



FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

# MASTER'S THESIS

Study programme / specialisation:

Master of Science Structural and  
Mechanical Engineering

The *(spring/autumn)* semester, *(year)*

Spring 2023

Open / Confidential: Open

Author: Niklas Ebbesvik & Bror Håkon Delphin-Solli

Supervisor at UiS: Samindi Samarakoon

Co-supervisor:

External supervisor(s): Brynhild Kvalvik-Watne & Elin Schanche

Thesis title: Bedømmelse av gjenbruksalternativer for betongelementer

Credits (ECTS): 30

Keywords:

Gjenbruk

Betongelementer

Sirkulærøkonomi

Framework

Pages: 75

+ appendix: 85

Stavanger, 15.06.2023

## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2023 av Niklas Ebbesvik og Bror Håkon Delphin-Solli, og er et avsluttende arbeid for gruppens utdanning i konstruksjoner og materialer på Universitetet i Stavanger. Oppgaven står for 30 studiepoeng, og er skrevet i samarbeid med Prosjektil AS, etter ønske om å studere nærmere gjenbrukspotensiale for et spesifikt bygningsselement.

Begge har gjennom studieforløpet hatt et interesseområde for miljø og bærekraft, som vi ønsker å kunne ta med oss videre inn i arbeidslivet etter endt studie. Derfor ønsket vi at vårt avsluttende arbeid på universitetet skulle omhandle noe innenfor denne tematikken.

Oppgavens problemstilling falt derfor på å utforske gjenbruksmuligheter for betongelementer, samt adressere utfordringene tilknyttet denne praksisen i dagens lineærøkonomiske tilnærming. Ønsket var å besvare dette med å lage et framework for hvordan kan man enklere kunne bedømme om et betongelement er egnet for gjenbruk eller ikke. For å kunne studere forskningsspørsmålet nærmere har oppgaven tatt for seg et reelt tilfelle ved å se på en bærende yttervegg i et skolebygg som skal rives. Oppgaven har blitt utformet i samarbeid med veileder, med god hjelp fra Prosjektil AS og utførende entreprenør AS Backe. Vi syntes dette var en svært interessant problemstilling, som gir et innblikk i flere faser angående gjenbruk og hvordan statusen i Norge er på dette i dag.

Frameworket som blir presentert i oppgaven ble utarbeidet ved hjelp av innhenting av store mengder informasjon om temaet og baseres på diverse inspeksjons- og testmetoder, samt ulike programvarer. Da vi allerede innehar noe erfaring med programmene «FEM-Design» og «One Click LCA» etter endte bachelorstudier, ble det valgt å videreutvikle denne kunnskapen ved å ta disse programvarene i bruk til denne masteroppgaven.

Vi retter en stor takk til veileder Samindi Samarakoon som har tatt seg tid til å veilede oss gjennom denne oppgaven. Vi vil også takke senioringeniør fra institutt for maskin, bygg og materialteknologi Samdar Kakay for å ha delt sine erfaringer og meninger om temaet knyttet rundt oppgaven. Videre vil vi gi en takk til Prosjektil AS for et godt samarbeid og god hjelp til oppgaven, samt AS Backe for informasjon og tilgang til prosjektet oppgaven omhandler.

## Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler å studere nærmere gjenbruksmulighetene av eksisterende betongelementer og utfordringene knyttet til dette. For å besvare dette har oppgaven utviklet et framework med formål å gjøre det enklere å foreta en gjenbruksvurdering, ettersom dagens lovverk og veiledninger er vanskelig å navigere seg i. Barrierer og gevinster ved en sirkulær byggebransje er også blitt nøye gjennomgått gjennom en omfattende teoretisk analyse, samt miljøberegninger. For å studere forskningsspørsmålet nærmere har oppgaven tatt for seg et tilfelle med en eksisterende betongvegg som er ønsket bevart grunnet dens affeksjonsverdi.

For å utforme frameworket var det nødvendig å innhente all tilgjengelig informasjon om hvordan gjenbruk utføres i dag og prøve kartlegge hvordan prosessen kunne optimaliseres. For den aktuelle veggen ble denne vurdert på bakgrunn av frameworket, og var med å forme trinnene basert på erfaringene vi tilegnet oss underveis i prosessen. På veggen ble det utført en visuell inspeksjon og ikke-destruktive tester for å kunne anslå den strukturelle integriteten i et modelleringsprogram med aktuelle lasttilfeller for de ulike gjenbruksalternativene. For å støtte oppom de teoretiske påstandene om at en sirkulærøkonomisk tilnærming er mer miljøvennlig ble dette også illustrert gjennom en bygningssirkularitetsanalyse, samtidig som at andre vesentlige aspekter som teknisk utførelse og økonomi ble drøftet før det endelige gjenbruksforslaget ble presentert.

Etter et omfattende case-studie hvor alt barrierer til fordeler med sirkulærøkonomiske prinsipper i byggebransjen har blitt drøftet, har gruppen utarbeidet et forslag til framework. Dette kan være et nyttig verktøy for å systematisere og strukturere prosessen for gjenbruksmuligheter for betongelementer, noe som ble erfart gjennom vurderingen av den aktuelle veggen i oppgaven. Forslaget har likevel sin største svakhet i at den forblir et hjelpemiddel i et fremdeles utfordrende lovverk, og det vil på tross av gjennomført bedømmelse være tilknyttet flere barrierer som kan hindre elementet og gjenbrukes. Forslaget er utarbeidet med formål å omfatte de fleste tilfeller for betongelementer, men vil grunnet materialets ulike egenskaper kunne variere noe fra tilfelle til tilfelle. Den største utfordringen knyttet til gjenbruk i dag er gjeldende lovverk og den lineærøkonomiske praksisen samfunnet er bygd opp på. For å imøtekomme gjeldene klimamål er det nødvendig med en omveltning til sirkulærøkonomi, og først da vil bransjens enorme forbedringspotensial kunne utløses, og prinsipper som gjenbruk vil være lettere å utføre – og frameworket vil bli enda mer aktuelt.

## Abstract

This master's thesis focuses on studying the possibilities of reusing existing concrete elements and the associated challenges. To address this, the thesis has developed a framework with the purpose of facilitating reuse assessments, as the current legislation and guidelines are difficult to navigate. Barriers and benefits of a circular construction industry have been thoroughly examined through extensive theoretical analysis and environmental calculations. To delve deeper into the research question, a case study was conducted involving an existing concrete wall that was desired to preserve due to its sentimental value.

In order to design the framework, it was necessary to gather all available information on current reuse practices and attempt to identify areas for optimization. The specific wall was assessed based on the framework, shaping the steps based on the experiences gained throughout the process. A visual inspection and non-destructive testing were performed on the wall to estimate its structural integrity using a modelling program with relevant load cases for different reuse options. To support the theoretical claims that a circular economy approach is more environmentally friendly, a building circularity analysis was also conducted, while other significant aspects such as technical execution and economics were discussed before presenting the final reuse proposal.

Following a comprehensive case study that discussed barriers and advantages of circular economy principles in the construction industry, the group developed a proposed framework. This could serve as a useful tool to systematize and structure the process of reuse possibilities for concrete elements, as experienced through the assessment of the specific wall in the thesis. However, the proposal's main weakness lies in remaining a tool within a still challenging legislative framework, and despite the conducted evaluation, there may still be several barriers preventing the element but may vary slightly from case to case due to the different properties of the material. The biggest challenge associated with reuse today is the existing legislation and the linear economic practices on which society is built. To meet current climate goals, a transition to a circular economy is necessary, and only then will the industry's enormous potential for improvement be unleashed, making practices like reuse easier to implement – and the framework will become even more relevant.



# Innholdsfortegnelse

<b>Forord</b> .....	<b>2</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>3</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>Innholdsfortegnelse</b> .....	<b>5</b>
<b>Figurliste</b> .....	<b>7</b>
<b>Tabelliste</b> .....	<b>8</b>
<b>Definisjoner og forkortelser</b> .....	<b>8</b>
<b>1. Introduksjon</b> .....	<b>9</b>
1.1 <i>Bakgrunn</i> .....	9
1.2 <i>Prosjekt Haraldsvang skole</i> .....	10
1.3 <i>Formål med oppgaven</i> .....	11
1.4 <i>Forskningsspørsmål</i> .....	11
1.5 <i>Avgrensning</i> .....	12
<b>2. Kunnskapsgrunnlag</b> .....	<b>13</b>
2.1 <i>Byggesektoren</i> .....	13
2.2 <i>Sirkularitet</i> .....	16
2.3 <i>Gjenbruk i byggesektoren</i> .....	18
2.4 <i>Gjenbruk av betongelementer</i> .....	19
2.4.1 <i>Betongutslipp</i> .....	19
2.4.2 <i>Gjenbruksgrad</i> .....	20
2.4.3 <i>Utfordringer</i> .....	21
<b>3. Metodikk og datagrunnlag</b> .....	<b>25</b>
3.1 <i>Forskningsmetode</i> .....	25
3.1.1 <i>Case-studie</i> .....	26
3.2 <i>Metode</i> .....	29
3.2.1 <i>Visuell inspeksjon</i> .....	29
3.2.2 <i>Ikke-destruktive tester</i> .....	29
3.2.3 <i>FEM-Design</i> .....	31
3.2.4 <i>One Click LCA - Building circularity</i> .....	31
3.2.5 <i>Framework</i> .....	32
<b>4. Dimensjonering og beregninger</b> .....	<b>33</b>
4.1 <i>Lastgrunnlag</i> .....	33
4.1.1 <i>NS-EN 1991-1-1 Laster på konstruksjoner</i> .....	33
4.1.2 <i>NS-EN 12572-2 Klatreanlegg</i> .....	34
4.2 <i>FEM-design modell</i> .....	35
4.2.1 <i>Ombruk</i> .....	36
4.2.2 <i>Klatrevegg</i> .....	36

4.3	<i>Teknisk utførelse</i> .....	37
4.4	<i>Building circularity - One Click LCA</i> .....	38
4.5	<i>Økonomi</i> .....	42
4.5.1	<i>Klatrevegg</i> .....	42
<b>5.</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>44</b>
5.1	<i>Visuell inspeksjon</i> .....	44
5.2	<i>Ikke-destruktive tester</i> .....	45
5.2.1	<i>Schmidt hammer test</i> .....	45
5.2.2	<i>Cover meter test</i> .....	48
5.3	<i>FEM-design</i> .....	50
5.4	<i>Klatrevegg</i> .....	51
5.5	<i>Bygningssirkularitet</i> .....	52
5.6	<i>Økonomi</i> .....	54
5.7	<i>Framework</i> .....	54
<b>6.</b>	<b>Diskusjon</b> .....	<b>58</b>
6.1	<i>Bedømmelse av gjenbruksmuligheter til betongelement ved bruk av framework</i> .....	58
6.2	<i>Utfordringer og løsninger tilknyttet gjenbruk i dagens lineærøkonomi</i> .....	60
6.3	<i>Gjenbruksalternativer for skoleveggen</i> .....	62
<b>7.</b>	<b>Konklusjon</b> .....	<b>64</b>
<b>8.</b>	<b>Videre arbeid</b> .....	<b>66</b>
	<b>Referanser</b> .....	<b>67</b>
	<b>Vedlegg A – Fra kapittel 4.1</b> .....	<b>76</b>
	<i>Vedlegg A1 - Snølast</i> .....	76
	<i>Vedlegg A2 – Vindlast</i> .....	77
	<i>Vedlegg A3 - Klatrelaster</i> .....	79
	<b>Vedlegg B – Fra kapittel 5.1</b> .....	<b>80</b>
	<i>B.1 – Visuell inspeksjonsskjema</i> .....	80
	<b>Vedlegg C – Fra kapittel 5.5</b> .....	<b>82</b>
	<i>C.1 Bygningssirkularitet for eksisterende skole i betong</i> .....	82
	<i>C.2 Bygningssirkularitet for nytt skolebygg i tre</i> .....	83
	<i>C.3 Bygningssirkularitet for eksisterende skole i betong bygget i 2023</i> .....	84
	<b>Vedlegg D – Fra kapittel 5.6</b> .....	<b>85</b>
	<i>D.1 Økonomiberegning klatrevegg</i> .....	85

## Figurliste

Figur 1 - Haraldsvang skole anno februar 2023. Markert innenfor den gule sirkelen er den aktuelle gjenbruksveggen med kunstverket/relieffene vist .....	10
Figur 2 - NHP 5 (2021-2023) Målkart [9, s. 11] .....	14
Figur 3 - Sustainable development goals utartet av WorldGBC med bakgrunn I FNs bærekraftsmål [8] .....	15
Figur 4 – Avfallshierarkiet for norsk avfallspolitikk [17] .....	16
Figur 5 – «Ombruk erstatter nye byggevarer basert på enten nye råstoffer eller materialgjenvinning. Ombruk kan videre utsette energigjenvinning eller hindre at byggevarer havner på deponi. Til alle disse prosessene hører som regel transport.» [26] .....	18
Figur 6 - Vanlige typer design for case-studier [45, s. 40] .....	28
Figur 7 - Utstyr benyttet til ikke-destruktive tester. Oppe t.v. cover meter. Midten t.v. digitalt cover meter. Nede t.v. Schmidt hammer. T.h. Cover meter kalibreringsblokk .....	31
Figur 8 - Avstand fra Haraldsvang skole til sjø, vist i Google Maps. ....	34
Figur 9 - Klatrevegg med påsatt vindlast, $v=0.719\text{kN/m}^2$ .....	37
Figur 10 - Klatrevegg med påsatt snølast, $s=0.33\text{kN/m}$ .....	37
Figur 12 - Punktlast fra klatrer på $1.08\text{kN}$ .....	37
Figur 11 - Belastning på klatrevegg, $0,54\text{kN/m}^2$ .....	37
Figur 13 - Forskjellige typer pelers [66] .....	38
Figur 14 - Illustrasjon av eksisterende skole i betong, hentet fra IFC fil .....	39
Figur 15 - Illustrasjon av nytt skolebygg oppført i massivtre (t.v.) og ny flerbrukshall (t.h) hentet fra IFC-fil .....	40
Figur 16 - Utklipp fra programvaren One Click LCA - Yttervegg massivtre 120mm elementer .....	41
Figur 17 - Bilder fra visuell inspeksjon av veggen .....	44
Figur 18 - Schmidt hammer test utførelse på den aktuelle bygget .....	46
Figur 19 - Bilder fra cover meter test av veggen .....	49
Figur 20 - Plassering av målingene på veggen vist på tilgjengelig armeringstegning, stiplet linje nederst er bakkenivå .....	49
Figur 21 - Klatrevegg sett mot skolen (t.v.), detaljbilde med fallsikringsmål (t.h.) .....	51
Figur 22 - Klatrevegg sett fra skolen med kunstverket på framsiden .....	51
Figur 23 - Kunstverkene plassert langs veien foran skolen .....	52
Figur 24 - Bygningssirkulariteten til det eksisterende skolebygget (t.v.) og utbedrete skolebygg (t.h.) .....	52
Figur 25 - Bygningssirkulariteten til den nye skolen i tre .....	53
Figur 26 - Bygningssirkulariteten til den aktuelle betongveggen hvor halve veggen blir gjenbrukt som klatrevegg og resten til tilslag (t.v), mens hele veggen går til tilslag (t.h.) .....	53
Figur 27 - Framework forslag for bedømmelse til gjenbruk av betongelementer .....	55

## Tabelliste

Tabell 1 - Relevante situasjoner for ulike forsknings strategier (COSMOS Corporation, sitert i [40, s. 5]).....	26
Tabell 2 - Valg av forskningsmetode.....	28
Tabell 3 - Karakteristiske laster for klatrevegg [62] .....	34
Tabell 4 - Size of the impact area. Hentet fra NS-EN 12572-2 [57] .....	35
Tabell 5 - Global oppvarmingspotensial for ulike typer betong EPD, verdier hentet fra One Click LCA.....	41
Tabell 6 - Schmidt hammer verdier fra område 1 på veggen.....	47
Tabell 7 - Bedømmelse av betongkvalitet gitt ut ifra rebound nummer R [78] .....	48
Tabell 8 - Resultat av målingene av avstand til armeringsjern, se figur 20 for plassering av målingene.....	50
Tabell 9 - Utnyttelse av veggen gitt i prosent av maksimal utnyttelse, hentet fra FEM-modell .....	50
Tabell 10 - Utregning for kostnad til klatrevegg utskjæring .....	54

## Definisjoner og forkortelser

BIM	Bygningsinformasjonsmodellering.
FEM	«Finite Element Method», Elementmetoden på norsk. Metode brukt av dataprogrammer under modellering av konstruksjoner og lignende.
IFC	Industry Foundation Classes. Internasjonal standard/format for utveksling av BIM.
EPD	Enviromental product declaration. En verifisert produktinformasjon om et produkts miljøprestasjoner gjennom hele livssyklusen.
NGI	Norges Geotekniske Institutt.

# 1. Introduksjon

I dette kapittelet skal det gjennomgås bakgrunn og motivasjon for valgt oppgave og tematikk. Oppgaven vil videre presenteres med formål, forskningsspørsmål og avgrensinger som ligger til grunn.

## 1.1 Bakgrunn

I en tid hvor den verdensomfattende trusselen klimaendringer blir stadig mer aktuell, kreves det flere miljøvennlige og bærekraftige løsninger. Spesielt her til lands er den lineærøkonomiske tilnærmingen ikke lenger holdbar for å kunne imøtekomme nødvendige tiltak og krav for å motarbeide klimaendringene. En overgang til sirkulærøkonomi virker å være den beste muligheten, og det kreves at alle aktører og ledd i samfunnet samarbeider for å få til denne omstillingen. Byggebransjen er en av de største «synderne» når det kommer til miljøpåvirkning, og det er derfor særs viktig at denne konservative sektoren foretar en endring. Gjennom en sirkulær tilnærming vil det kunne utløses et stort potensial for en mer bærekraftig virksomhet, og ulike metoder for gjenbruk som ombruk og materialgjenvinning er essensielle for å oppnå denne praksisen.

Som verdens mest anvendte bygningsmateriale, er gjenbruk av betong en viktig prosess for å oppnå en mer sirkulær tilnærming i bransjen. Ved gjenbruk av betongelementer vil produksjonen av ny betong kunne reduseres, avfallsmengder begrenses og ressurser utnyttes til bedre. Summert opp vil et økt gjenbruksnivå av betong kunne bidra til å redusere de negative miljøkonsekvensene forbundet med byggepraksisen, og ha en stor påvirkning på resten av samfunnet også.

Praksisen med gjenbruk i storskala er relativ ny, og det er derfor mange barrierer tilknyttet dette. Rent praktisk har gjenbruk av betongelementer likevel vist seg å være en levedyktig løsning i mange prosjekter over hele verden, men mangel på erfaring og metoder er fremdeles en utfordring. I Norge har det i nyere tid blitt innført flere retningslinjer og forskrifter for å fremme bruken av gjenbruksmaterialer [1], både med fokus på rehabilitering og konstruering. Til tross for økt fokus på gjenbruk er det fremdeles ikke lagt godt nok til rette for å utøve dette i praksis, og mangelen på et fungerende oversiktlig regelverk hindrer bransjen i å ta i bruk elementer på nytt.

Til tross for at det er flere utfordringer knyttet til gjenbruk, er det mange muligheter også. Men for å utnytte dette enorme potensialet bransjen innehar til en bærekraftig utvikling, kreves det at spesielt lovverk og økonomisk tilnærming tilpasser seg slik at det er mulig å utøve i praksis. Denne masteroppgaven vil derfor fokusere på hvordan man kan implementere en sirkulærøkonomisk praksis når Haraldsvang ungdomsskole skal erstattes med et nytt bygg, samt adressere hvilke hindringer som er i veien for at dette skal bli en normal prosedyre.

## 1.2 Prosjekt Haraldsvang skole

Haraldsvang ungdomsskole i Haugesund ble oppført i 1970 og skal etter mange års levetid rives og bygges ny. Dette prosjektet er det Backe Rogaland som har fått tildelt, og skal i løpet av de neste årene bygge nye Haraldsvang skole med flerbrukshaller. Arbeidet på den nye ungdomsskolen startet høsten 2022 og skal stå ferdig i august 2025 til skolestart, mens flerbrukshallene først skal tas i bruk i 2026/2027 årsskiftet. Byggekontrakten er den største Haugesund kommune noen gang har inngått, med en verdi på 522 millioner kroner. Budsjettrammen til prosjektet ligger på 629 millioner kroner [2]. Der den eksisterende skolen er oppført i betong, skal den nye oppføres i massivtre.



Figur 1 - Haraldsvang skole anno februar 2023. Markert innenfor den gule sirkelen er den aktuelle gjenbruksveggen med kunstverket/relieffene vist

Elevene skal gå som normalt på skolen som står i dag fram til den nye skolen står klar i august 2025. Etter dette vil rivingen av det gamle skolebygget starte, og området der den eksisterende skolen står vil bli til den nye skolegården. Byggingen av en ny flerbrukshall vil også starte på dette tidspunktet, som har plassering nord for dagens skolebygg.

### 1.3 Formål med oppgaven

Denne oppgaven har som formål å studere hvordan man kan implementere sirkulærøkonomisk praksis inn i den lineærøkonomiske byggesektoren, og hvilke barrierer som er tilknyttet dette. Ettersom dette er et omfattende og stort tema, kreves det at man snevrer inn omfanget til noe mer definert. Oppgaven har derfor basert seg på å studere hvordan en kan ta i bruk den sirkulærøkonomiske praksisen gjenbruk i byggeprosjekter hvor konstruksjoner skal rives. Da det finnes flere ulike bygningsmaterialer og elementer er det valgt å fokusere på elementer av materialet betong, med et veggelement som illustrasjon for prosessen. Gjennom oppgaven ønsker vi også å tildele oss erfaringer med bruk av diverse tester og inspeksjoner for bedømmelse av strukturell integritet, samt andre analyser og beregninger rettet mot bygningssirkularitet, kostnader og tekniske utførelser ved gjenbruk.

For å kunne best mulig undersøke formålet har oppgaven benyttet seg av forskningsmetoden case-studie, hvor vi har undersøkt gjenbruksmulighetene til et reelt tilfelle på Haraldsvang ungdomsskole. Tilfellet er å undersøke gjenbruksmulighetene til den ene bærende ytterveggen på den eksisterende skolen, og kommer etter ønske fra kommunen, se figur 1 for lokasjon. Den aktuelle veggen er ønsket bevart da den har en affeksjonsverdi tilknyttet seg gjennom veggkunsten som ble utført av den lokale arkitekten David Sandved [3]. Relieffene på veggen er å finne igjen i skolefanen, og anses som å være et symbol på ungdomsskolen. Gjennom vurdering av veggen er det blitt utført flere tester

### 1.4 Forskningsspørsmål

På bakgrunn av oppgavens formål har følgende forskningsspørsmål blitt etablert:

*«Hvordan kan man bedømme gjenbruksmulighetene til et betongelement, og hvilke barrierer må håndteres for å implementere dette sirkulærøkonomiske prinsippet i byggesektoren?»*

I oppgaven blir det foreslått et framework som skal kunne besvare forskningsspørsmålet best mulig med å illustrere en trinnvis prosess for å bedømme gjenbruksmuligheter. For å kunne besvare forskningsspørsmålet er det også nødvendig å studere følgende spørsmål mer nøye gjennom oppgaven:

- Hva er utfordringene og fordelene med å implementere sirkulærøkonomiske prinsipper som gjenbruk av bygningselementer i byggesektoren i Norge?
- Hva er utfordringene og fordelene knyttet til gjenbruk av betong?
- Hvordan kan en utforme et standardisert framework som best mulig viser prosessen for gjenbruksbedømmelse for flere betongelementer?
- Hva må til for å få et velfungerende gjenbrukssystem i byggesektoren i Norge?

### 1.5 Avgrensning

Oppgaven er avgrenset til å kun utføre visuell inspeksjon og ikke-destruktive tester på den aktuelle veggen da skolen enda er i bruk. Dette gjør at man ikke vil kunne få all nødvendig data til å stadfeste den strukturelle integriteten, og det må derfor besluttes en del antakelser basert på de tilgjengelige dataene. I tillegg er det vesentlige mangler på tilgjengelig informasjon om bygget grunnet dens alder. Det blir derfor utført en del antakelser også her når det kommer til bestemmelse av armeringens tilstand og kvalitet, i tillegg til veggens betongkvalitet og blanding. Alle antakelser i oppgaven er basert på tilgjengelig informasjon, samt eksisterende kunnskap og erfaringer basert på tilfellene.



## 2. Kunnskapsgrunnlag

Til grunn for å undersøke forskningsspørsmålet kreves det en forståelse for dagens situasjon angående gjenbruk i byggesektoren. Dette både i form av muligheter og utfordringer, samt viktigheten med å få en mer sirkulær tilnærming og bedret miljøpåvirkning enn det som er tilfellet i dag. I dette kapittelet vil det derfor bli gitt en oversikt over nødvendig teori og informasjon tilknyttet byggesektoren og gjenbruk som ligger til grunn for resten av oppgaven.

### 2.1 Byggesektoren

Globalt står byggenæringen alene for 40% av verdens utslipp av klimagasser, 40% av energiforbruket og 40% av avfallet [4]. Nasjonalt er dette også den største næringen på fastlands-Norge i omsetning og arbeidsplasser [4], og det har derfor en betydelig miljøpåvirkning og utslipp her også. I takt med et økende miljøfokus er bransjen et naturlig område å ta tak i for å oppfylle nasjonale og internasjonale miljø- og bærekraftsmål. Næringen er nå i en stor omveltning hvor det stadig stilles flere krav til spesielt nybygg i form av sertifiseringer, miljøscorer og byggepraksis. For å kunne redusere utslippene er det flere faktorer som er essensielle for å kunne oppnå dette, og det trengs også at man ikke bare stiller krav til nybygg, men også eksisterende. Grønn byggallianse kommer med fem forslag til tiltak for å halvere utslippene [5]:

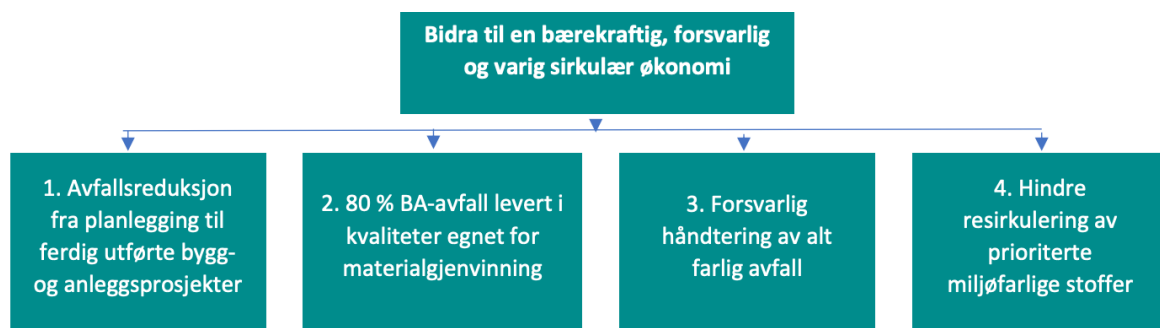
1. Rive mindre
2. Ombruke flere materialer
3. Velge løsninger og byggevarer som gir lave utslipp i et livsløpsperspektiv
4. Ha 100% fossilfrie og snart helt utslippsfrie bygge- og anleggsplasser
5. Energieffektivisere eksisterende bygg

Et viktig tiltak for å kunne tilfredsstille kravene er å senke det enorme energibehovet som kreves under både bygging, men også livsløpet til bygg. Energiforbruket er den største årsaken til klimagassutslippene, og kan senkes med å blant annet ta i bruk mer miljøvennlige materialer og løsninger. Dette krever at en starter planleggingen av prosjekter i en tidlig fase, og det er i nyere tid blitt utført flere endringer i teknisk forskrift som gjør at man i Norge stiller strenge krav til energieffektiviteten i nybygg.

Som miljøstiftelsen ZERO uttaler kan dette ha positiv effekt: «Ved å stille krav til bygg- og anleggsprosjekter kan det skapes et marked for fossilfrie materialer, som igjen kan bidra til å styrke den grønne konkurransekraften til norske leverandører» [6]. Kravene har til nå vist seg å bedre klimaregnskapet, hvor det i Norge er betydelig mindre energibidrag fra produksjon og bruk sammenlignet med flere andre land. Gjennom en analyse utført av Asplan Viak, er bygg- og anlegg direkte/indirekte ansvarlig for kun 15% av det totale klimagassutslippet fra norsk økonomisk aktivitet [7].

For å minke utslippene forårsaket fra bygg og anlegg er det riktignok ikke bare energibruken i nybygg det trengs å stilles krav til. Eldre, eksisterende bygg har som regel et høyt energinivå som indirekte fører til høyere klimautslipp. Ved endt livsløp er det også knyttet store utslippsfaktorer til riving og kasting av byggematerialene, og her ligger det gode muligheter for forbedring. For å kunne bedre miljøpåvirkningen fra eksisterende bygg er det flere tiltak som kan utføres i form av nyere løsninger og vedlikehold som kan minske utslippene. Blant de aller viktigste løsningene er det å innføre en sirkulær tilnærming den mest essensielle da det ofte er knyttet store utslippsmengder til riving og avfall av bygg.

Ifølge tall fra SSB er næringen den som genererer mest avfall i Norge, og stod i 2021 for 25% av samlet avfallsmengde i landet [8]. Av disse mengdene stod byggavfall for 1,82 millioner tonn, hvor fordelingen baserer seg på tre deler: avfall fra riving 39,5%, rehabilitering 24,8% og nybygging 35,7%. Grovt estimert rives det mellom 12.000 – 20.000 bygg årlig, hvorav mye av avfallet er relativt nytt [8]. Der det er iverksatt flere tiltak for å bedre energieffektiviteten, er det fortsatt et stort forbedringspotensial i avfallsseksjonen.



Figur 2 - NHP 5 (2021-2023) Målkart [9, s. 11]

På bakgrunn av dette er det opprettet en nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall (NHP) som oppdaterer nasjonale mål og ambisjoner hvert tredje år. I figur 2 vises målene for den gjeldende NHP 5. Disse målene korrelerer litt i hverandre, og kan vises med at materialgjenvinningen hadde fra 2015 – 2018 en nedgang grunnet usikkerheten om bruk av lettere forurensede tegl- og betongmasser, da spesielt ved funn av Krom VI. Etter tett samarbeid med miljødirektoratet fikk man derfor i 2020 et nytt og klarere regelverk for anvendelse i disse tilfellene, og materialgjenvinningen fikk derfor et oppsving igjen. NHP er derfor en viktig pådriver i utviklingen til bransjen og består av 20 medlemmer som alle er viktige aktører innenfor bransjen [10].

Store aktører i byggebransjen har selv flere ganger tatt til orde for å skaffe en strengere regulering tilknyttet ombruk i nybygg, da de opplever at den lineær økonomiske modellen er mer lønnsomt å drive enn den sirkulære [1]. Senest i januar 2023 var regjeringen avventende til å stille strengere krav til dette da de stemte ned et representantforslag om å fase inn krav om ombruk i nybygg og ombygg innen 2025. Begrunnelsen var at de ikke anså ombruksmarkedet som modent nok til en strengere regulering enn dagens praksis [11].



Figur 3 - Sustainable development goals utartet av WorldGBC med bakgrunn I FNs bærekraftsmål [8]

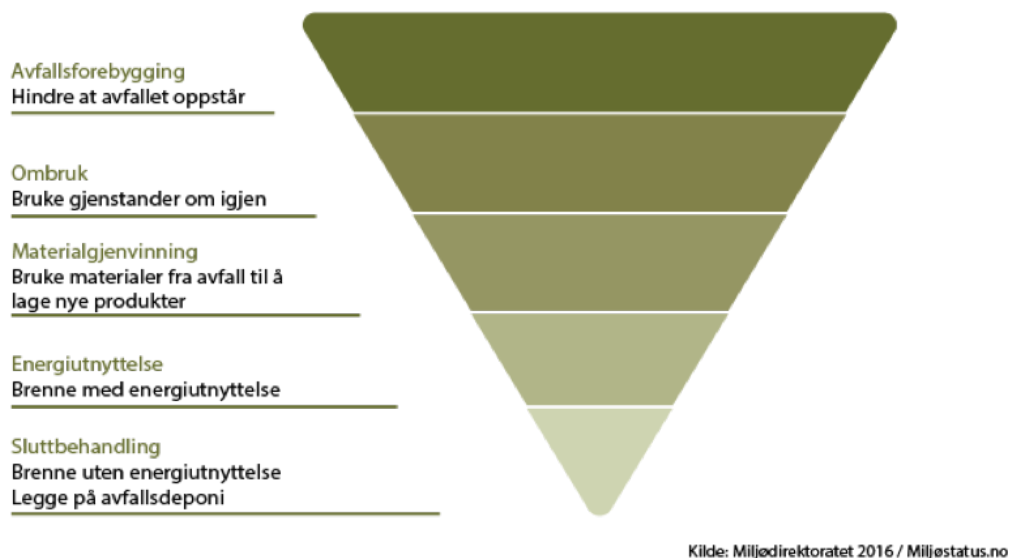
Som vist på figur 3, omfattes byggebransjen av hele 9 av FNs 17 bærekraftsmål, noe som forteller oss hvor stort ansvar det faller på byggesektoren. Bærekraftsmålene er verdens felles arbeidsplan for å bekjempe fattigdom, ulikhet og klimaendringene innen 2030 [12].

Bærekraftsmålene er universelle og gjelder for alle land, og Norge er derfor forpliktet til å utforme en nasjonal handlingsplan for å oppnå målene [13]. Disse følges jevnlig opp, og i 2021 kom det en statusrapport [14] som slo fast at Norge lå relativt godt an til å imøtekomme flere av bærekraftsmålene, men fremdeles har utfordringer tilknyttet blant annet utslipp av

klimagasser, bevaring av naturmangfold og havforsøpling [13]. Da byggebransjen har en direkte og indirekte påvirkning på flere av de gjenstående utfordringene - sier det seg selv at det enda kreves større tiltak, og disse må komme snarlig for å imøtekomme alle målene. Flere av disse tiltakene kan oppnås ved en overgang til en sirkulær tilnærming som videre drøftes i kapitlet.

## 2.2 Sirkularitet

Sirkulær økonomi er et begrep som kommer med mange ulike tolkninger og uten gode utviklede indikatorer [6]. Miljødirektoratet definerer det derimot følgende: «I en sirkulær økonomi utnytter vi naturressurser og produkter effektivt og så lenge som mulig, i et kretsløp der minst mulig ressurser går tapt» [15]. Sirkularitet innenfor byggenæringen kan man si har oppstått som en reaksjon på de miljømessige og økonomiske utfordringene tilknyttet den tradisjonelle lineære byggepraksisen som baserer seg på «bruk og kast» prinsippet. Den sirkulære tilnærmingen søker etter å oppnå en mer bærekraftig praksis gjennom å unngå produksjon av avfall og iverksette prinsipper som gjenbruk, gjenvinning og ressursutnyttelse gjennom hele livssyklusen til bygninger. I en sirkulær økonomi er målet hovedsakelig materialgjenvinning og ikke energiutnyttelse [16], som man på figur 4 kan se er høyere opp på avfallshierarkiet i norsk avfallspolitikk og EUs rammedirektiv for avfall [17].



Figur 4 – Avfallshierarkiet for norsk avfallspolitikk [17]

Med verdens naturressurser under press, må ressursene brukes langt mer effektivt [18, s. 11]. Norge er i verdenstoppen for forbruk av naturressurser og har i lang tid benyttet seg av en lineær økonomi. Miljøstiftelsen ZERO anslår at gjennom utsatt eller redusert behov for ny ressursutvinning til nye produkter, kan en sirkulær omstilling utløse betydelige kutt i klimagassutslipp på opptil 39% internasjonalt og hele 46% nasjonalt [19]. På bakgrunn av EUs handlingsplan fra 2020 for sirkulærøkonomi [20], har Norge satt som mål at «Norge skal være et foregangsland i utviklingen av en grønn, sirkulærøkonomi som utnytter ressursene bedre», og at det derfor skal utarbeides en nasjonal strategi for sirkulær økonomi [21].

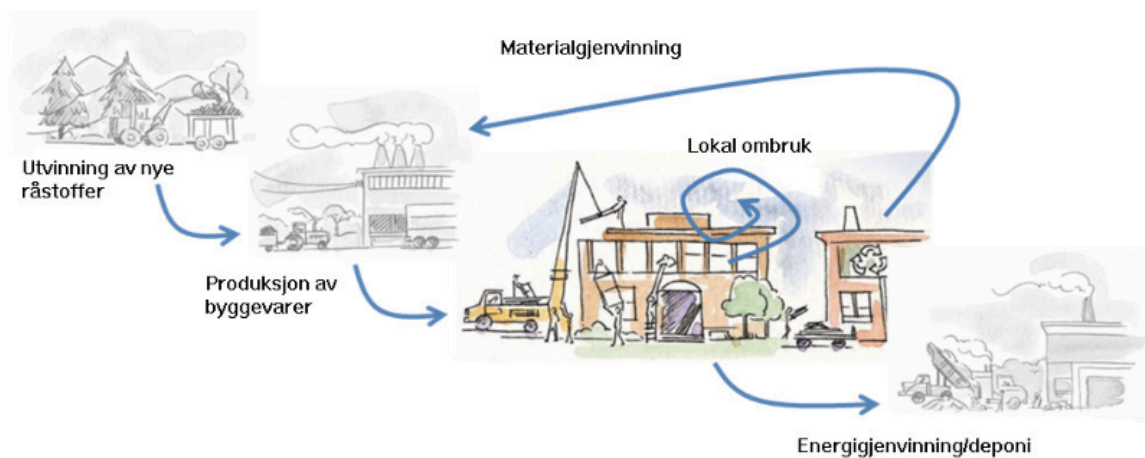
I 2020 ble rapporten «The Circularity Gap Report» utgitt som undersøkte Norges fremgang mot en mer sirkulær økonomi. Her var formålet å evaluere gapet mellom dagens praksis og det ideelle sirkularitetsnivået, og undersøkte flere sentrale temaer som generell kartlegging, initiativer og tiltak, utfordringer og anbefalinger knyttet til sirkularitet. Analysemetodikken i rapporten ga Norge en sirkularitetsscore på underveldende 2,4%, som var lavest av de fem landene som ble undersøkt – og godt under det globale snittet på 7,2%. I rapporten fremkommer det også at Norge rangeres nest lavest på FNs utviklingsmål nummer 12 «Ansvarlig forbruk og produksjon» [19], og har et av de høyeste årlige forbrukene i verden på 44,3 tonn per person [22, s. 7]. Norge ligger derfor etter resten av verden og må få i gang en forandring snarest. En for hastig omveltning til sirkulær økonomi kan derimot by på problemer. Som det fremkommer i NHP 5 kan dette føre til at miljøfarlige stoffer blir en del av ombruket og resirkuleres: «Det må derfor vektlegges at den sirkulære økonomien er bærekraftig, forsvarlig og pålitelig i et langsiktig perspektiv» [9, s. 11]. Det er mange ulike aktører som skal samarbeide, og det vil være krevende å få til en overgang til en slik tilnærming uten drahjelp fra myndigheter og lovgivende makter.

For å imøtekomme kravene til en bærekraftig fremtid er overgangen til en sirkulær tilnærming nærmest uunnværlig da disse er tett sammenknyttet og har en gjensidig avhengighet. Som det fremkommer i Brundtland-kommisjonens rapport *Vårt felles framtid* fra 1987 er en bærekraftig utvikling «(...) en utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov» [23]. Med forbruket av naturressurser, samt miljøskadede utslippene som forekommer med dagens lineære tilnærming er det derfor ingen tvil om at det må foretas et skifte til sirkulær økonomi i nærmeste fremtid.

## 2.3 Gjenbruk i byggesektoren

Gjenbruk er som nevnt en essensiell faktor for å få ned utslippene tilknyttet byggesektoren og bidra til mer sirkularitet og bærekraft. Begrepet gjenbruk brukes ofte noe upresist som ombruk og det skiller derfor på begrepene i denne oppgaven. Gjenbruk kan deles inn i to ulike metoder; ombruk og materialgjenvinning.

Ombruk er når konstruksjonselementer tas i bruk på nytt i sin opprinnelige form, som kan utføres enten ved lokal- eller annetsteds ombruk [24]. Med denne metoden kan man både opprettholde levetiden til elementet, samt forsvare miljøinnsatsen som ble lagt ned for å produsere, transportere og innsette elementet/materialene. Videre hindres også bruken av nye ressurser, samt avfall til deponi. Totalt sett vil dette føre til redusert energibruk, forurensning og bruk av arealer til materialutvinning og deponering av avfall. Et annet positivt aspekt er muligheten til å bevare historisk verdifulle bygninger eller bygningsdeler, noe som er aktuelt i denne oppgavens tilfelle. Ombruk kan enten forekomme med å hente et element ut fra riving og plassere det på nytt, eller ved å bygge rundt/på de aktuelle elementene. Begge metodene krever at man vurderer elementene og utfører nødvendige rehabiliteringstiltak. Typiske rehabiliteringstiltak kan være overflatebehandling og betongreparasjon, til forsterkning og korrosjonsbeskyttelse. Ombruk er den mest ønskede gjenbruksmetoden da dette i utgangspunktet har et lavere klimautslipp i et livsløpsperspektiv enn nye produkter. Klimaeffekten vil være aller størst om man foretar lokal ombruk, da dette unngår frakt og lagring av elementet, som er vesentlige faktorer i miljøregnskapet [25].



Figur 5 – «Ombruk erstatter nye byggevarer basert på enten nye råstoffer eller materialgjenvinning. Ombruk kan videre utsette energigjenvinning eller hindre at byggevarer havner på deponi. Til alle disse prosessene hører som regel transport.» [26]

Den andre gjenbruksformen materialgjenvinning kan eksempelvis være omsmelting av metaller eller knusing av betongmasser, som deretter brukes om igjen med et nytt formål. I likhet med ombruk vil dette også kunne redusere utslippene av klimagasser og energiforbruket tilknyttet til produksjon av nye byggematerialer, samt bidra til å bevare naturressurser og redusere miljøbelastning. Til tross for lignende miljøgevinster er dette i en betydelig mindre grad enn ved ombruk, men et godt alternativ om det ikke skulle være andre muligheter. Gjenbruk i byggesektoren har historisk sett vært reservert til hovedsakelig materialgjenvinning, men det ønskes nå en utvikling der ombruk blir mer muliggjort.

## 2.4 Gjenbruk av betongelementer

Da de ulike byggematerialene har forskjellige egenskaper og kvaliteter er det naturlig at de vil ha ulike kvaliteter og utfordringer med gjenbruk også. Betong er det mest anvendte byggematerialet i verden og det er derfor særs viktig at dette gjenbrukes etter sitt potensial grunnet sine store mengder i samfunnet. Som materiale er betong veldig holdbart og kan vare i flere tiår, men samtidig er det ressurskrevende å produsere og det kan føre til store avfallsmengder om det må kastes etter bruk.

### 2.4.1 Betongutslipp

Betong blir av mange sett på som en miljøversting, og det er hovedsakelig CO<sub>2</sub>-utslippene og energiforbruket ved sementproduksjonen som har skyld i utslippene. Sementproduksjonen skjer ved å blande kalkstein med andre materialer på en svært høy temperatur, som krever en stor mengde energi. Denne prosessen frigjør betydelige CO<sub>2</sub>-utslipp, både fra kalsineringen av kalkstein til kalsiumoksid, og fra utslipp fra forbrenningsovnene [27]. Sementen utgjør kun 10-15% av volumet til betongen, men likevel står det for omtrent 80% av klimagasstrykket [14]. Bruken av betong har også en indirekte påvirkning på klimetrykket i form av transportering av råmaterialer og produkter, samt produksjon av elektrisitet for støpeprosessen.

Ved endt livsløp har betong som regel blitt revet og sendt til deponi. Dette utgjør betydelige utslipp i form av energiforbruk knyttet til prosessen, men også fra andre aspekter som vannforurensning og klimagassutslipp ved transport. Videre kan det være helse- og miljøfarlige stoffer som Krom (VI) i betongen, som kan være en fare for både miljø og

mennesker. Det forskes stadig på hvordan man kan håndtere dette, og nylig kom det ut en studie fra NGI om at organisk materiale som jord kunne stanse spredning av stoffet i betongen [29].

Til tross for mange negative miljøpåvirkninger kan betong likevel ha flere positive tilknyttet seg også, gitt at dette potensialet blir utnyttet til det fulle. Betong kan nemlig resirkuleres og gjenbrukes i tilnærmet det uendelige, absorbere opp til 25% av egne sementutslipp gjennom livsløpet, og har en lang levetid med minimalt av vedlikehold sammenlignet med andre materialer [30]. Nå i nyere tid har det også kommet flere lavkarbonbetonger som har et bedre klimaavtrykk enn tidligere, og ny teknologi gjør at utslippene stadig minker.

Betongelementindustrien har derfor et mål om å være utslippsnøytral over et byggs levetid fra 2030, med håp om å bli klimapositivt før 2050 [30].

#### 2.4.2 Gjenbruksgrad

Det er flere alternativer til å gjenbruke betong enn bare ombruk. Betong kan blant annet knuses og benyttes som fyllmasse i veier, jernbaner og byggeprosjekter, samt brukes som råstoff til å produsere nye betongprodukter. Det kan også brukes som et dekorativt element.

Dersom betongen er malt, pusset eller avrettet med miljøfarlig maling og/eller miljøfarlig puss/avrettingsmasse, kan det betegnes som farlig avfall. Dette gjelder spesielt betong fra før 1975 [31]. Under riving av bygg må det derfor kartlegges om betongen er ren og ikke inneholder noe forurensning fra andre materialer. Dersom betongen er ren og ikke forurenset, bør den behandles som et industrielt framstilt steinmateriale, og ikke som avfall [32]. For samtlige prosjekter som skal rehabiliteres eller rives er det lovpålagt i plan- og bygningsloven, med tilhørende forskrifter, å sørge for en miljøkartlegging av bygget eller konstruksjonen [33]. Dette blir nærmere forklart i kapittel 9 – ytre miljø i TEK 17 [34].

Så fremt at betongelement ikke inneholder for høye verdier av miljøfarlige stoffer, og ikke har for store skader og tap av integritet som ikke kan fikses, er det gode muligheter for å gjenbruke betong. Det er riktignok ikke like lett å ta i bruk elementer på nytt i praksis, og det er flere barrierer tilknyttet dette som skal gjennomgås videre.



### 2.4.3 utfordringer

Det er mange ulike utfordringer tilknyttet gjenbruk av betongelementer. Alt fra lovverk og byggetekniske utfordringer, til økonomi og kunnskap kan bidra til at gjenbruk ikke alltid lønner seg totalt sett, eller i det hele tatt er mulig å gjennomføre. De ulike utfordringene skal bli nærmere gjennomgått i dette delkapittelet for å danne et helhetlig bilde av hvorfor det er vanskelig å benytte seg av gjenbruksalternativer i Norge i dag.

#### 2.4.3.1 Lover og standarder

Dagens lovverk er muligens den største hindringen til å ha et velfungerende gjenbrukssystem i Norge i dag. Bygningslovgivning og tekniske forskrifter i Norge har tradisjonelt sett hatt et større fokus på nye konstruksjoner og materialer, og det er først nå i nyere tid det har begynt å komme nye regler og forskrifter som muliggjør mulighetene for gjenbruk til en større grad enn tidligere. Uten en spesifikk standard knyttet til gjenbruk, har det vært utfordrende å navigere i regelverket, samt få nødvendige godkjenninger for gjenbruksprosjekter.

Bransjen er underlagt strenge kvalitets- og sikkerhetskrav for å sikre at byggverkene oppfyller nødvendige standarder. Ved gjenbruk av materialer og elementer er det de samme kravene som gjelder som for nye, og en byggherre må derfor være sikker på at ombruksmaterialer imøtekommer dagens krav. I praksis er det derfor nærmest umulig å ombruke gjenstander som ikke har teknisk dokumentasjon som CE-merking tilgjengelig [25]. Mulighetene for CE-merking av ombrukte materialer er mulig hvis det finnes en harmonisert produktstandard, eller en europeisk teknisk bedømmelse (EAD), men det kan også utføres frivillig om ikke [35]. Ansvar og forsikringsforhold er på bakgrunn av dette en problematikk som forekommer ved spesielt ombruk – der det som regel er den prosjekterende eller utførende part som står for ansvaret. Testing av komponenter kan også utføres av en tredjepart som tar ansvar for teknisk kvalitet, men når ombruk av elementer er såpass lite utbredt er det få aktører som ønsker å stå til ansvar på noe som oppleves som en usikkerhet.

I en utredningsrapport av barrierer og muligheter for ombruk utført av Asplan Viak tilbake i 2018, kom det frem at det er et grunnleggende behov for myndigheter til å avklare og justere regelverket, samt utarbeide en veiledning for generelle dokumentasjonskrav til brukte byggevarer, uavhengig om de skal omsettes eller ikke [36]. Rapporten oppfordret også Norge til å ta en mer aktiv rolle i prosessen med revisjon av Byggevareforordningen innenfor EØS, slik at ombruk kan fremmes.

Etter mye fokus fra bransjen begynner det nå å bli iverksatt tiltak for å starte prosessen med å muliggjøre gjenbruk. I 2022 vedtok regjeringen nye regler i forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) som vil gjøre det enklere å selge brukte byggevarer som ikke oppfyller dokumentasjonskravene til noen som har bruk for dem [37]. I kjølvannet av dette har det blant annet blitt etablert Europas største ombrukslager på Økeren [38], samt en digital plattform for videresalg av brukt materiale [39]. Disse er riktignok mer på materialnivå og ikke større betongelementer, men er fremdeles et skritt i riktig retning.

For fremtidens bygg er det som nevnt tidligere blitt stilt mange krav til nybygg som skal gjøre at sirkulariteten og miljøpåvirkningen blir best mulig. Til dette har man flere manualer og sertifiseringsverktøy som BREEAM-NOR. I den nyeste versjonen her er ombrukskategorien blitt oppdatert med mål om å øke omfanget og tilgjengeligheten av ombrukbare elementer [40]. I TEK 17 er det også blitt introdusert et nytt kapittel som omhandler klima og livsløp [41] – noe som tilsier at det begynner å legges mer til rette for gjenbruk i byggesektoren. Likevel er det fortsatt mange barrierer i dag, spesielt for ombruk.

#### *2.4.3.2 Metoder og kunnskap*

En annen stor faktor til at gjenbruk av elementer ikke er mer utbredt i byggebransjen er mangel på kunnskap og erfaringer. Spesielt er det knyttet flere utfordringer til å teste og beregne kvaliteten til eksisterende bygningselementer. Blant de viktigste årsakene til dette er mangel på dokumentasjon svært fremtreden. Dette omfatter hovedsakelig eldre bygg, da det her ofte er vesentlige mangler av tilstrekkelig dokumentasjon om kvalitet, blanding og alder. Variasjoner i egenskaper grunnet både alder, produksjon og påkjenninger vil også gjøre det vanskelig å kunne si noe om et eksisterende elements tilstand, i likhet med skader og deformasjoner. Alle disse usikkerhetsmomentene gjør at man ofte bare vil kunne estimere et elements tilstand fremfor å kunne fastslå den, og det blir dermed knyttet usikkerhet til den strukturelle integriteten. Da det ikke er en spesifikk manual eller standard som viser til hvordan man utfører en gjenbruksvurdering, vil dette i kombinasjon med mangel på kunnskap og erfaring føre til at gjenbruk forblir tungvint og dermed sjeldent prioritert blant entreprenørene. Med grundig planlegging og testing vil det være mye enklere å kunne utforske gjenbruksmulighetene, og det finnes i dag flere metoder for å kunne gi en pekepinn på den nåværende tilstanden til elementene.

For å kunne gjenbruke et betongelement må man først kartlegge den strukturelle integriteten til materialet. Det er flere metoder for å gjøre dette, men det fører også med utfordringer knyttet til dem. Ved å gjøre en visuell inspeksjon får man en viss oversikt over skader, sprekker, avskalling og deformasjoner i materialet. Likevel kan det være begrenset hvor stort område av elementet man har tilgang til å se, spesielt om det er innebygd. Man kan også utføre ikke-destruktive tester på overflaten av elementet for å identifisere svekkelser i elementet og evaluere tilstanden til materialet. Utfordringene med dette vil være tilgangen til disse testene, og at det kan føre med feilkilder til selve utførelsen. Dette kan være at utføreren ikke har tilstrekkelig erfaring med apparatet, eller at overflaten til elementet er ujevn, som kan være nok til at testen ikke får et svar som er realistisk nok.

Om tilfellet er at elementet ikke kan brukes om igjen i sin opprinnelige form, eventuelt at kun deler av elementet kun skal ombrukes, er det en mulighet for å gjøre destruktive tester på materialet. Her er det en utfordring å få et godt nok helhetlig bilde av materialet, da denne prøven kun representerer en liten del av elementet, og det kan være andre deler av det som har blitt svekket mer i sin levetid.

#### *2.4.3.3 Økonomi*

En av de største utfordringene tilknyttet gjenbruk av betongelementer er det økonomiske aspektet. Som det fremkommer i en rapport utført av Deloitte for regjeringen, er det viktig å redusere de økonomiske barrierene knyttet til å skape lønnsomhet for sirkulære løsninger og forretningsmodeller [42, s. 4].

Per dags dato foreligger det flere ekstrakostnader til gjenbruk i alt fra demontering til transport, og er derfor en vesentlig hindring til at betong ikke er blitt forsøkt gjenbrukt i en så stor grad som ønskelig. Videre er det også kostnadskrevenende å teste ut kvaliteten til eksisterende elementer, da det både er lite utbredt erfaringsmessig og standardisert hvordan man kan gjøre dette, samt at det gjerne kreves kunnskap og utstyr som ikke er like tilgjengelig for alle deler av sektoren enda. I dag er det fremdeles ikke et velutviklet system for gjenbruk av betongelementer, som vil kunne påløpe store kostnader for oppbevaring i påvente av at det dukker opp et nytt formål. Summert opp vil alle disse kostnadsutfordringene føre til at det ofte ikke er økonomisk lønnsomt å gjenbruke elementer, fremfor å produsere ny betong.

Likevel har det blitt bevist i nyere tid at det ikke nødvendigvis er mindre økonomisk lønnsomt å rehabilitere enn å rive og bygge nytt, men dette avhenger av hva som inkluderes i

regnestykket. Etter hvert som forståelsen og mulighetene for bærekraft øker vil også faktorene i regnestykkene endres til fordel for rehabilitering [43]. Spesielt lokalt ombruk har et stort potensial for å spare både miljø og kostnader, og det har blitt bevist ved flere ulike forsøksprosjekter allerede at dette er mulig.

Et av verdens første nybygg der hele 80 prosent av byggematerialene er ombrukt, KA13 i Oslo, peker dog også på utfordringene knyttet til mangelen på et velfungerende ombruksmarked. Til tross for at ombruksmaterialene på byggetidspunktet i 2021 var billigere enn nye, endte prosjekteringskostnadene til prestisjeprosjektet med å være 15 prosent dyrere enn ved et nybygg-alternativ grunnet mangel på et velfungerende system. Byggherren Entra kom derfor ut i etterkant og uttalte at de ikke ville gå i gang med så omfattende grad av ombruk i dag, grunnet savnet av en velfungerende markedsplass for byggevarer [11].

#### *2.4.3.4 Plasstøpt betong*

Riving er en svært stor utfordring knyttet til gjenbruk av betongelementer i dag. Ved plasstøpt betong er dette en enda større utfordring som gjør det vanskelig å utføre en effektiv og nøyaktig riving, uten å påføre skade på det ønsket bevarte elementet. Potensielle defekter og skader på elementets strukturelle integritet kan være vanskelig å oppdage og gjøre det mindre skikket til gjenbruk grunnet tap i kvalitet. Det kreves derfor nøye inspeksjon og testing for å sikre at elementet holder stand etter riving.

Videre er plasstøpte elementer ofte svært tunge og krever spesialisert utstyr og ekspertise for å kunne fjernes trygt. Transportering av elementene vil også kunne by på problemer og høyere kostnader. En annen problemstilling er at betongelementer støpt på stedet ofte er spesialdesignet for det spesifikke tilfellet. Elementer kan derfor være vanskelig å ta i bruk på nytt for et annet bygg grunnet dens kompatibilitet med andre design eller strukturelle krav.

Ved tilfeller av plasstøpt betong er det derfor viktig å nøye vurdere de mulige fordelene med gjenbruk opp mot ressursene som blir brukt på utfordringene med riving, transport og tilpasning, samt den ekstra miljøpåvirkningen som kan forekomme i lag med overholdelse av gjeldene lover og regler.

### 3. Metodikk og datagrunnlag

I dette kapittelet vil det bli gjennomgått hvilken forskningsmetode som blir benyttet i oppgaven, samt gjennomgang av metode og datagrunnlag.

#### 3.1 Forskningsmetode

For å best kunne besvare forskningsspørsmålet er det viktig å velge seg ut en forskningsmetode tidlig slik at man har en klar plan på hvordan man tar fatt på problemstillingen. En forskningsmetode kan defineres som «a plan that guides the investigator in the process of collecting, analyzing, and interpreting observations. It is a *logical model of proof* that allows researcher to draw inferences concerning casual relations among variables under investigation» [44, s. 77–78]. Alle typer empiriske forskningsprosjekter benytter seg enten av en implisitt eller eksplisitt forskningsmetode. Helt elementært forklart er metoden som benyttes den logiske sekvensen som kobler empiriske data til en studies innledende forskningsspørsmål, og til slutt dens konklusjon [45, s. 20].

Med et bevisst bruk på forskningsmetode opparbeider man seg en troverdighet og validitet gjennom en systematisk og strukturert tilnærming, i tråd med gjeldene prinsipper og standarder [46]. Videre tydeliggjør det fokuset på forskningsspørsmål og målsetninger ved å avgrense studiens omfang og identifisere hva som må undersøkes. Dette sikrer at forskningen forblir fokusert og relevant [47]. I tabell 1 ser man en oversikt over hvordan man kan bedømme valg av strategi.

I tillegg til forskningsmetode er det flere aspekter som må avgjøres for hvordan man skal besvare forskningen. Spesielt forskningstilnærming er viktig å avgjøre tidlig og det finnes her to ulike metoder; kvalitativ- og kvantitativ metode. Ved førstnevnte går man i dybden på et tilfelle og har et mer innsnevret fokus. Dette gjør at forskningen blir mer spisset, og man får en større forståelse for tilfellet. For et kvantitativt forskningsopplegg derimot, tallfester man informasjon basert på større mengder data [48], som gjør at man får et mer bredere fokus på temaet.

Tabell 1 - Relevante situasjoner for ulike forsknings strategier (COSMOS Corporation, sitert i [40, s. 5])

**Relevant Situations for Different Research Strategies  
(COSMOS Corporation, cited in Yin, 2003).**

<b>Strategy</b>	<b>Form of Research Question</b>	<b>Requires Control of Behavioural Events?</b>	<b>Focuses on Contemporary Events</b>
<b>Experiment</b>	How, why?	Yes	Yes
<b>Survey</b>	Who, what, where, how many, how much?	No	Yes
<b>Archival Analysis</b>	Who, what, where, how many, how much?	No	Yes/No
<b>History</b>	How, why?	No	No
<b>Case study</b>	<b>How, why?</b>	<b>No</b>	<b>Yes</b>

### 3.1.1 Case-studie

Et case-studie, (også omtalt som tilfellestudie etter det latinske ordet kasus [49]), er en forskningsmetode som brukes til å undersøke et fenomen grundig og innenfor sin virkelige kontekst. Denne tilnærmingen har ofte blitt sett på som en mindre god akademisk metode innad i forskningsmiljøet [45, s. xiii], men ble etter publikasjonen av boken «Case Study Research Design and Methods» popularisert av forfatteren Robert K. Yin. Boken brukes i dag som en standard referanse for forskere som benytter seg av metoden.

Yin definerer et case-studie som en empirisk undersøkelse som undersøker et samtidfenomen innenfor sin virkelige kontekst, spesielt når grensene mellom fenomen og kontekst ikke er klart synlige [45, s. 13]. Med andre ord så innebærer dette å undersøke en bestemt instans eller tilfelle, for å forstå dets unike kunnskaper, kompleksiteter og samspill.

Case-studie blir ofte ansett som en foretrukken forskningsmetode når det kommer til «hvordan» og «hvorfor» spørsmål, se tabell 1, og er derfor blitt benyttet i denne masteroppgaven basert på problemstillingen. Etter valgt forskningsmetode kan man snevre metoden enda litt inn ved å velge hvilket type case-studie man ønsker å benytte. Det finnes flere ulike typer, i boken til Yin defineres tre ulike typer: utforskende-, deskriptiv- og forklarende case-studie [45, s. 1].

I et utforskende case-studie er formålet å utforske og generere nye idéer, hypoteser og teorier for et fenomen det er tilknyttet begrenset kunnskap eller forståelse. Denne metoden er særs nyttige i tidlig faser av forskning for å kunne identifisere relevante variabler, og utvikle en teoretisk forståelse for emne. Denne typen forskning er som regel kvalitativ og benytter seg ofte av observasjoner, dokumentanalyser og dybdeintervjuer for å fremme forståelse [50].

Vinkler man studiet inn på en deskriptiv metode er formålet å gjengi en detaljert beskrivelse av et fenomen, en situasjon eller et tilfelle. Denne metoden egner seg godt når det er behov for å beskrive og forstå en spesifikk kontekst eller et unikt tilfelle, og gir gjennom lignende bruk av datainnsamling som den utforskende metoden, en solid oversikt og innsikt i komplekse situasjoner [51].

Et forklarende case-studie benyttes som regel ved ønske om å undersøke sammenhenger og årsaksvirknings-relasjoner i et fenomen eller situasjon. Her fokuseres det på å identifisere og forklare hvorfor noe har skjedd ved å undersøke de underliggende mekanismene og prosessene. Her kan det benyttes både en kvalitativ og kvantitativ datainnsamlingsmetode for å utdype kunnskapen om årsaksfaktorer og sammenhenger for det gitte tilfellet.

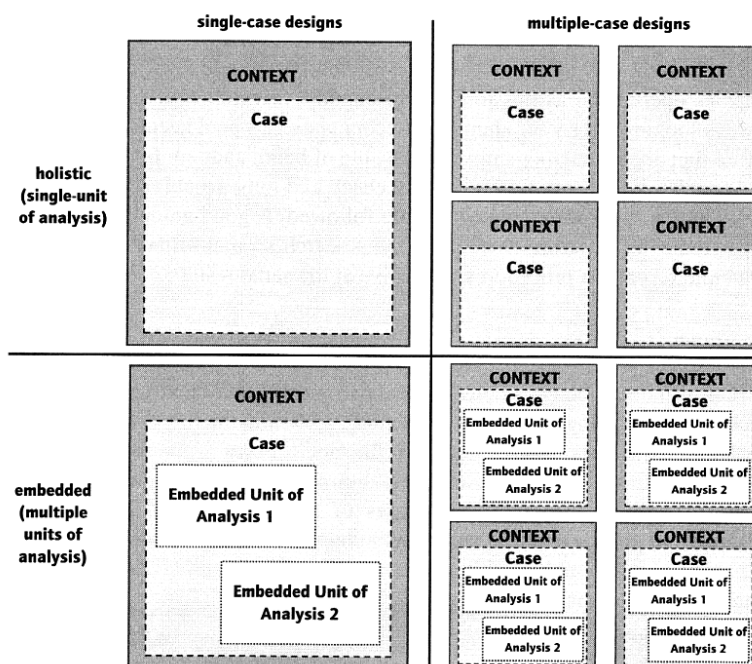
Til tross for de ulike tilnærmingene er det likevel mulig å benytte seg av en kombinasjon av samtlige forskningsstrategier (da spesielt innenfor utforskende case-studie), eventuelt at det forekommer tilfeller der to strategier fremstår som like attraktive og besvarende på forskningsspørsmålet. Likevel er det som regel tilfeller der man burde kunne identifisere at en spesifikk strategi har en vesentlig fordel tilknyttet seg, til tross for at de ulike strategiene ikke utelukker hverandre [45, s. 9].

Det er derfor et karakteristisk trekk ved case-studier at man har et fleksibelt forskningsdesign som kombinerer ulike forskningsdesign, hvor man benytter seg av forskjellige datakilder og metodetrianglerer for å se om de ulike innsamlede dataene korrelerer.

Tabell 2 - Valg av forskningsmetode

<b>Kontekst</b>	Gjenbruk i den norske byggesektoren
<b>Forskningsmetode</b>	Case-studie
<b>Forskningsspørsmål type</b>	Utforskende/Forklarende
<b>Forskningstilnærming</b>	Kvalitativ
<b>Data/informasjon</b>	Primær data: Observasjoner, tester, modellering Sekundær data: Artikler/rapporter/bøker/standarder
<b>Data analyse</b>	Teoretisk analyse

Yin presenterer to dimensjoner for case-studier; enkeltcase og flercase-studier. Som vist i figur 6 finnes det to typer design innenfor disse igjen, som gir oss totalt fire mulige case-studier å benytte. Når man bestemmer seg for hvilken tilnærming som skal benyttes er det viktig å først tenke gjennom om forskningen skal ha en enkelt- eller flertallig case-design. Basert på kriteriene foreslått i boken til Yin, faller denne oppgaven innunder et enkeltcase-design og de to mulighetene som følger med. Dette baseres på at forskningen undersøker et spesifikt tilfelle, og tar i betraktning omstendighetene og forholdene knyttet til dette. Under bedømmelse av form av case-studie så er det vel så viktig at denne baseres på de tilgjengelige ressursene og begrensingene, som forskningsspørsmålet og formålet, for å oppnå de ønskede resultatene.



Figur 6 - Vanlige typer design for case-studier [45, s. 40]



## 3.2 Metode

Inspeksjoner, tester og beregninger blir utført i samsvar med gjeldende standarder, forskrifter og anbefalte manualer benyttet i Norge. Aktuelle gjenbruksmuligheter vil bli analysert gjennom dataprogram, teori og håndberegninger.

### 3.2.1 Visuell inspeksjon

Inspeksjon av eksisterende konstruksjoner er en velkjent metode for å kunne oppdage eventuelle skader og påkjenninger i tidligfase. Med en slik kartlegging av konstruksjonens tilstand muliggjøres det for reparasjon og rehabilitering fremfor total utskifting ved potensielle problemer. Inspeksjon er derfor en standard prosedyre som utføres jevnlig for å kunne si noe om livsløpet til konstruksjonen. Betongkonstruksjoner er intet unntak og er ofte utsatt for potensielle skader gjennom forandring i strukturen eller bruken, skader gjennom ulykker, forverring og mer. Gjennom en visuell inspeksjon er det lettere å kunne si noe om årsaksforholdet og det er derfor viktig dette rapporteres på en god måte.

Det finnes per nå ikke en nasjonal standard for betonginspeksjon, og veiledningen «ACI 201.1R-08», som er utarbeidet av det amerikanske betonginstituttet (ACI) og ofte benyttes i bransjen, blir derfor tatt i bruk. Her fremkommer det at det ideelt sett skal utføres en visuell inspeksjon umiddelbart etter ferdigstillelse med påfølgende inspeksjonssykluser gjennom konstruksjonens livsløp. På denne måten har man mye bedre kontroll over betongens kvaliteter som ytelse og holdbarhet, og man kan oppdage potensielle skader i en tidligfase som muliggjør reparasjon og rehabilitering fremfor total utskifting.

### 3.2.2 Ikke-destruktive tester

Ikke-destruktiv testing (NDT) er en betegnelse for ikke-ødeleggende testmetoder som benyttes for å evaluere egenskapene og påvise materialfeil i et element, material ol. Felles for disse metodene er at de ikke ødelegger, reduserer funksjonsevnen eller de fysiske egenskapene til prøvestykket under testingen [1].

### 3.2.2.1 Schmidt-hammer test

Schmidt-hammer test, eller slaghammer test, er en ikke-destruktiv test som er godt egnet til å gi en indikasjon på betongens trykkfasthet. Hammeren består av en fjærkontrollert masse som glir på et stempel i et rørformet hus. Når stempelet presses mot betongoverflaten, blir den fjærkontrollerte massen slått tilbake. Tilbakeslaget av massen avhenger av hardheten til betongoverflaten, og betongens trykkstyrke kan dermed korreleres med betongens hardhet og tilbakeslagsverdien [53]. Prosedyren for bruk følger standarden «NS-EN 12504-2:2001: Prøving av betong i konstruksjoner – Del 2: Ikke-destruktiv prøving – Bestemmelse av slaghammerverdi» [54]. Tilbakeslagsverdien (R) kan regnes ut ved hjelp av formelen under. Denne verdien gir en indikasjon på betongens egenskaper, spesielt trykkfastheten.

$$R = \frac{\text{rebound distance}}{\text{length of stretched spring}} * 100$$

### 3.2.2.2 Cover-Meter

Ved hjelp av magnetiske felt kan et cover-meter instrument lokalisere armeringsjern i betongen, og måle det nøyaktige betongdekket over armeringen [55]. Å vite avstanden inn til armeringen i betongen er viktig for å avgjøre om stålet er godt nok beskyttet for å unngå karbonatisering eller andre kjemiske reaksjoner [56].

Metoden utføres ved å bevege det håndholdte instrumentet langs betongoverflaten, og et pip vil oppstå når instrumentet er plassert rett over et armeringsjern. Måleren kan estimere størrelsen på armeringsjernet om dybden på betongdekket er kjent, eller dybden til betongdekket om størrelsen på armeringsjernet er kjent [55].



Figur 7 - Utstyr benyttet til ikke-destruktive tester. Oppe t.v. cover meter. Midten t.v. digitalt cover meter. Nede t.v. Schmidt hammer. T.h. Cover meter kalibreringsblokk.

### 3.2.3 FEM-Design

FEM-Design blir benyttet for å vurdere den konstruktive integriteten til den aktuelle vegg. Dette er en avansert programvare konstruktører bruker for å løse alt fra enkle til mer kompliserte konstruksjoner, både i 2D og 3D. Programmet er egnet for å utføre statikk, dynamikk, stabilitet, jordskjelvsanalyser og dimensjonering av betong, stål og tre med stor nøyaktighet. Ved hjelp av et intuitivt og brukervennlig CAD-verktøy kan konstruksjoner modelleres på en enklere måte, som viser geometri og resultater med avansert grafikk eller som animasjon [57].

### 3.2.4 One Click LCA - Building circularity

Bæresystemets sirkularitet blir analysert med bruk av programmet «One Click LCA – Building Circularity». Dette er et hjelpemiddel som kan bidra med å spore, kvantifisere og optimalisere sirkulariteten til materialer, både ved bruk og ved slutten av livssyklusen [58]. Med andre ord vil det være lettere å utvikle og gjennomføre en klar strategi på hvordan designe mer bærekraftige og sirkulære konstruksjoner.

I programmet kan man definere de materielle kildene man bruker, samt hvilke utløpsprosesser som er tilknyttet materialene. Ut ifra disse to aspektene vil man kunne si noe om konstruksjonens sirkularitet i form av en prosentsscore.

På denne måten kan man allerede i designerfasen finne frem til hvilke alternativ som utgir den mest sirkulære tilnærmingen, i tillegg til å kunne ta i bruk verktøyet under en konstruksjons livsløp.

### 3.2.5 Framework

For å presentere forslaget til metode for avgjørelse av gjenbruk for betongelementer benyttes det et framework, også kalt flytdiagram, for å illustrere forslaget. Dette er en visuell representasjon av en arbeidsflyt eller prosess, som viser en trinnvis tilnærming til å nå et bestemt mål [59].

Det finnes flere fordeler med å benytte seg av denne metoden. Ved å visualisere trinnene på en intuitiv og oversiktlig måte føre det til at det blir lettere å kommunisere komplekse prosesser og systemer, i tillegg til at det standardiserer arbeidsflyten. Ved å adressere punktvis hvor problemer og avgjørelser må tas vil dette kunne føre til en mer effektiv beslutningsprosess, og redusere risikoen for å utføre prosessen feil.

## 4. Dimensjonering og beregninger

I dette kapittelet skal det gjennomgås de ulike dimensjoneringene og beregninger som ligger til grunn for de aktuelle vurderingsfaktorene som benyttes under bestemmelse av gjenbruksmulighetene. Her gjennomgås verdier og avgjørelser som er benyttet i de ulike dataprogrammene som FEM-design og One-Click LCA, samt kostnadsberegninger. Det blir også gjennomgått teknisk utførelse for noen av gjenbruksalternativene.

### 4.1 Lastgrunnlag

I dette kapittelet gjennomgås de aktuelle lastene som benyttes under vurderingen av den strukturelle integriteten til betongveggen. Veggen ble oppført samtidig som skolen og har en alder på 53 år og måler rundt 8,1 x 10,6 x 0,275 meter (**b x h x t**). Relieffene måler 1,8 x 1,8 meter per stykk, se figur 1 for lokasjon.

#### 4.1.1 NS-EN 1991-1-1 Laster på konstruksjoner

Det blir utført en analyse av den konstruktive integriteten på programmet FEM-Design. Det blir utført beregninger for snølast, vindlast og klatrelaster, som videre legges inn i FEM-Design for veggen.

##### 4.1.1.1 Snølast

Snølastberegningene utføres for hånd i henhold til «NS-EN 1991-1-3 Snølaster» [60]. Haugesund kommune har en karakteristisk snølast på  $1,5\text{kN/m}^2$ , som ikke vil få et lasttillegg ettersom at veggen ikke overstiger kommunens høydegrense over havet på 150 meter. Toppen av veggen er flat, og den vil få en formfaktor på 0.8 som gjelder på takvinkler opp til 30 grader. I tillegg er eksponeringskoeffisienten og den termiske koeffisienten satt lik 1,0. Dette gir en snølast på  $1,2\text{kN/m}^2$ .

I FEM-Design tegnes veggen opp som et «Shell element», som gjør at snølasten må tilføres på veggen som en linjelast. Dette gjøres ved å multiplisere snølasten med veggtykkelsen på 275mm, som gir en verdi på  $0,33\text{kN/m}$ . Se vedlegg A1 for fullstendig utregning.

#### 4.1.1.2 Vindlast

Beregningene for vindlast utføres for hånd i henhold til «NS-EN 1991-1-4 Vindlaster». [61] Veggen blir vurdert til terrengkategori III med en overgangssone til kategori I, da det er nærliggende sjø, 1,4km ifra bygget, som man kan se på figur 8. Haugesund kommune har en referansevindhastighet på 28m/s, som konservativt ikke blir redusert ved hjelp av aktuelle faktorer, for å se på verst tenkelig tilfelle. Derfor blir også basisvindhastigheten 28m/s. Overgangssonen blir hensyntatt under beregningen av vindkraften. Fullstendig utregning ligger i vedlegg A2.



Figur 8 - Avstand fra Haraldsvang skole til sjø, vist i Google Maps.

#### 4.1.2 NS-EN 12572-2 Klatreanlegg

Da veggen blir sett på som en potensiell gjenbruksmulighet som en klatrevegg, blir det utført beregninger for dette i henhold til «NS-EN 12572-2 Klatreanlegg» [62].

Tabell 3 - Karakteristiske laster for klatrevegg [62]

	Karakteristisk last
Last fra klatrer	0,8 kN
Substitusjonsslast (per m <sup>2</sup> )	0,4 kN/m <sup>2</sup>
Sikkerhetsfaktor	1,35



I tabell 3 ser man hvilke laster veggen påføres som en klatrevegg, hvorav begge multipliseres med en sikkerhetsfaktor. Lasten fra klatreren ses på som en punktlast, som plasseres sentralt på veggen der de øverste klatrehåndtakene befinner seg.

Det er to alternativer for hva slags klatrevegg veggen kan brukes til; klatrevegg med sikring i form av tau, eller klatrevegg uten sikring (buldrevegg). Da veggen er plassert i skoleområdet, vil det ikke være sikkerhetsmessig ansvarlig å ha en klatrevegg det er behov for sikring på stående til fri bruk for elevene. Derfor er det å gjøre veggen om til en buldrevegg den beste og tryggest løsningen. Høyden på klatreveggen kan da være maksimalt 4.5 meter, som vil si at klatrehåndtakene ikke kan strekke seg lengre opp på veggen enn dette. Det følger også med sikkerhet som følge av fall på en buldrevegg, i form av et mykt areal i bunnen av veggen. Reglene for dette er oppgitt i tabell 4 under.

Tabell 4 - Size of the impact area. Hentet fra NS-EN 12572-2 [57]

Height of the wall	Size of the impact area in front of the climbing wall	Size of the side impact area for walls $\leq 10^0$ and no holds on the side	Size of the side impact area for walls $> 10^0$
H	L1	L2	L2
0 to $\leq 3\ 000$ mm	2 000 mm	50% of the height	50% of the height
$> 3\ 000$ mm to $\leq 4\ 500$ mm	2 500 mm	1 500 mm	

Ettersom at høyden på veggen overstiger 3 meter, må sikkerhetsområdet i bunnen av veggen strekke seg minimum 2,5 meter ut fra ytterste punkt på veggen, som i dette tilfellet uansett vil være fra bunnen av veggen da veggen er 90 grader hele veien opp. I tillegg må sikkerhetsområdet være 1,5 meter ut til hver side for veggen, da den er vertikal og helt åpen på sidene [62].

## 4.2 FEM-design modell

Veggen blir skissert opp i FEM-Design med de aktuelle verdiene funnet fra inspeksjon og tester, se kapittel 5 for resultater.

#### 4.2.1 Ombruk

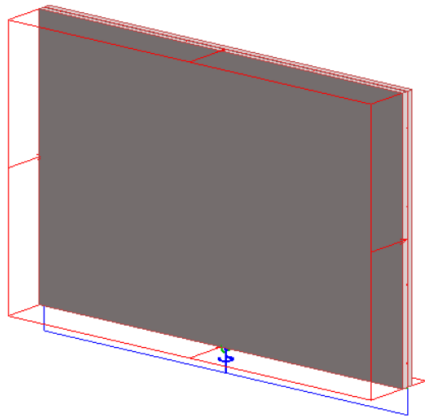
Veggens strukturelle integritet vurderes basert på veggens nåværende situasjon som bærende yttervegg i skolebygget, for å kunne bedømme om ombruk er en mulighet i en lignende tiltenkt lastsituasjon. Ved å modifisere verdiene til veggen direkte i modellen av skolen kan man avgjøre om veggen innehar nødvendig styrke for den gitte lastsituasjonen. Ut ifra antakelsene om at veggen opprinnelig hadde en betongkvalitet på B60, har den derfor fått et tap i styrke, i tillegg til en armeringsreduksjon. Grunnet at veggen er stedstøpt og har et unikt design blir det derfor tiltenkt at den nåværende skolen var et annet nybygg som veggen skulle ombrukes på – og lagt inn de aktuelle verdiene for å se om den tilfredsstilte de strukturelle kravene enda. Basert på vurderinger tatt senere i oppgaven, undersøkes andre konstruktive gjenbruksmuligheter som å bruke deler av veggen til en klatrevegg.

#### 4.2.2 Klatrevegg

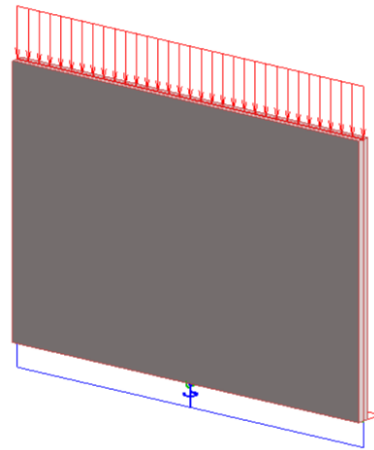
Klatreveggen blir modellert opp som en enkelt, frittstående vegg, fast innspent i bunn. Det blir her sett på halve høyden av veggen, da dette er tiltenkt som den beste løsningen både med tanke på trygghet og utseende.

I programmet velges det betongkvalitet B35/45 ut ifra resultatene gitt fra trykkhammertesten, se kapittel 5.2.1. De utregnede vind- og snølastene påføres veggen som vist i figur 9 og 10 under, og i tillegg blir det påført klatrelast i form av jevnt fordelt last og punktlast vist i figur 11 og 12. Planen blir at klatreveggen skal være på baksiden, altså på den siden der kunstverket ikke befinner seg, og da klatrelastene fungerer som et slags sug på baksiden av veggen, påsettes disse som trykkklaster fra samme retning som vindlasten. Da vil man også oppnå verst tenkelig tilfelle. Klatrelastene og naturlastene legges inn i hver sin «Load case» og deretter kombineres de i «Load combinations» for å kunne kjøre en analyse i programmet med alle lastene kombinert. Resultatet for dette er vist i kapittel 5.3.

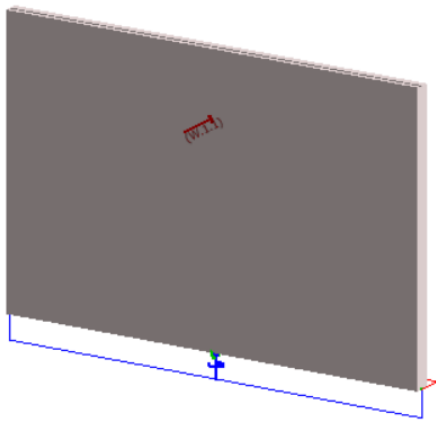




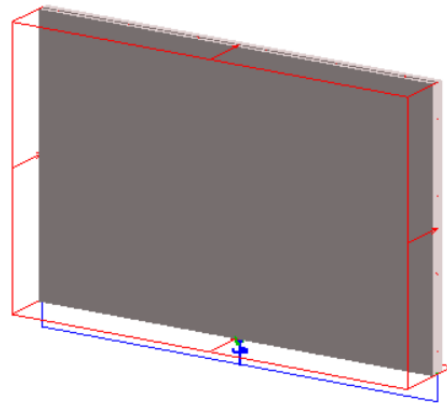
Figur 9 - Klatrevegg med påsatt vindlast,  $v=0.719\text{kN/m}^2$



Figur 10 - Klatrevegg med påsatt snølast,  $s=0.33\text{kN/m}$



Figur 11 - Punktlast fra klatrer på  $1.08\text{kN}$



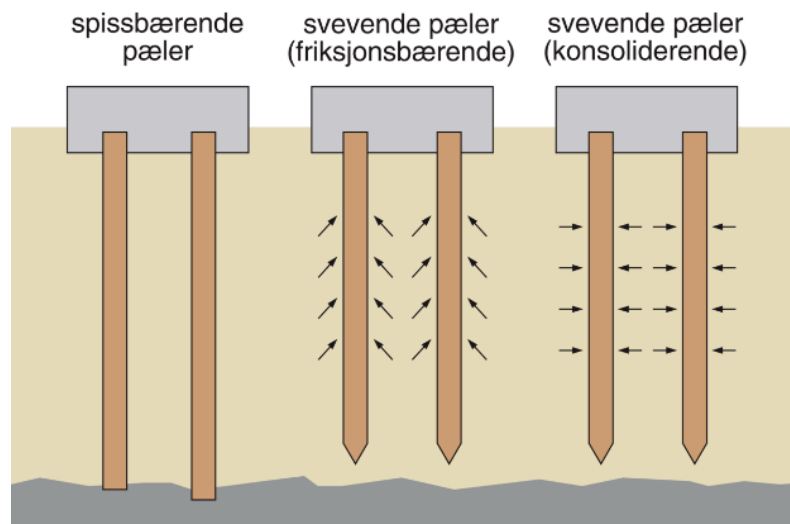
Figur 12 - Belastning på klatrevegg,  $0.54\text{kN/m}^2$

### 4.3 Teknisk utførelse

Om veggen skal brukes som en klatrevegg må den skilles fra resten av skolebygget før rivningen starter, for å kunne unngå skader på veggen på best mulig måte. En betongsag med diamantblader i skiven vil være den beste løsningen for å gjøre dette. Diamantbladene gjør det enkelt å skjære gjennom materialet, da diamant er det hardeste kjente materialet og har en temperaturobestandighet opptil 800 grader celsius i luft [63]. Det kan forekomme noe tap i styrke som følge av utskjæringen, men med dagens teknologi og kunnskap vil ikke dette hindre muligheten for videre bruk.

Når veggen skal støpes i bakken igjen må det først gjøres en del grunnarbeid på forhånd der den skal plasseres. Dette omhandler blant annet å få en oversikt over rør- og ledningssystemer i grunnen, i tillegg til å skaffe informasjon om grunnforholdene. For selve innspenningen av

veggen i grunnen kan det brukes pæler, som borres opp i veggen fra bunn ved hjelp av kjerneboring [64]. Det kan brukes to forskjellige pæler, enten spissbærende pæler som overfører vekten til et fast grunnlag, eller svevende pæler som overfører lasten gjennom friksjonskrefter mellom jordmassene og overflaten til pelene [65]. Pelevalget vil avhenge av hvordan bakken er, og hvor dypt det er ned til fjellet.



Figur 13 - Forskjellige typer pæler [66]

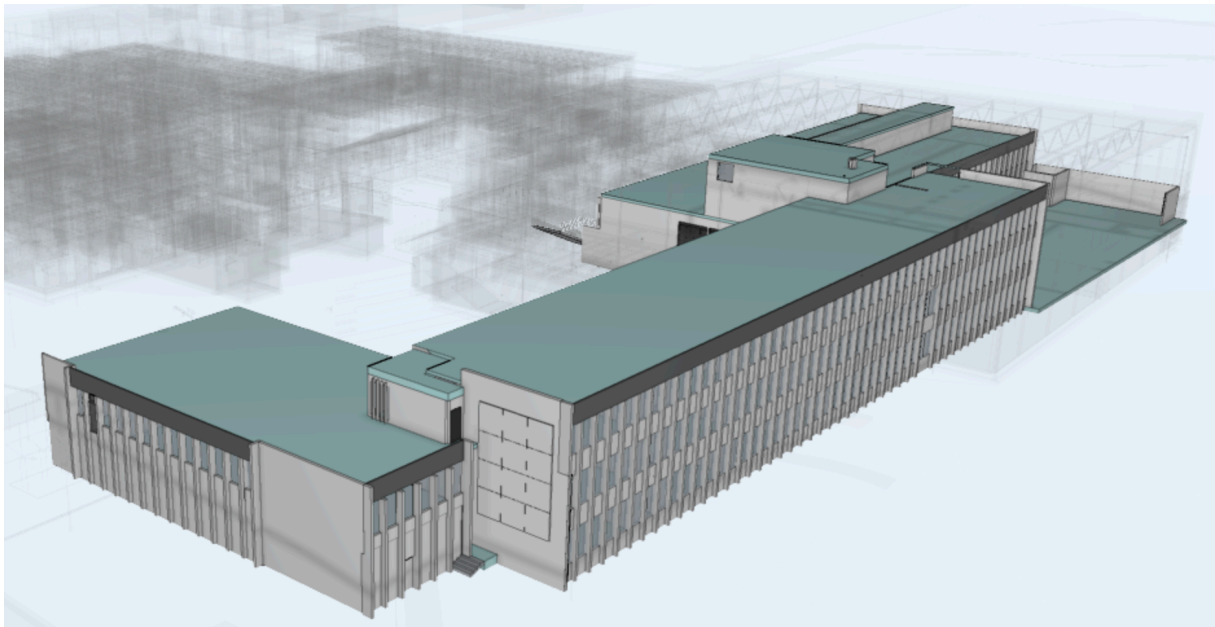
Et annet gjenbruksalternativ er å skjære ut kunststykkene hver for seg og brukes i en dekorativ form. Dette kan være å plassere de omkring på vegger eller i bakken på den nye skolen, eller som en slags gangmur. Om man velger å lage en gangmur kan hele betongtykkelsen benyttes, framfor å kun skjære ut kunsten som er festet til utsiden av betongen. Her blir da samme utskjæringsmetode som ved klatrevegg alternativet benyttet, men trengs ikke å tas like konstruktive betraktninger da dette ikke vil ha en bærende funksjon eller utgjøre noe form for risiko. Ettersom forslaget som klatrevegg kun benytter seg av seks av de tolv figurene i kunstverket er disse forslagene mulig å utføre i tillegg, for de resterende figurene på veggen.

#### 4.4 Building circularity - One Click LCA

For å fremvise bruken av bygningssirkularitet blir det utført utregninger for tre ulike bygg. Et for det eksisterende skolebygget i betong med nåværende tilstand basert på inspeksjonen, samt det nye planlagte skolebygget oppført i massivtre. I tillegg utføres det også en analyse til på det eksisterende skolebygget, bare med bruk av nye materialer og metoder som

tilrettelegger mer for en bedret sirkularitet, som ville vært mer aktuell om bygget ble oppført i dag kontra sent på 60-tallet. Felles for samtlige utregninger er at det i hovedsak blir sett på strukturer i form av fundament, bærende-, og ikke-bærende elementer da det er dette som er av interesse for oppgaven. For den aktuelle veggen utføres det også en forenklet beregning for å vise hvordan elementets sirkularitet endres om deler av den benyttes til en klatrevegg.

For det eksisterende skolebygget blir materialer og mengder basert på tilgjengelig informasjon og den visuelle inspeksjonen. Ettersom skolen er datert helt tilbake til 1967 er det vesentlige mangler på tilstrekkelig data om bygget, utføres det en del antakelser i beregningene i form av beregning av armering og betongkvalitet.



*Figur 14 - Illustrasjon av eksisterende skole i betong, hentet fra IFC fil*

For beregning av armering benyttes standardiserte verdier hentet fra programvaren og blir beregnet med en antatt tverrsnittsreduksjon på 50% for yttervegger og bærende vertikale strukturer. Denne antakelsen er tatt på et erfaringsmessig grunnlag for tilfellet vist i den visuelle inspeksjonen, grunnet mangel på informasjon, se kapittel 5.1. Dette blir ført inn i programmet ved å dele armeringsmengden i to, der den ene delen anses som god nok til å bli resirkulert etter endt livsløp, mens den andre delen er anslått til å ha betydelige mengder med korrosjon som gjør at denne ikke kan benyttes videre i behandlingsskjeden [67].

Type armering settes til generisk stål med 0% resirkulert materiale da dette er ansett som det mest tenkelige for et bygg fra 60-tallet, i tillegg til mangel på informasjon om type stål. Betongkvaliteten hentes fra tegninger som viser til hovedsakelig kvalitet B60 for yttervegger og B30 for noen innervegger, og det blir derfor anslått lignende for resten av bygget med noen modifikasjoner for å finne en mest mulig passende EPD i programmet. Det blir også regnet med bruk av ferdigbetong da det er antatt at prosjektet benyttet seg av plasstøping under bygging.

For det nye skolebygget i tre er det i motsetning til det eksisterende skolebygget, tilstrekkelig mengde med data tilgjengelig angående materialer og mengder. Det tas her med større deler av strukturens oppbygging i form av tilleggselementer som dampsperrer, isolasjonsplater med mer, i tillegg til tak. Dette gjør at denne analysen vil være mer nøyaktig enn de to andre og dermed et mer validert resultat – noe som må tas til høyde for under sammenligning av strukturene. Det blir både tatt i bruk generiske og spesifikke EPD i programvaren, basert på hvilke som er mest passende til de tiltenkte materialene i bygget.



Figur 15 - Illustrasjon av nytt skolebygg oppført i massivtre (t.v.) og ny flerbrukshall (t.h) hentet fra IFC-fil

Som man ser på figur 16 og i vedlegg C, blir det lagt inn mange ulike elementer i hver struktur som illustreres med ytterveggen under. Det blir her også tatt noen forenklinger i mengdeberegningene, men disse med lite påvirkning på resultatet.

Ressurs	Mengde		
 yttervegg massivtre 120mm ?	3116,3 m <sup>2</sup>		
Utvendig kledning med vanntynnbar m ?	3116 m <sup>2</sup>	x	21 mm
Fingerskjøtt trelast - konstruksjon ?	3116 m <sup>2</sup>	x	200 mm
Krysslimt tre, 420 kg/m <sup>3</sup> (Splitkon) ?	3116 m <sup>2</sup>	x	120 mm
Dampsperre i plast, 0.2 mm (Tomm) ?	3116 m <sup>2</sup>	x	0.2 mm
Glassull isolasjonsplater, generisk ?	3116 m <sup>2</sup>	x	100 mm
Utvendig-X typ EH2 (GU-X), 7.2 k ?	3116 m <sup>2</sup>	x	9,5 mm

Figur 16 - Utklipp fra programvaren One Click LCA - Yttervegg massivtre 120mm elementer

Strukturen i tre har også noe betong i fundament og trapper hvor det også her benyttes ferdigbetong. Til forskjell fra det eksisterende bygget fra 60-tallet, blir det her tatt i bruk lavkarbonklasse A betong som har et betydelig mindre miljøavtrykk enn ferdigbetongen benyttet i den eksisterende skolen, se tabell 5. Det benyttes også 100% resirkulerbar armering i det nye bygget, noe som spiller positivt inn på byggets sirkularitet og miljøregnskap.

Tabell 5 - Global oppvarmingspotensial for ulike typer betong EPD, verdier hentet fra One Click LCA

	Ferdigbetong lavkarbonklasse A (trebygg)	Ferdigbetong (eksisterende skole)
Global oppvarming potensial (A1-A3)	210.0 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>	482.21 kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>3</sup>

For sirkulariteten derimot vil det ikke være CO<sub>2</sub> utslippet som vil ha nevneverdig betydning for resultatet, men behandlingskjeden etter endt livsløp. Her er det store forskjeller på om betongen kan bli gjenbrukt som betongtilslag eller ombruk, kontra å bli brukt som fyllmasser eller i verste fall sendt som avfall til deponi. For videre bruk som fyllmasser må betongen være rent og fritt for miljøskadelige stoffer [68], noe som igjen er en krevende prosess. Det anslås at betongen kan brukes som tilslag i ny betongblanding i Portland sement – og dette utgjør derfor et stort utslag på resultatet kontra at den gikk direkte til deponi.

For alternativet til den eksisterende skolen er benyttes det prefabrikkerte betongelementer designet for enkel montering og demontering fremfor stedstøpt betong. Her tas det i bruk generiske verdier med 40% resirkulert bindemiddel samt armering medregnet i EPD. For fundament benyttes det ferdigbetong med like stor andel resirkulert bindemiddel samt tilnærmet 100% resirkulert armeringsjern. Den største forskjellen utenom graden av gjenbruk og resirkulerbare av materialene er bruken av prefabrikkerte elementer, som blir lagt til rette for design for demontering (DfD) og tilpasninger (DfA). Disse vil ikke utgjøre noe forskjell for resultatet av sirkularitet i programmet, men vil likevel spille positivt inn på det helhetlige bildet. Det blir brukt nøyaktig samme mengder materialer i dette alternative bygget som det aktuelle nåværende.

Det siste som illustreres er en forenklet utregning der det kun blir sett på den aktuelle veggen. Her er benyttes det et betongveggelement med B50/60 styrke og armering innlagt. I det ene tilfellet blir rundt halve veggen gjenbrukt som klatrevegg mens de resterende massene sendes til materialgjenvinning – mens i det andre tilfellet legges hele mengden inn som materialgjenvinning. Dette er kun en forenklet modell for å vise elementets sirkularitet og er veldig i småskala i forhold til de andre beregningene.

## 4.5 Økonomi

Økonomi har alltid vært det som i størst grad påvirker valgene som tas på en byggeplass. Dette er også en faktor når det kommer til rivingen av bygg, og i dette tilfellet skal det bevares en av de bærende veggene. Derfor må veggen skilles ut fra resten av bygget før det kan rives, slik at det ikke forekommer skader på veggen som skal bevares, noe som uansett vil uansett føre til ekstra kostnader.

### 4.5.1 Klatrevegg

Hvis veggen skal bli stående er det flere ting man må ta hensyn til ved rivingen av resten av bygget. Da veggen er en bærende yttervegg, kreves det mye planlegging for å utføre det på best mulig måte. For å skille veggen fra resten av bygget før rivingen må det tas i bruk en betongsag med diamantblader. Her blir det sett på verst tiltenkt situasjon med tanke på økonomi, altså at entreprenøren ikke eier et slikt verktøy. Dette fører til at verktøyet må leies inn, samt leie inn enten noen som har opplæring på det, eller noen som kan gi arbeiderne opplæring i det. I tillegg vil alle ekstra arbeidstimer som går ned til bruken av betongsagen gi

kostnader. Når det skal sages på høyere områder på veggen, er det to muligheter for å få gjort dette, enten kan det settes opp stillas eller så kan det leies inn en lift. Da det både er mye mer tidkrevende og i tillegg flere regler som må følges ved stillasbruk, vil det mest økonomiske valget her sannsynligvis være å ta i bruk en lift.

Etter veggen er delt fra resten av bygget må den oppbevares trygt under rivingen av resten av bygget. Her vil den beste økonomiske løsningen være å oppbevare veggen på byggeplassen/skoleområdet. Dette kan gjøres ved å for eksempel ved å plassere den på bildekk eller en annen type dekk liggende på bakken, for å forhindre fukt fra grunnen. Samtidig kan det legges presenninger over for å beskytte mot andre ytre skader. En annen mulighet for å oppbevare veggen er å lagre veggen inne i et lagerbygg eller lignende. Her vil det forekomme leiepriser, samt utgifter ved transporteringen av veggen.

Når veggen skal monteres tilbake i grunnen må dette planlegges og gjøres på riktig måte. Det vil komme ekstra materialkostnader i form av peler, som veggen skal festes dypt i grunnen med. Både grunnarbeidet før veggen skal plasseres i veggen, og selve utføringen vil også føre til ekstra kostnader i form av lønninger og maskinbruk.

Totalt sett vil det gå ned mye tid og kostnader for å bevare veggen kontra å rive den sammen med resten av bygget, noe som er å forvente med tanke på at det er et bygg med plasstøpte vegger. Samtidig vil det være noe mindre materialavfall som må sendes til deponiavfall eller materialgjenvinning ved å bevare veggen, som fører til en litt lavere avgift som må betales for dette. Om veggen inneholder asbest vil det bli enda billigere.



## 5. Resultater

I dette kapitlet gjennomgås resultatene fra de ulike testene og beregningene som er blitt utført i oppgaven. Videre vil vi presentere det foreslåtte frameworket som skal besvare forskningsspørsmålet i oppgaven.

### 5.1 Visuell inspeksjon

Den visuelle inspeksjonen er begrenset til kun de visuelt tilgjengelige overflatene på veggen. Som man ser på detaljbildene vedlagt er det flere synlige sprekker på veggen, ujevn overflate, og maling som skreller av med lett trykk. Vedlagt ligger bilder tatt fra inspeksjonen som viser observasjonene.



*Figur 17 - Bilder fra visuell inspeksjon av veggen*



De synlige sprekke og ujevne overflaten på betongveggen kan skyldes flere ting som termiske endringer, grunnbevegelser, feil i konstruksjonen eller overbelastning [69]. Mest plausibelt basert på erfaring er at disse skyldes vanninntrengning som har ført til at innvendig armering har korrodert. Dette vil føre til en volumøkning som igjen bidrar til strekk i betongen [70]. Det var ikke synlige tegn til utstikkende armeringsjern på veggen, noe som er positivt. Noe overflatebehandling må likevel utføres for å tette igjen sprekker og lignende. Fullstendig inspeksjonsrapport kan ses i vedlegg B.

## 5.2 Ikke-destruktive tester

Vedlagt ligger resultatene fra de ikke-destruktive testene utført på veggen.

### 5.2.1 Schmidt hammer test

Slaghammer-testen ble utført etter gjeldende standard [54]. Her ble det valgt ut tre områder av interesse, samtlige med en større avstand enn 20mm til armeringen. Områdene ble delt inn i en firkant med ni kvadrater, alle med ti centimeters lengder, se figur 18.

Som forarbeid før utførelse av testen bør overflatene bli rensket, belegg fjernes og ujevn overflate slipes jevn. Til tross for at dette er en viktig del av forberedelsene for å få et valid resultat, ble dette ikke utført til punkt og prikke. Overflaten til veggen var i såpass dårlig stand at store deler av malingen skrellet av overflaten med lett trykk, i tillegg til mangel på utstyr der hvor det var store ujevnheter. Da skolen enda er i bruk og det ikke var innenfor å ødelegge veggen verken visuelt eller strukturelt ble det derfor spesifikt valgt ut steder hvor det var best mulig overflate. Likevel blir dette ansett som en feilkilde som vil ha påvirkning på resultatet.



Figur 18 - Schmidt hammer test utførelse på den aktuelle bygget

Som man leser av tabell 6 har man verdiene fra de tre ulike områdene på veggen det ble utført tester. Som man kan se er det nokså like verdier for områdene 1 og 2 med en gjennomsnittsverdi med 41.9 MPa og 41.0 MPa. For område 3 er det noe høyere verdi med 47.3 MPa.

Til tross for lignende gjennomsnittsverdier er det flere ulike verdier mellom hvert enkelt tilfelle. Dette skyldes hovedsakelig feilkilder som ujevn overflate og unøyaktighet under måling som feilvinkling på instrumentet. For å kompensere for dette ble det derfor utført målinger flere ganger på samme sted, for å validere at verdiene ble mest mulig korrekt.

Tabell 6 - Schmidt hammer verdier fra område 1 på veggen.

Nr.	Område 1		Område 2		Område 3	
	Re-bound nr, R	Styrke MPa	Re-bound nr, R	Styrke MPa	Re-bound nr, R	Styrke MPa
1	42	44,1	39	38,7	45	49,7
2	38	37	38	37	51	61,1
3	39	38,7	39	38,7	40	40,5
4	39	38,7	42	44,1	49	57,3
5	41	42	42	44,1	40	40,5
6	40	40,5	42	44,1	39	38,7
7	43	46	38	37	45	49,7
8	42	44,1	38	37	46	51,6
9	43	46	44	47,9	38	37
	Gj.snitt verdi	41,9	Gj.snitt verdi	41,0	Gj.snitt verdi	47,3
Samlet gjennomsnittsverdi for langsiden [MPa]					43,4	

Som nevnt er det flere ulike feilkilder som kan påvirke resultatene. I denne oppgavens tilfelle skulle prøvestykket vinkles 90° noe som kan gi utslag på resultatet ved feilvinkling, men dette anses som marginalt og ble hensyntatt med å utføre testene flere ganger på samme sted. Selve rebound nummeret bestemmes av flere faktorer hvorav styrken og elastisitetsmodulen nær betongoverflaten, tykkelsen til karbonatiseringssonen og stivheten til testobjektet er de mest vesentlige utenom overflatebetingelsene.

I tabell 7 ser man en oversikt over gjennomsnittsverdier av rebound nummer R med tilhørende vurdering av betongkvalitet. Her ser man at samtlige verdier avlest på veggen faller innunder de to beste kategoriene med en tallverdier på 37 MPa og over.

Tabell 7 - Bedømmelse av betongkvalitet gitt ut ifra rebound nummer R [78]

Average <u>Rebound</u> Number	Quality of Concrete
> 40	Very Good
30 -40	Good
20-30	Fair
< 20	Poor and/or Delaminated
0	Very Poor and/or Delaminated

Som nevnt er denne testen ikke ment som et alternativ for bestemmelse av betongens trykkfasthet definert i NS-EN 12390-3, men som et estimat. I testen er det flere feilkilder som også kan spille inn på resultatet, i tillegg til mange faktorer som har påvirkning på bestemmelse av rebound nummeret. Styrken og E-modulen nær overflaten, tykkelsen på karbonatiseringssonen, samt teksturen og fuktigheten til overflaten spiller alle inn på testresultatet.

Gjennomsnittsverdien til de tre målingene er på 43.4 MPa. Da veggen er antatt å ha betongkvalitet B60 viser dette til et stort tap av styrke over tid. Da det er begrenset informasjon knyttet til betongen er det vanskelig å si noe om veggen har hatt et såpass betydelig fall i styrke eller om kvaliteten egentlig er noe lavere enn B60.

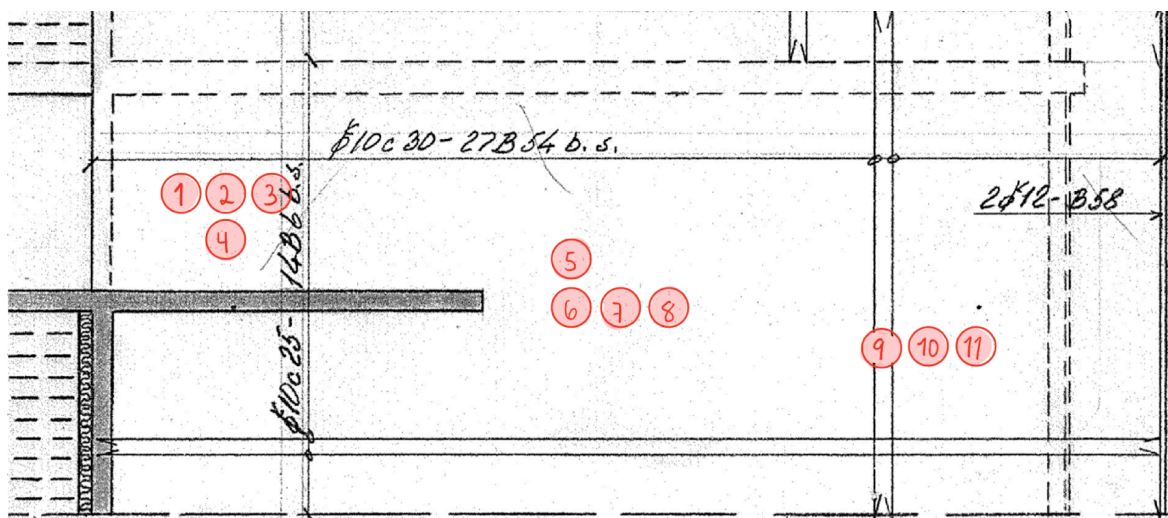
### 5.2.2 Cover meter test

Avstanden til armering ble utført med to ulike typer cover meter instrumenter for å validere avstandene.



Figur 19 - Bilder fra cover meter test av veggen

Som man ser på figur 19 er begge instrumentene benyttet for å kontrollere at resultatene er korrekte. Her viser begge til 53mm inn til armeringsjernet. Som man ser er veggen også smålig ujevn med noen millimeters forskjell, noe som kan ha innvirkning på målerne. Målingene ble tatt på tilnærmet samme sted som målingene med slaghammeren, men forsøkt å ta på de mest glatte overflatene for minst mulig feilmargin.



Figur 20 - Plassering av målingene på veggen vist på tilgjengelig armeringstegning, stiplet linje nederst er bakkenivå



Tabell 8 - Resultat av målingene av avstand til armeringsjern, se figur 20 for plassering av målingene

Måling	Armeringsmåler 1 [mm]	Armeringsmåler 2 [mm]
1	51	50
2	54	54
3	39	39
4	39	39
5	53	53
6	29	29
7	30	30
8	30	30
9	30	30
10	30	30
11	30	30

### 5.3 FEM-design

Det ble utført en analyse i FEM-Design for alle lastene kombinert, for å finne ut om veggen har tilstrekkelig kapasitet til å motstå både ytre naturlaster samt laster den utsettes for som en klatrevegg. Ved å gjøre en «Deflection check» på veggen etter fullført analyse, ble det gitt et resultat på 12% av maksimal utnyttelse. Dette tilsier gode nok verdier for å kunne ta i bruk veggen som en klatrevegg.

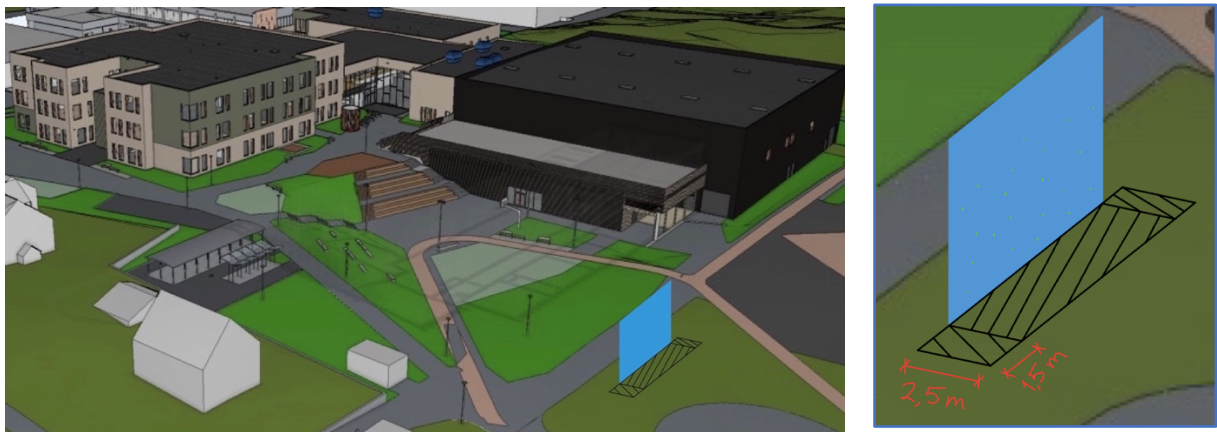
Tabell 9 - Utnyttelse av veggen gitt i prosent av maksimal utnyttelse, hentet fra FEM-modell

Utilization			
	Object	Profile	Max. [%]
✓	W.1.1	-	12

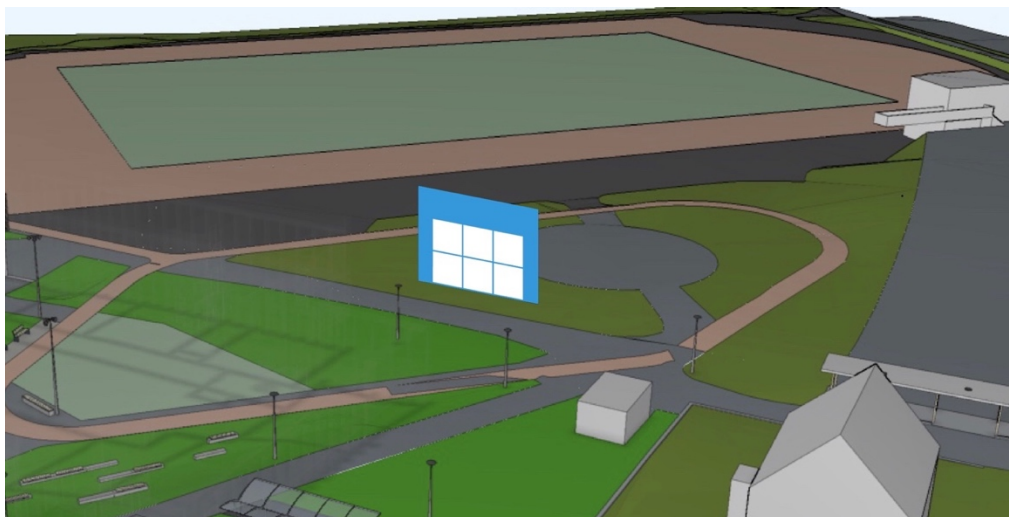
Selv om resultatene tilsier at veggen er godt egnet, er det verdt å merke seg at veggen er tegnet opp med verdier som ikke er helt korrekte da man ikke med sikkerhet kan anslå betongens integritet basert på de testene som er blitt utført.

## 5.4 Klatrevegg

Det har blitt kommet fram til et forslag for plassering til klatreveggen, som man kan se i figur 21 under. Kunsten på veggen vil da være vendt mot den nye skolen, med klatreveggen på baksiden. Dette gjør at klatreveggen får en tilknytning til idrettsanlegget med fotball- og løpebane, samtidig som kunsten blir godt synlig fra skolen og skolegården. På bildet til høyre i figur 21 kan man se hvordan fallsikringen vil ligge i forhold til veggen.



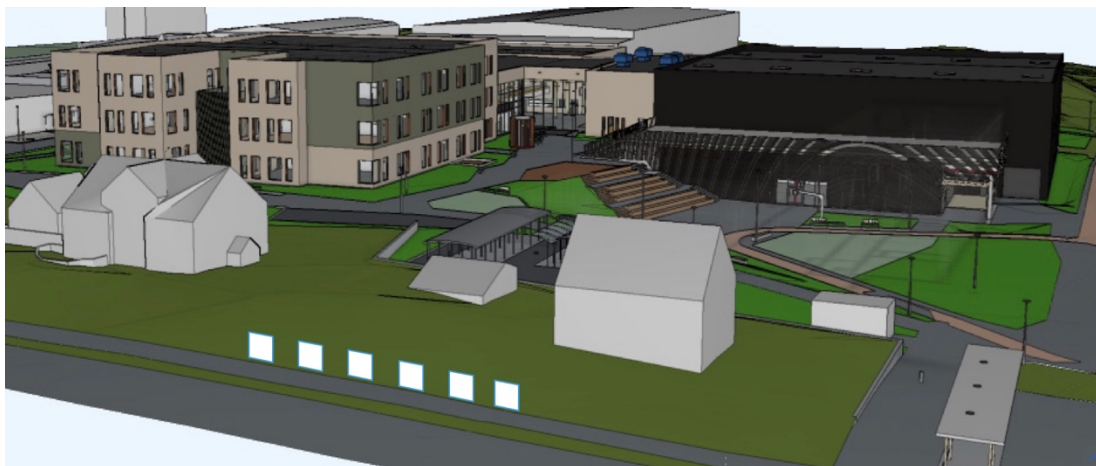
Figur 21 - Klatrevegg sett mot skolen (t.v.), detaljbilde med fallsikringsmål (t.h.)



Figur 22 - Klatrevegg sett fra skolen med kunstverket på framsiden

Da klatreveggen kun vil være halvparten av den opprinnelige veggen, vil også halvparten av kunstverkene fortsatt stå igjen til annet bruk. I figur 23 er det et forslag til hvordan disse kan plasseres langs bil- og gangveien som går forbi skolen.

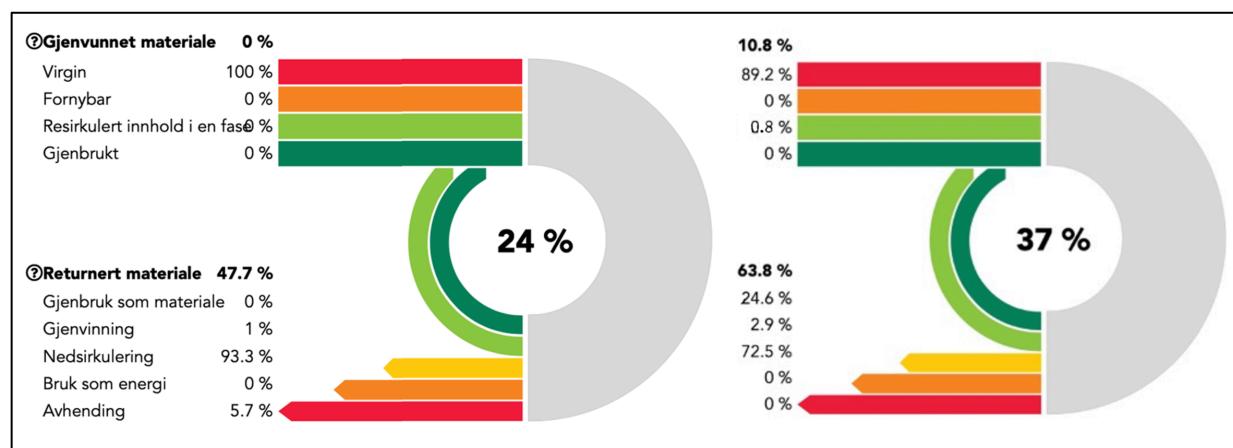




Figur 23 - Kunstverkene plassert langs veien foran skolen

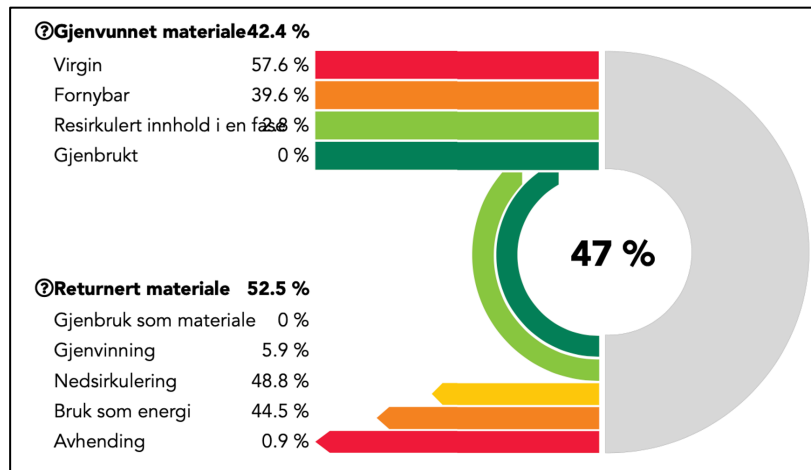
## 5.5 Bygningssirkularitet

Totalscoren av byggets sirkularitet er oppgitt i prosent i figurene under og representerer hvor stor andel av materialene som forblir i det sirkulære kretsløpet. Materialene deles også inn i kategorier for å nærmere vise kretsløpet. Beregningene er rent masse-basert og hensyntar ikke materialvekt.



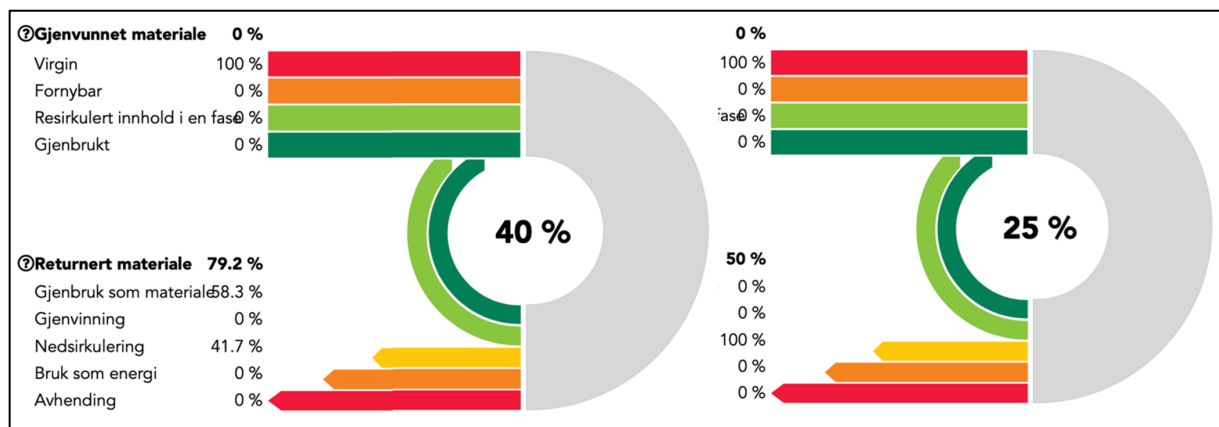
Figur 24 - Bygningssirkulariteten til det eksisterende skolebygget (t.v.) og utbedrete skolebygg (t.h.)

Som resultatene viser for tilfellene basert på det eksisterende skolebygget er det hele 13% forskjell på sirkulariteten ved bruk av nyere materialer og planlegging for gjenbruk. Rundt 11% av alle materialene er gjenvunnet, hvorav 64% går som gjenbrukt materiale. For å omfattes av denne definisjonen i programvaren må materialene enten bli resirkulert, gjenbrukt eller brukt som energi etter endt livsløp. Hele 25% av materialene kan bli gjenbrukt som materiale i motsetning til det eksisterende skolebygget hvor det ikke viser seg mulig.



Figur 25 - Bygningssirkulariteten til den nye skolen i tre

For den nye skolen oppført i tre er det en betydelig høyere sirkularitet tilknyttet bygget. Dette kan begrunnes med at tre som materiale har et mer sirkulært livsløp enn betong [71] noe som viser seg å stemme i dette tilfellet. Som figur 26 viser tar man i bruk en betydelig større andel gjenvunnet materiale allerede fra start av hvorav rundt 40% av materialene er fornybare. Dette er en av hovedfaktorene til at dette alternativet har en såpass bedre sirkularitetsscore enn de to andre. Videre ser man at bruk som energi er en stor andel av endt livsløp for trematerialene. Dette er fordi trevirke kan brukes som brensel etter endt livsløp [71]



Figur 26 - Bygningssirkulariteten til den aktuelle betongveggen hvor halve veggen blir gjenbrukt som klatrevegg og resten til tilslag (t.v), mens hele veggen går til tilslag (t.h.)

I figuren over ser man at veggelementet blir 15% mer sirkulært om en bruker rundt halvparten av veggen til klatrevegg istedenfor å materialgjenvinne alt. I forslaget kan en også skjære ut resten av kunsten å ta den i bruk som om enten dekor eller som en gangmur, som ville ført til en enda høyere sirkularitet. Resterende beregninger og valg av materialer kan ses i vedlegg C.

## 5.6 Økonomi

Det har blitt gjort en anslagsutregning for en estimert sum det vil koste å ivareta halvparten av veggene som en klatrevegg. Prisene er basert på kilder funnet på nettet, antakelser og erfaringer. Utgifter i form av transport vil også forekomme, men er ikke tatt med i beregningene da lokasjon for oppbevaring/gjenbruksprosjekt/deponi ikke er fastsatt. Fullstendig utregning kan sees i vedlegg D.

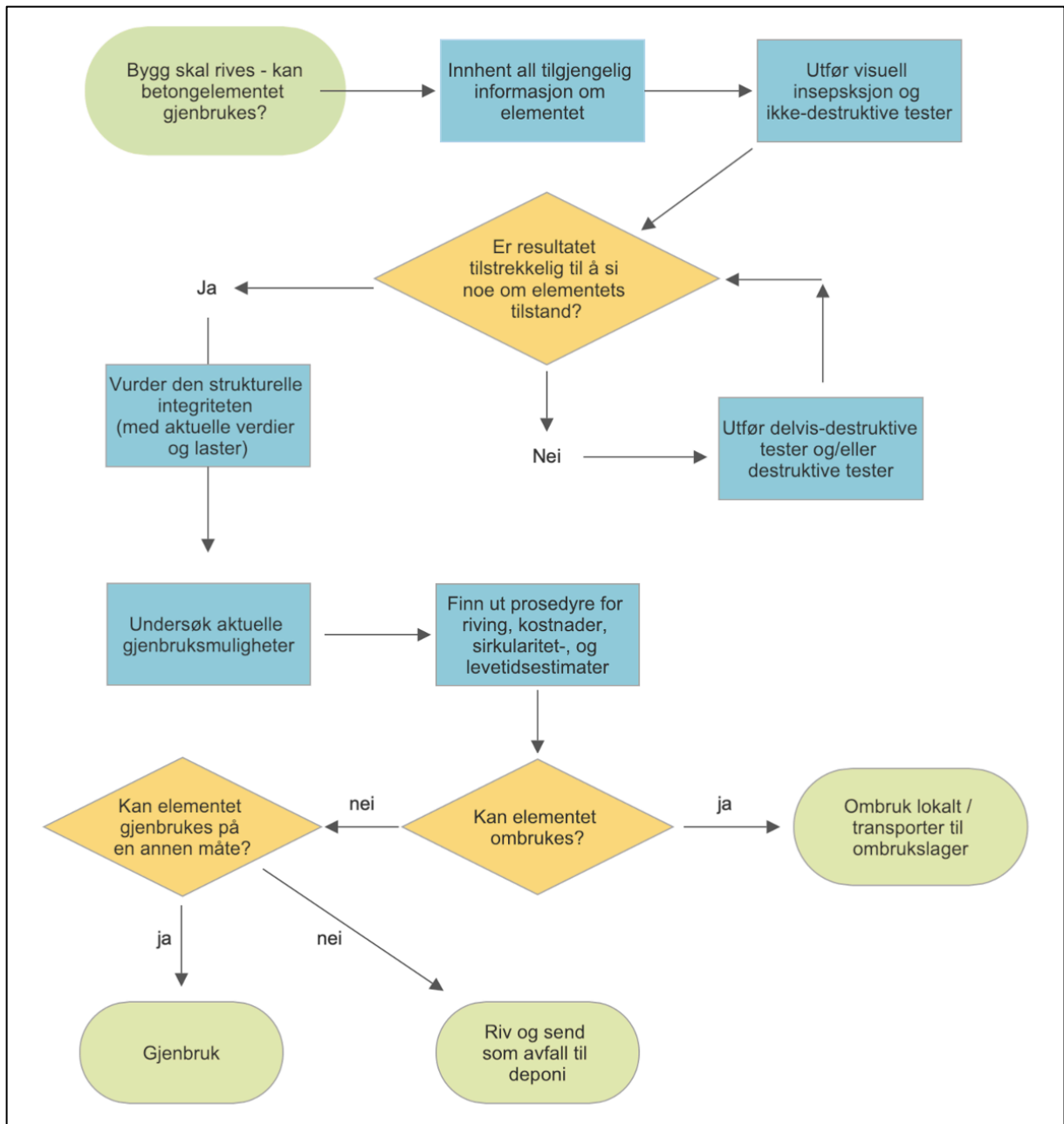
Tabell 10 - Utregning for kostnad til klatrevegg utskjæring

Utgift	Kostnad
Betongsag leie [72]	6 078 NOK
Betongsag opplæring [73]	950 NOK
Lift [74]	19 056 NOK
Arbeidstimer demontering	30 000 NOK
Arbeidstimer montering i grunn	150 000 NOK
Peling [75]	179 676 NOK
Oppbevaring av vegg	4 304 NOK
Penger spart på deponipris [76]	22 724 NOK
<b>Sum</b>	<b>367 340 NOK</b>

Som man ser i tabell 10 vil den grovt estimerte prisen på å skjære ut ligge på kr 367 340,-. Dette er som nevnt veldig anslått basert på tilgjengelige tall hentet fra nettet, men at det vil forekomme en slik ekstra kostnad knyttet til å skjære ut deler eller hele veggene kontra å rive ned alt og sende det videre til deponi er det ikke tvil om.

## 5.7 Framework

I figur 27 presenteres det utarbeidede forslaget i oppgaven til bedømmelse av gjenbruk av betongelementer i form av et framework. Denne er benyttet i oppgavens forskning av veggene på Haraldsvang skole, og formet underveis for å få et best mulig resultat som kan benyttes til lignende situasjoner senere.



Figur 27 - Framework forslag for bedømmelse til gjenbruk av betongelementer

Første steg i avgjørelsen baserer seg på å innhente all tilgjengelig informasjon om de aktuelle betongelementene. Her vil det være nødvendig å hente frem alt fra plantegninger til prosjektbeskrivelser for å kunne finne frem til aktuelle dimensjoner, alder, formål, tidligere vedlikehold og reparasjoner, skader og mangler. I likhet med elementet oppgaven undersøker på Haraldsvang skole, vil det ofte forekomme mangler av vesentlig informasjon på spesielt eldre bygg. Dette vil så klart påvirke den videre prosessen hvor det skal avgjøre essensielle ting som strukturell styrke og lignende, og her må det derfor benyttes antakelser basert på tilgjengelig informasjon og bakenforliggende kunnskap og teori. Som det fremkommer i

lovverket, skal det alltid utarbeides en miljøkartleggingsrapport ved riving eller rehabilitering. Denne er også veldig viktig for å uthente informasjon fra knyttet til innhold av farlige stoffer i de aktuelle elementene, gitt at denne er utført på forhånd.

Etter å ha utført forarbeidet er det nødvendig å komme seg til den aktuelle konstruksjonen for å utføre en visuell inspeksjon. Her er formålet å kunne avdekke om elementet har synlige skader, sprekker eller deformasjoner, samt vurdere tilstanden til betongoverflaten. Det er vesentlig å utføre inspeksjonen på en strukturert måte, og det må derfor tas i bruk aktuelle veiledninger for å oppnå dette. Som nevnt er det ingen gjeldende standarder eller manualer på dette i Norge i dag, og i oppgaven er det derfor blitt benyttet veiledningen «ACI 201.1R-08» som er nokså velkjent i bransjen per i dag.

Nødvendige tester og analyser må deretter utføres for å kunne si noe om betongens aktuelle tilstand. Her er det ønskelig å kunne hente ut informasjon om betongens styrke og tetthet, miljøeksponering, samt informasjon om armeringen i form av plassering, avstander, karbonatisering og andre kjemiske analyser. Det finnes her flere tester man kan benytte seg av som gir data på de ulike interesseområdene, og det er derfor lurt å legge en plan på hvilke som er aktuelle både før og etter den visuelle inspeksjonen. Basert ut ifra bruksområde på elementet ved testing, må det avgjøres om det kun skal utføres ikke-destruktive tester, eller også delvis- og hel-destruktive tester. For et mest mulig validert resultat burde en utføre destruktive tester også, da en da vil oppnå mer nøyaktige data. Men som i oppgavens tilfelle vil ikke dette alltid være mulig, og forblir derfor en vurderingssak basert på hvert aktuelle tilfelle. Ved planlagt ombruk som bærende konstruksjonselement vil det i de fleste tilfeller være nødvendig med destruktive analyser for å kunne få mer informasjon om armeringstilstanden og betongstyrken.

Videre kreves det en vurdering av den strukturelle integriteten. Her vil det derfor være nødvendig å ha tilstrekkelig mengde data fra inspeksjonen og testene som er utført, for å kunne vurdere den nåværende kapasiteten til elementet. Dette utføres best mulig i diverse modelleringsprogram som lar deg påføre aktuelle laster og nåværende styrke. Enklere beregninger av kapasitet kan også utføres for hånd, hvorav formålet med vurderingen er å sammenligne betongelementets kapasitet opp mot gjeldende designkoder, krav og formål.

Når den strukturelle integriteten har blitt vurdert kan man begynne å vurdere hvilke aktuelle gjenbruksmuligheter som finnes. Her bør det gjennomgå flere ulike muligheter da det ikke er sikkert hvilke muligheter som egner seg best for situasjonen. For betong er det hovedsakelig ombruk og gjenbruk i form av fyllmasser og råstoff i ny betong som er mest vanlig praksis. Likevel finnes det flere måter å ta i bruk materialet på ny, hvor man blant annet kan kutte ut deler av elementet og benytte det som ikke-bærende elementer i form av vegger, murer og mer.

Under bestemmelse av aktuelle gjenbruksmuligheter er det flere aspekter som må tas hensyn til i helhetsvurderingen. Til tross for at noe isolert sett kan lønne seg miljømessig betyr ikke det at det nødvendigvis er det beste alternativet totalt. Bestemmelsen er en sammensatt vurderingssak og man må ta hensyn til alt fra økonomi, miljø, kompleksitet og muligheter. Som mange andre bransjer rår kostander høyt i slike avgjørelser, og en kostnadsberegning tilknyttet de ulike gjenbruksmulighetene er derfor nødvendig å foreta. I tilfeller hvor det er mer økonomisk ugunstig å gjenbruke er miljøfordelene viktig å adressere og kalkulere for å sette opp verdien i tiltakene. Bransjen etterlater seg et stort miljøavtrykk og trenger at det forekommer et grønt skifte i måten det opereres på. Avveining av kostand opp mot gevinst er derfor svært essensiell for å avgjøre hvilket gjenbruksalternativ som er mest lønnsomt i det store og hele. I tilfeller der ombruk er mulig burde dette prioriteres, gitt at det er infrastruktur/etterspørsel til å bevare og bruke elementet.

En viktig del av vurderingen til gjenbruksmuligheter er å estimere restlevetid for elementene. Dette kan utføres på forskjellige måter med bruk av alt fra modeller og prognoser til estimering basert på inspeksjoner, testing og standarder. Her tar man også hensyn til forventet videre bruk og dens miljømessige påkjenninger og krav. Estimert levetid kan forlenges ved bruk av rehabiliterende tiltak.

Etter å ha undersøkt prosessen med aktuelt gjenbruk og fått tatt en helhetlig vurdering basert på flere faktorer kan man si noe om det er mulig å gjenbruke elementet. Først og fremst er det ønskelig med ombruk da dette står høyt på avfallshierarkiet. Om elementet egner seg for dette må det enten ombrukes lokalt, eller transporteres og lagres til et annet aktuelt prosjekt dukker opp. Hvis det er et annet gjenbruksalternativ som er mest egnet tas det en helhetlig vurdering på om dette lønner seg eller ikke. Elementet burde kun bli sendt på deponi som en siste utvei, gitt at det er knyttet store miljøskader til betongen som gjør at det ikke egner seg til gjenbruk.

## 6. Diskusjon

Hensikten med denne masteroppgaven har vært å besvare forskningsspørsmålet: «*Hvordan kan man bedømme gjenbruksmulighetene til et betongelement, og hvilke barrierer må håndteres for å implementere dette sirkulærøkonomiske prinsippet i byggesektoren?*». Ønsket har vært å besvare dette med å utarbeide et framework, med formål om å forenkle den uoversiktlige prosessen med hvordan gjenbruk bedømmes i dag. Ved å ta i bruk dette hjelpemiddelet har oppgaven utforsket gjenbruksmulighetene for en bærende yttervegg på Haraldsvang skole som er ønsket bevart grunnet affeksjonsverdien tilknyttet veggkunsten. Videre har det også blitt studert diverse andre vesentlige spørsmål knyttet til temaet for å kunne besvare forskningsspørsmålet. Disse har blitt gjennomgått gjennom i oppgaven og vil nærmere drøftes i dette kapittelet basert på resultatene dette case-studiet har kommet frem til.

### 6.1 Bedømmelse av gjenbruksmuligheter til betongelement ved bruk av framework

Frameworket som vi har foreslått er basert på innhenting av store mengder informasjon og navigering i et uoversiktlig lovverk. Til nå er det kommet mange utredninger og forslag til hvordan man skal få Norge til å bli mer sirkulært, men få håndfaste handlinger i form av tilrettelegging med manualer, lover og infrastruktur. Ettersom gjenbruk er såpass lite standardisert i byggebransjen, forblir denne prosessen utfordrende i påvente av tydeligere rammer. For å finne ut om elementers gjenbruksmuligheter i dag, må man lete seg frem til forskjellige segmenter i de ulike standardene og veilederne, for å finne ut hvordan man kan utføre en vurdering av dette, for så å bruke store kostnader på nødvendig materiell, arbeidskraft og sertifiseringer.

Frameworket vi har foreslått tror vi kan være et nyttig verktøy for å systematisere og strukturere bedømmelsen av gjenbruksmuligheter. Ved å følge en oversiktlig og trinnvis prosess, forenkler man navigering og minsker mulighetene for vesentlige mangler og feil i bedømmelsen. Ettersom at bedømmelse av gjenbruksmuligheter ikke er en rett frem prosess vil frameworkets rekkefølge også kunne variere noe. Spesielt om man skulle endre på tiltenkt gjenbruksmetode, hvor man da vil måtte gå tilbake for å bedømme den strukturelle integriteten til det aktuelle lasttilfelle på nytt, gitt at det er en strukturell form for gjenbruk. Dette var noe også vi erfarte i denne oppgaven da veggen først var tiltenkt til annenstedsombruk, men ble endret til å utforske mulighetene som en klatrevegg i stedet.



Alle trinnene baserer seg på gjeldende standarder og anbefalt rammeverk, og er vist gjennom oppgaven hvilke som er blitt benyttet i vårt tilfelle. Disse må selvsagt opplyses om ved bruk av frameworket, og er noe som burde ligge som et informasjonsskriv ved siden av på samme måte som det er blitt skrevet om i kapittelet 5.7. Her kan det også forenkles en del mer med å ha tilhørende standarder, veiledninger og programanbefalinger på hvert steg klart og tydelig ved siden av, og heller en mer utdypende beskrivelse adskilt. Dette er også en klar svakhet i dette forslaget til besvarelse av forskningsspørsmålet om hvordan man kan bedømme gjenbruksmuligheter. Til tross for å ha illustrert en tilsynelatende fungerende prosess, er det fremdeles basert på gjeldene lovverk som er svært vanskelig å benytte seg av. Det er derfor viktig å være oppmerksom på at forslaget viser til hvordan en kan bedømme gjenbrukstilfeller, og at det krever en større utredning og prosess for å faktisk utføre dette i virkeligheten. Spesielt er det siste trinnet knyttet til selve valget av gjenbruk forenklet en del. Her vil det være flere utfordringer i form av regelverk med problemstillinger som CE-merking, ansvarsproblematikk og tilgjengelighet for gjenbruk som vil kunne stå i veien for å faktisk gjenbruke betongelementet. Bedømmelse av strukturell integritet vil dog forbli det mest problematiske trinnet i frameworket da det per nå er vanskelig å få eksisterende elementer til å oppnå gjeldende krav. Tidlig kartlegging av miljøskadelige stoffer er også vesentlig for å i det hele tatt kunne bedømme om gjenbruk er lovlig, og gjenbruksmuligheter avhenger derfor av at disse verdiene er innenfor lovverket.

Frameworket vil derfor i første omgang passe mer for gjenbruksalternativer som ikke omfatter gjenbruk som bærende elementer hvor det stilles flere strenge krav til integritet, men heller alternativer som ikke krever like stor grad av sertifisering og kapasitet. For at det kan begynne å operere med gjenbruk og spesielt ombruk i storskala kreves det derfor endringer i lovverket, samt smarte løsninger for å kunne sette i gang denne prosessen. Når den tid skjer vil frameworket fremdeles være like aktuell og kunne benyttes til en enda større grad enn på nåværende tidspunkt.

Til tross for at flowchartet er utarbeidet for å kunne bedømme betongelementer, med eksempel av en bærende yttervegg, er oppsettet også ment til å kunne benyttes for andre strukturelle elementer som dekke og fundament. Det å utforme en standardisert modell som egner seg for alle de ulike betongelementene er riktignok svært utfordrende grunnet kompleksiteten og mangfoldet av dette. Forskjellige betongblandinger, armeringsmetoder og tilstander krever ofte skreddersydde vurderinger og tiltak. Dette kan medføre behovet for en

viss grad av fleksibilitet og tilpasning under anvendelse, og det kan eksempelvis være nødvendighet for andre tester og standarder enn de som er gjennomgått i denne oppgaven. Det kan også argumenteres for at frameworket kan egne seg for andre konstruktive materialer som stål og tre - men her vil det kreves at man setter seg dypere inn i materialenes gjeldende regelverk, egenskaper og problemstillinger før man setter i gang med vurderingsprosessen. I denne oppgaven har vi heller ikke undersøkt nærmere gjenbruksprosedyre og lignende for disse materialene og kan derfor ikke påstå så mye annet enn at prosessen ville vært lignende i den forstand at det også kreves å stadfeste den strukturelle integriteten for disse, basert på diverse tester og inspeksjoner for så å fatte en helhetlig vurdering basert på gjeldene alternativer.

Til tross for usikkerhetene knyttet til gjenbruk av betongelementer er hovedessensen i den foreslåtte løsningen å forenkle prosessen med bedømmelse om noe er egnet for gjenbruk eller ikke – noe vi synes den har potensiale til å utføre. Betongelementer er som nevnt tidligere et materiale som har en enorm påvirkning på miljøet, spesielt under produseringsfasen. Gjenbruk av betong er derfor en svært viktig faktor i å få miljøutslippene til byggesektoren ned – og da kreves det en mer oversiktlig prosess for hvordan bedriften kan utføre dette.

## 6.2 utfordringer og løsninger tilknyttet gjenbruk i dagens lineærøkonomi

Som oppgaven har belyst, er det fortsatt mange utfordringer tilknyttet gjenbruk, til tross for et stadig økende fokus på temaet. Som det kommer frem fra flere aktører, er det på tide at det ikke bare kommer utredninger, rapporter og lovnader – men at det faktisk kommer konkrete tiltak som er med på å få bransjen i gang. En strategi uten handlingsplan betyr lite i det store og hele.

I dagen lineære tilnærming tilrettelegges det ikke for gjenbruk, og det kreves derfor at alle aktører er med på å samarbeide for å få til omveltningen. Dette gjøres ikke over natten eller på eget initiativ, og man er derfor avhengig av lovpålagte standarder og tiltak for å få prosessen til å gå raskest mulig.

Dagens lovverk er den største barrieren for å muliggjøre gjenbruk til en normalisert prosess i bransjen. Lover og forskrifter er i dag konstruert for en lineærøkonomisk praksis, og det å tvinge inn en ny sirkulærøkonomisk adferd inn i dagens rammeverk vil by på utfordringer [36, s. 7]. Under en utredning av barrierer og muligheter foreslår Asplan Viak å innføre egne

virkemidler og regelverk som et alternativ til de eksisterende. Gjennom avgiftsregimer, særprivilegier og egne rammevilkår ser de for seg at dette kan føre til en markedsendring på lik linje som skjedde ved introduksjonen av el-biler og solceller [36, s. 7]. Etablering av egne organisatoriske enheter for kontroll, dokumentasjon og sertifisering som igjen støtter gjenbruk gjennom insentivordninger, er et forslag som virker å være veldig aktuelt og vil gjøre gjenbruk mer lukrativt for aktørene.

En annen viktig utfordring som henger tett sammen med lovverket er økonomi. Til tross for en sektor som stadig får en mer miljøfokusert politikk, er det fortsatt økonomi som trumfer gjennom. For å løse de økonomiske utfordringene ved gjenbruk kreves det derfor flere tiltak for at bransjen skal begynne å gjenbruke mer, underveis som at hele landet får en mer tilrettelagt tilnærming for gjenbruk. Fellesnevneren for disse tiltakene vil være at de er med på å bidra til en økt etterspørsel av betongmateriale som igjen kan bidra til et velutviklet nettverk av erfaringer og muligheter i bransjen. Først og fremst vil det å bevisstgjøre de positive fordelene med gjenbruk være essensielt. Da som oftest alle valg i livet baseres på en totalvurdering, vil man også ved avgjørelse på om et element lønner seg for gjenbruk ta med andre aspekter enn bare de økonomiske. Om en kan tydeliggjøre alle de positive aspektene med gjenbruk vil det kunne være lettere å la det gå på bekostning av det økonomiske.

Tiltak som økonomiske intensiver vil også kunne være aktuelt for å bidra til å redusere de økonomiske forskjellene. Ved et økt fokus på gjenbruk vil det også på sikt kunne bli lettere å utvikle mer effektive og kostnadseffektive metoder ved gjenbruk, spesielt vil det kunne foreligge mye potensial for utvikling under demonterings- og transport-prosessen.

For at vi skal kunne gjøre byggebransjen mer sirkulær må man både stille krav til nye bygg med baktanke om gjenbruk helt fra starten av byggefasen, samt legge til rette for gjenbruk av de eksisterende. Konstruksjoner som oppføres i dag bør innføre designprinsipper med modulære og fleksible design, slik at de kan tilpasses endringer i behov og funksjon i framtiden. Dette muliggjør for demontering, gjenbruk og ombygging for ulike deler av bygninger uten å måtte rive hele strukturen. I tillegg gjør dette det enklere å erstatte eller oppgradere enkeltkomponenter, som videre reduserer behovet for produksjon av nytt materiale. For gjenbruk av eksisterende elementer må det utarbeides et lovverk og sirkulær tilnærming som muliggjør gjenbruk, samtidig som at det ikke går på bekostning av det økonomiske. Videre er en velfungerende logistikk grunnleggende slik at flest mulig

potensielle brukere kan settes i kontakt med omfanget som til enhver tid eksisterer av brukte bygningskomponenter. Her kreves det samhandling og god planlegging for å kunne utnytte dette potensialet til det fulle.

Som utallige nasjonale- og internasjonale klimamål tilsier, har Norge fortsatt en lang vei å gå og er nødt til å begynne å ta drastiske grep. De siste 33 årene har landet kuttet utslippene med fem prosent. På de neste syv årene skal vi kutte 50 prosent til for å nå klimamålet vårt [77]. Dette tilsier at vi er nødt til å starte en stor forandring og det må legges til rette for at dagens barrierer i byggesektoren forsvinner, så fremt det ikke går på bekostning av liv og helse. Bransjen virker å være svært klar for en ny tilnærming, og sitter bare og venter på drahjelp fra de lovgivende maktene.

### 6.3 Gjenbruksalternativer for skoleveggen

Ønsket til kommunen ved riving av skolebygget var å ivareta kunsten tilknyttet den ene bærende ytterveggen. Fra et konstruktivt perspektiv ønsket vi å se på mulighetene for å ombruke veggen, til tross for at det nye skolebygget og gjenbrukshallene ikke skulle utføres i betong. Oppgaven tok derfor også for seg diverse andre gjenbruksmuligheter som ivaretok kunsten på skoleområdet, både i form av konstruktive løsninger, men også andre muligheter.

Det ble tidlig erklært at lokalt ombruk av veggen ikke var aktuelt, grunnet for mange vanskeligheter rent konstruktivt som at veggen er plasstøpt, samt mangel på informasjon og strukturell integritet. Det er som nevnt utført lite forskning på ombruk av plasstøpte elementer da det er i all hovedsak prefabrikkerte som egner seg mest til dette. Etter å ha dimensjonert veggen opp i FEM-Design med de aktuelle verdiene, og tatt en helhetlig vurdering på mulighetene basert på alt fra regelverk og økonomi til det rent praktiske ble det derfor utelukket å se på mulighetene for ombruk i denne omgang. Denne vurderingen kunne blitt nøyere gjennomgått ved utførelse av flere tester som ville gitt en mer nøyaktig oversikt over veggens integritet – men dette lot seg ikke gjøre i vårt tilfelle og er derfor ikke mulig å benyttes som en bærende andre steder.

Forslaget om å lage en klatrevegg med deler av kunsten synlig virker å være fullt mulig å gjennomføre basert på utregningene våre av den strukturelle integriteten.

Basert på den visuelle inspeksjonen vil det være nødvendig med en del overflatebehandling av veggen før den kan tas i bruk, da det er et gammelt bygningsselement og det er mye avskalling av malingen, som ikke er egnet for en klatrevegg. Det vil også forekomme ekstra arbeid da veggen må demonteres på en måte som gjør minst skade på materialet, og til alt arbeidet som hører med støpningen av veggen som en klatrevegg. Klatreveggen vil benytte seks av tolv relieffer, og de resterende kunstverkene kan da potensielt brukes som dekorasjon enten på innsiden eller utsiden av den nye skolen, eller plassere de langs bil- og gangveien for en estetisk framstilling av skolen for forbipasserende og ankommende. Aktuelle sertifiseringer og tester av miljøskadelige stoffer er riktignok nødt til å utføres i henhold til gjeldene standarder for å faktisk kunne utføre dette forslaget. Gitt at disse er innenfor regelverket ser vi ingen grunn til at denne løsningen ikke er gjennomførbar. I takt med et lovverk som stadig er under utvikling basert på lovnader og klimamål er det også fullt tenkelig at veggen kan godkjennes til videre bruk som en klatrevegg, ettersom at den strukturelle styrken ikke trenger å være like god som ved bærende elementer. Ved utførelse av dette forslaget er det likevel anbefalt å utføre de nødvendige delvis- og hel-destruktive testene som ikke kunne gjennomføres i vårt tilfelle for å innhente mest mulig informasjon om den strukturelle integriteten, på deler av veggen som ikke skal brukes videre.

Til tross for å være den mest miljøvennlige og sirkulære løsningen, se kapittel 5.5, byr klatreveggen likevel på diverse utfordringer både rent teknisk i form av utførelse, men også økonomisk. Som det fremkommer i frameworket er det viktig å ta en helhetlig vurdering basert på tilfellet, og ikke kun enkelte aspekter. I form av det miljømessige aspektet er det sårt nødvendig at bransjen begynner å ta grep, til tross for at dette går utover fremdrift og det økonomiske nå i startfasen av omveltningen. Videre var veggen ønsket bevart grunnet affeksjonsverdien, noe det kan argumenteres for at ikke kan måles i penger. Vi mener derfor at dette er den mest avgjørende faktoren i en gjenbruksvurdering og derfor burde forsøkes utføres. Løsningen vil også ha verdi i form av å bidra til mer erfaring og kunnskap om gjenbruk for stedstøpte og eldre konstruksjoner, noe som også er viktig å ta hensyn til under bedømmelse.

## 7. Konklusjon

Denne masteroppgaven har hatt som formål å undersøke hvordan man kan bedømme gjenbruksmulighetene til betongelementer, og hvilke barrierer som må håndteres for å implementere sirkulærøkonomiske prinsipper i byggesektoren. Gjennom en omfattende teoretisk analyse har vi fått innsikt i potensialet for gjenbruk i dagens marked, samt hindringene som må overvinnes for å realisere en mer bærekraftig og ressurseffektiv sektor. Gjennom det foreslåtte frameworket har oppgaven kommet frem til en visuell fremstilling av prosessen for vurdering av gjenbruk av betongelementer. Frameworket virker å ha potensial til å være et hjelpemiddel i dagens situasjon, men kan ikke utfordre lovverket alene og må derfor ses på som et hjelpemiddel – og ikke en fasit til gjenbruk. Forslaget er utarbeidet med formål å omfatte de fleste tilfeller for betongelementer, og har sine svakheter knyttet til å imøtekomme gjeldende konstruktive krav og sertifiseringer, samt å sammenknytte de aktuelle lovene som må benyttes. Med tilrettelegging av dagens lovverk vil forslaget kunne bli benyttet til en mye større grad i takt med mulighetene for gjenbruk. Frameworket kan også bidra til å opparbeide kunnskap og erfaring for denne typen bruk av lignende prosjekter i framtiden, for å kunne videreutvikle denne fremgangsmetoden. Til grunns for bedømmelse av gjenbruksmuligheter er det viktig at det foreligger en lovpålagt miljøkartleggingsrapport, noe som er vesentlig for avgjørelse av gjenbruksmuligheter.

For å kunne benytte seg av flowchartet til en mye større grad er det som nevnt nødvendig med en fornyelse av gjeldene lovverk som tilrettelegger for en sirkulærøkonomisk praksis i bransjen. Lover og forskrifter er i dag konstruert for en lineærøkonomisk praksis og gjør det derfor lite attraktivt og mulig å etablere prinsipper som gjenbruk til en naturlig del av byggevirksomhet. For å ha mulighet til å oppfylle diverse klimamål er byggebransjen en svært viktig sektor å få ned utslippene til. I likhet med de fleste andre bransjer er økonomi en vesentlig faktor, og tiltak som økonomiske intensiver vil derfor kunne være aktuelt for å få økt gjenbruksgraden frem til et velfungerende system kommer på plass. Ved et økt fokus på gjenbruk vil det også på sikt kunne bli lettere å utvikle mer effektive og kostnadsbesparende metoder.

For veggens tilfelle ble det tidlig erfart at direkte ombruk av veggen ville bli vanskelig både rent praktisk da veggen er stedstøpt og av dårligere kvalitet – men også basert på mulighetene for ombruk med dagens lovverk og metoder. Oppgaven rettet seg derfor tidlig mot alternativet

som var å gjøre veggen om til en klatrevegg. Etter en vurdering av strukturelle, sikkerhetsmessige og praktiske aspekter mener gruppen at denne løsningen er den beste gjenbruksmuligheten, da den både ivaretar kunsten, gjenbraker store deler av veggen og gir skolen en ressurs i form av en klatrevegg. Da det ikke nødvendigvis er den mest økonomiske løsningen framfor å sende veggen til materialgjenvinning eller deponi, er det en mer miljøvennlig løsning, samt at det gir nytt liv til en viktig del av det gamle skolebygget. Så fremt det ikke forekommer miljøskadelige stoffer under tester og sertifiseringslovverk står i veien mener gruppen at dette, gjerne i kombinasjon med å bruke resterende kunstverk som dekorasjon eller mur, er et alternativ som burde utføres.

For å konkludere kan man si at bransjen enda har en lang vei å gå for å muliggjøre gjenbruk til en normalisert prosess ved riving og restaurering av bygg. Det er per dags dato ikke et velfungerende system tilknyttet ombruk og gjenvinning både i form av lovverk, muligheter og kompetanse. For å imøtekomme alle nasjonale og internasjonale klimamål er det nødt til å skje en omveltning fra lineær- til sirkulær økonomi, og dette er ikke gjort over natten. Det finnes flere barrierer som må overkommes og det kreves like mye handling som tiltak for å overvinne disse. For å lykkes med denne omveltningen er det essensielt at vi skaper forutsetninger for lønnsomhet slik at det ikke bare er produktene som forblir sirkulære, men også økonomien. Videre må det legges til rette for en infrastruktur som muliggjør ombruk i alt fra lagring til informasjon om produkter, slik at dette ikke blir en krevende prosess å utføre. Produkter og konstruksjoner som produseres i dag må designes for ombruk, hvorav standardiserte betongmoduler vil være et naturlig valg å benytte seg mer av. Erfaring og kunnskap på gjennomføring og muligheter vil sannsynligvis komme naturlig med den sirkulære veksten – men det kreves at kompetente fagfolk er med å dra lasset i starten for å få omveltningen i gang. En annen vesentlig faktor for bedømmelse av gjenbruksmuligheter er innhold av farlige stoffer. I tillegg til utfordringer for å bedømme og sertifisere konstruktiv integritet av eksisterende elementer - er dette noe som må få et tydeligere regelverk snarlig, slik at det ikke oppstår usikkerhet rundt dette som kan skade fremgangen av gjenbruk i sektoren.



## 8. Videre arbeid

Ved videre arbeid av oppgaven ville det vært naturlig å ha funnet et bygningselement som det kunne blitt utført delvis-destruktive og destruktive tester på, samt var et prefabrikkert element som er lettere å ta i bruk på nytt. Eventuelt kunne den andre halvdel av veggen som ikke skal brukes til klatrevegg blitt benyttet til tester for å kartlegge integriteten nærmere. I tillegg ville det vært aktuelt å fått tilgang til ytterligere ikke-destruktive tester som ultrasonisk pulshastighets-test, for å enda bedre data på betongens nåværende kvalitet.

For klatrevegg-løsningen kunne det også blitt gjort mer grundige undersøkelser av plassering av veggen, som i å kontrollere grunnforholdene rundt skolen, for å finne en best mulig plassering av veggen. Det kunne også blitt utført beregninger på jordskjelv i FEM-Design modellen.

Videre ville det vært naturlig og videreutviklet flowchartet med å vise mer nøyaktig til gjeldende standarder og veiledninger gjennom hele prosessen.

## Referanser

- [1] E. Sandberg og A. K. Kvellheim, «Ombruk av byggematerialer,» Sintef, Norge, 40, 2021.
- [2] A. Brekkhus. «Backe Rogaland skal bygge Haraldsvang skole og flerbrukshaller til en halv milliard.» *bygg.no*. Hentet fra: <https://www.bygg.no/article/1509035!/> (åpnet 31. januar 2023).
- [3] Byggeskikk og arkitektur i Nord-Rogaland. «Arkitekter - David Sandved». *hec.no*. Hentet fra: [https://www.hec.no/banr/tf\\_arkitektur\\_arkitekter\\_4.htm](https://www.hec.no/banr/tf_arkitektur_arkitekter_4.htm). (åpnet 29. mai 2023).
- [4] Tekna, «Aktuell forskning innenfor bygg- og anleggsbransjen», *tekna.no*. Hentet fra: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/aktuell-forskning-innenfor-bygg--og-anleggsbransjen/www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/aktuell-forskning-innenfor-bygg--og-anleggsbransjen/>. (åpnet 21. mai 2023).
- [5] Grønn Byggallianse. «Klimakur for bygg og eiendom». *byggalliansen.no*. Hentet fra: <https://byggalliansen.no/kunnskapssenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/>. (åpnet 30. mai 2023).
- [6] Zero, «Bygg og anlegg», *zero.no*. Hentet fra: <https://zero.no/fagomrade/bygg-og-anlegg/>. (åpnet 6. februar 2023).
- [7] H. N. Larsen, H. M. Sandberg, og E. Heggelund, «Klimabidrag bygg & anlegg,» AV, Norge, 634164-01, 18. mars 2022.
- [8] SSB, «Avfallsregnskapet», 2022. Hentet fra: <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/avfall/statistikk/avfallsregnskapet>
- [9] M. Lindstad, «Nasjonal handlingsplan for bygg- og anleggsavfall (NHP 5),» *NHP-nettverket*, vol. 5, ISBN 978-82-93777-03-8, 2021. [https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2021/02/20210215\\_Nasjonal-handlingsplan-NHP5\\_2021-2023.pdf](https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2021/02/20210215_Nasjonal-handlingsplan-NHP5_2021-2023.pdf)

- [10] Byggemiljø «Krafttak for bærekraftig avfallshåndtering.» byggemiljo.no. Hentet fra: <https://www.byggemiljo.no/> (åpnet 31. mai 2023).
- [11] A. Lea. «Klimaverstingen vil bli strengere regulert – regjeringen vil vente: – Håpløst – E24.» e24.no. Hentet fra: <https://e24.no/energi-og-klima/i/pQnxx1/klimaverstingen-vil-bli-strengere-regulert-regjeringen-vil-vente-haaploest> (åpnet 29. mai 2023).
- [12] FN-Sambandet. «FNs bærekraftsmål.» fn.no. Hentet fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (åpnet 30. mai 2023).
- [13] E. J. Ravndal og J. H. Halleraker, «FNs bærekraftsmål,» *Store norske leksikon*, 2023. Hentet fra: [https://snl.no/FNs\\_b%C3%A6rekraftsm%C3%A5l](https://snl.no/FNs_b%C3%A6rekraftsm%C3%A5l). Åpnet: 30. mai 2023.
- [14] Norwegian ministry of Local Government and Modernisation, «Voluntary National Review 2021 Norway,» NMLGM, regjeringen.no, Norge, H-2501 E, 23. juni 2021.
- [15] Miljødirektoratet. «Sirkulær økonomi.» miljødirektoratet.no. Hentet fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (åpnet 30. mai 2023).
- [16] E. Boye, «Sirkulær fremtid,» *Framtiden i våre hender*, No3-2018, Norge, 2019.
- [17] LOOP-Stiftelsen for Kildesortering og Gjenvinning og H. Ø. Lindberg, «avfallshierarki,» i *Store norske leksikon*, 2023. Hentet fra: <https://snl.no/avfallshierarki>. Åpnet: 31. mai 2023.
- [18] G. Kjellmark, «Sirkulær økonomi for betong,» NB, Oslo/Trondheim, Norge, 10, desember 2022.
- [19] Zero. «Sirkulær økonomi.» zero.no. Hentet fra: <https://zero.no/fagomrade/sirkulaer-okonomi/> (åpnet 30. mai 2023).
- [20] Regjeringen.no. «Handlingsplan for sirkulær økonomi, 2020.» Regjeringen.no. Hentet

fra: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/jan/veikart-for-sirkular-okonomi-2019/id2691183/> (åpnet 30. mai 2023).

[21] Regjeringen.no. «Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi.» Regjeringen.no. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/kunnskapsgrunnlag-for-nasjonal-strategi-for-sirkular-okonomi/id2714834/> (åpnet 30. mai 2023).

[22] M. de Wit, L. Haigh, C. von Daniels, og A. F. Christiansen, «The Circularity Gap Report Norway,» Circle Economy, Amsterdam, Nederland, mars 2020.

[23] World Commission on Environment and Development og G. H. Brundtland, Red., *Vår felles framtid*. Utgitt i Oslo, Norge: Tiden Norsk Forlag, 1987.

[24] K. Sørnes, A. S. Nordby, H. Fjeldheim, S. M. Bani Hashem, M. Mysen, og R. D. Schlanbusch, «Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer,» Sintef, Oslo, Norge, 18, 2014.

[25] K. Ski. «Flytårnet på Fornebu blir nytt med gamle byggematerialer.» sintef.no. Hentet fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2022/flytarnet-pa-fornebu-blir-nytt-med-gamle-byggematerialer/> (åpnet 30. mai 2023).

[26] A. S. Nordby, «Ombruk av byggematerialer,» AV.

[27] T. Årtun, N. Nesse, og I. B. Eide, «sement,» i *Store norske leksikon*, 2023. Hentet fra: <http://snl.no/sement>. Åpnet: 23. februar 2023.

[28] Unicon. «Betong og bærekraft.» unicon.no. Hentet fra: [https://www.unicon.no/diverse/betong-og-baerekraft/?utm\\_source=google%20&utm\\_medium=cpc&utm\\_campaign=betong%20og%20milj%C3%B8&gclid=CjwKCAiA9NGfBhBvEiwAq5vSyxpWl3jwu8m3ygi4chHqXapug2O2eIdap5wWwvr4smpdUyeULSE2ahoCGSIQAvD\\_BwE](https://www.unicon.no/diverse/betong-og-baerekraft/?utm_source=google%20&utm_medium=cpc&utm_campaign=betong%20og%20milj%C3%B8&gclid=CjwKCAiA9NGfBhBvEiwAq5vSyxpWl3jwu8m3ygi4chHqXapug2O2eIdap5wWwvr4smpdUyeULSE2ahoCGSIQAvD_BwE) (åpnet 23. februar 2023).

[29] C. Eckbo, «Jord hindrer spredning av giftig krom fra betong,» *Aftenposten*, 15. oktober 2020. Hentet fra: <https://www.aftenposten.no/viten/i/39JMKP/jord-hindrer-spredning-av-giftig-krom-fra-betong> (åpnet 1. juni 2023).

- [30] Betong Norge. «Fakta om betong.» betong.no. Hentet fra: <https://www.betong.no/fakta-om-betong/> (åpnet 31. mai 2023).
- [31] Byggemiljø. «Mur og betong.» byggemiljo.no. Hentet fra: <https://www.byggemiljo.no/farlig-avfall-mur-og-betong/> (åpnet 3. mars 2023).
- [32] Betongfokus. «Sirkularitet og gjenbruk av betong.» betongfokus.no, Hentet fra: <https://www.betongfokus.no/2022/03/10/sirkularitet-og-gjenbruk-av-betong/> (åpnet 3. mars 2023).
- [33] Ragn-sells. «Miljøkartlegging av bygg.» ragnsells.no. Hentet fra <https://www.ragnsells.no/tjenester/bedrift/miljosanering/miljosaneringsrapport-avfallsrapport/> (åpnet 10. mai 2023).
- [34] § 9-7. *Kartlegging av farlig avfall, bygningsfraksjoner som må fjernes og materialer som er egnet for ombruk. Krav til rapportering, 2022.*
- [35] Direktoratet for byggkvalitet. «Obligatorisk og frivillig CE-merking.» dibk.no Hentet fra: <https://dibk.no/byggevarer/finn-byggevarer-og-dokumentasjonskrav/krav-til-dokumentasjon/obligatorisk-og-frivillig-ce-merking-og-ytelseserklaring> (åpnet 3. juni 2023).
- [36] A. S. Nordby, «Utredning av barrierer og muligheter for ombruk av byggematerialer og tekniske installasjoner i bygg,» AV, 4, 4. oktober 2018.
- [37] Regjeringen.no. «Gjør det enklere å selge brukte byggevarer.» Regjeringen.no. Hentet fra: <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/gjor-det-enklere-a-selge-brukte-byggevarer/id2913366/> (åpnet 31. mai 2023).
- [38] P. B. Lotherington. «Her åpnes Europas største byggevarehus for ombruk.» byggmesteren.no. Hentet fra: <https://byggmesteren.as/2023/03/14/her-apnes-europas-storste-byggevarehus-for-ombruk/> (åpnet 3. juni 2023).
- [39] K. J. Kristoffersen, S. R. Olaisen, og M. E. Guttormsen, «Vil bekjempe svindyre

byggematerialer ved å resirkulere skadde bygg,» *NRK*, 11. oktober 2022. Hentet fra: <https://www.nrk.no/nordland/fremtind-vil-gjore-bygg-billigere-ved-a-resirkulere-odelagte-hus-1.16122627> (åpnet 3. juni 2023).

[40] Grønn byggallianse, «De viktigste endringene i BREEAM-NOR v6.0,» Norge, v6.0, 28. februar 2022.

[41] Prosjektil AS. «Tydeligere miljøkrav i TEK17.» [prosjektil.no](https://prosjektil.no). Hentet fra: <https://prosjektil.no/tydeligere-miljokrav-i-tek17/> 6. september 2022 (Åpnet: 3. juni 2023).

[42] Deloitte, «Kunnskapsgrunnlag for nasjonal strategi for sirkulær økonomi - Delutredning 2,» *Deloitte*, sep. 2020.  
[https://www.regjeringen.no/contentassets/7ca1a81f57cc4611a193570e80c4dafd/deloitte\\_kunnskapsgrunnlag-sirkular-okonomi\\_barrierer.-delrapport-2.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/7ca1a81f57cc4611a193570e80c4dafd/deloitte_kunnskapsgrunnlag-sirkular-okonomi_barrierer.-delrapport-2.pdf)

[43] Grønn byggallianse. «Tips 1: Har du tenkt på at du sparer materialutgifter ved å bevare?» [byggalliansen.no](https://byggalliansen.no). Hentet fra: <https://byggalliansen.no/kunnskapsenter/tips-1-har-du-tenkt-pa-at-du-sparer-materialutgifter-ved-a-bevare/> (åpnet 14. mai 2023).

[44] C. Nachmias, og D. Nachmias, *Research methods in the social sciences*, 8 utg. Utgitt i New York, New York USA: St. Martin's, 1992.

[45] R. K. Yin, *Case study research - Design and methods. Third edition.*, bd. 5. Sage Publications.

[46] S. Grønmo, «forskningsmetode – samfunnsvitenskap,» i *Store norske leksikon*, 2021. Hentet fra: [https://snl.no/forskningsmetode\\_-\\_samfunnsvitenskap](https://snl.no/forskningsmetode_-_samfunnsvitenskap). Åpnet: 2. juni 2023.

[47] K. Fangen. «Kvalitativ metode.» [forskningsetikk.no](https://www.forskningsetikk.no). Hentet fra: <https://www.forskningsetikk.no/ressurser/fbib/metoder/kvalitativ-metode/> (åpnet 2. juni 2023).

[48] K. H. Aanesen, «Hvordan velge forskningsmetode?» *ndla*, vol. 1, okt, 2020.  
<https://ndla.no/nb/subject:1:fb6ad516-0108-4059-acc3-3c5f13f49368/topic:1:860e0dc0-7691->

4b90-ba3b-8a00c39c9448/topic:1:6422199b-cd4c-4728-8560-e357482c14d2/resource:39227a08-71d4-4526-97c0-86c55e01cc0e

[49] E. Wæhle, S. Dahlum, og S. Grønmo, «case-studie,» i *Store norske leksikon*. 2023. Hentet fra: <https://snl.no/case-studie>. Åpnet: 24. mai 2023.

[50] A. J. Mills, G. Durepos, og E. Wiebe, *Encyclopedia of Case Study Research*. SAGE Publications, Inc., 2010. doi: 10.4135/9781412957397.

[51] C. Stoltenberg, «deskriptiv,» i *Store norske leksikon*. 2023. Hentet fra: <https://snl.no/deskriptiv>. Åpnet: 2. juni 2023.

[52] Utdanning.no. «NDT-kontrollør.» *utdanning.no*. Hentet fra: <https://utdanning.no/yrker/beskrivelse/ndt-kontrollor> (åpnet 13. februar 2023).

[53] G. Mishra, «Rebound Hammer Test on Concrete - Principle, Procedure, Advantages & Disadvantages,» i *The constructor*, 2014. Hentet fra: <https://theconstructor.org/concrete/rebound-hammer-test-concrete-ndt/2837/>. åpnet 31. januar 2023.

[54] *Prøving av betong i konstruksjoner – Del 2: Ikke-destruktiv prøving – Bestemmelse av slaghammerverdi*, NS-EN 12504-2, 2021.

[55] M. I. Hamakareem, «Magnetic Rebar Locator - Covermeter Test Applications and Precautions,» i *The Constructor*, 2019. Hentet fra: <https://theconstructor.org/practical-guide/magnetic-rebar-locator-covermeter-test/5736/>. åpnet 31. januar 2023.

[56] AEIS. «Cover Meter Test.» *aeis.com*. Hentet fra: <https://www.aeis.com/what-we-do/specialty-field-testing/cover-meter-test> (åpnet 31. januar 2023).

[57] Norconsult Digital. «Brukervennlig og avansert program for FEM-analyser.» *norconsultdigital.no*. Hentet fra: <https://www.nois.no/produkter/bim/fem-design/> (åpnet 24. januar 2023).



- [58] One Click LCA® software. «Building Circularity - Circular Economy Tool by One Click LCA.» [oneclicklca.com](https://www.oneclicklca.com). Hentet fra: <https://www.oneclicklca.com/construction/building-circularity/> (åpnet 24. januar 2023).
- [59] «Flowchart,» i *Wikipedia*, 2023. Hentet fra: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Flowchart&oldid=1153143891>. Åpnet: 11. mai 2023.
- [60] *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-3: Allmenne laster - Snølaster*, NS-EN 1991-1-3:2003+NA:2008. 2008.
- [61] *Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-3: Allmenne laster – Vindlaster*, NS-EN 1991-1-4 Vindlaster:2005+NA2009, 2009.
- [62] *Klatreanlegg – Del 2: Sikkerhetskrav og prøvingsmetoder for bouldervegger*, NS-EN 12572-2:2017, april 2017.
- [63] T. Fallet, «diamantverktøy,» i *Store norske leksikon*. 2023. Hentet fra: <https://snl.no/diamantverkt%C3%B8y>. Åpnet: 31. mai 2023.
- [64] Energiverket. «Hva er kjerneboring?» [energiverket.no](https://www.energiverket.no). Hentet fra: <https://www.energiverket.no/hva-er-kjerneboring/> (åpnet 30. mai 2023).
- [65] R. Hugsted, «pæler,» i *Store norske leksikon*, 2019. Hentet fra: <https://snl.no/p%C3%A6ler>. Åpnet: 30. mai 2023.
- [66] KF/Store norske leksikon, *Pæler*. 2019. [Illustrasjon]. Hentet fra: <https://snl.no/p%C3%A6ler>
- [67] BN Products-USA. «Tips for Recovering and Recycling Rebar.» [bnproducts.com](https://www.bnproducts.com). Hentet fra: <https://www.bnproducts.com/blog/tips-for-recovering-and-recycling-rebar/> (åpnet 27. mars 2023).
- [68] Kontrollrådet. «Nå er det enklere å gjenbruke betong.» [kontrollbetong.no](https://www.kontrollbetong.no). Hentet fra:

<https://kontrollbetong.no/aktuelt/artikler/na-er-det-enklere-a-gjenbruke-betong/> (åpnet 2. mars 2023).

[69] Sintef. «Viktig å reparere riss og sprekker i betongkonstruksjoner.» [sintef.no](https://www.sintef.no/siste-nytt/2022/viktig-a-reparere-riss-og-sprekker-i-betongkonstruksjoner/). Hentet fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2022/viktig-a-reparere-riss-og-sprekker-i-betongkonstruksjoner/> (åpnet 1. juni 2023).

[70] K. Randem, og MLF. «Korrosjon, luft og vann ødelegger betong.» [ifi.no](https://www.ifi.no/korrosjon-luft-og-vann-odelegger-betong/). Hentet fra: [https://www.ifi.no/korrosjon-luft-og-vann-odelegger-betong](https://www.ifi.no/korrosjon-luft-og-vann-odelegger-betong/) (åpnet 1. juni 2023).

[71] T. Keilman. «Smart bruk av tre kan kutte store utslipp.» [forskningsradet.no](https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/forskningsorganisasjoner/Prosjekter-forskningsorganisasjoner/smart-bruk-av-tre-kan-kutte-store-utslipp/). Hentet fra: <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/forskningsorganisasjoner/Prosjekter-forskningsorganisasjoner/smart-bruk-av-tre-kan-kutte-store-utslipp/> (åpnet 2. juni 2023).

[72] Ramirent. «Betongsag Elektrisk: Skjæredybde 400mm.» [ramirent.no](https://www.ramirent.no/maskinutleie/byggmaskiner/betong-og-asfaltsaging/625585/betongsag-elektrisk-skjaredybde-400mm). Hentet fra: <https://www.ramirent.no/maskinutleie/byggmaskiner/betong-og-asfaltsaging/625585/betongsag-elektrisk-skjaredybde-400mm> (åpnet 30. mai 2023).

[73] Motek. «Kurs og opplæring.» [motek.no](https://www.motek.no/tjenester/sikkerhet-og-produktkurs). Hentet fra: <https://www.motek.no/tjenester/sikkerhet-og-produktkurs> (åpnet 11. mai 2023).

[74] Høyde Service. «Priser for leie av lift og andre småmaskiner.» [hoyde-service.no](https://www.hoyde-service.no/priser-helgeleie-lift-minigraver-minidumper-verktoy/). Hentet fra: <https://www.hoyde-service.no/priser-helgeleie-lift-minigraver-minidumper-verktoy/> (åpnet 11. mai 2023).

[75] Norsk Prisbok. «Norsk Prisbok.» [norskprisbok.no](https://www.norskprisbok.no/default.aspx). Hentet fra: <https://www.norskprisbok.no/default.aspx> (åpnet 31. mai 2023).

[76] Nord-Gudbrandsdal Renovasjonsselskap, «Priser for mottak av avfall fra bedriftskunder,» NGR, Norge, 1. januar 2017.

[77] R. Leinan, og I. H. Amundsen, «Ny rapport: Slik kan Norge nå klimamålet innen 2030,» 2. juni 2023. Hentet fra: <https://www.vg.no/i/q1Xj5m> (åpnet 3. juni 2023).

[78] Civilplanets. «Rebound Hammer Test of Concrete.» civilplanets.com. Hentet fra: <https://civilplanets.com/rebound-hammer-test/> (åpnet 28. februar 2023).

## Vedlegg A – Fra kapittel 4.1

### Vedlegg A1 - Snølaster

#### SNØLASTER

NS-EN 1991-1-3

$\mu_i := 0.8$  Snølastens formfaktor

Tabell 5.2

$C_e := 1.0$  Eksponeringskoeffisient

Tabell 5.1

$C_t := 1.0$  Termisk koeffisient

Haugesund kommune:

NA.4.1 Karakteristiske verdier

$$s_{k,0} := 1.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$H_g := 150 \text{ m}$$

$$s_{k,\text{delta}} := 0.5 \frac{kN}{m^2}$$

$s_{k,\text{maks}}$  --> Ingen verdi

$H := 23.5 \text{ m}$  -->  $H_g$  -->  $s_k := s_{k,0}$  Karakteristisk verdi for snølast på mark

Lasttilfelle:

$$s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1.2 \frac{kN}{m^2}$$

5.2(3)P,a)

Linjelast påført veggen i FEM-Design:

$$t := 275 \text{ mm}$$

$$s_1 := s \cdot t = 0.33 \frac{kN}{m}$$

## Vedlegg A2 – Vindlaster

### NS-EN 1991-1-4 Vindlaster

Vurderer bygget til terrengruhetskategori III,  
med en overgangssone til kategori I

Byggehøyde;  $z := 5.333 \text{ m}$

Basisvindhastighet;  $V_b := 28 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Stedsvindhastighet for område A, kategori I:

Terrengruhetsfaktor;  $k_{r,A} := 0.17$

Tabell NA.4.1

Ruhetslengden;  $z_{0,A} := 0.01 \text{ m}$

Tabell NA.4.1

Ruhetsfaktor;  $C_{r,A} := k_{r,A} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,A}}\right) = 1.067$

(4.4)

Terrengformfaktor;  $C_{0,A} := 1.0$

Stedsvindhastighet;  $V_{m,A} := C_{r,A} \cdot C_{0,A} \cdot V_b = 29.888 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

(4.3)

Stedsvindhastighet for område B, kategori III:

Terrengruhetsfaktor;  $k_{r,B} := 0.22$

Tabell NA.4.1

Ruhetslengden;  $z_{0,B} := 0.3 \text{ m}$

Tabell NA.4.1

Ruhetsfaktor;  $C_{r,B} := k_{r,B} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,B}}\right) = 0.633$

(4.4)

Terrengformfaktor;  $C_{0,B} := 1.0$

Stedsvindhastighet;  $V_{m,B} := C_{r,B} \cdot C_{0,B} \cdot V_b = 17.728 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

(4.3)

Samlet stedsvindhastighet:

$$\text{Avstand fra bygg til sj\o; } \quad x_b := 1.4$$

$$\text{Antall endring i kategori; } \quad n := 2$$

$$V_m := \min \left( 10^{-0.04 \cdot n \cdot \log\left(\frac{x_b}{10}\right)} \cdot V_{m.B}, V_{m.A} \right) = 20.747 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4.3)$$

Vindkasthastighetstrykk:

$$I_{v.A} := \frac{1}{C_{0.A} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0.A}}\right)} = 0.159$$

$$I_{v.B} := \frac{1}{C_{0.B} \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0.B}}\right)} = 0.347$$

$$C_s := 10^{-0.04 \cdot n \cdot \log\left(\frac{x_b}{10}\right)} = 1.17$$

$$I_v := \frac{I_{v.A} \cdot V_{m.A} \cdot \left(1 - \frac{x_b}{10}\right) + I_{v.B} \cdot V_{m.B} \cdot \frac{x_b}{10}}{V_{m.B} \cdot C_s} = 0.239$$

$$\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$q_{k\text{ast}} := (1 + 7 \cdot I_v) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2 = 0.719 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

## Vedlegg A3 - Klatrelaster

### NS-EN 12572-2:2017 Klatreanlegg

Load of climber:

$$K := 0.8 \text{ kN}$$

Table A.1

$$\gamma_G := 1.35 \quad \text{- Partial safety factor}$$

(B.2)

$$K\gamma := K \cdot \gamma_G = 1.08 \text{ kN}$$

Substitution load per square metre on the climbing surface:

$$S := 0.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Table A.1

$$S_\gamma := S \cdot \gamma_G = 0.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



## Vedlegg B – Fra kapittel 5.1

### B.1 – Visuell inspeksjonsskjema

#### VISUAL INSPECTION FORM

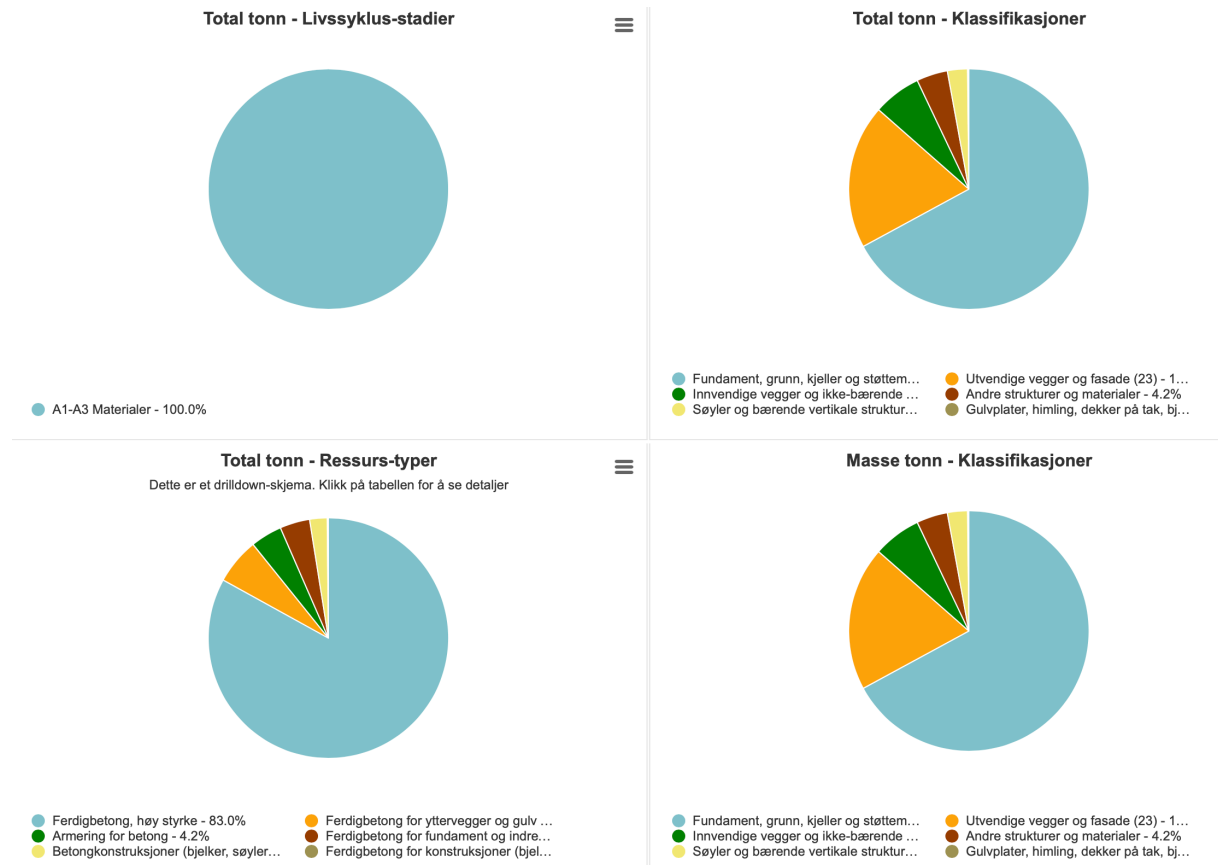
1. GENERAL	Report number	1		
	Purpose of inspection	sjekke tilstanden til ytterveggen		
	Inspector's name(s)	Niklas Ebbesvik & Bror Delphin-Solli		
1A. DESCRIPTION OF THE STRUCTURE	Name	Yttervegg kunst		
	Location	sør-østlige floy		
	Type	Bærende yttervegg (betong)		
	Size	8069 mm x 10 643 mm x 275 mm (b x h x t)		
	Owner	Haugesund kommune		
	Project engineer	unknown		
	Contractor	unknown		
	Date(s) of construction	1970, started 1967		
	Photographs	General view	See task	
		Detailed close-up of condition of area	See task	
Sketch map orientation indicating sunny and shady areas and well and poorly drained regions				
1B. MATERIALS USED (if known)	Concrete	Normalweight aggregate type	N.A.	
		Aggregate size	N.A.	
		Admixture type	N.A.	
		Mixture proportion	N.A.	
		Compressive strength	B 60 ?	
		Modulus of elasticity	N.A.	
2. NATURE OF ENVIRONMENTAL AND LOADING CONDITIONS	Exposure	Environment (arid, subtropical, marine, freshwater, industrial, etc.)	Industrial	
		Weather (July and Jan. mean temperatures, mean annual rainfall, and months in which 60% of rainfall occurs)	$\bar{x}_{\text{July}} = 14,9^{\circ}$ , $\bar{x}_{\text{Jan}} = 2,1^{\circ}$ , årlig nedbør = 1924 mm	
		Freezing and thawing		
		Wetting and drying		
		Drying under dry atmosphere		
		Chemical corrosion and attack (sulfates, acids, bases, chloride, gases)	Possible corrosion, difficult to tell without further assessment	
		Abrasion, erosion, cavitation, impact		
		Electric conductivity		
	Deicing chemicals that contain chloride ions	→		
	Heat from adjacent sources			
	Drainage	Flashing		
		Joint sealants		
		Weepholes		
		Contour		
	Loading conditions	Elevation of drains		
		Dead	Mainly dead load working on the wall	
		Live		
Impact				
Vibration				
Traffic				
Seismic				
Other	Wind load, snow load			
Soils (foundation conditions)	Expansive soil			
	Compressible soil (settlement)	?		
	Evidence of pumping			
3. DISTRESS INDICATORS	Cracking	Possible cracking, hard to tell with the thick layer of paint		
	Staining			
	Surface deposits and exudations			
	Leaking			

**VISUAL INSPECTION FORM**

<p>4. PRESENT CONDITION OF STRUCTURE</p>	<p>Overall apparent alignment of structure</p>	Settlement			
		Deflection			
		Expansion			
		Contraction			
			General condition: good, satisfactory, poor	Satisfactory	
		<p>Surface condition of concrete</p>	<p>Formed and finished surfaces</p>	Smoothness	Not the best
	Bugholes (surface air voids)			Yes, but difficult to tell due to the paint	
	Sand streaks				
	Honeycomb				
	Soft areas				
	Cold joints				
	Staining				
			<p>Cracking</p>	Location and frequency	Difficult to tell due to paint
	Crack map				
	Width and pattern				
	Leaching, stalactites				
	Working versus nonworking (dormant)				
			<p>Scaling</p>	Area, depth	
	Type				
			<p>Spalls and popouts</p>	No., size, and depth	
	Type				
	Stains, efflorescence				
	Exposed reinforcement: corrosion				
	Curling and warping				
		<p>Erosion</p>	Abrasion		
			Cavitation		
	Previous patching or other repair				
		<p>Surface coatings, protective systems, linings, toppings</p>	Type and thickness		
	Bond to concrete				
	Condition				
	<p>Penetrating sealers</p>	Type			
		Effectiveness			
		Discoloration			

# Vedlegg C – Fra kapittel 5.5

## C.1 Bygningssirkularitet for eksisterende skole i betong

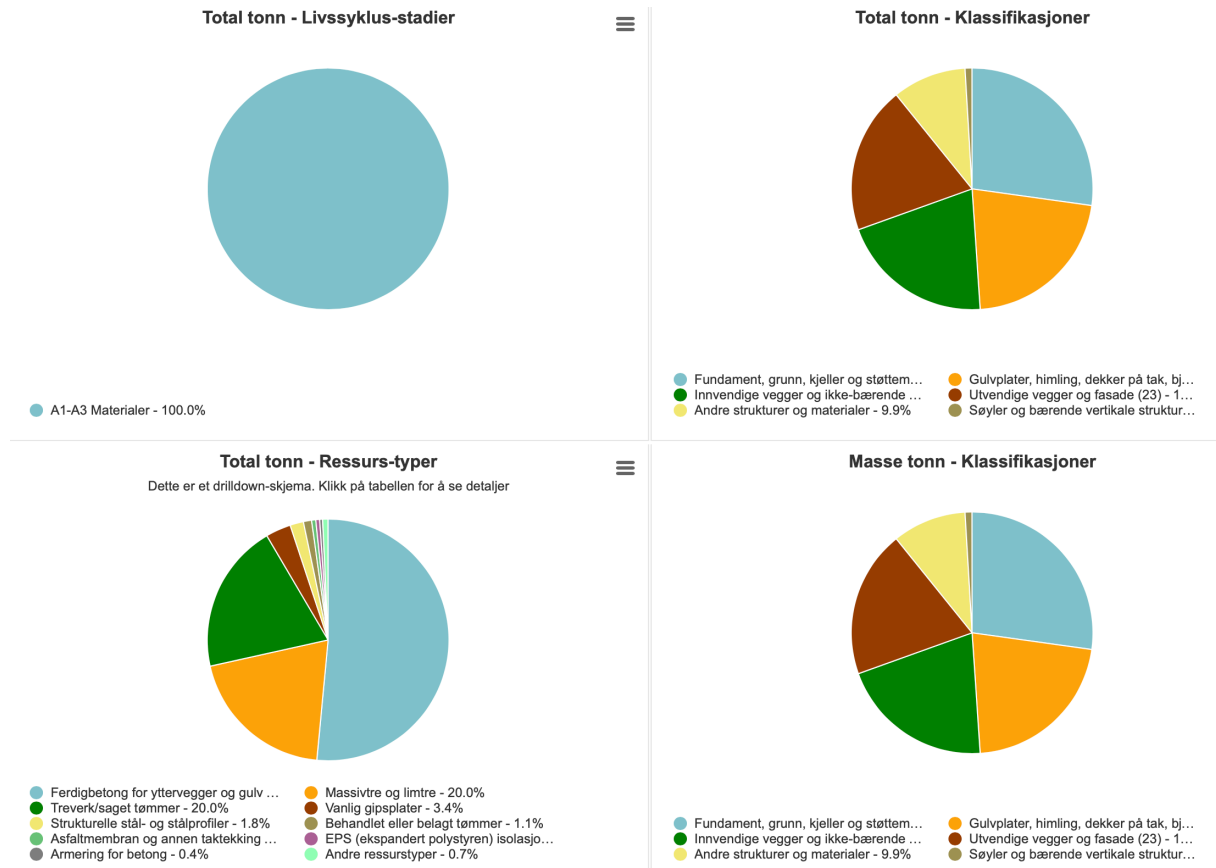


Hoved > Haraldsvang ungdomsskole > Haraldsvang skole > Bygningssirkularitet > Rapport om materialeffektivitet

Bygningssirkularitet							Last ned Excel	Lukk
Avsnitt	Resultatkategori	Total tonn	Virgin tonn	Fornybar tonn	Resirkulert innhold i en fase tonn	Gjenbrukt tonn		
A1-A3	Byggematerialer	14 668	14 668	0	0	0		
A1-A3	Jordmasser, asfalt og steiner							
A5	Byggeplass - materialsvinn	578	578	0	0	0		
B4-B5	Utskiftning og renovering							
totalsMaterialsUsed	Total	15 246	15 246	0	0	0		

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.15.0, Database version: 7.6

## C.2 Bygningssirkularitet for nytt skolebygg i tre

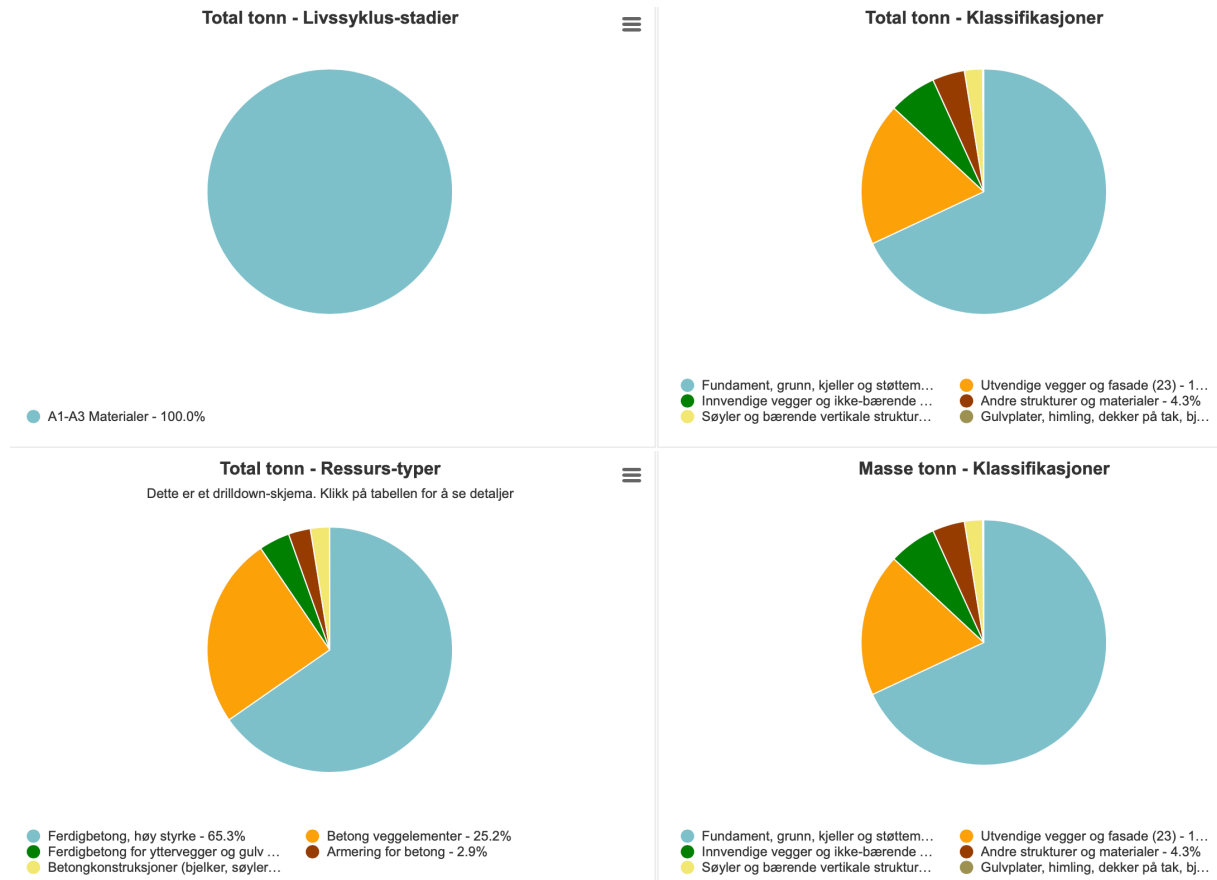


Hoved > Haraldsvang ungdomsskole > Nytt trebygg > Bygningssirkularitet > Rapport om materialeeffektivitet

Bygningssirkularitet							Last ned Excel	Lukk
Avsnitt	Resultatkategori	Total tonn	Virgin tonn	Fornybar tonn	Resirkulert innhold i en fase tonn	Gjenbrukt tonn		
A1-A3	Byggematerialer	2 494	1 495	925	73	0		
A1-A3	Jordmasser, asfalt og steiner							
A5	Byggeplass - materialsvinn	245	81	160	4	0		
B4-B5	Utskiftning og renovring							
totalsMaterialsUsed	Total	2 738	1 577	1 085	77	0		

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.15.0, Database version: 7.6

## C.3 Bygningssirkularitet for eksisterende skole i betong bygget i 2023



Hoved > Haraldsvang ungdomsskole > Eksisterende skole med nye materialer > Bygningssirkularitet > Rapport om materialeeffektivitet

### Bygningssirkularitet

Last ned Excel Lukk

Avsnitt	Resultatkategori	Total tonn	Virgin tonn	Fornybar tonn	Resirkulert innhold i en fase tonn	Gjenbrukt tonn
A1-A3	Byggematerialer	14 463	12 912	0	1 552	0
A1-A3	Jordmasser, asfalt og steiner					
A5	Byggeplass - materialsvinn	422	370	0	52	0
B4-B5	Utskiftning og renovring					
totalsMaterialsUsed	Total	14 885	13 282	0	1 603	0

One Click LCA © copyright One Click LCA LTD | Version: 0.15.0. Database version: 7.6



## Vedlegg D – Fra kapittel 5.6

### D.1 Økonomiberegning klatrevegg

#### Økonomi klatrevegg

##### Kjernebormaskin:

Leiepris: 1013 NOK/dag

Estimert tid: ca. 1 arbeidsuke + 1 dag til henting/levering.

Kurspris: 950kr

$$K := 1013 \cdot 6 + 950 = 7028 \text{ NOK}$$

##### Lift:

Leiepris: 3176 NOK/dag

Estimert tid: ca. 1 arbeidsuke + 1 dag til henting/levering.

$$L := 3176 \cdot 6 = 19056 \text{ NOK}$$

##### Oppbevaring av vegg:

Estimert pris, 100 NOK/m<sup>2</sup>

Lengde: 8,070m

Bredde: 5,333m

$$O := 8.070 \cdot 5.333 \cdot 100 = 4304 \text{ NOK}$$

##### Arbeidstimer:

Demontering: ca. 1 arbeidsuke

ca. 3 arbeidere

Lønn ca. 250 NOK/time

$$A_D := (250 \cdot 8) \cdot 3 \cdot 5 = 30000 \text{ NOK}$$