstruksjoner og utnytte materialer i en sirkulær økonomi. Under planleggingsfasen er det viktig å ta vurdering til tiltakene og virkemidler for å redusere bygge avfallsmengder, samt økt gjenbruk og ombruk av byggematerialer. Under intervjuet med respondentene ble det opplyst årsaker til bruk av store mengder av betong til

landkarkonstruksjoner. Respondentene under intervjuet nevnte varierende forhold som påvirker betong volum på landkarkonstruksjoner. Disse faktorene er oppsummert i følgende:

- Landkarkonstruksjoner som står på dårlige grunnforhold.
- Dårlig terrengbehandling i broprosjekter. Det er viktig å se etter mulige terreng tilpasninger for å minimere brospenn i prosjekter.
- Lite vurderinger i planleggingsfase til veilinjeføring med hensyn til dårlige grunnforhold og brooverganger.
- Lite utnyttelse av mulighetene i veigeometri for å minimere brobredden.
- Begrenset tid og budsjett ved prosjekter som påvirker landkarløsninger og materialvalg.
- Strenge krav og regelverk til konstruksjoner.

Gjennom studiet fant vi at fagfolk tar lite vurderinger til veilinjeføring og terrengtilpassing i planleggingsfase. Vurdering av linjeføringer i planleggingsfase kan gi mulighet til å velge optimalt brospenn med minst skjevhet. I tillegg kan vurdering av veilinjeføring hjelpe til å unngå landkarkonstruksjoner på dårlige grunnforhold. Videre gjennom studiet ble det opplyst at dårlig terrengbehandling i broprosjekter er årsaken til mye betongbruk i prosjekter. Det er viktig å benytte mulige terrengtilpasninger i prosjekter. Under studiet fant vi at jordarmerte landkarløsninger kan være aktuelt for å stabilisere terrengmassen. Jordarmerte (GRS-IBS) landkarløsningen vil eliminere behovet for massive landkarkonstruksjoner til å stabilisere terrengmassene. Videre er det mulig i en standard veigeometri å unngå skulder i underliggende vei noe som fører til kortere brospenn i kryssende bro. I tillegg kan rundkjøringer føres lengre unna broenden for å unngå større broenden og landkar.

Gjennom bachelorstudiet ble det påvist mange muligheter ved å bruke miljøvennlige materialer på landkarkonstruksjoner. Men det er stor mangel på innovasjon, forskning og investering i norsk bygg og anleggsnæringen sammenlignet med andre land. Det skyldes at hovedentreprenør har begrenset tidskjema og budsjett i prosjektet for å erstatte materialet med miljøvennlig alternativer. Vi fant også gjennom studiet at prosjektene har barrierer i regelverket og standardene for å ta i bruk miljøvennlig løsninger. Hvis regelverket gir mer rom for kreativitet og material erstatning, kan byggherre systematisk tilrettelegge krav til hovedentreprenør å bruke miljøvennlig materialer i konstruksjoner.

I litteraturstudie er det presentert ulike løsninger for landkar med hensyn til reduksjon av betongbruk. Basert på studien gjort gjennom arbeidet, har det blitt avdekket de relative fordelene ved bruk av jordarmert landkar (GRS-IBS) og CLSM landkar med tanke på reduksjon av betongbruk. Dermed kan det konkluderes med at det er et potensiale for å bruke materiale i en sirkulær økonomi ved bruk av jordarmert landkar og CLSM landkar. Funnene gjort gjennom litteraturstudien indikerer at CLSM landkar benytter restmaterialer og biprodukter i fyllingen som fører til redusert bruk av sement og utslipp av klimagasser.

I forhold til reduksjon av betongbruk viser resultatene at jordarmert landkar har minst betongbruk i konstruksjonen. Jordarmert landkar er bygget opp av stein/grus lagt lagvis med geosynteter imellom. Dermed materialene brukt i konstruksjonen masser som er lett tilgjengelige. Teknologien kan også kombineres med semi eller fullt integrert brulandkar for å redusere betongbruk i konstruksjonen. Det har kommet frem i samråd at denne type konstruksjon er en metode det bør satses på i Norge. Utefra bakgrunnsstoff som vi har funnet viser det seg at denne metoden gir en vesentlig betongreduksjon i konstruksjonen. Vi mener dette er en gunstig løsning, og kan ha en positiv effekt med tanke på reduksjon av betongbruk.

Engasjement fra Staten og bransjen kan minimere risikoen ved å anvende miljøvennlige materialet i landkarkonstruksjon. Alle aktørene i byggebransjen har ansvar for å bygge opp kompetanse ved å samle erfaring fra andre land. Det kan være aktuelle å henvise til landene med mer erfaring og teknologi å anvende miljøvennlig materialer. I litteraturstudiet viser det alternativmetoder å anvende betongsammensetning av biprodukter og resirkulert materialer som fyllmasser i landkarkonstruksjoner. Mulighet for stadig bruk av resirkulering som betong, fører til mindre behov for å ta ut nye råvarer. Utnyttelse av alle ressurser best og lengst skaper minst mulig avfall til deponi, og i stedet skaper det en sirkulær økonomi.

Studiet viser at analysemetoden som «LCCA» og «LCA» av materialer burde være krav i prosjektene for å redusere karbonavtrykk fra materialene. Disse analysene hjelper med å evaluere materialer med miljøbelastning og fordeler fra produksjon, transport, kostand og bruk i forhold til levetiden. Gjennom studiet fant vi at materialer som flygeaske, slagg og silika i betongsammensetning gir stor reduksjon av klimagassene, selv om det gir lengre herdningstid i betongen. Men vi kan konkludere at det er nødvendig med bedre teknologi og



kunnskap for å bruke miljøvennlige materialer som lavkarbonbetong i landkarkonstruksjoner.

### 6.1 Anbefaling til videre arbeid

Siden CO<sub>2</sub> utslipp fra betong bidrar til stor mengde av klimagassutslipp i bygg og anleggsnæringen, er det nødvendig å undersøke effektive og innovative metoder for å utnytte betong i konstruksjoner. Videre er det viktig å vurdere nærmere om endringer i dagens regelverk vil åpne for muligheten til å effektivisere og minimere betongbruk i praksis. Dessuten bør bruk av lavkarbonbetong i landkar forskes nærmere med tanke på styrke, komprimeringsgraden og herdnings egenskapen. Det bør utforskes muligheten for at lavkarbonbetong kan gi slankere konstruksjoner, og dermed bidra til mindre betongvolum. Bruk av prefabrikkerte elementer i landkarkonstruksjon bør undersøke nærmere med tanke på ombruk, avfallshåndtering og utslipp.

I oppgaven hadde vi begrensninger på betong og landkarkonstruksjoner med minst brospenn på 19 m. Derfor er det viktig å utforske mer på de øvrige konstruktive løsninger som kan gi materialreduksjon i landkarkonstruksjoner. Under studiet var vi litt inn på rustfri stål og syrefast stål som gir bedre motstand mot korrosjon. Det er nødvendig med grundig arbeid å utforske mulighet for å redusere overdekningskravet.

Til fremtidig forskning anbefales å utføre pilotprosjekter i samarbeid med både privat aktører, organisasjoner og offentlig myndigheter. Siden vår rapport baserer seg på allerede etablert funnene fra andre deler av verden, er det behov for å finne barriere i forhold til norsk teknologi, klima og miljø. Gjennomføring av pilotprosjektene som tester miljøvennlige landkarløsninger, kan gi nødvendige dytt til byggenæringen. Det kan bidra med mer kompetanse og erfaring hos entreprenører for å ta i bruk nye løsninger i praksis.



OSLO METROPOLITAN UNIVERSITY  
STORBYUNIVERSITETET

## Eliteintervju guide

### Introduksjon

Under bacheloroppgaven vil det utforske ulike løsninger for landkarkonstruksjon. Vi har kommet frem til forskjellige optimale løsninger med tanke på material bruk og miljø. I foreløpig har vi følgende løsninger:

#### Integrert landkar

Integrert landkar er en type landkarkonstruksjon uten ledd «fuge» som overbygningen avsluttes direkte mot vegfylling. Det vil være en kontinuerlig ledd fra overbygningen ned til fundamentet. Denne kontinuerlig ledd kalles «endscreen». I tillegg vil plate føres videre fra bruenden.

#### Jordarmert landkar (GRS) og MSE

Jordarmert brulandkar (GRS) bygges med stein/grus lagt lagvis og, med tett plassert geosyntetisk forsterkning imellom. Den har tre hovedkomponenter: fundament, armert fylling og integrasjonssonen. Mechanically Stabilized Earth (MSE) har samme prinsippet og brukes det samme materialer. Forskjellene mellom MSE og GRS ligger i stor grad i den interne stabilitets designen.

#### CLSM landkar

CLSM landkar er en metode hvor det bruke rest materialer som ikke er egnet til å gjenbruke som byggemateriale. Under konstruksjon av landkar bruker CLSM materialene som fyllmasser for å ta lastene fra bro overbygging. Ved bruk av avfall materialene gir det anledning for bygg bransjen å utarbeide sammen med FN klima mål for bærekraftig utvikling.

### Intervju spørsmålene

Vi prøver å finne ut utfordringene ved redusering av material bruk og co2 utslipp ved bebyggelse av bro konstruksjoner. Spørsmålene er delt i tre hoved faktorer som er miljø, materialer bruk i konstruksjonen og innovative løsninger.

## **Innlending**

- Faglig bakgrunn av informant: Firma, roller og erfaring
- Hva bestemmer valg av type landkar i bruer?
- Hvor stor påvirkning har grunnforhold og terrenget i landkar?

## **Hoveddel**

### **Samferdsel**

- I Norge har regjeringen bestemt for å redusere utslipp co2 for å oppnå karbonnøytralt klimamål inne 2030. Hvordan vil din rolle bidra med å optimalisere for miljøvennlig landkar? (løsningene)
- Hvor mye miljø vennlig materialer som lavt karbon brukes i konstruksjonen i dag? Hva som hindrer det å bli benyttet?
- Hvordan eller hvem har ansvar for at byggebransjene bruker miljøvennlige materialer?

### **Materiale bruk**

- Hva er de største faktorene som gjør at det brukes mye materialer (betong) i landkar?
- I hvilken grad kan standardisering, veilinjeføring og prefabrikking redusere materiale bruk?
- Benyttes det resirkulert betong eller CLSM materialer i konstruksjonen i dag i Norge? Hvordan er din (rolle) holdning til bruk av resirkulert betong eller CLSM i konstruksjon?

## **Avslutning**

- Hvilke av våre løsninger er mest relevante i Norge. Har du noen kommentar rundt det?
- Hva er det største hindring for å bruke nye innovative konstruksjon løsningene i Norge?
- Noe annet du vil legge til?

# Forespørsel om deltakelse i forskningsprosjekt

Herved inviter vi deg til å delta i et forskningsprosjekt som gjennomføres av studenter ved OsloMet storby universitet. Vi velger deg som en aktuell kandidat for å bidra med dine perspektiv og erfaringer.

Tittel:

*«Konseptstudie på alternative løsninger for landkar for broer i veilinjen og over, finne mer materialgjerrige løsninger.»*

### Hensikten:

Vi er tre studenter ved OsloMet storby universitet i bygg ingeniør linje som skriver avsluttende bacheloroppgave sammen med Betongelementforeningen. Denne bacheloroppgaven legger vekt på reduksjon av materialene brukt i landkar. Ved reduksjon på materialet legges oppgaven vekt på miljø vennlige løsninger for å oppnå regjernings krav om reduksjon av CO2.

Deltakelsen på forskningsprosjektet innebærer en kvalitet intervju. Lengden på intervjuet blir 60 minutter. Intervjuet blir en formell type som består av åpent spørsmål strukturert etter hovedtema. Intervju spørsmålene og alle andre informasjonen som er nødvendig for å utføre intervju finner du i intervjuguiden.

### Bakgrunn:

Oppgaven blir løst på tre forskjellige deler hvor første delen er litteratur studiet av innovative løsninger på landkar. For å kvalitet sikre oppgaven blir det gjennomført kvalitet intervjuet av ulike aktører i bygg bransjen. Deretter for å få et realistisk overblikk og vurdere gjennomførbarhet av løsningene legger oppgaven vekt på en case studiet.

Alle informanter for kvalitativ intervjuet velges på grunn av stillings bakgrunn og erfaring med brokonstruksjoner og/eller prefabrikkering eller miljø hensyn. Dataene fra intervjuet blir notert på boka underveis i intervju prosessen.

### Personvern:

I henhold til EUs personvernforordning (GDPR) skal NSD (nasjonalt arkiv og senter for forskningsdata) forhåndsvurdere forskningsprosjekter som behandler personopplysninger av alle slag. Derfor blir alle informantene fra intervjuet anonymisert under skriving og transkribering prosessen. Alle personopplysninger vil bli behandlet konfidensielt. Kun prosjektgruppen vil ha tilgang til intervjuene.

Prosjektet etter planen avsluttes ved 25.05.2020. Bevisene og alle typer informasjon hvor informantene kan bli indentifisert blir slettet eller ødelegges etter de er brukt.

Dersom det er noen spørsmålene rundt intervjuet og oppgaven, ta gjerne kontakt med Jenish Baniya på eposten, [jenis7@live.com](mailto:jenis7@live.com).

Med vennlig hilsen

Jenish Baniya

Silmon Berhane Tsegai

Haji Hossin Baqeri

## 8 Kildeliste

### 8.1 Figurlister

Figur 1.1 Oppsummerende figur på bygg og anleggssektorens andel av Norges klimagassutslipp (Larsen, 2019) .....	2
Figur 1.2: Illustrere Det Kongelige Klima og Miljødepartements plan mot en grønn økonomi (Samferdselsdepartementet, 2016-2017).....	2
Figur 1.3: Viser ny dimensjonering av veibredden (Aanesland, 2020) .....	5
Figur 2.1: Viser landkar som bærekonstruksjon til brooverbygging.....	6
Figur 2.2 Viser ulike lastene som blir påført på lankarfundament (Vegvesen, 2014a) .....	7
Figur 2.3: Illustrere ulike dyfundamentering prinsippet (Vegvesen, 1990) .....	9
Figur 2.4 Viser hvordan NORCEM har redusert utslippene siden ca. 1990, i 2030 vil utslippene fra produksjonen være nøytrale i et LCA perspektiv.(Sunde, 2019).....	16
Figur 2.5 Viser de fire teknologiene som er vurdert for NORCEM AS sin sementfabrikk i Brevik, i 2018 valgte man å gå videre med amin teknologien fra Aker Solutions (Sunde, 2019).....	17
Figur 2.6: Sammenligner CO <sub>2</sub> - utslipp fra forskjellige landene i verden fra 1990-2018 (Miljødirektoratet, 27.05.2019) .....	25
Figur 2.7: Viser CO <sub>2</sub> utslippene fra ulike klasser av lavkarbonbetongfasthet (betongforening, 2015) .....	28
Figur 2.8: Viser oversikt over tidslinje med arbeidet på NTP 2018-2029 (Samferdselsdepartementet, 2017) ....	29
Figur 2.10 Viser regjeringens omvendt avfallshierarkiet (Samferdselsdepartementet, 2016-2017) .....	32
Figur 3.1: Illustrerer forhold mellom reliabilitet og validitet med nøyaktighet (Hernandez, 2017).....	34
Figur 4.1 Viser ulike fugefrie broløsninger, med ulike landkar former. Det er inkludert rammekonstruksjon ((a),(b)), fullt integrert landkar ((c),(d)) og semi-integrert landkar ((e),(f)). (Hällmark, 2006).....	42
Figur 4.2 Typiske integrerte landkar med stålbjelker. (Pétursson, 2006).....	43
Figur 4.3 Viser en detaljtegning av integrert bro med forspent brobjelker til brooverbygningen. (Pétursson, 2006) .....	44
Figur 4.5 Endeskjørt (Pétursson, 2006).....	46
Figur 4.4 Detaljtegning av semi integrerte landkar(Pétursson, 2006) .....	46
Figur 4.6 Illustrere termiske påvirkningen på integrerte landkar (Arenas, Filz, & Cousins, 2013; Arsoy, Barker, & Duncan, 1999).....	47
Figur 4.7 Viser detaljtegning av integrert landkar på pel. (Pétursson, 2006).....	48
Figur 4.8 a) Illustrere pel fundamenter av «post holes» b) Viser detaljtegning av pel fundament kombinert med jordarmerte løsning (Pétursson, 2006) .....	49
Figur 4.9: Viser ulike fundamenteringsmetoder. (Agrawal, Jalinoos, Davis, Hoomaan, & Sanayei, 2018) .....	52
Figur 4.10 «Sill abutment» landkar plassering i toppen av terrenget. (Keltner, 2015) .....	53
Figur 4.11 Illustrerer «Semi-Retaining» (Keltner, 2015).....	54
Figur 4.12 Fremstiller «Full retaining» plassering av landkaret på bunnen av terrenget. (Keltner, 2015) .....	54
Figur 4.13 Integrert landkar kombinert med «MSE» jordarmering (Arenas et al., 2013).....	55
Figur 4.14 Illustrere bruk av MSE landkar kombinert med «bankseat» (Agrawal et al., 2018).....	56
Figur 4.15 Viser kostnadsoversikt over de fem fundamenteringstype. (Pétursson, 2006) .....	57
Figur 4.16: Viser oppbygging av jordarmert brulandkar (Adams & Nicks, 2018) .....	59
Figur 4.17: Illustrasjon. Geosyntetisk rulleretning.(Adams & Nicks, 2018).....	62
Figur: 4.18 Illustrasjon av frontmur med forskjellige støttemur (Adams & Nicks, 2018) .....	64
Figur 4.19 Illustrerer A) Byggeprosedyre B) Detaljer om forbindelsen mellom fasaden og det armerte fyllingen(Tatsuoka et al., 2016) .....	65
Figur 4.20: Jordarmert landkar (GRS bridge abutment) (Tatsuoka et al., 2016).....	66
Figur 4.21: Jordarmert integrert brulandkar (GRS integrert bridge abutment) .....	66
Figur 4.22: Viser aktivt sone når jordarmert landkar påfører laster .....	67
Figur 4.23: Koikorobe-sawa bro i Japan (Tatsuoka et al., 2016) .....	69

Figur 4.24: Viser intern stabilitet i landkar (Adams & Nicks, 2018) .....	71
Figur 4.25 Founders/Meadows jordarmert brulandkar konfigurasjon(S. M. Helwany et al., 2003) .....	74
Figur 4.26 Founders/Meadows jordarmert brulandkar nær Denver, Colorado.(S. M. Helwany et al., 2003) .....	74
Figur 4.28: Sammenligner innvirkninger av begge brokonstruksjoner(Bizjak & Lenart, 2018).....	77
Figur 4.29 Landkar med CLSM masser (Alizadeh, Helwany, Ghorbanpoor, & Oliva, 2014).....	78
Figur 4.30 CLSM landkarkonstruksjon typer (Alizadeh, 2019).....	79
Figur 4.31: Typisk andel av materialer i CLSM (Ling, Kaliyavaradhan, & Poon, 2018) .....	80
Figur 4.34 Spenning som oppstår etter ulike dager (S. Helwany et al., 2012) .....	83
Figur 4.37: Luft innhold og trykkfastheten av CSLM med naturlig tilslag. (Etxeberria et al., 2013) .....	87
Figur 4.40 Trykkfastheten av fem CLSM blandinger (Etxeberria et al., 2013) .....	89
Figur 4.41 Testmodellen av CLSM landkar (Alizadeh et al., 2014) .....	94
Figur 4.42: Viser 100 dagers utvikling av trykkfasthet i CLSM masse herdet under forskjellige temperatur (Alizadeh, 2016).....	95
Figur 4.43 Viser deformasjon som oppstå på landkar under belastning(Alizadeh et al., 2015).....	96
Figur 4.44 Forflytning av panel ved ulike belastning(Alizadeh, Helwany, Ghorbanpoor, Oliva, & Ghaderi, 2015) .....	97
Figur 4.45 CLSM landkar (a) Herdings tid (b) Herdings temperatur.....	98
Figur 4.46 Forhold mellom belastning og forflytning av panel ved fleksibelt landkar, bredde på 1,5 m (Alizadeh, 2019) .....	99
Figur 4.47 Forhold mellom belastning og forflytning av panel ved stivt landkar, bredde på 1,5 m (Alizadeh, 2019) .....	100

## 8.2 Tabell lister

Tabell 2.1: Viser ulike eksponeringsklasser, bestandighetsklasse og fasthetsklasser. (Unicorn, 2016).....	15
Tabell 2.2 Oversikt fra byggeaktivitet i Norge fra Statistisk Sentral Byrå.....	20
Tabell 2.3: Hentet fra Statistisk Sentralbyrået som viser avfallsmengde fra byggeaktivitet .....	31
Tabell 3.1: Viser en anonymisert oversikt over intervjuobjektene og erfaring .....	38
Tabell 4.1: Viser oversikt over fordeler og ulemper ved fugefrie bruer .....	58
Tabell 4.2: Viser oversikt av miljøbelastning av tradisjonelle brokonstruksjon (Bizjak & Lenart, 2018) .....	76
Tabell 4.3: Viser oversikt over miljøbelastning av GRS-IBS (Bizjak & Lenart, 2018).....	76
Tabell 4.4 Viser utviklet trykkfasthet av ulike CLSM blandingsmaterialer (S. Helwany, Ghorbanpoor, & Oliva, 2012) .....	82
Tabell 4.5: Utvikling av fasthet av blanding etter herding (Alizadeh, 2019) .....	82
Tabell 4.6 Ulike andel av materiale i CLSM blanding (Nataraja & Nalanda, 2008) .....	84
Tabell 4.7: Blanding andel av CLSM per kubikk meter og resultatet (Etxeberria et al., 2013) .....	87
Tabell 4.8: Blanding av CLSM med resirkulert tilslag (Etxeberria et al., 2013).....	88
Tabell 4.9: Viser andel av materiale i blanding av CLSM med 40%, 50% og 100% (Etxeberria, Ainchil, Pérez, & González, 2013) .....	89
Tabell 4.10: Oppsummerer fordeler og ulemper ved bruk av CLSM materialer .....	93

### 8.3 Referanse

- Aanesland, A. (2020). SMART firefelt gir mer trafikksikker vei for pengene [Press release]. Retrieved from <https://www.nyeveier.no/nyheter/nyheter/smart-firefelt-gir-mer-trafikksikker-vei-for-pengene/>
- Aarhaug, O. R. (1992). *Geoteknikk*.
- Adams, M., & Nicks, J. (2018). *Design and construction guidelines for geosynthetic reinforced soil abutments and integrated bridge systems*. Retrieved from
- Adams, M., Nicks, J., Stabile, T., Schlatter, W., & Hartmann, J. (2012). *Geosynthetic reinforced soil integrated bridge system, interim implementation guide*. Retrieved from
- Agrawal, A. K., Jalinoos, F., Davis, N. R., Hoomaan, E., & Sanayei, M. (2018). Foundation Reuse for Highway Bridges. Retrieved from <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38030>
- Alizadeh, V. (2016). The Sustainable Application of Fly Ash in Bridge Abutments. *Geotechnical Special Publication*, 272, 159-166. doi:10.1061/9780784480151.017
- Alizadeh, V. (2019). Analytical study for allowable bearing pressures of CLSM bridge abutments. *Transportation Geotechnics*, 21, 100271. doi:<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2019.100271>
- Alizadeh, V., Helwany, S., Ghorbanpoor, A., & Oliva, M. (2014). Rapid-construction technique for bridge abutments using controlled low-strength materials. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 28(1), 149-156.
- Alizadeh, V., Helwany, S., Ghorbanpoor, A., Oliva, M., & Ghaderi, R. (2015). CLSM bridge abutments – Finite element modeling and parametric study. *Computers and Geotechnics*, 64, 61-71. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2014.10.015>
- Almar-Næss, N. C. N. o. A. (11. april 2019). Stål. Retrieved from <https://snl.no/st%C3%A5l>
- Andersen, G. (2019). Valg av forskningsmetode. Retrieved from <https://ndla.no/subjects/subject:19/topic:1:195989/topic:1:195829/resource:1:56937>
- Anne Birgitte Leseth, S. M. T. (2018). *Hvordan lese kvalitativ forskning*: Cappelen Damm akademisk.
- Arenas, A. E., Filz, G. M., & Cousins, T. E. (2013). Thermal response of integral abutment bridges with mechanically stabilized earth walls. 75. Retrieved from <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/26065>
- Argyroudis, S., Palaiochorinou, A., Mitoulis, S., & Pitilakis, D. (September 2016). Use of rubberised backfills for improving the seismic response of integral abutment bridges.
- Arsoy, S., Barker, R. M., & Duncan, J. M. (1999). The behavior of integral abutment bridges. Retrieved from <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/19507>
- Basal. (2019). Retrieved from <https://www.basal.no/Teknisk-informasjon/brukerveiledning-handtering-overvann>



- betong, M. f. (2016). Ombruk og materialgjenvinning av betong. Retrieved from <https://www.byggutengrenser.no/download/ombruk-og-gjenvinning-av-betong/>
- Betongforening, N. (2008). CO2-Utslipp-Sement og betong-Utfordringer og perspektiver. In: Norway: Norsk Betongforening.
- betongforening, N. (2015). publikasjon 37. Retrieved from <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/>
- Betongforening, N. (2018). *BETONG OG MILJØ*. Retrieved from [https://betong.net/wp-content/uploads/NB-rapport-nr-6\\_Betong-og-milj%C3%B8.pdf](https://betong.net/wp-content/uploads/NB-rapport-nr-6_Betong-og-milj%C3%B8.pdf)
- Bizjak, K. F., & Lenart, S. (2018). Life cycle assessment of a geosynthetic-reinforced soil bridge system—A case study. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(5), 543-558.
- bygg21. (2018). Bygg- og eiendomssektorens betydning for klimagassutslipp. Retrieved from <https://www.bygg21.no/rapporter-og-veiledere/bygg--og-eiendomssektorens-betydning-for-klimagassutslipp/byggsektoren-kan-redusere-utslipp-i-transportsektoren-gjennom-riktig-lokalisering-og-krav-til-fossilfri-transport/>
- Byggeindustrien. (2013). Trine Dyrstad Pettersen til Byggevarerindustriens Forening. *Byggeindustrien*. Retrieved from <http://www.bygg.no/article/109373>
- Dag Gundersen. (2017). Vitenskap. Retrieved from <https://snl.no/vitenskap>
- Etzeberria, M., Ainchil, J., Pérez, M. E., & González, A. (2013). Use of recycled fine aggregates for Control Low Strength Materials (CLSMs) production. *Construction and Building Materials*, 44, 142-148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.02.059>
- Grønmo, S. (2018). Validitet. Retrieved from <https://snl.no/validitet>
- Hällmark, R. (2006). Low-cycle fatigue of steel piles in integral abutment bridges. In.
- Helwany, S., Ghorbanpoor, A., & Oliva, M. (2012). *A novel abutment construction technique for rapid bridge construction: controlled low strength Materials (CLSM) with full-height concrete panels*. Retrieved from
- Helwany, S. M., Wu, J. T., & Froessl, B. (2003). GRS bridge abutments—an effective means to alleviate bridge approach settlement. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(3), 177-196.
- Hernandez, D. M. K. (2017). Quant: Validity and Reliability. In.
- Holme, I. M. (1996). *Metodevalg og metodebruk*. [Oslo]: TANO.
- Industrifond, D. g. f. i. n. N. (2006). ARMERTJORD OG FYLLINGER. Retrieved from [ngf.no/wp-content/uploads/2015/03/Handbook\\_2006.pdf?fbclid=IwAR1A3DA5dOsLVE-EAEfS9B4A9W7UaY8wfQbPIRr--6ceutw7HUI1S13lyho](http://ngf.no/wp-content/uploads/2015/03/Handbook_2006.pdf?fbclid=IwAR1A3DA5dOsLVE-EAEfS9B4A9W7UaY8wfQbPIRr--6ceutw7HUI1S13lyho)
- Johansen, H. (2008). Korrosjonsbestandige stål.

- Keltner, L. D. (2015). Permeability and lateral earth pressure in granular backfill against bridge abutments.
- Larsen, H. N. (2019). *BYGG- OG ANLEGGSEKTORENS KLIMAGASSTUTSLIPP*. Retrieved from [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf)
- Litteraturstudie som metode. (2018). lectures, N. [Mobile application software]. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=KF3PtpaDsm8>
- Lenart, S., Kralj, M., Medved, S. P., & Šuler, J. (2016). Design and construction of the first GRS integrated bridge with FHR facings in Europe. *Transportation Geotechnics*, 8, 26-34.
- Ling, T.-C., Kaliyavaradhan, S. K., & Poon, C. S. (2018). Global perspective on application of controlled low-strength material (CLSM) for trench backfilling—An overview. *Construction and Building Materials*, 158, 535-548.
- Maage, M. (2015). *Betong- Regelverk, Teknologi og utførelse*: Byggenæringens Forlag AS.
- Miljødirektoratet. (27.05.2019). Klima. Retrieved from <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/>
- Nataraja, M. C., & Nalanda, Y. (2008). Performance of industrial by-products in controlled low-strength materials (CLSM). *Waste Management*, 28(7), 1168-1181. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.030>
- ndla. (2018). Betong. Retrieved from <https://ndla.no/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:142929>
- ndla. (2019). Armering. Retrieved from <https://ndla.no/subjects/subject:11/topic:1:183108/topic:1:158640/resource:1:141146>
- Nordal, H. L. o. O. (2018). Gjenvinning. Retrieved from <https://snl.no/gjenvinning>
- Nordbotten, G. (2015). Mekaniske brufuger: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015.
- Nordbotten, G. (2016). Optimal lengde på fugefrie bruer: Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015.
- Ooi, P. S., Adams, M. T., & Lawrence, J. B. (2019). Long-Term Behavior of a Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System in Hawaii. *Transportation Research Record*, 2673(2), 571-582.
- Pétursson, H. (2006). *International workshop on the bridges with integral abutments : topics of relevance for the INTAB project (14021536 (ISSN))*. Retrieved from Luleå: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-21849>
- Ramstad, K. I. E. o. T. Ø. (2014). *Trehus*: Sintef akademisk forlag.
- Samferdselsdepartementet, N. (2016-2017). *Avfall som ressurs – avfallspolitikk og sirkulær økonomi*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/contentassets/4c45f38bddee47a7b7847af108894c0c/no/pdfs/stm201620170045000dddpdfs.pdf>

- Samferdselsdepartementet, N. (2017). *Nasjonal transportplan 2018–2029*. Retrieved from <https://www.regjeringen.no/contentassets/7c52fd2938ca42209e4286fe86bb28bd/no/pdfs/stm201620170033000dddpdfs.pdf>
- Sand. (2009). Retrieved from <https://snl.no/sand>
- Schmitz, M. E., Parsons, R. L., Ramirez, G., & Zhao, Y. (2004). Use of Controlled Low-Strength Material as Abutment Backfill. Retrieved from <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/39896>
- Shyam Prakash, K., & Rao, C. H. (2016). Study on Compressive Strength of Quarry Dust as Fine Aggregate in Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2016, 1742769. doi:10.1155/2016/1742769
- Smith, A. (2013). MSE bridge abutments-a structural solution. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 21(2), 45-47.
- Sunde, J. (2019). Høyere CO2-priser legger press på sementindustrien. Retrieved from [https://www.norcem.no/no/pressemelding\\_priserogCO2](https://www.norcem.no/no/pressemelding_priserogCO2)
- Svartdal, F. (2020). Reliabilitet Retrieved from <https://snl.no/reliabilitet>
- Tatsuoka, F., Tateyama, M., Koda, M., Kojima, K.-i., Yonezawa, T., Shindo, Y., & Tamai, S.-i. (2016). Research and construction of geosynthetic-reinforced soil integral bridges. *Transportation Geotechnics*, 8, 4-25.
- Thue, J. V. (17. juni 2019). fuge - mellomrom. Retrieved from <https://snl.no/fuge - mellomrom>
- undersøkelse, N. G. (2015). Ressursknapphet. Retrieved from <https://www.ngu.no/emne/ressursknapphet>
- Unicorn. (2016). *BETONGTYPER OG LØSNINGER*. Retrieved from <https://www.unicon.no/ferdigbetong/betongtyper-og-losninger/?fbclid=IwAR3h1P5Mt1b21VPYlv4vTATy6ukyiOKvlwe9KMU-ci7NidydjgtTlqRBE5E>
- Vegvesen, S. (1990). Bruprosjektering- 04. In.
- Vegvesen, S. (2014a). Geoteknikk i vegbygging. In (Vol. V220).
- Vegvesen, S. (2014b). Grunnforsterkning, fyllinger og skrånninger. In (Vol. V221).
- Vegvesen, S. (2015a). Bruprosjektering. In (Vol. N400).
- Vegvesen, S. (2015b). Håndbok N400 Bruprosjektering, Prosjektering av bruer, ferjekaier og andre bærende konstruksjoner. In: Vegdirektoratet Tilgjengelig fra: [http://www.vegvesen.no/\\_attachment ...](http://www.vegvesen.no/_attachment...)
- Viak, A. (2018). *Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg*. Retrieved from <https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2018/10/NHP-Barrierer-for-ombruk-v4.pdf>

Xu, C., Luo, M., Shen, P., Han, J., & Ren, F. (2019). Seismic performance of a whole Geosynthetic Reinforced Soil–Integrated Bridge System (GRS-IBS) in shaking table test. *Geotextiles and Geomembranes*.

Xu, M., Clayton, C. R., & Bloodworth, A. G. (2007). The earth pressure behind full-height frame integral abutments supporting granular fill. *Canadian geotechnical journal*, 44(3), 284-298.