

Jenny Lee  
Victoria Nørve

# Massivtre og limtre kontra stål og betong: En sammenligningstudie av materialer i et bygg med henhold til klimagassregnskap og pris

Cross- and glued laminated timber versus steel and concrete: A comparative study of materials in term of greenhouse gas emissions and pricing

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg

Veileder: Robert Storm Mortensen

Mai 2021



Jenny Lee  
Victoria Nørve

# **Massivtre og limtre kontra stål og betong: En sammenligningstudie av materialer i et bygg med henhold til klimagassregnskap og pris**

Cross- and glued laminated timber versus steel and concrete: A comparative study of materials in term of greenhouse gas emissions and pricing

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg  
Veileder: Robert Storm Mortensen  
Mai 2021

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



Kunnskap for en bedre verden





Rapporten er ÅPEN

## **Prosjektbeskrivelse**

Det skal utarbeides et klimagassregnskap for referansebygget Vikhammer barnehage med bæresystem av limtre og massivtre ved hjelp av programvaren «One Click LCA».

Klimagassregnskapet skal analyseres for å undersøke effektene av en omprosjektering av materialene til hovedbæresystemet. Det skal også utføres en kostnadsberegning for de ulike scenarioene, og sammen med resultatene fra klimagassregnskapet konkludere med en anbefaling av materialvalg.

### Stikkord:

Vikhammer barnehage, klimagassregnskap, One Click LCA, prissetting

### Key words:

Vikhammer kindergarten, greenhouse gas calculation, One Click LCA, pricing



## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2021 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven på det treårige bachelorstudiet byggingeniør på Gløshaugen, og utgjør 20 studiepoeng. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Consto Midt-Norge.

Gjennom byggingeniørstudiet har vi utviklet en interesse for massivtre og klimavennlige løsninger i byggebransjen, og ønsket at dette skulle være temaet for oppgaven. Etter flere møter med Consto ble det foreslått at vi kunne utarbeide et klimagassregnskap for en barnehage i massivtre og limtre som skal bygges høsten 2021. Vi takket ja da dette var et prosjekt som dekket interessefeltene våre. Gjennom arbeidet med oppgaven har vi tilegnet oss kunnskap vi mener vil være nyttig i arbeidslivet.

Vi ønsker å takke vår veileder Robert Storm Mortensen ved NTNU for god hjelp og innspill til arbeidet, og førstelektor Per Otto Yttervoll for hjelp med beregninger av stålkonstruksjoner. Takk til ekstern veileder Jon Vindal, og resten av teamet i Consto Midt-Norge for idé til oppgaven, veiledning og hjelp. Vi vil også takke representanter fra Rambøll, Unicon og Contiga; og alle tilknyttet prosjektet, som har hjulpet oss underveis med deres fagfelt.

Til slutt vil vi takke hverandre for et godt samarbeid og god støtte gjennom hele bachelorperioden.

Trondheim, 20. mai 2021



Victoria Nørve



Jenny Lee



## Sammendrag

Klimaendringer på grunn av global oppvarming medfører alvorlige konsekvenser for hele verden. For å unngå å oppnå en temperøkning på 2 grader er det behov for raske reduksjoner i klimagassutslippene. Bygg- og anleggsbransjen står for omtrent 15,3 prosent av det norske klimagassutslippet.

Livssyklusanalyse (LCA) er et verktøy for å vurdere miljøpåvirkningen av et produkt eller et bygg gjennom hele livsløpet. Livsløpet starter ved uttak av råvarene helt til produktet ender som avfall eller gjenvinnes, dette kalles også fra «vugge til grav». Livsløpsanalysen gir informasjon om hvor mye utslipp de forskjellige delene gir og hvor i livsløpet det oppstår.

Det er gjort et klimagassregnskap for Vikhammer barnehage med hovedbæresystem i limtre og massivtre samt to omprosjekterte alternativer med hovedbæresystem i stål og betong. Alternativ 2 bygger på alternativ 1, men betongen har en strengere lavkarbonklasse. Mengdene til mengdeberegningene er hentet fra to IFC filer: RIB og ARK samt diverse rapporter fra prosjektet. Det er brukt LCA programmet One Click for klimagassberegningene. EPDene (Environmental Product Declaration) til materialene er hentet direkte fra programmets bibliotek. Fasene som er undersøkt i klimagassberegningene er produktfasene (A1-A3) og utskiftningsfasen (B4). Biogent karbonlagring fra trematerialene og karbonatisering av betong er ikke inkludert i klimagassberegningene.

Klimagassregnskapene viser tydelig hvilke materialvalg som fører til de største utslippene og gjør det lettere å se hvor stor effekt endringene har. Beregningene viser at begge omprosjekteringene gir et betydelig høyere klimagassutslipp enn referansebygget. Hvis biogent karbonlagring fra trematerialene er inkludert vil referansebygget få et negativt klimagassutslipp ved de utvalgte fasene. Det er spesielt innen fasene A1-A3 forskjellen mellom scenarioene er store. Det er likevel et tiltak som kan overføres fra alternativ 2 til referansebygget og vil føre til en betydelig reduksjon i klimagassutslipp. Ved å bruke betong med strengere lavkarbonklasse er det store utslipp som kan spares innenfor bygningsdelen grunn og fundamenter.

Konstadsberegningene viser at de omprosjekterte alternativene har lavere materialkostnader sammenlignet med referansebygget. Det er alternativ 1 som har lavest materialkostnader etterfulgt av alternativ 2. Det er relativt små summer som skiller de omprosjekterte alternativene fra hverandre.

Rapporten konkluderer med at selv om omprosjektert alternativ 1 har lavest materialkostnader vurderes det at økningen av klimagassutslipp ved omprosjekteringen er såpass stor at det er

urealistisk å bytte hovedbæresystemet uten å optimalisere bygget først. Til tross for at referansebygget har lavest utslipp av de tre scenarioene er det likevel muligheter for å redusere klimagassutslippet ved å velge betong med strengere lavkarbonklasse.



## Abstract

Climate change due to global warming has serious consequences for the whole world. To avoid reaching a temperature increase of 2 degrees, there is a need for rapid reductions in greenhouse gas emissions. The construction industry accounts for approximately 15,3 percent of the Norwegian greenhouse gas emissions.

Life cycle analysis (LCA) is a method for assessing the environmental impact of a product or a building throughout its life cycle. The life cycle starts with the extraction of the raw materials until the product ends up as waste or are recycled, this is also called «from cradle to grave ». The life cycle analysis provides information on how much greenhouse gas the different parts emits and where in the life cycle it occurs.

A greenhouse gas account has been prepared for Vikhammer kindergarten with a main support system in glue- and cross-laminated timber as well as two redesigned alternatives with a main support system consisting of steel and concrete. Alternative 2 builds on alternative 1, but the concrete has a stricter low-carbon class. The quantities for the quantity-calculations are taken from two IFC files: RIB and ARK as well as various reports from the project. The LCA program One Click has been used for the greenhouse gas calculations. The EPDs (Environmental Product Declaration) for the materials are downloaded directly from the program's library. The phases examined in the greenhouse gas calculations are the product phases (A1-A3) and replacement phase (B4). Biogenic carbon from the wood materials and carbonation of concrete are not included in the greenhouse gas calculations.

The greenhouse gas accounts show which material choices leads to the largest emissions and make it easier to see how big of an effect the change has. The calculations show that both redesigns provide significantly higher greenhouse gas emissions than the reference building. If biogenic carbon storage from the wood materials is included, the reference building will have negative greenhouse gas emission in the selected phases. It is especially within phases A1-A3 that the difference between the scenarios is significant. It is nevertheless something that can be transferred from alternative 2 to the reference building that will lead to further reduction in greenhouse gas emissions. By using a stricter low-carbon class concrete, large emissions from the foundation can be reduced.

The cost-calculations show that the redesigned alternatives have lower material costs compared to the reference building. Alternative 1 shows lowest material costs, followed by alternative 2. There are relatively small amounts that separate the redesigned alternatives from each other.



The report concludes that even though redesigned alternative 1 has the lowest material costs, it is considered that the increase in greenhouse gas emissions from the redesign is so large that it is unrealistic to change the main support system without optimizing the building first. Even though the reference building has the lowest greenhouse gas emissions out of the three scenarios, there are still opportunities to reduce greenhouse gas emissions by choosing concrete with a stricter low-carbon class.



## Stikkordliste/definisjoner

LCA	Life Cycle Assessment
EPD	Environmental Product Declaration
Referansebygg	Vikhammer barnehage med bæresystem i limtre/massivtre
Alternativ 1	Vikhammer barnehage med bæresystem i stål og betong
Alternativ 2	Samme som alternativ 1, men har strengere betong lavkarbonklasse
ARK	Arkitekt
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
BTA	Bruttoareal. Det totale arealet av bygningen. BTA måles fra utsiden av ytterveggene.
R30	Klassifiseringsperioden der kriteriet for bæreevne er oppfylt i 30 minutter.
EI30	Klassifiseringsperioden der kriteriene for integritet og isolasjonsevne er oppfylt i 30 minutter.
CO <sub>2</sub> e	Karbondioksid ekvivalenter
TEK 17	Byggeteknisk forskrift med veiledning. Inneholder minimumskrav et bygg må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge.
IFC	Industry Foundation Classes. Et format for bygningsmodeller.
NS	Norsk Standard
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient

# Innhold

Forord.....	III
Sammendrag .....	V
Abstract.....	VIII
Stikkordsliste/definisjoner .....	XI
1 Introduksjon.....	1
1.1 Problemstilling.....	1
1.2 Resultatmål .....	1
1.3 Programvare .....	2
1.3.1 One Click LCA .....	2
1.3.2 ArchiCAD.....	2
1.3.3 Norsk Prisbok.....	2
2 Teori.....	4
2.1 Klimaendringer .....	4
2.1.1 Global oppvarming .....	4
2.1.2 Det grønne skriftet .....	5
2.2 Klimagassutslipp i Norge .....	6
2.2.1 Klimagassutslipp i byggebransjen .....	7
2.3 Livsløpsanalyse – LCA.....	7
2.3.1 EPD .....	9
2.3.2 NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger.....	10
2.4 Materialer.....	12
2.4.1 Massivtre.....	12
2.4.1 Limtre.....	14
2.4.4 Stål .....	14
2.4.5 Betong .....	15
3 Metode .....	19
3.1 Litteratursøk.....	19

3.2 Beregningsavgrensninger.....	20
3.3 Bruk av programvarer.....	20
3.3.1 ArchiCAD.....	20
3.3.2 One Click.....	21
3.3.3 Norsk Prisbok.....	21
3.4 Mengdeberegning.....	21
3.5. Prosjektering.....	22
3.5.1 Prosjektering av referansebygg.....	22
3.5.2 Omprosjektering.....	22
3.5.3 Avgrensninger ved omprosjektering.....	23
3.5.4 Lydkrav.....	24
3.5.5 Brannkrav.....	24
3.5.6 Energikrav.....	24
3.6 Klimagassberegning.....	25
3.6.1 Beregningsbegrensninger.....	25
3.6.2 Beregning av klimagassutslipp.....	25
3.6.3 Avgrensninger.....	26
3.7 Tilnærming til One Click.....	26
3.7.1 Separering av faser.....	26
3.7.2 Tilgjengelige EPDer.....	27
3.8 Prissetting og kostnadsramme.....	27
4 Referansebygget.....	29
4.1 Generelt.....	29
4.2 Oppbygging referansebygg.....	31
4.2.1 Fundament.....	33
4.2.2 Dekke under plan 1.....	33
4.2.3 Dekke over 1. etasje.....	33
4.2.4 Dekke over 2. etasje.....	34

4.2.5 Innervegg .....	34
4.2.6 Yttervegg.....	34
4.2.7 Takkonstruksjoner.....	35
4.2.8 Bjelkene .....	35
4.2.9 Søylene.....	35
4.2.10 Trapperom.....	35
4.2.11 Dør og vindu .....	36
4.2.12 Svalgang.....	36
5 Forslag til omprosjektering .....	37
5.1 Omprosjektering alternativ 1 .....	37
5.1.1 Fundament.....	37
5.1.2 Dekke under plan 1 .....	37
5.1.3 Dekket over 1. etasje.....	37
5.1.4 Dekket over 2. etasje.....	37
5.1.5 Innervegg .....	37
5.1.6 Yttervegg.....	38
5.1.7 Takkonstruksjoner.....	38
5.1.8 Bjelkene .....	38
5.1.9 Søylene.....	38
5.1.10 Trapperom.....	38
5.1.11 Dør og vindu .....	38
5.1.12 Svalgang.....	39
5.2 Omprosjektering alternativ 2 .....	39
5.2.1 Ferdigbetong .....	39
5.2.2 Hulldekke.....	39
6 Resultat .....	40
6.1 Sammenligning av prosjekteringen.....	40
6.2 Klimagassberegning.....	41

6.2.1 Referansebygget.....	41
6.2.2 Prosjektert alternativ 1 .....	45
6.2.3 Prosjektert alternativ 2 .....	49
6.2.4 Sammenligning .....	53
6.3 Pris .....	62
7 Diskusjon .....	65
7.1 Prosjektering .....	65
7.1.1 Videreprosjektering av referansebygget .....	65
7.1.2 Omprosjektering .....	65
7.2 Fordeler og ulemper med ulike type bygg .....	66
7.2.1 Bygg i massivtre .....	66
7.2.2 Bygg i stål og betong .....	66
7.3 Klimagassberegningene .....	67
7.3.1 Tolkning av resultatene.....	67
7.3.2 Diskusjon av metoden.....	69
7.4 Kostnadsberegningene .....	69
7.4.1 Diskusjon om metoden .....	69
7.4.2 Kostnad til bygningsdelene.....	70
7.4.3 Kostnader ved lavkarbon betong og betongelementer.....	72
7.4.4 Totalkostnad til byggene.....	72
7.5 Feilkilder.....	74
8 Utvikling i betongbransjen – Fiberbetong .....	75
9 Konklusjon.....	77
10 Videre arbeid.....	78
Figurliste .....	79
Tabeller .....	80
Referanser .....	81
Vedlegg.....	86

# 1 Introduksjon

Oppgaven introduseres i dette kapitlet. Omfang, problemstilling og avgrensning beskrives. I tillegg introduseres programvarer som blir brukt for å løse oppgaven.

## 1.1 Problemstilling

For denne oppgaven ønskes det å finne forskjellen i klimagassutslipp og pris for materialene til hovedbæresystemet til Vikhammer barnehage i limtre/massivtre sammenlignet med et omprosjektert hovedbæresystem i stål og betong.

## 1.2 Resultatmål

Resultatmålet er å prosjektere hovedbæresystemet til Vikhammer barnehage i stål/betong.

Betongtypene som skal undersøkes er lavkarbon type B, A og ekstrem. Deler som mangler av prosjekteringen til referansebygget i massivtre/limtre skal videreprosjekteres. Prosjekteres i henhold til TEK17, med fokus på krav til brann, lyd og varmegjennomgang.

Deretter beregnes klimagassregnskap for ovennevnte valg, som dekker fasene A1-A3

Materialer og B4 Utskiftning, ved hjelp av NS3720 Metode for klimagassregnskapsberegninger i bygninger. Resultatene sammenlignes og kommenteres. Livsløpsanalysen utføres ved bruk av One Click LCA

Materialene for de ulike scenarioene skal prisettes på samme nivå ved bruk av Norsk Prisbok. Resultatene sammenlignes og kommenteres.

Det konkluderes med en anbefaling av materialvalg ved Vikhammer barnehage basert på de sammenlignbare dataene fra beregningen.



## **1.3 Programvare**

### **1.3.1 One Click LCA**

One Click LCA er en nettbasert programvare produsert av det europeiske programvareselskapet Bionova med hovedkontor i Helsinki, Finland. One Click LCA er et program som blant annet kan genere livssyklusanalyser for et byggeprosjekt. One Click LCA integrerer data fra nesten alle tilgjengelige EPD-plattformer over hele verden noe som resulterer i over 95 000 datapunkter.

Uten hjelp fra lignende programvarer har det tidligere tatt mye lengre tid å skape en livssyklusanalyse av et byggeprosjekt, men ved hjelp av programmer som One Click LCA er det mye fortere og lettere.

Den norske utgaven er tilpasset på oppdrag fra Statsbygg og vil erstatte Klimagassregnskap.no i tillegg til å være tilgjengelig for allmennheten. Den norske utgaven inneholder blant annet verktøy for karbon beregning som følger NS372, verktøy for norsk transport beregning, de aller siste EPDer fra EPD Norge og andre europeiske EPDer. Statsbygg, og Bionova har sammen signert en avtale for å redusere utslipp fra byggebransjen og dermed motarbeide effekten av klimaendringen. (One Click LCA, 2021)

Der bygningsinformasjonsmodeller som f.eks. Revit og Solibri er tilgjengelige, kan prosessen automatiseres ved at brukere kan importere data direkte fra programvaren. Dette gjør det enklere å utføre LCA og andre miljøvurderinger.

### **1.3.2 ArchiCAD**

ArchiCAD er et BIM-verktøy og er laget av det ungarske firmaet Graphisoft. Programmet er i hovedsak laget av arkitekter for arkitekter. I ArchiCAD kan man tegne tredimensjonale modeller knyttet til en virtuell modell. Ved endring av modellen, endres også alle tegninger og masseberegninger som er knyttet til modellen. All programmering og lokale tilpasninger i programmer er i henhold til NorskStandard (NS) og utvikles og håndteres av Graphisoft Norge

### **1.3.3 Norsk Prisbok**

Norsk Prisbok er et oppslagsverk for den norske byggebransjen. Verktøyet er produsert av Norconsult Informasjonssystemer og Bygganalyse, og har hovedkontor i Sandvika. Norsk

Prisbok har eksistert og utgitt prisdata siden 2002. Prisdata forteller om hvor mye det koster å bygge boliger, kontorer, skoler, barnehager og andre typer bygg i Norge.

Norsk Prisbok finnes i ulike former. Det finns både bokform, nettside og app for smarttelefoner. Bokformen utgis en gang i året, mens det nettbaserte databaser oppdateres to ganger i året. Bokformen, i tillegg til å inneholde prisdata, inneholder også fagartikler innen byggøkonomi.

I Norsk Prisbok finnes sammendrag av pris, årskostnad og karbonutslipp fra materialer for ulike bygningstyper. Verktøyet har mer enn 1800 elementer med enhetspriser som kan blant annet brukes til å kalkulere priser og sammenligning av pris og klimagass. (Norconsult, Bygganalyse, 2021)

Verktøyet er laget for ingeniører og andre innen byggebransjen, som ønsker å kartlegge pris og karbonutslipp for konstruksjoner. Blant annet blir Norsk Prisbok brukt ved prissetting av konstruksjoner ved byggingeniørstudiet på NTNU, og i ISY-løsninger, som er en løsning for prosjektgjennomføring.

## 2 Teori

I dette kapitlet beskrives teori som er aktuell for å løse problemstillingen. Temaer som klimaendringer, global oppvarming og byggebransjens klimagassutslipp blir tatt opp. Deretter vil aktuelle materialer som brukes i dette prosjektet bli beskrevet nærmere.

### 2.1 Klimaendringer

I følge Store Norske Leksikon (SNL) er definisjonen på klimaendringer endringer i hvor ofte ulike typer vær forekommer. Det gjelder også endring i gjennomsnittstemperaturen, nedbør, vannføring eller vind. I tillegg til nevnte endringer kan det være endringer i hvor ofte og intenst ekstremt vær inntreffer. (Benestad, et al., 2021)

#### 2.1.1 Global oppvarming

Den nevnte endringen i gjennomsnittstemperatur kalles også global oppvarming.

Klimaendringer på grunn av global oppvarming medfører alvorlige konsekvenser for hele verden. Ifølge miljødirektoratet har jorda nå en gjennomsnittstemperatur som er én grad varmere enn den var på slutten av 1800-tallet, og 2020 var det nest varmeste året siden temperaturmålingene startet i 1880. Det er ifølge FNs klimapanel menneskelig påvirkning som er hovedårsaken til denne observerte temperaturøkningen. (Miljødirektoratet, 2021)

Drivhuseffekten er et viktig stikkord innen global oppvarming. Det går ut på at jordens atmosfære fungerer som et varmende teppe for jorden. Jorden stråler ut energi i form av varme, som beskyttes og ivaretas av atmosfæren i form av klimagasser. Jo mer klimagasser det er i atmosfæren, jo mer varme fra sola beholdes på jorden. Når mennesker tilfører klimagasser til atmosfæren raskere enn naturen klarer å ta opp disse gassene, oppstår det problemer ved at jorden blir for varm. (Naturvernforbundet, 2019)

De viktigste klimagassene er vanndamp (H<sub>2</sub>O) og de naturlige gassene karbondioksid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og lystgass (N<sub>2</sub>O). I tillegg til disse blir det tilført unaturlige gasser i atmosfæren, som ulike typer av fluorkarboner som forsterker drivhuseffekt. Mye av de økte klimagasskonsentrasjonene er menneskeskapte. Karbondioksid bidrar mest til global oppvarming, etterfulgt av metan. (Inge Bryhni, 2019)

Karbon (C) er fundamentet for alt liv på jorden. Dette grunnstoffet finnes i planter, dyr, mennesker og annet levende materiale. Samfunnet består i stor grad av karbon. Stoffet er

naturlig lagret i atmosfæren, i havet og under bakken i form av olje, kull og gass. De sistnevnte naturressursene har blitt høstet for bruk av mennesker. Når olje, kull av gass brennes frigjøres karbon til luft, og bli værende i atmosfæren. I tillegg til dette er det blitt mer avskoging de siste årene. Trær og planter har naturlige evner til å ta opp CO<sub>2</sub>. Fjerning av skog og vegetasjon gjør at jordas evne til å ta opp karbon minsker. Dermed blir drivhuseffekten forsterket.

Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> har økt med 50 prosent på 200 år, der mesteparten av utslippene forekom i løpet av de siste 40 årene. Utslipet av CO<sub>2</sub> stiger fortsatt den dag i dag. (Naturvernforbundet, 2019)

Ifølge SNL vil global oppvarming vil føre til forflytning av økosystemer mot polene og høyere strøk. Skoger vil forsvinne, mens nye arter og økosystemer etableres. De større endringene vil kunne sees tydelig ved steder med høye breddegrader. Fordelingsnedbør blir skjevare og havsirkulasjonsmøntre vil bli sterkt påvirket. I tillegg vil global oppvarming endre livsbetingelser for dyr og planter. I mange tilfeller vil ikke plante- og dyreartene kunne utvikle seg raskt nok til å overleve endringene, og dermed fører til store tap av biologisk mangfold. Havsnivået vil fortsette å stige ved global oppvarming, som gjør at lavtliggende steder vil etter hvert forsvinne og fører til store konsekvenser for dyr og planter. Saltvannsinntrenging kan også ødelegge lavtliggende jordbruksland. Hos mennesker kan global oppvarming føre til blant annet utbredelser av infeksjonssykdommer og dårligere tilgang til mat og vann. (Benestad, et al., 2021)

### **2.1.2 Det grønne skriftet**

FNs spesialrapport fra 2018 konkluderer med at de nødvendige tilpasningsbehovene vil være lavere for global oppvarming på 1,5 grad sammenlignet med 2 grader. For å prøve å unngå å oppnå en temperøkning på 2 grader er det behov for raske reduksjoner i klimagassutslippene. Ifølge regjeringens klimaavdeling har Norge et mål om å redusere utslippet av klimagasser med 50 til 55 prosent innen 2030. (Regjeringens klimaavdeling, 2020)

Klimaendringer blir stadig mer merkbare. Konsekvensene er store. Det har vært uenigheter innen internasjonalt regelverk for klimagassutslipp. I 1997 kom den første avtalen med konkrete forpliktelser til å redusere klimagassutslipp som kun gjaldt for industriland. I 2000-tallet ble avtalen forhandlet og forsikret forpliktelser i utslippsreduksjon i alle land. Denne avtalen er kjent som Parisavtalen. Parisavtalen er en avtale om klimapolitikk, med overordnede mål om å unngå farlig menneskelig påvirkning på klimasystemet. Målene lyder slik:

1. Å begrense global oppvarming til «godt under» 2 °C, og å tilstrebe å begrense den til 1,5 °C, sammenliknet med førindustriell tid.
2. Å øke evnen til å tilpasse seg skadevirkningene av klimaendringene.
3. Å gjøre finansstrømmene forenelige med en bane mot lavutslippsutvikling. (Jakobsen, et al., 2021)

På grunnlag av hovedmålene i Parisavtalen har Norge satt seg 24 miljømål fordelt på 6 kategorier. Kategoriene omhandler naturmangfold, kulturminner og kulturmiljø, friluftsliv, forurensning, polarområdene og klima. Noen av målene er allerede oppfylt, mens andre trengs mer innsats for å nå. Disse målene er fastsatt av Klima- og miljødepartementet. Til sammen skal de gi en indikasjon på hva Norge ønsker å oppnå innen miljø og hvordan det står til.

Innen klima har Norge satt seg 6 miljømål. Disse handler om å redusere utslipp av klimagasser generelt og fra avskoging med minst 50%, være klimanøytralt i 2030, og å bli et lavutslippssamfunn innen 2050. I tillegg skal Norge på landbasis forberedes på å tilpasse seg klimaendringene. (Miljødirektoratet, 2021 b)

Regjeringen legger avgift på klimagassutslipp, eller CO<sub>2</sub>-avgiften, som et virkemiddel til å forsikre lavere klimagassutslipp. Det omhandler mineralolje, bensin, naturgass og LPG. Noen utslipp har fritak fra kvoteplikten, som utslipp av metan og lystgass fra landbruk, og utslipp av CO<sub>2</sub> fra forbrenning av avfall. (Regjeringen, 2020) Det er også innført forbudt mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger, i tillegg til mer satsing på klimavennlige transportløsninger.

## 2.2 Klimagassutslipp i Norge

Ifølge Miljødirektoratet har klimagassutslippene i Norge vært ganske stabile siden 1990, samtidig som skogens opptak av klimagasser har økt. I 2019 hadde Norge et utslipp på 50,3 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, og i 2018 ble 23,7 millioner tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter tatt opp av skog og arealbruk. Et viktig punkt som ikke blir inkludert i klimagassberegningene er at Norge importerer mange av varene som forbrukes i landet. Utslipp fra denne produksjonen regnes ikke med i norske utslippstall. Det vil også si at når Norge eksporterer såpass mye olje, gass og andre produkter er det kun utslippet fra produksjonen og ikke i bruksfasen som regnes som norske utslippstall. (Miljødirektoratet, 2021 c)

Sammenlignet med resten av verden ligger Norge et stykke over gjennomsnittsklimagassutslippet per person. Ifølge en artikkel fra Energi og Klima er

gjennomsnittsutslippet 7,9 tonn CO<sub>2</sub> per innbygger. Noe som er langt over det globale gjennomsnittet på 4,7 tonn. (Øvrebø, 2021)

### **2.2.1 Klimagassutslipp i byggebransjen**

Asplan Viak skrev i 2019 en rapport som omhandlet bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp på oppdrag fra Byggenæringens Landsforening. Rapporten sier at bygg og anlegg sin andel av norske klimagassutslipp er estimert til å utgjøre ca. 15,3 % i 2017. Det viktigste bidraget til disse 15,3 % er klimagassutslipp i andre sektorer. Av klimagassutslipp i andre sektorer så dominerer produksjon av byggevarer med 54 %, eller 24 % av de norske utslippene knyttet til bygg- og anlegg. (Asplan Viak, 2019) Det er med andre ord et stort forbedringspotensial med materialenes klimagassutslipp.

Byggesektoren representerer et stort potensial for reduksjon av klimagassutslipp og energiforbruk. Ifølge Sintef kan oppgraderinger og rehabilitering av eksisterende bygninger sammenlignet med nybygging være svært miljøsparende. Klimagassutslippene spares er i hovedsak knyttet til produksjon av byggematerialer og elementer. (Nitter, 2020) Andre aktuelle tiltak det jobbes med for å redusere klimagassutslippene er bruk av mer miljøvennlige materialer som blant annet limtre og massivtre.

### **2.3 Livsløpsanalyse – LCA**

Ifølge Sintef er livssyklusanalyse et verktøy for å vurdere miljøpåvirkningen av et produkt eller et bygg gjennom hele livsløpet. (Sintef, 2021) Livsløpet starter ved uttak av råvarene helt til produktet ender som avfall eller gjenvinnes, dette kalles også fra vugge til grav.

Livsløpsanalysen gir informasjon om hva slags utslipp de forskjellige delene gir og hvor i livsløpet det oppstår. Det finnes både regnskaps-LCA og konsekvens LCA.

Klimagassberegninger utført etter NS3720 er av typen regnskaps LCA.

Ifølge Sintef har metoden bak livsløpsanalysen fire faser:

– Fase 1: fastsette hensikt og omfang.

I denne fasen bestemmes avgrensningene, detaljnivået og den funksjonelle enhet. En funksjonell enhet er en enhet som brukes som referanse for å muliggjøre sammenligning med andre produkter.

– Fase 2: sette opp et regnskap for ressurser som benyttes til framstilling og tilhørende utslipp for et produktets eller bygningens livsløp.

I denne fasen settes selve regnskapet opp gjennom ulike metoder. Dette inkluderer altså innhenting av data som er nødvendig. Programvarer som One Click gjør denne fasen lettere.

– Fase 3: evaluere de potensielle miljøpåvirkningene

I Fase 3 vurderes betydningen av de potensielle miljøpåvirkningene som kommer fra utslipp og forbruk av materialer og energi.

– Fase 4: tolke regnskapet og rapportere resultatene.

Fase 4 er den siste fasen som involverer å tolke og rapportere resultatet. Det innebærer også å trekke konklusjoner for å gi en anbefaling.

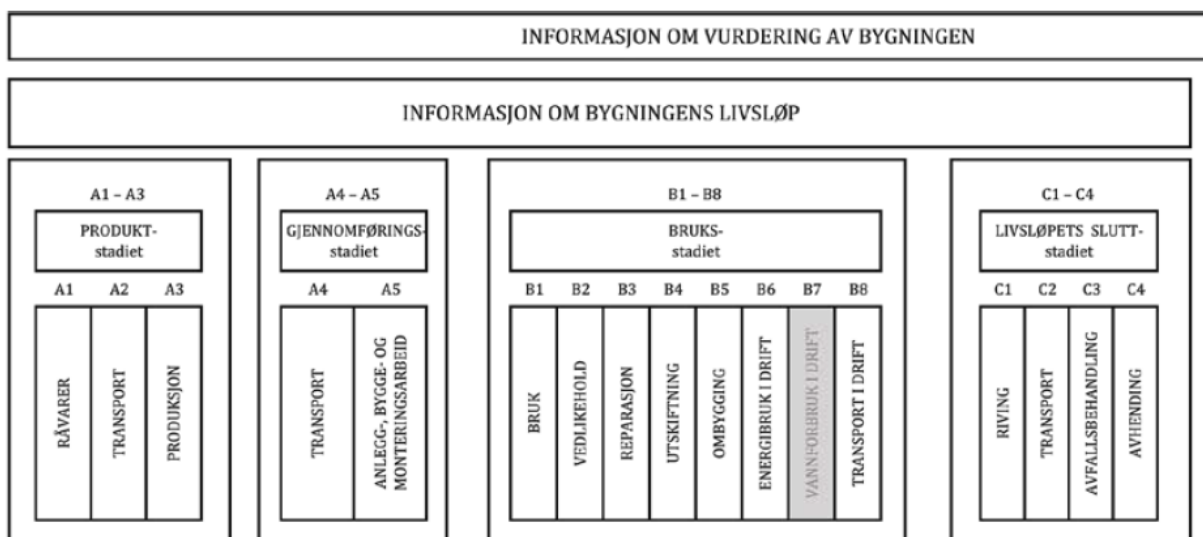
(Sintef, 2014)

Fasene er illustrert i figur nr.1:



Figur 1: Livsløpsanalysens metode fordelt på 4 faser (Sintef, 2014)

Bygningens livssyklus kan deles i forskjellige faser. De fire stadier med tilhørende faser er produkt-, gjennomførings-, bruks- og sluttstadiet. Figur nr. 2 illustrerer disse fasene.



Figur 2: De ulike fasene innen klimagassberegninger, utklipp av bilde henter fra NS3720 (Norsk Standard, 2018)

Produktstadiet inneholder fasene A1 råvarer, A2 transport og A3 produksjon.

Gjennomføringsstadiet inneholder fasene A4 transport og A5 anlegg-, bygg og monteringsarbeid.

Bruksstadiet inneholder fasene B1 bruk, B2 vedlikehold, B3 reparasjon, B4 utskiftning, B5 ombygging, B6 energibruk i drift, B7 vannforbruk i drift og B8 transport i drift.

Sluttstadiet inneholder fasene C1 riving, C2 transport, C3 avfallsbehandling og C4 avhending

Fase D som ikke er inkludert i figuren er en tilleggsmodul som kan inkluderes for å gjøre omfanget av vurderingen større. Fase D er for å vurdere tilleggsinformasjon utover de andre stadiene.

### 2.3.1 EPD

For å gjøre miljøanalyser av et produkt er det nødvendig med en miljødeklarasjon som beskriver miljøegenskapene til et produkt. Hensikten med miljødeklarasjoner er å dokumentere miljøegenskapene til et produkt slik at det er mulig å sammenligne produkter som hører til samme produktkategori. Et vanlig brukt begrep på miljødeklarasjoner er EPD (Environmental Product Declaration). En miljødeklarasjon dokumenterer ressursforbruk og miljøpåvirkninger gjennom hele livsløpet til produktet.



### 2.3.2 NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger

NS 3720 er en norsk standard som gir en metode for å beregne klimagassutslipp for bygninger. I standarden skilles det mellom to typer datakvalitet.

Nivå 1 er definert som spesifikke data som er beregnet/ og eller målt for et konkret produkt eller en konkret tjeneste. Datagrunnlaget skal reflektere det reelle produktet eller den reelle tjenesten innenfor et gitt tidsrom. Det er også krav for at datasettet skal være en gyldig tredjeparts verifisert miljødeklarasjon.

Nivå 2 er definert som er alle LCA-data som ikke tilfredsstiller kravet til datakvalitet på nivå 1. Det kan være generiske data, gjennomsnittsdata og representative data. Data bør generelt ikke være eldre enn 10 år, og alle datakilder som anvendes i klimagassberegningene skal dokumenteres. Det er viktig at all inndata og alle forutsetninger i klimagassberegningen for bygningen skal gjenspeile virkeligheten så nøyaktig som mulig. De mest representative dataene som er tilgjengelig skal benyttes.

Ifølge standarden skal alle deler av bygningen som inngår i klimagassberegningen klassifiseres i henhold til inndelingen i NS3451 Bygningstabell. Produkter som derimot inngår i små mengder i bygget kan utelates. Totale utelatte produktet innenfor hver bygningsdel skal ikke overskride 5 vektprosent av bygningsdelenes totale vekt.

Når det gjelder sammenligning av klimagassregnskap skal det bare gjøres på grunnlag av objektenes funksjonelle ekvivalent. Funksjonell ekvivalent til en bygning skal minst omfatte følgende:

- Bygningstype
- Tekniske og funksjonelle krav
- Totalt bruttoareal
- Totalt bruksareal
- Totalt oppvarmet bruksareal
- Bruksmønster
- Påkrevd levetid.

Ifølge standarden er påkrevd levetid avhengig av klimagassberegningens tiltenkte bruk eller nasjonale veiledninger. Dersom byggherren ikke oppgir påkrevd levetid, skal klimagassberegningene benytte 60 års levetid.

(Norsk Standard, 2018)

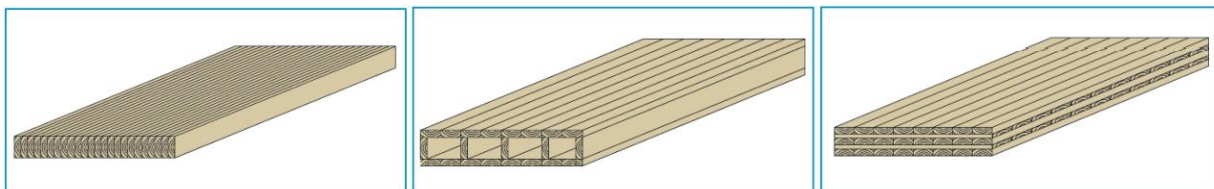
## 2.4 Materialer

### 2.4.1 Massivtre

Massivtre er et treprodukt som lages i fabrikk. Disse er lameller som settes sammen ved hjelp av tredybler, lim, spiker, skruer eller stålstag. Ulike sammensetning og limeprodukt gir ulike egenskaper for massivtreelementer. Tykkelse og antall sjikt i elementene er avhengig av behov, funksjon og bruksområde. Massivtre veier 400-500 kg/m<sup>3</sup>, som er veldig lett i forhold til stål på 7900 kg/m<sup>3</sup>, og betong på rundt 2000 kg/m<sup>3</sup>. (Andersen, 2017)

Ved fremstilling av massivtreelementer blir gran, furu bjørk og eik mest brukt. Trelast som vanligvis ikke blir brukt som konstruksjonsmateriale kan brukes, fordi lamellene sammenføres, og totalstyrken til hele elementet forstørres. Massivtre kan leveres i alle fasong, med utsparing for tekniske installasjoner, dør- og vindusåpninger, og tilslutning til andre bygningsdeler. Det kan også velges mellom ulike strukturer i overflaten. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

Hovedkategorier innen massivtre er kantstilte-, hulroms- og krysslagte massivtreelementer. Kantstilte elementer produseres ved å sette sammen stående lameller. Hulromselementer har hovedkjennetegn ved at det er hulrom mellom øverste og nederste lag. Krysslagte elementer er lameller satt sammen i ulike sjikt. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)



Figur 3: Kantstilte-, hulroms- og krysslagte massivtreelementer. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

Kantstilte elementer kan sammenføres med stålstag, skruer, spiker eller tredybler. Kantstilte elementer kalles også tverrspente elementer. I disse elementene er det ikke lim mellom lamellene. Lamellene legges etter hverandre i en rigg, som presses sammen ved å bruke hydraulisk presse, og stålstagene trekkes gjennom elementet. Ved bruk av skruer eller spiker skrues lamellene først tre og tre sammen. Disse legges sammen alt etter dimensjon og bruk av massivtreelementer.

Krysslagte elementer kan sammenføres med lim eller tredybler. Ved limesammenføring limes sjiktene sammen på kryss ved 45 eller 90 grader i forhold til hverandre. MUF-lim, et lim for treelementer som inneholder melanin-urea-formaldehyd, blir ofte brukt i krysslagte massivtre. Sjiktene kan være mellom 9 mm tykke, alt etter behov og bruksområde. Ved bruk av tredybler

blir sjiktene lagt opp og hull bores gjennom elementene. Deretter dyttes dybler dyppet i kaseinlim i hullene.

Hulromselementer finnes i mange varianter, både parallelle og kryssende lameller. Disse sammenføres med lim. I tverrsnittet dannes ikke disse massive elementer, men det er såpass høyt andel trevirke at de regnes som massivtreelementer. Hulrommene kan enten brukes som kanal for tekniske installasjoner, eller fylles med isolasjon. (Trefokus AS og Treteknisk, 2011)

Massivtre er et sterkt materiale som brukes som både bærende og ikke-bærende elementer i vegger, gulv og tak; også i høye bygg. Materialet kan benyttes i alle typer bygg som næringsbygg, skoler og barnehager, boliger og fleretasjeshus. Massivtre kan brukes som hele bæresystemet, eller kombineres med andre materialer. Det er blitt mer og mer populært å bygge balkonger og svalganger i massivtre. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

Massivtre er et brennbart materiale. Men på grunn av at materialet har lav varmeledningsevner vil det dermed gi gode egenskaper i forhold til brann. Massivtreelementer har god brannmotstand da innbrenningshastigheten er lav. Under brann vil overflaten til massivtreelementet forkalles, mens elementet fortsatt opprettholder fasthet og stivheten. Dermed kan massivtre oppnå høy klassifisering for bæreevne (R) og brannskillende funksjon (E) under brann. (Norsk Massivtre, 2021)

For lyd i nybygg gjelder grenseverdier i lydklasse C. Som etasjeskiller kan massivtre oppnå 37-43 dB innen luftlyd og 77-85 dB innen trinnlyd. Det krever dermed ekstra lydisolasjon for å oppfylle lydkravene. (Trefokus AS og Treteknisk, 2011)

I Norge er trevirke et av de mer miljøvennlige byggematerialer. CO<sub>2</sub>-tilførsel reduseres kraftig ved bruk av treprodukter. Karbonutveksling mellom trær og atmosfæren skjer naturlig gjennom fotosyntese, respirasjon, nedbrytning og forbrenning. Trær er med å bremse ned karbonutslipp i atmosfæren ved å absorbere CO<sub>2</sub> gjennom fotosyntese og lagrer det som karbon. Etter hogging blir karbonet som er absorbert værende i treproduktet. Dette er med å bremse klimaendringer. Det er ikke før trematerialet brennes og blir til avfall at den absorberte CO<sub>2</sub> mengden slippes ut.

Massivtre er fornybar på den måten at de kan repareres og brukes på nytt flere ganger. Disse blir resirkulert og produseres sekundær materialer eller til energigjenvinning. Det krever lite energi og ressurser for å produsere treprodukter. Ved produksjon går mest energi til tørking.

Massivtre kan dimensjoneres for å stå like lenge som de fleste bygg i andre materialer.

Gjennom bygningens levetid er det bruksfasen som gir størst bidrag til miljøbelastningen, mest

i form av oppvarming. I nedrivningsprosessen medfører massivtrebygg til lite avfall, der store deler av avfallet kan gjenvinnnes i ulike former. (Norsk Treteknisk Institutt, 2006)

#### **2.4.1 Limtre**

Limtre, har mange fellestrekk med massivtre da det fremstilles ved å lime lameller sammen. I limtre limes disse bordene i samme fiberretning. Det skilles mellom limtre til utebruk og innebruk, mest i form av hvilken type lim som brukes. Ved utendørsbruk benyttes limtre med fenol-resorcinol som lim. Dette limet er vannfast og har en rødlig farge. Ved innebruk benyttes samme limtype som brukes i massivtre, lim med melanin-urea-formaldehyd. (Tronstad, 2019)

I Norge produseres limtre vanligvis av gran- eller furulameller som er 45 mm tykke. Med unntak av konstruksjonselementer som krever klimaklasse 3 brukes det mindre tykke lameller, og ved krumme konstruksjonselementer vil tykkelsen bestemmes av krummingsradius. (Trefokus, 2021 b) Styrken til materialet bestemmes av trelasten som brukes, dets plassering i tverrsnittet og styrken til fingerskjøtene. (Norske Limtreprodusenters Forening , 2015) Ellers har limtre like materialegenskaper og miljøegenskaper som massivtre.

Det kan lages store lengder av limtre, med stor styrke og formstabilitet, som gjør det mulig å lage mange ulike former og dimensjoner. (Tronstad, 2019) Limtre har mange bruksområder, det det ofte brukes som synlige konstruksjoner som bjelker, søyler, bjelkelag i gulv, forsterkning i åpninger i bærevegg, fagverk, buer og rammer, og hoved- og sekundærkonstruksjoner i bruer. (Trefokus, 2021 b)

#### **2.4.4 Stål**

Stål er et sluttprodukt ved legering av jern. Hovedbestanddelen i alle stålmaterialer er 98-99 vektprosent jern, og resten er karbon, silisium, mangan, eventuelt krom og nikkel. (Sandaker, et al., 2017) Legeringsstoffer, behandling og fremstillingsmetode påvirker egenskaper til stålet. Materialet deles dermed i ulike grupper etter hva stålet er karakterisert med. Eksempelvis tilhører kjelstål og armeringsstål i stålgruppe med navn etter anvendelse, og konstruksjonsstål tilhører stålgruppe ved spesielle bruksegenskaper. (Christensen & Almar-Næss, 2019)

Stål fremstilles ved å raffinere råjern, og kan legeres med ulike egenskaper. Fremstilling skjer etter en av to metoder: ved konverter eller ved smelteovn. Konverter-metoden går ut på at det blåses oksygen i råjernet for å fjerne karbon og andre oksiderbare grunnstoffer.

Karboninnholdet går fra å være 4 vektprosent til 0,1-0,2 vektprosent, noe som gjør stålet smibart. (Sandaker, et al., 2017) Deretter går det til en kontinuerlig utstøpning (strengstøpning) der det flytende stålet støpes via en forherd, og fast stål trekkes ut på bunnen i en streng i takt med tilførsel av flytendene stål på toppen. (Christensen & Almar-Næss, 2019) Dette er en grovforming. Disse emnene går videre til valseverket for å valsles til ferdige produkter etter en ny runde av oppvarming. (Sandaker, et al., 2017)

Ved metoden med smelteovn brukes hovedsakelig skrapjern til fremstilling. Stål, resirkulert jern, og eventuelt fast stål smeltes i elektrostålovn og blir omdannet til stål.

Stål brukes mye i byggebransjen. Materialet anvendes blant annet i bygging av veier, jernbane og bruer. I bygningsformål kan stål brukes som profilstål, rør og tynnplater. Noen viktige varianter innen stålprofiler er IPE, HEA, HEB og U-bjelke. Disse kan være opptil 1000 mm i tverrsnitthøyde. (Sandaker, et al., 2017)

Stål er smidig og kan fremstilles til å ha ulike egenskaper, alt etter behov og bruksområde. Stålkonstruksjon er regnet som lettkonstruksjon da materialet er sterkt og dimensjoneres til å tåle store laster. De viktigste egenskapene til stål er materialets gode formbarhet, strekkfasthet og flytespenning. Stål er også god strømløder. Rustfritt stål er laget for å ha bestandighet mot korrosjon. (Total Materia, 2021)

Stål er et material med dårlige brannegenskaper. Ved 400 °C har det mistet 1/3 av stivheten og styrken. Verdiene synker raskere jo høyere temperaturen blir. Ved branndimensjonering utføres tiltak som for eksempel brannmaling, brannisolering, kjølevann i rørprofil eller overdimensjonere ståltverrsnitt. (Sandaker, et al., 2017)

Stål er multiresirkulerbart, og kan smeltes ned og brukes om igjen mange ganger. Energiomsettingen er mye bedre enn primærenergi behovet først tilsier. Stål gir nærmest ingen avfall da alt avfall og rester kan gå direkte til gjenvinning. (Sandaker, et al., 2017) Jernmalm må allikevel utvinnes for å dekke verdens behovet for stål. Jern antas til å være et av grunnstoffene som finnes mest av på jorden, men er i teori ikke en fornybar ressurs. (Haraldsen, et al., 2020)

#### **2.4.5 Betong**

Betong er den mest brukte materialet i byggebransjen i dag. Materialet benyttes i plasstøpte konstruksjoner og prefabrikkerte elementer. Det brukes mye betong i broer, dammer, kaier,

plattformer og bygning. Prefabrikkerte betongelementer kan være vegg- og dekkeelementer, søyler og bjelker. Det lages også rør, bygningsstein og takstein av betong. (Thue, 2019)

Betong lages ved å blande vann, sement, tilslag, og eventuelle tilsetningsstoffer. Disse tilsettes i et bestemt vektforhold. Blanding av vann og sement fungerer som lim i betongen, og binder sammen tilslaget til en fast masse. Forholdet mellom vann og bindemiddel bestemmer betongkvaliteten. Det må passes på å ikke bruke for mye vann da det risikeres at tilslaget synker i støpeprosessen og gir betongen ulike kvaliteter.

Tilslaget i betong består av sand og grus i ulike størrelser, gjerne morene. Disse skal være bestandig og ha høy fasthet. Slam, humus og leire skal unngås for å redusere sjansen til å minke fastheten til betongen. Tilsetningsstoffer som benyttes i betong gir den ulike egenskaper. Disse deles inn etter hovedvirkemåter i betongen, som er luftinnførende, plastiserende, akselererende, størkningsretarderende, og injeksjonsstoffer.

Ved støpning vil den ferske betongen bli plassert i former allerede montert med armeringsstål. Fersk betong vil begynne å størkne etter 30 minutter etter blanding. Deretter går den til en herdeprosess, der betongen oppnår sin fulle fasthet. Denne prosessen skjer ved kjemiske reaksjonen mellom vannet og sementen. (Sandaker, et al., 2017) Herdeprosessen tar lang tid. Betongen må holdes fuktig under hele prosessen. Om vinteren må betongen beskyttes mot kulde ved enten isolasjon eller oppvarming. (Thue, 2019)

Betong er kjent for sin fasthet, støpelighet og bæreevne. Den har stor trykkfasthet, og dårlig strekkfasthet. Strekk-krefter må dermed tas opp av stålarming. (Thue, 2019) Betong er også bestandig og krever lite vedlikehold og har dermed lang levetid. Betong virker lydisolerende på grunn av tyngden. Lydbølger klarer ikke å sette betongen i bevegelse. En typisk betongvegg vil kunne gi en luftlydisolering på 55 dB. Det er vanligvis kun nødvendig å dimensjonere trinnlydisolasjon i et bygg.

Betong er et av de mest brannsikre byggemateriale, og beregnes som ikke-brennbart. For at en brann skal opp stå må andre brannbare materiale være til stede, oksygentilgang er tilstrekkelig og at det er antennelsestemperatur. I bygg benyttes ofte armert betong. Ved brann vil stålarming, som tåler høye temperaturer dårlig, føre til at betongen mister sin bæreevne. (Sandaker, et al., 2017)

Byggebransjen har økt fokus på produktivitet og effektivitet i byggefasen, og dette setter fart i utvikling av prefabrikkerte betongelementer. Prefabrikkerte betongelementer omfavner konstruksjonsdeler som støpes i fabrikk. Metoden gir også mulighet for serieproduksjon. De

vanlige betongvarene som blir prefabrikkert er vegg- og dekkelementer, søyler og bjelker. For å opprettholde fremdriftsmessige fordeler ved bruk av prefabrikkert betong er det viktig med god planlegging før montering av elementene. Disse monteres ganske lett med tårnkran eller mobilkran på byggeplassen.

Prefabrikkert betong fremstilles med vanlig slakkarmering eller spennarmering. For bjelker og dekker benyttes oftest spennarmering for å redusere tykkelsen til elementene.

Betongelementene armeres før det tas i bruk. Derfor er det viktig å tenke på at betongen må tåle de faktiske lastene til bygget i bruksfasen ved fremstilling. Armeringsstålet i disse elementene vil bli spent opp mellom to forankringsbukker i enden av støpeformen, og kuttet av etter at betongen er ferdigstøpt. Det spente stålet vil forsøke å trekke seg sammen ved kapping, men blir hindret av betongen. Dermed vil betongelementet bli påført trykkspenning. Disse spennarmert prefabrikkert betongelementer forankres med spesielle endeforankringer. (Sandaker, et al., 2017)

Betongproduksjon står for 6% av de totale menneskeskapte klimagassutslippene. Av dette kommer mesteparten av karbonutslippet fra produksjon av råvarer, snarere sementproduksjon; i tillegg til transport av råvarer, transport av betong til byggeplass og betongproduksjon. (Sintef, 2016)

Det forsøkes å finne metoder for å minke disse utslippene. Ulike tiltak for klimagassreduksjon innen betong er alternativt brensel ved produksjon av sement, alternative materialer som delvis erstatter sement, gjenbruk og distribusjon av knust betong. (Sandaker, et al., 2017)

De siste årene har betongbransjen hatt fokus på å redusere miljøbelastning, og lavkarbonbetong har tatt en mer sentral plass. I et byggeprosjekt er det ofte tiltakshaveren som krever reduksjon av CO<sub>2</sub>-utslippet for hele prosjektet under byggefasen, og lavkarbonbetong er et reelt alternativ.

Det finnes per dags dato 5 ulike lavkarbonklasser: C, B, A, Pluss og Ekstrem, der lavkarbon Ekstrem gir mest karbonreduksjon. Reduksjonen er målt med antall kilo CO<sub>2</sub>-ekvivalenter per kubikkmeter betong, der reduksjonen er avhengig av fasthets- og bestandighetsklasse.

Lavkarbonbetong fremstilles ved ulike tiltak. Et alternativ er å bruke sement som er lavkarbon. De fleste betongleverandører klarer å oppnå lavkarbonklasse C og B. Ved strengere klasser kreves det de aller beste miljøsementene eller spesielle tiltak, som å erstatte sement med flygeaske, slag eller silikastøv. Disse tilsetningsstoffer er ikke så utbredt i Norge enda, så leverandørene er avhengig av import fra utlandet. Den strengeste lavkarbonklasse betong er dermed ikke så vanlig å bruke da de ofte er dyrere og må importeres.



Ulemper med lavkarbonbetong er at den gir sen herdning, i tillegg til å være væravhengig for at den skal herde jevn. Dette kan redusere framdriften i et byggeprosjekt. Tiltak for å framskynde prosessen kan være å tilsette herdeakselerator. Betong som bruker flygeaske gir liten varmeutvikling og dermed økt temperaturfølsomhet. Som følge av dette vil betongen ha mindre risiko for rissdannelse og oppsprekking. (Sintef, 2016) Støpbarheten til lavkarbonbetong er noe dårligere i forhold til vanlig betong, men dette lar seg enkelt løse i de fleste tilfeller. (Direktorat for byggkvalitet, 2017)

## 3 Metode

Kapittel 3 beskriver metodene som brukes for å løse denne oppgaven. Kapitlet beskriver hvordan informasjonshenting ble utført, hvordan bruken av programvarene var og tilnærmingen til disse. Kapitlet inkluderer også ulike valg og begrensninger knyttet til utføringen av oppgaven.

### 3.1 Litteratursøk

Ved litteratursøk er ordinært nettsøk brukt, i tillegg til databasene Oria og Google Scholar. Oria er et nettbasert bibliotek som inneholder bøker, artikler, tidsskrifter, rapporter og oppgaver. I Oria får velges det mellom å søke enten i universitetsbibliotek, med tilgang til alle samlinger fra NTNU; eller norske fagbibliotek med tilgang til samlinger fra alle norske universiteter og høyskoler. Google Scholar er en søkemotor for akademisk litteratur, med akademiske tidsskriftsartikler og bøker publisert på internett. Det er prioritert nyere litteratur da klimagassregnskap er et utviklende tema, med det er stadig ny informasjon. Rapporter og artikler fra Skandinavia er også høyt prioritert i forhold til tekster fra andre verdensdeler på grunn av noe likt klima og værforhold.

Det er også brukt noe informasjon fra kommersielle aktører, for eksempel ved å finne dimensjon og bæreegenskaper til hulldekke. Disse kildene anses ikke som objektive da deres interesse ofte er å fremme deres egne produkter. Det er blitt vurdert disse kildene mot andre kilder for troverdighet.

I tillegg til nettbaserte søk, blir andre bachelor- og masteroppgaver brukt som inspirasjon og for å finne relevante kilder. Spesielt de følgende 3 oppgavene: «Effekten av miljøvennlige materialvalg på klimagassregnskap» (Lohne, et al., 2020), «Miljøregnskap ved bruk av massivtre sammenlignet med stål» (Forbregd, et al., 2019) og «Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1» (Eliassen, 2019). Oppgavenes gyldighet er vanskelig å vurdere. Usikkerheten er stor siden disse ikke blir vurdert på samme grunnlag som akademiske forskningsartikler.

Alt er prosjektert og dimensjonert etter kravene fra standarder og lover hentet fra Standard Norge sine nettsider. Hjemmesidene til One Click og Norsk Prisbok er flittig brukt til å bli kjent med programmene og beregningene.

Ellers har det vært møter, intervjuer og samtaler med flere personer for råd og hjelp i deres fagfelt. Det blir skrevet møtereferater for alle møtene. Deres råd og anbefalinger brukes med forsiktighet, etter tilleggssøk for troverdighet.

### **3.2 Beregningsavgrensninger**

Beregningene som ligger til grunnlag for denne oppgaven er utført fra starten av mars til slutten av april. Prosjekt Vikhammer barnehage er i forprosjektfasen og da beregningene ble utført var ikke spesifikke materialer og leverandører for prosjektet klart enda. Derfor er store deler av materialene, leverandørene og prisene antatt. Tilbakemeldinger fra eksterne veileder har bidratt til å sannsynliggjøre noen av de antatte verdiene. Til tross for dette havner store deler av dataen innenfor datakvalitet 2. Prosjektdokumentene fra Consto var alle ufullstendige grunnet prosjektets tidlige fase. Det førte til småfeil og mangler i filene som blir brukt som underlagsdokumentasjon. Det antas likevel at informasjon i underlagsdokumentene fra Consto er korrekte nok til å være brukbare til denne oppgaven.

### **3.3 Bruk av programvarer**

Dette delkapittelet inneholder en kort beskrivelse av bruken av programvarer som var nødvendig for å fullføre metoden. Følgende programmer brukt er ArchiCAD, One Click LCA og Norsk Prisbok.

#### **3.3.1 ArchiCAD**

ArchiCAD 23 er brukt til å hente informasjon om plassering, materialvalg og mengder. Modeller i ArchiCAD kan gi et inntrykk av hvordan bygget er planlagt å bli seende ut i denne fasen. Det er mulig å overføre data fra ArchiCAD til One Click LCA ved å gå gjennom en tilpasset Excel fil. Det er ikke mulig å direkte overføre dataene til One Click uten å gå gjennom Excel slik det var mulig med ArchiCAD versjon 18 og 19. For å enklest mulig overføre dataene fra ArchiCAD til One Click gjennom Excel er det en fordel om ArchiCAD filen bare inneholder de materialene som skal brukes i klimagassberegningene og er strippet for alle komponentene som ikke skal inkluderes. Det er også en fordel om alle komponentene har navn som beskriver hvilket materiale det er og hvilken bygningsdel det tilhører.

### **3.3.2 One Click**

One Click er brukt for å utføre klimagassregnskapet. Ved opprettelse av et prosjekt er det ulike startparametere som er nødvendig å fylle ut, blant annet bygningsareal og beregningsperiode. Etter opprettelsen av et prosjekt er det mulig å lage et design. Designet har ulike datainngangene som er tilgjengelig for å utføre et klimagassutslipp ved de ulike livssyklusstadiene, det er: bygningsmaterialer, energiforbruk årlig, beregningsperiode, bygningsareal, utslipp og fjerning, transport i drift, byggeplassdrift og ytterlige scenarier. For fasene A1-A3 og B4 er det datainngangene beregningsperiode, bygningsareal og bygningsmaterialer som er mest aktuelle.

I One Click LCA er det mulighet for å opprette flere ulike design innad samme prosjekt, noe som gjør sammenligningen av designene lettere. Etter inntastingen av data innen bygningsmaterialer ved de tre ulike designene oppretter One Click automatisk rapporter som presenterer resultatene. I tillegg til individuelle rapporter for hvert enkelt design produserer One Click figurer som sammenligner de ulike designene. Figurene viser blant annet en sammenligning av klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen knyttet til livssyklus stadier, bygningsdeler og ressurstyper.

### **3.3.3 Norsk Prisbok**

Norsk Prisbok er brukt for å utføre kostnadsberegningene og kostnadsrammene. Nettsiden er organisert slik at det kan velges å se priser etter elementer, bygningstyper eller prislinjer per fag. For å finne enkeltpriser søkes det etter enkelte elementer etter hvilke bygningsdeler disse skal være i. Prisene finnes i enhetspris. Disse beregnes etter mengder og presenteres deretter i et Excel-ark, sortert etter de ulike scenarioene.

I tillegg til enhetspris på materialene og faglinjer, finnes det også verdier for blant annet karbonekvivalenter per enhet. Disse blir ikke brukt da alt av klimagassregnskap beregnes og oppføres i One Click LCA.

## **3.4 Mengdeberegning**

Mengdene fra referansebygget er hentet fra ARK- og RIB modellen for bygget. RIB-modellen er brukt for å få mengdene til enkeltelementene i bæresystemet samt plasseringen av dem. Arkitektmodellen er brukt for å forstå den foreløpige oppbyggingen til de elementene som ikke er en del av bæresystemet. For å finne de foreløpige prosjekterte oppbyggingene av

referansebygget er det også brukt lyd-, brann- og energirapport. Både ARK og RIB filen fra Consto hadde en del små-feil og mangler der bygningsdeler blant annet overlapper hverandre, I de tilfellene var det bedre å hente mengdene ut manuelt i stedet for å bruke tallene fra de genererte tabellene i ArchiCAD. Etter at mengdene ble hentet fra ArchiCAD ble det brukt videre til klimagassberegningene, prosjekteringen og prissettingen.

### **3.5. Prosjektering**

I dette delkapittelet presenteres metodene som er brukt i videreprosjekteringen av referansebygget og omprosjekteringen. I tillegg til metode beskrives de ulike avgrensningene i prosjekteringen og kravene som ble fulgt.

Endringer som beskrives i denne rapporten skal på ingen måter gå utover byggets funksjonelle bekostning. Alle scenarioer skal tilfredsstillende samme kravene som referansebygget: energikrav, brannkrav og lydkrav.

#### **3.5.1 Prosjektering av referansebygg**

Prosjektering av referansebygget er tatt utgangspunkt i den foreløpig oppbygging av komponentene fra rapportene og IFC-filene. Det er fortsatt store uklarheter i noen av komponentene. Det er noe informasjon om bygningsdelene i rapportene som ikke stemmer overens med IFC-filene og tegningene. Ved uoverensstemmelser blir det etter samtaler med prosjektets rådgivere gjort antagelser. Disse prosjekteres mer fullstendig etter kravene i TEK 17. Det er tatt utgangspunkt i at alle bæreelementene er dimensjonert til å tåle alle aktuelle laster.

#### **3.5.2 Omprosjektering**

Alle endringer som utføres er basert på samtale med rådgivere til prosjektet, samt opplæring gjennom byggingeniørstudiet. Noen endringer er basert på beregninger samt samtaler med rådgivere, som søyler og bjelker; mens andre er basert på preaksepterte løsninger. Endringer av materialer vil i noen tilfeller føre til endring av elementstørrelse. Kollisjonen mellom nye og eksisterende elementer er ikke undersøkt nærmere.

### 3.5.3 Avgrensninger ved omprosjektering

Hovedbæresystemet for Vikhammer barnehage, referansebygget, består av fundamentet, gulv på grunn, etasjeskillere, bærende og delvis-bærende innervegger, søyler, bjelker og tak.

Fundamentet og gulv på grunn er allerede prosjektert i betong, og det er valgt å beholde dette i omprosjektering. Det er ikke tatt videre hensyn til last på fundamentet og gulv på grunn i det prosjekterte bygget.

Prosjektet er i forprosjektfasen og det er derfor store usikkerheter knyttet til informasjonen fra prosjekteringen av den originale løsningen. Ifølge RIB- og ARK-filen er deler av taket av typen kompakt tak. Derimot på grunnlag av en omtrentlige lastberegninger av dette kompakte taket er det kommet fram til at dette sannsynligvis ikke er den virkelige takformen som har blitt prosjektert. Det er også enkelt tegninger blant annet en snittegning fra brannrapporten som kan tyde på dette (vedlegg nr. 8). Barnehagens endelige 3D-form er konfidensielt i det tidsrommet denne oppgaven skrives. Det er derfor tatt et valg om å se bort ifra takkonstruksjonene i omprosjekteringen.

Den nye definerte hovedbæresystemet som skal omprosjekteres i alternativ 1 og videreprosjekteres i referansebygget defineres dermed som etasjeskillere, søyler, bjelker, bærende og delvis-bærende innervegger og trapperom.

Det er kun hovedkonstruksjonen som skal omprosjekteres, dette inkluderer ikke boder, diverse bygg til lagring, og parkering utenfor barnehagebygget samt elementer som ikke er inkludert i RIB-filen.

I denne rapporten deles omprosjekteringen i to alternativ. Alternativ 1 er en omprosjektering av det tidligere definerte hovedbæresystemet i referansebygget. Hovedbæresystemet endres fra limtre og massivtre i referansebygget til stål og betong ved alternativ 1. Ved å endre hovedbæresystemet er det mulig å optimalisere bygget for å utnytte de nye egenskapene til de endrede materialene, dette ville derimot endret bygningsformen og romløsningen, noe oppdragsgiver ikke ønsket. Optimalisering av bygningen ved omprosjekteringen ble derfor ikke prioritert.

Alternativ 2 bygger videre på alternativ 1, men skal i tillegg undersøke muligheten for mer klimavennlig betong ved å endre til en strengere lavkarbonklasse.

### **3.5.4 Lydkrav**

Rambøll AS fungerer som rådgivende ingeniør i referansebygget for å ivareta de akustiske kravene. Det stilles særskilte lydkrav til barnehager og skolefritidsordninger. Det er prosjektert at det ikke er noen tilleggskrav utover krav angitt i klasse C. All informasjon om løsninger i forhold til lydkravene for referansebygget er på grunnlag av lydrapporten for Vikhammer barnehage.

Lydrapporten beskriver ulike behov ved de forskjellige delene av bygget. Generelt er luftlydskravet 48 dB mellom rom for søvn og samtalerom/personalrom og andre felles oppholdsrom uten dørforbindelse. For trinnlydskrav gjelder 63 dB mellom kontorer, møterom og andre oppholdsrom med dørforbindelse. (Sintef, 2006) Det er i hovedsak disse to kravene som ligger til grunn for videreprosjekteringen av referansebygget, samt omprosjekteringen. I tillegg til å opprettholde disse kravene ble det undersøkt hva den foreløpige forventede/ønskede oppnådde luftlyds- og trinnlydsnivået ville havnet på etter prosjekteringen til Rambøll. Det var et mål at den videre prosjekteringen ville oppnå lignende verdier. Det tas ikke hensyn til diverse typer himling eller andre lyddempende tiltak i noen av scenarioene.

### **3.5.5 Brannkrav**

Rambøll AS fungerer som rådgivende branningeniør for referansebygget, og erklærer ansvarsrett i tiltaksklasse 3 i forbindelse med dette prosjektet. På grunnlag av preaksepterte ytelser er Vikhammer barnehage fastsatt i brannklasse 1 og risikoklasse 2 for kontor og teknisk rom, og risikoklasse 3 for barnehage. Alle vegger og etasjeskillere skal oppfylle EI 30. Dører og vinduer skal oppfylle EI 30. Ellers skal materialer og produkters dimensjoner og egenskaper ved brann oppfylle branntekniske ytelseskrav fra TEK17. All informasjon om løsninger til brannkravene for referansebygget i massivtre er hentet fra brannrapport for Vikhammer barnehage.

### **3.5.6 Energikrav**

Rambøll fungerer som rådgivende ingeniør i energiberegningene for referansebygget. All informasjon om løsninger for energikravene til referansebygget i massivtre/limtre er hentet fra energirapporten for Vikhammer barnehage.

Bygningsdeler til referansebygget skal oppfylle minimumskrav til energieffektivitet ved å ha lik eller lavere u-verdien enn verdiene vist på tabellen under.

Tabell 1: Minimumskrav energieffektivitet Vikhammer barnehage

Minimumskrav				
U-verdi				Lekkasjetall
Yttervegg	Tak	Gulv på grunn	Vindu og dør	Ved 50 Pa trykkforskjell
[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[W/m <sup>2</sup> K]	[luftveksling/time]
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Informasjon fra energirapporten (vedlegg nr. 8) sier at de forventede/ønskede oppnådde u-verdien vil være mye bedre enn minimumskravet. I videreføringen referansebyggets prosjektering samt omprosjekteringen er det derfor valgt å videreføre det u-verdinivået de forventer og ønsker å oppnå så langt det er mulig.

### 3.6 Klimagassberegning

#### 3.6.1 Beregningsbegrensninger

Som nevnt tidligere er prosjektet i forprosjekt-stadiet og spesifikke materialer og leverandører er ikke valgt. Derfor ble EPDene til materialene antatt etter beste evne i klimagassregnskapet. Veileder Jon Vindal fra Consto ga tilbakemelding på enkelte EPDer som var sannsynlige at prosjektet vil bruke. Utvalget av EPDer i One Click har i noen tilfeller vært mangelfullt. I de tilfellene har det blitt valgt generelle data uten spesifikke leverandører, eller leverandører med produkter som er nærmest ønsket produkt. Det meste av dataen havner derfor innenfor datakvalitet 2. Levetiden på de ulike materialene fulgte de gitte EPDene og ble ikke endret. Transport og kapp og svinn, er elementer vi ser bort ifra og ble derfor fjernet.

#### 3.6.2 Beregning av klimagassutslipp

Det er brukt en demo versjon av One Click LCA, noe som medfører begrenset tilgang til enkelte deler av programvaren. EPDene til produktene er hentet direkte fra One Clicks bibliotek. EPDene gir utslipp i forhold til den deklarererte enheten og multipliseres med mengden av det tilhørende materialet. Disse mengdene ble ført inn manuelt i One Click.

Oppdelingen av de ulike bygningsdelene er valgt på grunnlag av hva som best illustrerer forskjellene i klimagassutslipp mellom de tre scenarioene. Etter inntasting av data manuelt produserer One Click resultatet automatisk og ingen annen beregning er nødvendig.



### **3.6.3 Avgrensninger**

De utvalgte fasene fra livssyklusanalysen er produktfasen A1-A3 og utskiftningsfasen B4. De resterende fasene er ikke inkludert i klimagassberegningene. Bruksarealet er 1700 m<sup>2</sup> og bygningens levetid er satt til 60 år

Hovedfokuset ved klimagassberegningene var å illustrere endringen av klimagassregnskap ved endring av materialet til hovedbæresystemet. Oppdragsgiver ønsket derimot å inkludere de materialene som ikke endres for å få et mer komplett bilde. Derfor inkluderes materialer fra andre ikke-bærende bygningsdeler i klimagassberegningene der de har vært mulige å anta eller prosjektere. Som nevnt tidligere i punkt 2.3.2 kan enkelte materialer som opptrer i små mengden utelates fra klimagassregnskapet. Et eksempel på dette er treverk som leker. Flere av mengdene antas å oppfylle dette kravet og det ble besluttet å ikke inkludere dem. Andre mindre materialer som ikke ble inkludert er på grunnlag at det antas at mengdene er identiske ved alle tre scenarioer og etter samtale med veileder ble det konkludert med at disse elementene kan utelates. Et eksempel på dette er gulvbelegg. Det antas at de tekniske systemene er like i de tre scenarioene og at det derfor ikke vil ha en effekt på resultatene ved å ikke inkludere dem.

Klimagassutslippet for de utvalgte fasene inkluderer ikke effekten av biogent karbonlagring av trematerialene. Bidraget fra karbonlagringen presenteres likevel sammen med det ikke-biogene klimagassutslippet i resultatdelen for å forstå den mulige effekten. Karbonatisering av betongelementene er ikke inkludert fordi bruksfasen ikke er med i analysen.

## **3.7 Tilnærming til One Click**

Ved bruk av en programvare som skal gjøre klimagassregnskap raskere og enklere er det naturlig å støte på utfordringer knyttet til programvaren. Dette delkapittelet dreier ut om programvarens påvirkning på valg av materialer og resultatet.

### **3.7.1 Separering av faser**

Klimagassberegningene var planlagt avgrenset til fasene A1-A3 og B4. One Click LCA skiller derimot ikke fasene B4 utskiftning og B5 ombygging fra hverandre i resultatene. Det er likevel bare brukt levealderen til produktene altså utskiftning i inntastingen av data og derfor tolkes resultatene fra B4 og B5 som resultatene for B4. Det er brukt en demo versjon av One Click LCA, noe som medfører begrenset tilgang til enkelte deler av programvaren.

I oppgaven var det et ønske fra oppdragsgiver å omprosjekttere all betongen fra lavkarbonklasse B til lavkarbonklasse Ekstrem i alternativ 2. På grunn av manglende EPD for betong hulldekke lavkarbonklasse ekstrem ble det derfor valgt den høyeste lavkarbonklassen som var tilgjengelig. Dette var lavkarbonklasse A.

### **3.7.2 Tilgjengelige EPDer**

Eksakt vindu og dør-typer samt leverandører av disse var ikke valgt ved tidspunktet for utførelsen av klimagassutslippet. Utvalget av EPDer til vinduer og dører i One Click er også veldig begrenset. Det ble derfor tatt utgangspunkt i det totale vindus og dør areal og deretter valgt én EPD for vindu og én EPD for dører som skal representere et gjennomsnitt av alle vinduene og dørene i bygget. Det ble valgt et generisk vindu i One Click som i tillegg til å dekke u-verdi kravet, være fra en norsk leverandør også kunne åpnes. Det ble valgt en generisk dør som tilfredsstilte brannkravet og var fra en norsk leverandør.

I de tilfellene der det var ønskelig med et produkt med noen spesifikke kvalifikasjoner, var det ofte mangel på slike EPDer med eksakte leverandører. Et eksempel var behovet for brannbeskyttende plater av steinull med en nødvendig densitet mellom 150-200 kg/m<sup>3</sup> for å opprettholde brannkravet i omprosjekteringen. De eneste tilgjengelige EPDene for et slikt produkt var generelle EPDer fra One Click.

Hvis EPDene til enkelte produkter ikke har blitt oppdatert før utløpsdatoene har gått ut gir One Click beskjed om dette. Det er generelt ikke anbefalt å bruke EPDer som er utløpt da EPDene til produktenes klimaavtrykk kan endres i løpet av få år. Noen produkter fra klimagassregnskapet som har utløpte EPDer er vinduet og vindsperren. Vinduets EPD utløpte i 2019 og vindsperrens EPD utløpte i 2020. Leverandørene til vindu og vindsperre er kjente leverandører for Constos byggeprosjekter og Consto har fått en generell tilbakemelding fra deres leverandører at oppdateringen av EPDene er forsinket grunnet Corona-epidemien. Det ble derfor vurdert som ok å bruke dem av oppdragsgiver.

## **3.8 Prissetting og kostnadsramme**

Prissetting utføres for referansebygget, og prosjektert bygg alternativ 1 og alternativ 2. Dette er gjort ved hjelp av Norsk Prisbok 2020, og samtaler med eksterne betongleverandører.

Det produseres to typer prislister for byggene på Microsoft Excel: en prisliste for alle byggedeler med deres oppbygging og materialer, og en kostnadsramme med omtrentlige verdier for generelle kostnader. Kostnadsrammene som utføres er basert på Norsk Prisbok 2020, og byggtipe 6123: barnehage, 1-2 etasjer.

Det er besluttet å ikke ta med alle materialer i alle bygningsdeler på grunnlag at det antas at mengdene er identiske hos alle tre alternativene, eksempelvis overgulv og systemhimling.

Dette prissettingsarbeidet er ikke presist, da nesten alle hentede verdier er generelle. Det kan derimot være et godt utgangspunkt i sammenligningsstudien til denne rapporten.

Kostnadsestimering må utføres med konkrete pris og tilbud fra leverandører og entreprenører ved selve gjennomføringen av prosjektet.

## 4 Referansebygget

### 4.1 Generelt



Figur 4: Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter

Vikhammer barnehage er et planlagt nybygg i Vikhammerløkka, Malvik kommune.

Barnehagen skal huse 104 barn: 4 grupper små barn a 14 barn, og 2 grupper store barn a 24 barn. Det er estimert 25 ansatte.

Vikhammer barnehage bygges av Consto Midt-Norge på oppdrag av Malvik kommune. Spinn Arkitekter AS utarbeider tegninger som plan, snitt, og IFC filer. Agraff Arkitektur AS utarbeider illustrasjonsplan og reguleringsplan. Rambøll AS står for RIB, brann- og lyd- og energirapporter samt tilhørende tegninger.

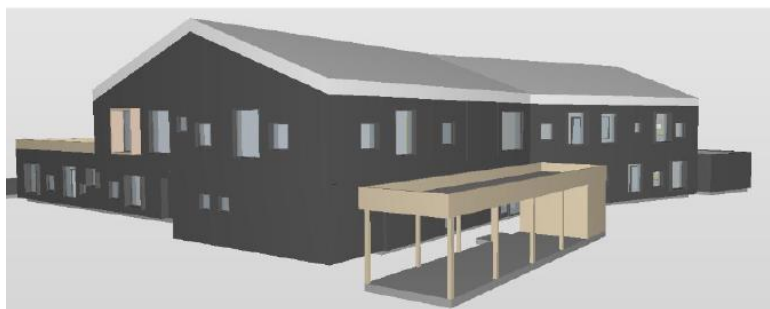


Figur 5: Illustrasjon av tomten til Vikhammer. Hentet fra brannrapport

Detaljregulering av Vikhammer Nedre pågår fortsatt. Rammetillatelse sendes når detaljreguleringen er vedtatt. Det kan derfor framkomme spesielle krav fra myndighetene i reguleringsplan eller rammetillatelse som må innarbeides i prosjektet i senere fase. Etter planen

skal byggingen begynne høsten 2021. Denne rapporten tar utgangspunkt i tegninger og rapporter på forprosjektnivå.

Bygget har 2 tellende etasjer med det samlede arealet på ca. 1700 m<sup>2</sup> (BTA). Første etasje på 1020 m<sup>2</sup> brukes som barnehage, og skal romme de 4 småbarngrupper, allrom og diverse lager og tekniske rom.



*Figur 6: Illustrasjon referansebygget i massivtre. Hentet fra brannrapport*

Andre etasje på 650 m<sup>2</sup> skal romme 2 storbarnsgrupper og personalrom. I tillegg er det et loft på ca. 65 m<sup>2</sup> som brukes som teknisk rom. I tillegg til hoved konstruksjonen skal det være vognbod, sykkelparkering og materialbod rundt barnehagebygget.

## 4.2 Oppbygging referansebygg



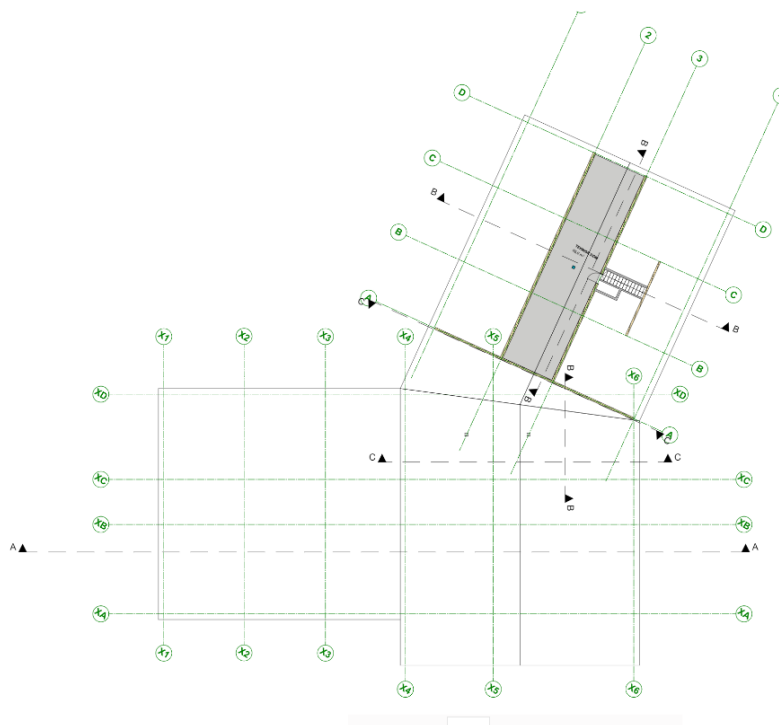
*Figur 7: Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter*

Vikhammer barnehagen prosjekteres med et bæresystem bestående av søyler og bjelker i limtre og massivtredekker og innervegger. Ytterveggene er ikke bærende og er av bindingsverk. Fundament og golv på grunn utføres i betong. Taket skal ifølge IFC filene bygges med saltaksform og flattak i massivtre.

Ifølge brannrapporten skal dekket over plan 1 planlegges på kote +29,00 m og gesims planlegges på kote +36,20 m. Største mønehøyde er ikke endelig fastsatt, men er estimert til ca. 11 m.







Figur 10: Plantegning loft, utarbeidet av Spinn arkitekter

#### 4.2.1 Fundament

Fundamentet i Vikhammer barnehage består av ringmur og fundament i betong. Fundamentene har en plate med dimensjon 1000 x 1000 x 200 mm, og søyle med dimensjon 300 x 300 x 500 mm. Både platen til ringmuren og selve ringmuren har i gjennomsnitt et snitt på 800 x 200 mm. Det antas normal armeringsmengde.

#### 4.2.2 Dekke under plan 1

Ifølge lydrapporten er det planlagt ca. 100 mm betong gulv på grunn samt 200 mm trykkfast isolasjon i grunn. Det er antatt at isolasjonen er av typen XPS. Betongtype og kvalitet er antatt å være B45 M40, lavkarbonklasse B. Det antas normal armeringsmengde.

#### 4.2.3 Dekke over 1. etasje

Det er planlagt 220 mm massivtredekke mellom akse A og XA og 160 mm massivtredekke mellom akse A og D (se figur nr. 9). Ifølge lydrapporten blir oppbyggingen følgende: Over massivtredekke legges 40 mm trinnlydsplate, 60 mm avrettingsmasse og valgfritt overgulv. I tillegg til denne overbyggingen er det systemhimling under massivtreelementet. Det er behov for forsterket konstruksjon på undersiden av dekket på grunn av lydkrav i noen rom, dette blir ikke tatt hensyn til.



#### **4.2.4 Dekke over 2. etasje**

Etasjeskilleren mellom plan 2 og teknisk loft er av massivtre og er mellom akse A og D og mellom akse 2 og 3 (se figur nr.10). Dekket har samme oppbygging som beskrevet i punkt 4.2.3. Forsterket konstruksjon er aktuell, men må avstemmes med tekniske installasjoner som skal inn i teknisk rom. Detaljert oppbygging er ikke avklart i denne fasen. På grunn av usikkerhet rundt oppbyggingen av tilleggskonstruksjonen vil dekket over 2.etasje følge samme oppbygging som dekket over 1. etasje.

#### **4.2.5 Innervegg**

Det er prosjektert to hovedtyper innervegger i Vikhammer barnehage: massivtrevegger med ulike tykkelser og påforing, og vanlige innervegger med stenderverk. Disse plasseres på ulike steder med ulike funksjoner. Massivtre-innerveggene er bærende eller delvis-bærende, og bindingsverkveggene er ikke bærende. Plasseringen og oppbyggingen av innerveggene er ukjente og sees bort i fra i videre beregninger.

Massivtreelementene i innerveggene er bærende eller delvis-bærende og har varierende tykkelser, med tykkelser som: 120, 140 og 160 mm. Disse påføres for å opprettholde diverse krav. Fra lydrapporten kan denne påforingen bestå av 13 mm luftsjikt, 70 mm isolert bindingsverk og avsluttes med 2 gipsplater på én side av veggen. Kombinert med brannkravet vil oppbyggingen bli følgende. 2 gipsplater, påforing, luftsjikt, massivtreelementer etterfulgt av 2 gipsplater på den andre siden uten påforing.

#### **4.2.6 Yttervegg**

Ytterveggene i Vikhammer barnehage er ikke del av det definerte hovedbæresystemet. Ifølge ARK filen består ytterveggen av isolert bindingsverk med dimensjon 298x48 mm, med utforing på 50 mm. Isolasjon skal være av mineralull med varmekonduktivitet på 0,035 W/mK. Det antas at veggene har vanlig trekledning på utsiden og gipsplate som innvendig kledning. Det er tas hensyn til to hovedtyper yttervegger som brukes i dette bygget. Begge er relativt like i oppbygging, med den eneste forskjellen som ligger i luftsjiktet. Den første typen skal ha både vertikal og horisontal lekt, som gir luftsjiktet en totaltykkelse på 60 mm. Den andre typen skal kun ha vertikal lekt på 36 mm. Veggene bygges isolert med dampsperre og vindsperre.

#### **4.2.7 Takkonstruksjoner**

Vikhammer barnehage har to ulike taktyper: sperretak og kompakt tak. I plantegningen (figur nr. 8) er det kompakt tak mellom akse X1 og X4, og resten av bygget har sperretak.

Informasjonen om oppbyggingen til denne bygningsdelen er svært liten. Denne delen er derfor antatt og videreprosjektert etter beste evne. Saltaket skal være av type sperretak og bestå av limtresperrer i GL32C, dimensjon 48 x 320 mm. Isolasjon mellom sperrene er av mineralull og skal være 400 mm tykk.

Ifølge RIB filen deles det kompakte taket i to. Begge delene har lik oppbygging, med massivtreelementer og antatt isolasjon av typen EPS. Denne typen isolasjon er brennbar, så en detaljert prosjektering av det flate taket er nødvendig hvis EPS blir brukt. Massivtreelementene har ulik tykkelse på 140 mm og 180 mm. Isolasjonen har tykkelse på 400 mm. Taket er ikke en del av det definerte hovedbæresystemet og antas at det er prosjektert slikt at det oppfyller både brannkrav og lydkrav.

#### **4.2.8 Bjelkene**

Bjelkene i Vikhammer barnehage består av limtrebjelker med dimensjon 215 mm i bredde og varierende høyde. Høyde varierer fra 405mm til 990mm. Den mest brukte bjelkestørrelsen er 215 mm x 585 mm. Kvaliteten til limtreet er GL30C. Det er antatt at bjelken er gjennomgående over flere opplagere.

Under brannpåkjenning vil det statiske virksomme tverrsnittet til bjelkene i tre reduseres da de brannpåkjennte sidene blir forkullet. Det er antatt at det er tatt hensyn til dette ved dimensjonering av bjelkene, og at bjelkene oppfyller brannkravet.

#### **4.2.9 Søyler**

Søylene er av limtre i kvalitet GL30C. Dimensjonen på søylene er 225 x 215 mm.

Referansebygget har bare én dimensjon på limtresøylene. I likhet med bjelkene er det antatt at søylene er dimensjonert til å oppfylle brannkravet.

#### **4.2.10 Trapperom**

Trappene i bygget er av massivtre. Bygget har 3 innvendige og 1 utvendig trapp. En av de innvendige trappene har et trapperom med bærende vegger i massivtre. På plantegningen er

trapperommet mellom akse XA og XB (figur nr. 8). Det antas at de bærende veggene i trapperommet følger samme oppbygging som i punkt 4.2.5.

#### **4.2.11 Dør og vindu**

Ifølge ARK- og RIB-filen er mange forskjellige størrelser på vindu og dører. Vindu- og dørtype er ikke valgt enda. Det antas generiske vinduer og dører.

#### **4.2.12 Svalgang**

Svalgangen har kompakt tak av massivtre, massivtreetasjeskiller og like søyler og bjelker som er brukt i resten av bygget. Også her er det store usikkerheter knyttet til den faktiske takkonstruksjonen. Det ses derfor bort ifra takkonstruksjonen til det kompakte taket i omprosjekteringen og videre beregninger.

## **5 Forslag til omprosjektering**

Dette kapitlet beskriver forslagene til omprosjektering av Vikhammer barnehage i stål og betong.

### **5.1 Omprosjektering alternativ 1**

#### **5.1.1 Fundament**

Fundamentet vil ha samme oppbygging som referansebygget beskrevet i punkt 4.2.1.

#### **5.1.2 Dekke under plan 1**

Gulv på grunn vil ha samme oppbygging som referansebygget beskrevet i punkt 4.2.2.

#### **5.1.3 Dekket over 1. etasje**

Dekket over 1. etasje i massivtre blir byttet ut med hulldekke 265 mm. Det brukes hulldekke lavkarbonklasse B. Oppå hulldekket legges det 30 mm avrettingsmasse for å få et rett og plant underlag, etterfulgt av 20 mm trinnlydsplate og valgfritt gulvmateriale.

#### **5.1.4 Dekket over 2. etasje**

Dekket over 2. etasje vil følge samme oppbygging som dekket over 1. etasje beskrevet i punkt 5.1.3.

#### **5.1.5 Innervegg**

Alle bærende og delvis-bærende innervegger av massivtre skal byttes ut med bærende søyler og bjelker i stål. Innervegger omprosjekteres til ikke-bærende vegger av bindingsverk, med stenderavstand c/c 600 mm. Veggene skal skjule søylene og bjelkene så langt det er mulig. Veggkonstruksjonen skal ha stenderdimensjonen 48 x 123 mm, isolert med mineralull. Det legges to lag gipsplater utenpå på hver side av veggen. De resterende ikke-bærende veggene i referansebygget las stå.

### **5.1.6 Yttervegg**

Ytterveggen har samme oppbygging som referansebygget, beskrevet i punkt 4.2.6

### **5.1.7 Takkonstruksjoner**

Takkonstruksjonene har samme oppbygging som referansebygget, beskrevet i punkt 4.2.7

### **5.1.8 Bjelkene**

Limtrebjelkene byttes ut med stålbjelker av type varmformet IPE. For å uniformere bjelkene mest mulig i det prosjekterte bygget er det valgt å bare bruke én bjelkedimensjon som er representativt for de lastene bygget må tåle. Bjelkene antas å være gjennomgående over flere opplagre. Stålbjelkene er av typen IPE 300 med dimensjonene 300mm x 150mm. Bjelkene befinner seg både inni veggene og frittstående. De frittstående bjelkene skal beskyttes med branngipsplater på alle eksponerte sider. For bjelkene som står inni veggene velges det brannbeskyttende steinullsplater.

### **5.1.9 Søylene**

Limtresøylene byttes ut med stålsøylar av type varmformet hulprofil av stål kvalitet S355. Alle stålsøylene skal være av typen HUP 150 x 150 x 8 mm. Stålsøylene er enten frittstående eller plassert inni vegger.

Samme som bjelkene, skal de frittstående søyler beskyttes med branngipsplater, og søylene i veggene beskyttes med steinullplater.

### **5.1.10 Trapperom**

Trapperommet omprosjekteres til plasstøpt betong med tykkelse 120 mm. Betongen er av kvalitet B45, lavkarbonklasse B og det antas normal armeringsmengde. Det er valgt å se bort ifra trappene i omprosjekteringen grunnet usikkerhet knyttet til mengdene fra referansebygget.

### **5.1.11 Dør og vindu**

Dører og vinduer endres ikke og er beskrevet i punkt 4.2.11

### **5.1.12 Svalgang**

Som tidligere nevnt i punkt 4.2.12 er det fortsatt stor usikker knyttet til takkonstruksjonene til de tilsynelatende kompakte takene. Det ses derfor bort ifra takkonstruksjonen til de kompakte takene i omprosjekteringen. Resten av svalgangen vil ha lignende oppbygging som resten av bygget med søyler i HUP 150 x 150 x 8 mm, bjelker IPE 300 og hulldekke 265 mm. Dette er gjort for å forsikre at den tåler de mulige lastene samt uniformiserer bygget mest mulig.

## **5.2 Omprosjektering alternativ 2**

Omprosjektering alternativ 2 er et steg videre fra alternativ 1, gitt at omprosjektering diskutert i alternativ 1 er utført. I alternativ 2 byttes all betongen i alternativ 1 med betong som har en strengere lavkarbonklasse. Andre teknologier innen materialet blir ikke undersøkt i større grad.

### **5.2.1 Ferdigbetong**

Det brukes ferdigbetong i fundament, gulv på grunn og i trapperom i alternativ 1.

Ferdigbetongen endres til betong med lavkarbonklasse Ekstrem

### **5.2.2 Hulldekke**

Hulldekkene byttes til lavkarbonklasse A.

## 6 Resultat

I dette kapitlet presenteres resultatene for klimagassberegningene og prisberegningene for Vikhammer barnehage. Resultatene er delt inn i det tre scenarioene: referansebygget, prosjektert alternativ 1 og prosjektert alternativ 2. Resultatene presenteres i figurer og tabeller. Kapittelet avsluttes med en oppsummering av resultatene og en sammenligning.

### 6.1 Sammenligning av prosjekteringen

Tabell 2: En sammenligningstabell av prosjekteringen i de ulike scenarioene

Element	Referansebygget	Alternativ 1	Alternativ 2
Fundament	Betongfundament Lavkarbonklasse B	Betongfundament Lavkarbonklasse B	Betongfundament Lavkarbonklasse Ekstrem
Dekke under plan 1	Betongdekke Lavkarbonklasse B	Betongdekke Lavkarbonklasse B	Betongdekke Lavkarbonklasse Ekstrem
Etasjeskillere	Massivtredekke	Hulldekke Lavkarbonklasse B	Hulldekke Lavkarbonklasse A
Innervegg	Massivtre bærende	Bindingsverk ikke bærende	Bindingsverk ikke bærende
Bjerkene	Limtrebjelker	Stålbjelker	Stålbjelker
Søylene	Limtresøyler	Stålsøyler	Stålsøyler
Trapperom	Betong lavkarbonklasse B	Betong lavkarbonklasse B	Betong lavkarbonklasse Ekstrem

Tabell nr. 2 viser en kort sammenligning av elementene som omprosjekteres fordelt på de ulike scenarioene.

## 6.2 Klimagassberegning

Resultatet fra klimagassberegningene for de tre ulike scenarioene som er utført i One Click LCA presenteres i dette delkapittelet. Beregningene er begrenset til fasene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. Figurene og dataene til tabellene er hentet fra One Click. Først er det totale utslippet og den totale biogente karbonlagringen presentert individuelt for alle de tre scenarioene. Deretter presenteres klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt over ulike parametere. De ulike parameterne er livssyklus-stadier, klassifikasjoner (bygningssdeler) og ressurser. Delkapittelet avsluttes med sammenlignings-tabeller og -figurer for de tre ulike scenarioene. For en detaljert oversikt over inndata og resultat se vedlegg nr. 3-5.

### 6.2.1 Referansebygget

Referansebygget har et totalt utslipp på 226 318 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Med byggets levetid på 60 år og bruttoareal på 1700 kvadratmeter vil det gi 3 772 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 133 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 2 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

Den biogente karbonlagringen fra referansebygget er på 343 497 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det gir 5 725 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 202 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 3 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

Tabell 3: Totale kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget

Klimagassutslipp	[kg]	Biogent karbonlagring	[kg]
CO <sub>2</sub> e	226 318	CO <sub>2</sub> e	343 497
CO <sub>2</sub> e/år	3772	CO <sub>2</sub> e/år	5 725
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	133	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	202
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	2	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	3





● A1-A3 Materialer - 83.8%  
 ● B4-B5 Utskiftning - 16.2%

Figur 12: Klimagassutslippet kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på Livssyklus-stadier



● A1-A3 Materialer - 100.0%

Figur 11: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på Livssyklus-stadier

Tabell 4: Klimagassutslippet for referansebygget fordelt på livssyklus stadier

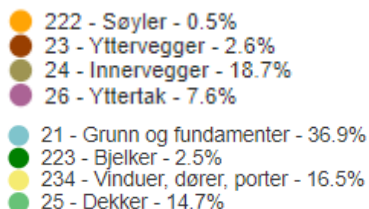
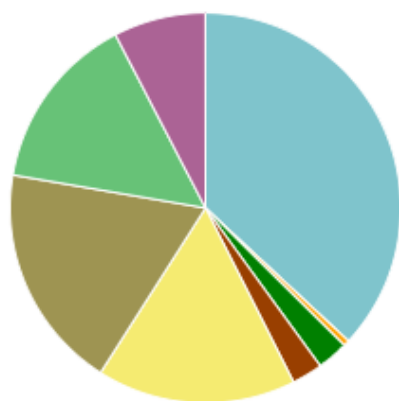
Klimagassutslipp		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	189 750,13	83,84
B4-B5 Utskiftning	36 567,73	16,16

Tabell 5: Biogent karbonlagring for referansebygget fordelt på livssyklus-stadier

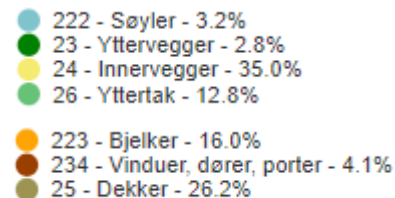
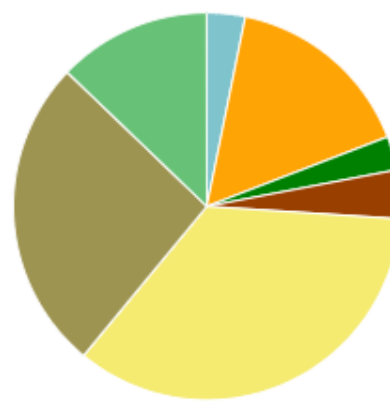
Biogent karbonlagring		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	343 497,44	100
B4-B5 Utskiftning	0	0

Tabell nr. 5 og figur nr. 12 viser klimagassutslippet for referansebygget fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. A1-A3 er det livssyklus-stadiet med mest klimagassutslipp på 189 750,13 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter, det utgjør ca. 83,8 prosent av det totale klimagassutslippet. Fase B4-B5 Utskiftning bidrar med 36 567,73 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 16,2 prosent av det totale klimagassutslippet.

Tabell nr. 4 og figur nr. 11 viser den biogente karbonlagringen for referansebygget fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. Den totale biogente karbonlagringen er på 343 497,44 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det er kun biogent karbonlagring i fasene A1-A3.



Figur 14: Klimagassutslippet kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på klassifikasjoner

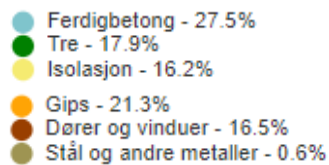
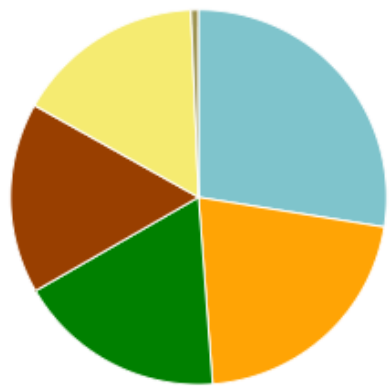


Figur 13: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på klassifikasjoner

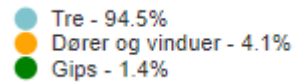
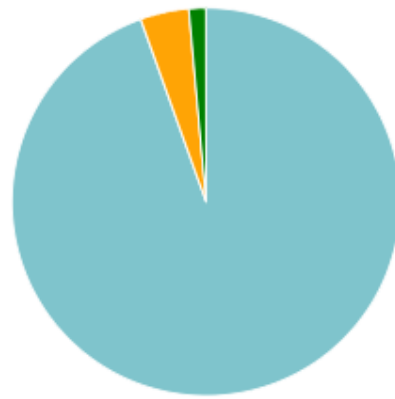
Tabell 6: Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget fordelt på klassifikasjoner

Element	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
21 Grunn og fundamenter	83 588,47	36,93	0	0
222 Søylar	1 149,12	0,51	10 980,48	3,2
223 Bjelker	5 735,52	2,53	54 806,08	15,96
23 Yttervegger	5 783,09	2,56	9 681,64	2,82
234 Vinduer, dører, porter	37 284,57	16,47	13 931,81	4,06
24 Innervegg	42 277,67	18,68	120 166,17	34,98
25 Dekker	33 266,31	14,68	89 888,39	26,17
26 Yttertak	17 233,10	7,61	44 042,87	12,82

Tabell nr. 6 og figur nr. 13 og 14 viser klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt på ulike bygningsdeler. Bygningsdelene som vises, er de klassifikasjonen som tidligere er valgt ved innføringen av data i One Click. Grunn og fundamenter er den bygningsdelen med høyest prosentvist klimagassutslipp på 83 588,47 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 37 prosent, etterfulgt av innervegg på ca. 19 prosent. Den bygningsdelen med lavest prosentvist klimagassutslipp er søylar på ca. 0,51 prosent med 1 149,12 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Den biogente karbonlagringen er størst ved innervegg på 120 166,17 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter, og utgjør 34,98 prosent av den totale biogente karbonlagringen.



Figur 15: Klimagassutslippet kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på ressurs-typer



Figur 16: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på ressurs-typer

Tabell 7: Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget fordelt på ressurser

Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	62 332,60	27,54	0	0
Gips	48 131,03	21,26	4 861,79	1,42
Tre	40 473,80	17,88	324 703,84	94,53
Dører og vinduer	37 284,57	16,47	13 931,81	4,06
Isolasjon	36 657,77	16,2	0	0
Stål og andre metaller	1 438,09	0,65	0	0
Forhåndsstøpt betong	0	0	0	0

Tabell nr. 7 og figur nr. 15 og 16 viser en oversikt over klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt på ressurs-typer. Ferdigbetong har størst utslipp på 62 332,60 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 27,5 prosent av det totale klimagassutslippet. Stål og andre metaller er ressursen med minst klimagassutslipp på 1 438,09 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 0,65 prosent av det totale utslippet.

Den biogente karbonlagringen er størst ved ressursen tre på 324 703,84 kg CO<sub>2</sub> og utgjør ca. 94,5 prosent av den totale biogente karbonlagringen til bygget. Den laveste karbonlagringen finner vi ved gips på 4 861,79 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 1,4 prosent.

### 6.2.2 Prosjektert alternativ 1

Prosjektert bygg alternativ 1 har et totalt utslipp på 318 695 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Med byggets levetid på 60 år og bruttoareal på 1700 kvadratmeter vil det gi 5 312 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 187 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 3 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

Den biogente karbonlagringen fra referansebygget er på 76 119 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det gir 1 269 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 45 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 1 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

Tabell 8: Totale Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 1

<b>Klimagassutslipp</b>	<b>[kg]</b>	<b>Biogent karbonlagring</b>	<b>[kg]</b>
CO <sub>2</sub> e	318 695	CO <sub>2</sub> e	76 119
CO <sub>2</sub> e/år	5 312	CO <sub>2</sub> e/år	1 269
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	187	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	45
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	3	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	1



● A1-A3 Materialer - 87.9%  
 ● B4-B5 Utskiftning - 12.1%

Figur 18: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på Livssyklus-stadier



● A1-A3 Materialer - 100.0%

Figur 17: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på Livssyklus-stadier

Tabell 10: Klimagassutslipp til alternativ 1 fordelt på livssyklus stadier

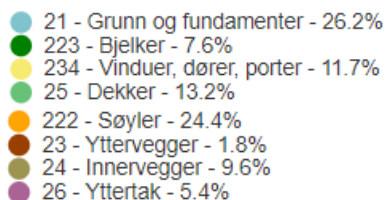
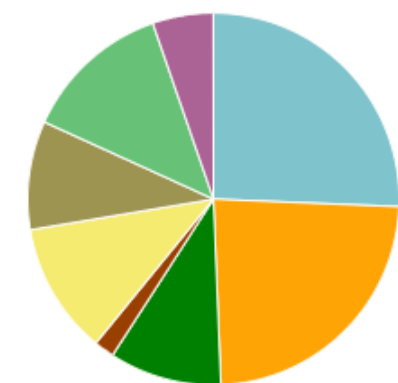
Klimagassutslipp		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	280 225,38	87,93
B4-B5 Utskiftning	38 469,28	12,07

Tabell 9: Biogent karbonlagring til alternativ 1 fordelt på livssyklus-stadier

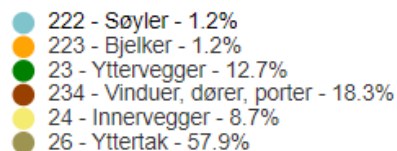
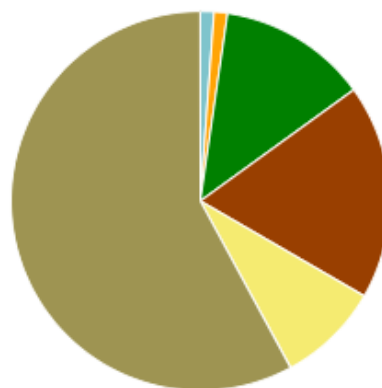
Biogent karbonlagring		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	76 118,60	100
B4-B5 Utskiftning	0	0,0

Tabell nr. 10 og figur nr. 17 viser klimagassutslippet for alternativ 1 fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. A1-A3 er det livssyklus-stadiet med mest klimagassutslipp på 280 225,38 CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det utgjør ca. 87,9 prosent av det totale klimagassutslippet. Fase B4-B5 Utskiftning bidrar med 38 469,28 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 12,1 prosent av det totale klimagassutslippet.

Tabell nr. 9 og figur nr. 18 viser den biogente karbonlagringen for alternativ 1 fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. Den totale biogente karbonlagringen er på 76 118,60 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det er kun biogent karbonlagring i fasene A1-A3.



Figur 20: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner

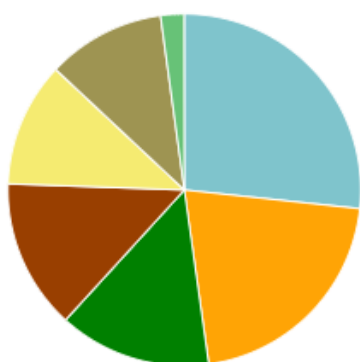


Figur 19: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner

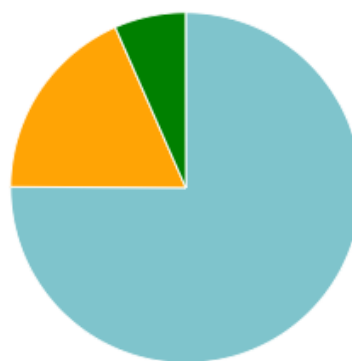
Tabell 11: Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter til alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner

Klimagassutslipp			Biogent	
Element	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
21 Grunn og fundamenter	83 588,47	26,23	0	0
222 Søylar	77 825,33	24,42	946,12	1,24
233 Bjelker	24 187,04	7,59	878,98	1,15
23 Yttervegger	5 783,09	1,81	9 681,64	12,72
234 Vinduer, dører, porter	37 284,57	11,7	13 931,81	18,3
24 Innervegg	30 715,02	9,64	6 637,18	8,72
25 Dekker	42 078,03	13,2	0	0
26 Yttertak	17 233,10	5,41	44 042,87	57,86

Tabell nr. 11 og figur nr. 19 og 20 viser klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen for alternativ 1 fordelt på ulike bygningsdeler. Grunn og fundamenter er den bygningsdelen med høyest utslipp på 83 588,47 CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 26,2 prosent av det totale klimagassutslippet, etterfulgt av søylar på ca. 24,4 prosent. Den bygningsdelen med lavest prosentvis utslipp er yttervegger på ca. 1,8 prosent med 5 783,09 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Den biogente karbonlagringen er størst ved yttertak på 44 042,87 CO<sub>2</sub> ekvivalenter, og utgjør ca. 57,9 prosent av den totale biogente karbonlagringen.



Figur 22: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på ressurs-typer



Figur 21: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på ressurs-typer

Tabell 12: Kg CO<sub>2</sub> for alternativ 1 fordelt på ressurser

Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	68 735,80	21,57	0	0
Gips	46 115,10	14,47	5 081	6,68
Tre	7 008,15	2,2	57 106	75,02
Dører og vinduer	37 284,57	11,7	13 932	18,3
Isolasjon	44 953,49	14,11	0	0
Stål og andre metaller	79 270,15	24,87	0	0
Forhåndsstøpt betong	35 327,40	11,09	0	0

Tabell nr. 12 og figur nr. 21 og 22 viser klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen for alternativ 1 fordelt på ressurs-typer. Stål og andre metaller er den ressursen med størst utslipp på 79 270,15 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 24,9 prosent av det totale klimagassutslippet. Tre er ressursen med minst klimagassutslipp på 7 008,15 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 2,2 prosent av det totale klimagassutslippet.

Den biogente karbonlagringen er størst ved ressursen tre med 57 106 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 75,0 prosent av den totale biogente karbonlagringen. Den laveste mengden karbonlagringen finner vi ved ressursen gips på 5 081 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 6,7 prosent. Det er ingen biogent karbonlagring for de resterende ressursene: Ferdigbetong, isolasjon, stål og andre metaller og forhåndsstøpt betong.

### 6.2.3 Prosjektert alternativ 2

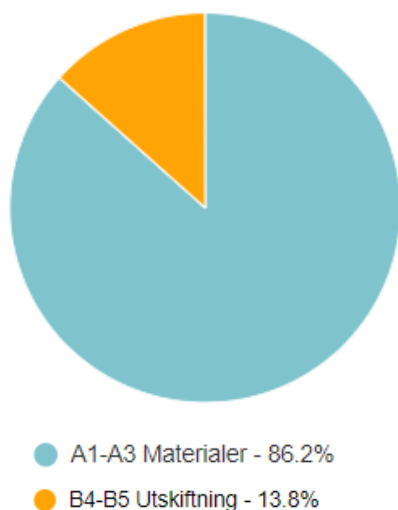
Tabell nr. 13 viser det totale klimagassutslippet og den totale biogente karbonlagringen for alternativ nr. 2. Alternativ 2 har et klimagassutslipp på 278 376 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Med byggets levetid på 60 år og bruttoareal på 1700 kvadratmeter vil det gi 4 640 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 164 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 3 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

Den biogente karbonlagringen fra alternativ 2 er på 76 119 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det gir 1 269 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per år, 45 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter og 1 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter per kvadratmeter per år.

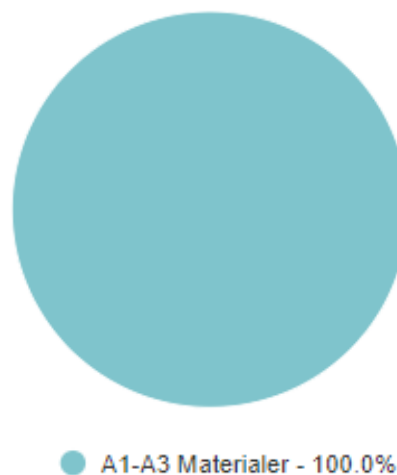
Tabell 13: Totale kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2

<b>Klimagassutslipp</b>	<b>[kg]</b>	<b>Biogent karbonlagring</b>	<b>[kg]</b>
CO <sub>2</sub> e	278 376	CO <sub>2</sub> e	76 119
CO <sub>2</sub> e/år	4 640	CO <sub>2</sub> e/år	1 269
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	164	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>	45
CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	3	CO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> /år	1





Figur 23: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier



Figur 24: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier

Tabell 15: Klimagassutslipp for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier

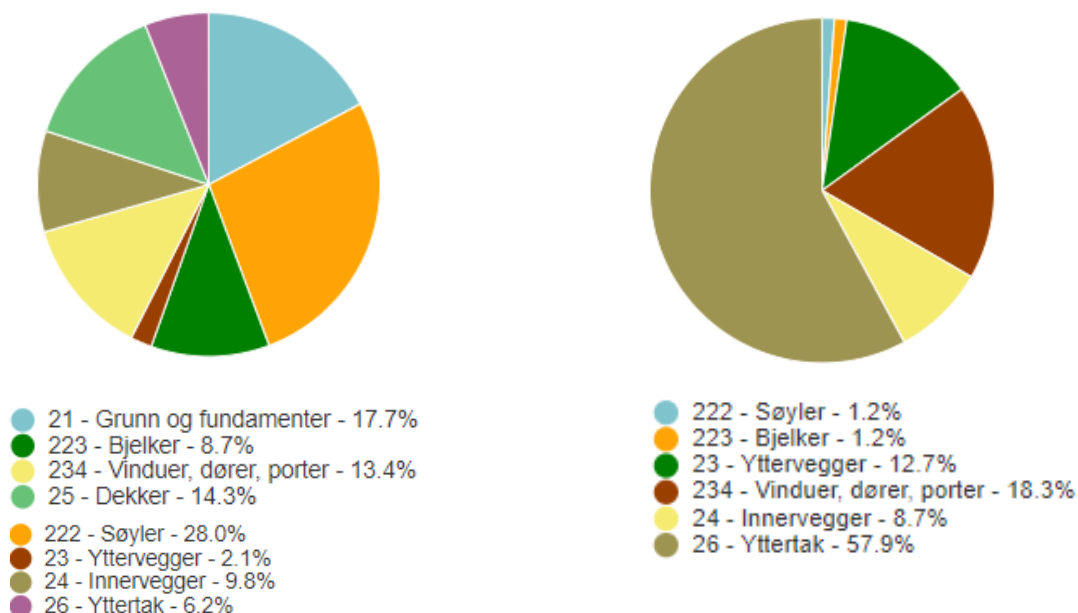
Klimagassutslipp		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	239 907,15	86,18
B4-B5 Utskiftning	38 469,28	13,82

Tabell 14: Biogent karbonlagring for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier

Biogent karbonlagrin		
Livssyklus stadie	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	76 118,60	100
B4-B5 Utskiftning	0	0

Tabell nr. 13 og figur nr. 24 viser klimagassutslippet for alternativ 2 fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. A1-A3 er det livssyklus-stadiet med mest klimagassutslipp på 239 907,15 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter som utgjør ca. 86,2 prosent av klimagassutslippet. Fase B4-B5 Utskiftning bidrar med 38 469,28 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som utgjør ca. 13,8 prosent.

Tabell nr. 14 og figur nr. 23 viser den biogente karbonlagringen fordelt på de ulike livssyklus-stadiene A1-A3 Materialer og B4-B5 Utskiftning. Den totale biogente karbonlagringen er på 76 118,60 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter. Det er kun biogent karbonlagring i fasene A1-A3.



Figur 26: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner

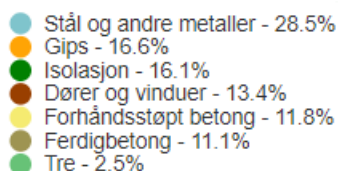
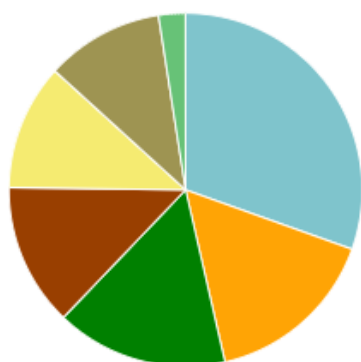
Figur 25: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner

Tabell 16: Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner

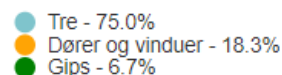
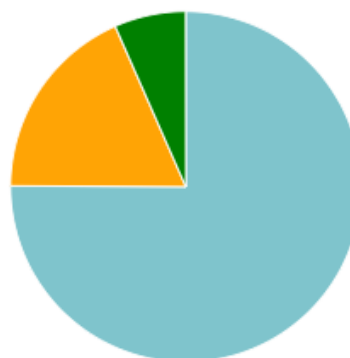
Element	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
21 Grunn og fundamenter	49 198,07	17,67	0	0
222 Søylar	77 825,33	27,96	946,12	1,24
223 Bjelker	24 187,04	8,69	878,98	1,15
23 Yttervegger	5 783,09	2,08	9 681,64	12,72
234 Vinduer, dører, porter	37 284,57	13,39	13 931,81	18,3
24 Innervegg	27 182,22	9,76	6 637,18	8,72
25 Dekker	39 683,00	14,26	0,00	0
26 Yttertak	17 233,10	6,19	44 042,87	57,86

Tabell nr. 16 og figur nr. 25 og 26 viser klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen for alternativ 2 fordelt på ulike bygningsdeler. Søylar er den bygningsdelen med høyest utslipp på 77 825,33 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 28,0 prosent av det totale klimagassutslippet. Etterfulgt av søylene kommer bygningsdelen grunn og fundamenter på ca. 17,7 prosent. Den bygningsdelen med lavest prosentvis utslipp er yttervegger på ca. 2,1 prosent med 5 783,09 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter.

Den biogente karbonlagringen er størst ved yttertak på 44 042,87 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter, og utgjør ca. 57,9 prosent av den totale biogente karbonlagringen. Det er ingen biogent karbonlagring ved bygningsdelene grunn og fundamenter og dekker.



Figur 28: Klimagassutslipp kg CO<sub>2</sub> e - Ressurs-typer



Figur 27: Biogent karbonlagring kg CO<sub>2</sub> e – Ressurs-typer

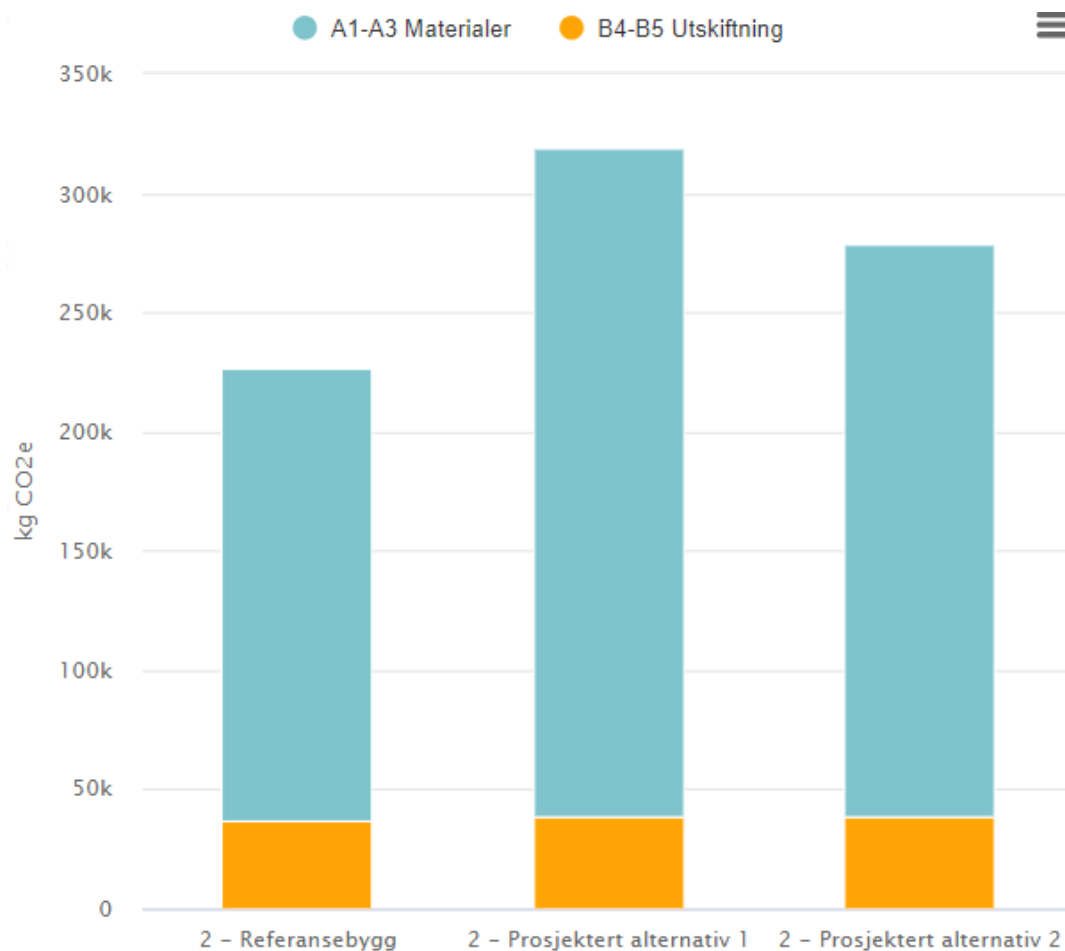
Tabell 17: Kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2 fordelt på ressurser

Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	30 812,60	11,07	0	0
Gips	46 115,10	16,57	5 081,17	6,68
Tre	7 008,15	2,52	57 105,62	75,02
Dører og vinduer	37 284,57	13,39	13 931,81	18,3
Isolasjon	44 953,49	16,15	0	0
Stål og andre metaller	79 270,15	28,48	0	0
Forhåndsstøpt betong	32 932,36	11,83	0	0

Tabell nr. 15 og figur nr. 27 og 28 viser klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen for alternativ 2 fordelt på ressurs-typer. Stål og andre metaller er den ressursen med størst utslipp på 79 270,15 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter, det utgjør ca. 28,5 prosent av det totale klimagassutslippet. Tre er ressursen med minst klimagassutslipp på 7 008,15 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 2,5 prosent av det totale klimagassutslippet.

Den biogente karbonlagringen er størst ved ressursen tre med 57 105,62 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 75,0 prosent av den totale biogente karbonlagringen. Den laveste mengden karbonlagringen finner vi ved ressursen gips på 5 081,17 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør ca. 6,7 prosent av den totale karbonlagringen. Det er ingen biogent karbonlagring for de resterende ressursene: Ferdigbetong, isolasjon, stål og andre metaller og forhåndsstøpt betong.

## 6.2.4 Sammenligning



Figur 29: Klimagassutslipp for alle tre scenarioer fordelt på livssyklus-stadier

Figur nr. 27 viser det totale klimagassutslippet for de tre scenarioene fordelt på livssyklusstadiene A1-A3 og B4-B5. Det totale utslippet er ikke inkludert biogent karbonlagring. Figuren viser at prosjektert alternativ 1 har størst totalt klimagassutslipp etterfulgt av alternativ 2 og referansebygget. Figuren viser også at den største differansen i klimagassutslipp til de tre scenarioene er ved livssyklusstadiet A1-A3 da fasene B4-B5 har minimale endringer. Tabell nr. 18,19 og 20 under viser en detaljert sammenligning av de tre scenarioenes klimagassutslipp fordelt på livssyklusstadier samt det totale klimagassutslippet.

Tabell 18: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på livssyklus-stadier

Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget				
Klimagassutslipp			Biogent	
Livssyklus stadiet	CO <sub>2</sub> e [kg]	%	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	90475,25	47,68	-267378,84	-77,84
B4-B5 Utskiftning	1901,55	5,20	0	0
Totalt	92376,80	40,82	-267378,84	-77,84

Tabell nr. 18 viser en oversikt over endringene i klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt på livssyklus-stadiene i alternativ 1 sammenlignet med referansebygget. Den totale endringen er på 92 376,80 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en økning av klimagassutslipp på ca. 40,8 prosent. Det er fasene A1-A3 Materialer som gir størst endring på 90 475,25 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og betyr en økning av klimagassutslipp i fasene A1-A3 på ca. 47,8 prosent. Den biogente karbonlagringen synker drastisk med 26 7378,84 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon av karbonlagringen på ca. 77,8 prosent.

Tabell 19: Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på livssyklus-stadier

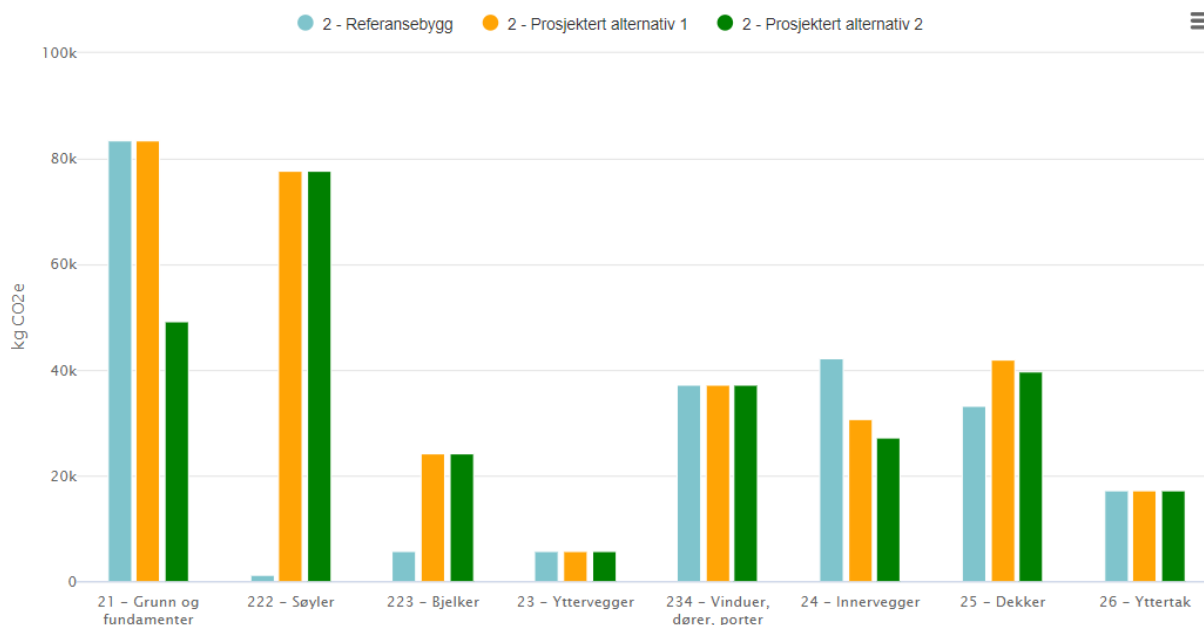
Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget				
Klimagassutslipp			Biogent	
Livssyklus stadiet	CO <sub>2</sub> e [kg]	%	CO <sub>2</sub> e [kg]	%
A1-A3 Materialer	50157,02	26,43	-267378,84	-77,84
B4-B5 Utskiftning	1901,55	5,20	0	0
Totalt	52058,57	23,00	-267378,84	-77,84

Tabell nr. 19 viser en oversikt over endringene i klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt på livssyklus-stadiene i alternativ 2 sammenlignet med referansebygget. Den totale endringen er på 52 058,57 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en økning av klimagassutslipp på ca. 23,0 prosent. Det er fasene A1-A3 Materialer som gir størst endring 50 157,02 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og betyr en økning av klimagassutslipp i fasene A1-A3 på ca. 26,4 prosent. Den biogente karbonlagringen synker drastisk med 26 7378,84 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon av karbonlagringen på ca. 77,9 prosent.

Tabell 20: Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1 fordelt på livssyklus-stadier

<b>Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1</b>				
<b>Klimagassutslipp</b>			<b>Biogent</b>	
<b>Livssyklus stadiet</b>	<b>CO<sub>2</sub> e [kg]</b>	<b>%</b>	<b>CO<sub>2</sub> e [kg]</b>	<b>%</b>
A1-A3 Materialer	-40318,23	-14,39	0	0
B4-B5 Utskiftning	0	0	0	0
<b>Totalt</b>	<b>-40318,23</b>	<b>-12,65</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tabell nr. 20 viser en oversikt over endringene i klimagassutslippet og den biogente karbonlagringen fordelt på livssyklus-stadiene i alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1. Den totale endringen på klimagassutslippet er en reduksjon på 40 318,23 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en reduksjon av klimagassutslipp på ca. 12,7 prosent. Det er fasene A1-A3 Materialer som gir endringen da det ikke er en forskjell på klimagassutslippet fra fasene B4-B5 Utskiftning på de to alternativene. Den biogente karbonlagringen er også lik og dermed er endringen lik null



Figur 30: Kg CO<sub>2</sub> e klimagassutslipp for alle 3 scenarioene fordelt på bygningsdeler

Figur nr. 30 illustrerer klimagassutslippet for de 3 scenarioene fordelt på bygningsdeler. Figuren forteller oss at alle tre scenarioer har likt klimagassutslipp ved bygningsdelene yttervegger, vinduer, porter og dører, og yttertak. Alternativ 1 og alternativ 2 har itillegg likt utslipp ved søylar og bjelker. Referansebygget og alternativ 1 har likt utslipp ved grunn og fundamenter.

Alternativ 2 har, sammenlignet med referansebygget, større utslipp knyttet til bygningsdelen søylar, bjelker, og dekker. Alternativ 2 har, sammenlignet med alternativ 1, en reduksjon i klimagassutslipp ved bygningsdelene grunn og fundamenter, innervegger og dekker.

Referansebygget er det alternativet med lavest utslipp ved bygningsdelene søylar, bjelker og dekker. Det er spesielt ved søylar og bjelker differansen til de to andre alternativene er av betydelig størrelse.

Alternativ 2 er det alternativet med lavest utslipp ved grunn og fundamenter og innervegger.

Tabellene 19, 20 og 21 under viser en detaljert sammenligning av de tre scenarioenes klimagassutslipp fordelt på bygningsdeler.

Tabell 21: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på bygningsdeler

Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget				
Element	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
21 Grunn og fundamenter	0	0	0	0
222 Søylar	76 676	6672,60	-10 034,36	-91,4
233 Bjelker	18 452	321,71	-53 927,10	-98,4
23 Yttervegger	0	0	0	0
234 Vinduer, dører, porter	0	0	0	0
24 Innervegg	-11 563	-27,35	-113 528,99	-94,5
25 Dekker	8 812	26,49	-89 888,39	-100
26 Yttertak	0	0	0	0

Tabell nr. 21 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på bygningsdeler for alternativ 1 sammenlignet med referansebygget. I klimagassutslippet utgjør søylar størst endring med en økning på 76 676 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en økning på 6 672,6 prosent. Etterfulgt av søylene er bjelkene den bygningsdelen med størst endring med en økning på 18 452 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en økning på ca. 321,7 prosent. Innerveggene er den eneste bygningsdelen som har en reduksjon av klimagassutslipp. Innerveggene har reduksjon av klimagassutslipp på 11 563 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 27,4 prosent. Den biogente karbonlagringen er uendret eller reduseres ved alle bygningsdelene, og har størst reduksjon på 113 528,99 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter ved ressursen innervegg. Bygningsdelene grunn og fundamenter, yttervegger, vinduer, dører og porter og yttertak har ingen endring i klimagassutslipp og karbonlagring.



Tabell 22: Aalternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på bygningsdeler

Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget				
Klimagassutslipp			Biogent	
Element	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	Totalt	[%]
21 Grunn og fundamenter	-34 390	-41,14	0	0
222 Søylar	76 676	6672,60	-10 034	-91,4
223 Bjelker	18 452	321,71	-53 927	-98,4
23 Yttervegger	0	0	0	0
234 Vinduer, dører, porter	0	0	0	0
24 Innervegg	-15 095	-35,71	-113 529	-94,5
25 Dekker	6 417	19,29	-89 888	-100
26 Yttertak	0	0	0	0

Tabell nr. 22 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på bygningsdeler for alternativ 2 sammenlignet med referansebygget. I klimagassutslippet utgjør søylar størst endring med en økning på 76 676 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en økning på ca. 6 672,6 prosent. Etterfulgt av søylene er kommer bjelkene med en økning på 18 452 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en økning på ca. 321,7 prosent. Innerveggene og grunn og fundament er de eneste bygningsdelene som har en reduksjon av klimagassutslipp. Innerveggene har reduksjon av klimagassutslipp på 15 095 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 35,7 prosent. Grunn og fundament har reduksjon av klimagassutslipp på 34 390 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 41,1 prosent.

Den biogente karbonlagringen reduseres ved alle bygningsdelene, og har størst reduksjon på 113 529 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter ved bygningsdelen innervegg.

Ressursene grunn og fundamenter, yttervegger, vinduer, dører og porter og yttertak har ingen endring i klimagassutslipp og biogent karbonlagring.

Tabell 23: Alternativ 1 sammenlignet med alternativ 2 fordelt på bygningsdeler

Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1				
Element	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	Totalt	[%]
21 Grunn og fundamenter	-34 390	-41,14	0	0
222 Søyler	0	0	0	0
223 Bjelker	0	0	0	0
23 Yttervegger	0	0	0	0
234 Vinduer, dører, porter	0	0	0	0
24 Innervegg	-3 533	-11,50	0	0
25 Dekker	-2 395	-5,69	0	0
26 Yttertak	0	0	0	0

Tabell nr. 23 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på bygningsdeler for alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1. I klimagassutslippet utgjør grunn og fundamenter størst endring med en reduksjon på 34 390 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en reduksjon på ca. 41,1 prosent. Etterfulgt av grunn og fundament med en reduksjon på ca. 11,5 prosent og dekker med en reduksjon på ca. 5,7 prosent. De resterende ressursene har ingen endring i klimagassutslipp. Alternativene har ingen endring i biogent karbonlagring.

Tabell 24: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på ressurser

Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget				
Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	6 403,20	10,27	0	0
Gips	-2 015,93	-4,19	219	4,51
Tre	-33 465,65	-82,68	-267 598	-82,41
Dører og vinduer	0	0	0	0
Isolasjon	8 295,72	22,63	0	0
Stål og andre metaller	77 832,06	5412,18	0	0
Forhåndsstøpt betong	35 327,40		0	0

Tabell nr. 24 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på ressurstyper for alternativ 1 sammenlignet med referansebygget. I klimagassutslippet utgjør stål og andre metaller størst endring med en økning på 77 832,06 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en økning på ca. 5 411,2 prosent. Etterfulgt av stål er forhåndsstøpt betong den ressursen med

størst endring med en økning på 35 327,4 kg CO<sub>2</sub>. Referansebygget har ingen andel av forhåndsstøpt betong. Tre er den ressursen med størst reduksjon på 33 465,65 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 82,7 prosent.

Det er kun endring i den biogente karbonlagringen ved to ressurstyper: Gips og tre. Gips har en reduksjon i biogent karbonlagring på 267 598 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 82, 4 prosent. Gips har en økning i den biogente karbonlagringen på 219 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og det utgjør ca. 4,5 prosent økning.

Tabell 25: Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på ressurser

Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget				
Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	-31 520,00	-50,57	0	0
Gips	-2 015,93	-4,19	219	4,51
Tre	-33 465,65	-82,68	-267 598	-82,41
Dører og vinduer	0,00	0	0	0
Isolasjon	8 295,72	22,63	0	0
Stål og andre metaller	77 832,06	5412,18	0	0
Forhåndsstøpt betong	32 932,36		0	0

Tabell nr. 25 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på ressurstyper for alternativ 2 sammenlignet med referansebygget. I klimagassutslippet utgjør stål og andre metaller størst endring med en økning på 77 832,06 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter noe som betyr en økning på ca. 5 412,2 prosent. Etterfulgt av stål er forhåndsstøpt betong den ressursen med størst endring med en økning på 32 932,36 kg CO<sub>2</sub>. Referansebygget har ingen andel av forhåndsstøpt betong. Tre er den ressursen med størst reduksjon på 33 465,65 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 82,7 prosent.

Det er kun endring i den biogente karbonlagringen ved to ressurstyper: Gips og tre. Gips har en reduksjon i biogent karbonlagring på 267 598 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 82, 4 prosent. Gips har en økning i den biogente karbonlagringen på 219 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og det utgjør ca. 4,5 prosent økning.

Tabell 26: Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1 fordelt på ressurser

Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1				
Ressurs	Klimagassutslipp		Biogent	
	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]	CO <sub>2</sub> e [kg]	[%]
Ferdigbetong	-37 923	-55,17	0	0
Gips	0	0	0	0
Tre	0	0	0	0
Dører og vinduer	0	0	0	0
Isolasjon	0	0	0	0
Stål og andre metaller	0	0	0	0
Forhåndsstøpt betong	-2 395	-6,78	0	0

Tabell nr. 26 viser endringene i klimagassutslipp og biogent karbonlagring fordelt på ressurstyper for alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1. Det er kun endring i klimagassregnskapet ved to ressurser: Ferdigbetong og forhåndsstøpt betong. Ferdigbetong har en reduksjon på 37 923 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 55,2 prosent. Forhåndsstøpt betong har en reduksjon på 2 395 kg CO<sub>2</sub> ekvivalenter og utgjør en reduksjon på ca. 6,8 prosent. Det er ingen andre endringer i klimagassutslipp og biogent karbonlagring mellom de to alternativene.

## 6.3 Pris

Figurene presenterer en del av utført kostnadsramme for byggene. Her er prisene for hovedbygningdelene vist. Det er også vist prisforskjellene mellom referansebygget og prosjektert bygg. Fast inventar, trapper og andre bygningsmessige deler er basert på Norsk Prisbok 2020, mens de resterende delene er selvberegnet. For fullstendige prislister med oppbygging til de delene beskrevet under og kostnadsrammer, se vedlegg 6.

Tabell 27: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem i referansebygg

Kostnadsramme referansebygg - massivtre					
Nummer	Beskrivelse	BTA	Pris per m2 (kr)	Pris (kr)	Kommentar
2	Bygning	1700			
2.1	Grunn og fundamenter	1700		907 361,26	Selvberegnet
2.2	Bæresystemer	1700		2 008 555,34	Selvberegnet
2.3	Yttervegger	1700		1 027 125,41	Selvberegnet
2.4	Innervegger	1700		3 573 014,04	Selvberegnet
2.5	Dekker	1700		1 761 462,16	Selvberegnet
2.6	Yttertak	1700		1 418 785,99	Selvberegnet
2.7	Fast inventar	1700	585,00	994 500,00	
2.8	Trapper, balkonger	1700	109,00	185 300,00	
2.9	Andre bygningsmessige deler	1700	405,00	688 500,00	
2	Sum bygning		1 099,00	12 564 604,20	

Tabell 28: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem i prosjektert bygg, alternativ 1

Kostnadsramme prosjektert bygg - stål & betong					
Nummer	Beskrivelse	BTA	Pris per m2 (kr)	Pris (kr)	Kommentar
2	Bygning	1700			
2.1	Grunn og fundamenter	1700		907 361,26	Selvberegnet
2.2	Bæresystemer	1700		2 049 589,46	Selvberegnet
2.3	Yttervegger	1700		1 027 125,41	Selvberegnet
2.4	Innervegger	1700		1 230 627,79	Selvberegnet
2.5	Dekker	1700		896 096,46	Selvberegnet
2.6	Yttertak	1700		1 418 785,99	Selvberegnet
2.7	Fast inventar	1700	585,00	994 500,00	
2.8	Trapper, balkonger	1700	109,00	185 300,00	
2.9	Andre bygningsmessige deler	1700	405,00	688 500,00	
2	Sum bygning		1 099,00	9 397 886,37	

Tabell 29: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem prosjektert bygg, alternativ 2

Kostnadsramme prosjektert bygg - stål & lavkarbon betong					
Nummer	Beskrivelse	BTA	Pris per m2 (kr)	Pris (kr)	Kommentar
2	Bygning	1700			
2.1	Grunn og fundamenter	1700		1 018 734,12	Selvberegnet
2.2	Bæresystemer	1700		2 049 589,46	Selvberegnet
2.3	Yttervegger	1700		1 027 125,41	Selvberegnet
2.4	Innervegger	1700		1 242 549,92	Selvberegnet
2.5	Dekker	1700		930 887,46	Selvberegnet
2.6	Yttertak	1700		1 418 785,99	Selvberegnet
2.7	Fast inventar	1700	585,00	994 500,00	
2.8	Trapper, balkonger	1700	109,00	185 300,00	
2.9	Andre bygningsmessige deler	1700	405,00	688 500,00	
2	Sum bygning		1 099,00	9 555 972,36	

Tabell 30: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem til referansebygget kombinert med lavkarbon betong

Kostnadsramme referansebygg kombinert med lavkarbon betong					
Nummer	Beskrivelse	BTA	Pris per m2 (kr)	Pris (kr)	Kommentar
2	Bygning	1700			
2.1	Grunn og fundamenter	1700		1 018 705,12	Selvberegnet
2.2	Bæresystemer	1700		2 008 555,34	Selvberegnet
2.3	Yttervegger	1700		1 027 125,41	Selvberegnet
2.4	Innervegger	1700		3 573 014,04	Selvberegnet
2.5	Dekker	1700		1 761 462,16	Selvberegnet
2.6	Yttertak	1700		1 418 785,99	Selvberegnet
2.7	Fast inventar	1700	585,00	994 500,00	
2.8	Trapper, balkonger	1700	109,00	185 300,00	
2.9	Andre bygningsmessige deler	1700	405,00	688 500,00	
2	Sum bygning		1 099,00	12 675 948,06	

Kostnadsrammene er beregnet på grunnlag av et bruttoareal (BTA) på 1700 m<sup>2</sup>. Figurene ovenfor viser kun punkt 2 med underpunkter i rammene, som angir en slags totalpris på de ulike bygningsdelene i konstruksjonene. Prisene på fast inventar, trapper, balkonger og andre bygningsmessige deler på alle tre bygg er like.

For punkt 2.1 Grunn og fundament viser samme pris på 907 575 kr for referansebygg og prosjektert bygg alternativ 1, som er lavere enn verdien på 1 018 734 kr i prosjektert bygg alternativ 2.

Punkt 2.2 Bæresystemer viser referansebygget en pris på 2 008 555 kr, som er litt lavere enn prisene til prosjektert bygg alternativ 1 og alternativ 2, på 2 049 589 kr.

Punkt 2.3 Yttervegger viser samme pris på alle tre byggene, som er 1 027 125 kr.

Punkt 2.4 Innervegger viser referansebygget en pris på 3 573 014 kr. Dette er tre ganger høyere enn verdiene til prosjektert bygg alternativ 1 på 1 230 627 kr, og alternativ 2 på 1 242 549 kr.

Punkt 2.5 Dekker viser referansebygget en pris på 1 761 462 kr, som er cirka dobbelt så mye som prisen for dekker til prosjekter bygg alternativ 1 på 896 096 kr, og alternativ 2 på 930 887 kr.

Punkt 2.6 Yttertak viser samme pris på alle tre byggene, som er 1 418 785 kr.

Summen til bygningsdelene i referansebygg ligger på 12 564 604 kr. Dette er høyere enn summen til bygningsdelene i prosjektert bygg alternativ 1 på 9 398 101 kr. Alternativ 2 har en sum på 9 555 972 kr, som er litt høyere enn summen til prosjektert bygg alternativ 1, men fortsatt vesentlig lavere enn summen til referansebygg.

Tabell 30 viser kostnader til bygningsdelene i referansebygget kombinert med lavkarbon betong i grunn og fundament. Totalsummen ligger på 12 675 948 kr. Denne verdien er rundt 100 000 kr høyere enn summen til referansebygget.

## **7 Diskusjon**

I dette kapitlet diskuteres og kommenteres resultatene og metodene knyttet til prosjekteringen, klimagassregnskapet og kostnadsberegningen til de tre ulike scenarioene. Kapitlet avsluttes med mulige feilkilder tilknyttet oppgaven.

### **7.1 Prosjektering**

#### **7.1.1 Videreprosjektering av referansebygget**

Grunnet sprikende grad av detaljprosjektering fra oppdragsgiver, var det ulikt behov for videreprosjektering for hver enkelt komponent. Et eksempel på dette er at ved hjelp av IFC-filene og rapportene var det mulig å finne en ferdig komplett oppbygging av ytterveggene og ingen videre prosjektering av dem var nødvendig. Informasjonen om yttertaket var derimot veldig liten og behovet for videreprosjektering var mye større.

Prosjekteringen og mengdeberegningen av referansebygget er basert på ufullstendig informasjon fordi prosjektet var i forprosjektfasen. Hele oppgaven er avhengig av at denne informasjonen er riktig. Videreprosjektering av referansebygget er gjort etter beste evne ved å ta utgangspunkt i kravene i TEK 17, samtidig som det forsøkes å få komponenter til å stemme overens med rapportene og tegningene. Oppgaven kan ikke med sikkerhet forutsi hvilke planer oppdragsgiver har planlagt for de manglene delene ved referansebygget da detaljprosjektering fortsatt pågår.

Å skape et klart og tydelig skille mellom arbeid utført av Consto og arbeid utført i ved prosjekteringen av referansebygget har derfor vært utfordrende i noen tilfeller.

#### **7.1.2 Omprosjektering**

I omprosjektering av Vikhammer barnehage er det valgt å erstatte limtre og massivtre med stål og betong. Referansebygget er prosjektert og dimensjonert for tre og massivtre, og kan ikke sammenlignes med et bygg i stål og betong uten klare avgrensninger. I denne omprosjektering er ikke optimalisering av materialenes egenskaper prioritert. En optimalisering av materialene ved omprosjekteringen ville ført til endring av bygningens form og romløsning. Dette var ikke ønskelig fra oppdragsgivers side og derfor ble ikke optimalisering av materialenes egenskaper prioritert. Det er usannsynlig at et bygg i stål og betong vil bli bygget med lik form og romløsning som et bygg i massivtre og limtre, og det kan tenkes at en optimalisering av det



endrede hovedbæresystemet ville ført til store endringer i kostnads-, mengde- og klimagassutslippsberegningene.

## **7.2 Fordeler og ulemper med ulike type bygg**

### **7.2.1 Bygg i massivtre**

Fordeler med bygg i massivtre er at det er framtidsrettet, og blir sett på som miljøvennlig. Massivtre og limtre er regnet som like sterke som stål i forhold til sin vekt. Dette gir lettere bygg. Massivtreelementer gir korte byggeprosesser, og god presisjon ved bygging, da de kommer i ferdigplater. Disse materialer er behandlet slik at de bidrar til robusthet, og sikrer lave drift- og vedlikeholdskostnader. Tre gir også god lukt og godt inneklima.

Ulemper med oppbygging til referansebygget er at massivtreelementer vises ikke, noe som gjør at estetiske egenskaper til materialet blir ikke utnyttet. Tre gir også risiko for råte. I byggeprosessen må dette tas hensyn til. Bygging må skje riktig og det må passes på at byggekomponentene er tette slik at fuktigheten i materialet forbli lavt. Massivtre som byggemåte er fortsatt ganske nytt i den norske byggebransjen, og har derfor fortsatt mange ukjente faktorer i forhold til byggteknisk utførelse og ulike krav.

### **7.2.2 Bygg i stål og betong**

Fordeler med et bygg i stål og betong er at byggemåten er utbredt i Norge og i resten av verden, som gir konkurransedyktige priser på materialer og utførelse. Det finnes mange preaksepterte løsninger på stål og betong som gjør at prosjektering og dimensjonering går fort.

Byggeprosessen er også kort. Materialene er sterke, og bygget kan ha større spennvidder, lang levetid og relativt lite vedlikehold. Med stål som bæring er bygningens form lett å endre på. Bygget kan forsterkes og ombygges etter behov. Stål er fornybar da de kan smeltes og brukes på nytt. Betong er kjent for å tåle store laster og fuktighet, i tillegg til å være brannsikker og gir gode lydbarriere.

Ulemper med stål- og betongbygg er at bygget blir betydelig tyngre enn ett bygg i massivtre, selv med hulldekke. I tillegg har stål gode evner til å lede varme. Dette øker risiko for sprekker i betongelementer. Stålsøyler og -bjelker må brannbeskyttes ekstra på grunn av materialets bøyeegenskaper og bæreevne ved høy varme. Betongen, i tillegg å være kjent for å være tung, er også kompakt og hard, som gjør at betongen er vanskeligere å fornye og å endre form.

Betong i lavkarbonklasse Ekstrem brukes ikke så mye i byggebransjen. Den åpenbare fordelene med denne typen betong er det lave karbonutslippet. Utfordringen med denne er spesielt i herdeforløpet, som må være ekstra lang i forhold til betong i lavere karbonklasser. I tillegg til flygeaske må det brukes Slagg sement, som gir sen herdning. Ved høye lufttemperatur og godt vær går herdeprosessen bra. I vinterhalvåret må det inn med ekstra oppvarming rundt støpning, og eventuelt ha tilsetninger i betongen for å redusere herdetiden. Dette er ekstremt ugunstig for entreprenøren med montering og demontering av forskaling. Med andre ord krever det god planlegging og utførelse ved bruk av denne typen betong.

Per dags dato er ikke betong lavkarbonklasse Ekstrem populær i Norge. Om flere oppdragsgivere krever bruk av betong lavkarbonklasse Ekstrem, vil etterspørsel gå opp, og prisen kan bli mer konkurransedyktig.

### **7.3 Klimagassberegningene**

I dette delkapittelet presenteres en tolkning av resultatene fra klimagassberegningene samt en diskusjon rundt konseptet klimagassregnskap og metoden brukt.

#### **7.3.1 Tolkning av resultatene**

Resultatene fra klimagassberegningene viser at begge omprosjekteringene har et større klimagassutslipp enn referansebygget. Alternativ 1 har størst utslipp etterfulgt av alternativ 2.

Alle tre scenarioer har størst utslipp ved fasene A1-A3 materialer. Det er også i disse fasene differansen er klart størst mellom scenarioene, og potensialet for endring av totalt utslipp er stort. Utslipet knyttet til fasen B4 Utskiftning er mye mindre, og forskjellen mellom scenarioene er minimal. Dette er fordi det er i all hovedsak gips, vinduer og dører som har en levetid som er kortere enn 60 år. Mengden vinduer og dører er lik ved alle scenarioene, derfor er det mengden gips som er avgjørende. Mengden gips brukt i alternativ 1 og 2 er identisk og de har derfor likt utslipp knyttet til fasen B4.

Tabell 7 og 12 viser at det er ressurstypen ferdigbetong som har størst utslipp i referansebygget og i alternativ 1. Tabell 17 viser at ved alternativ 2 er det stål og andre metaller som er den ressurstypen med størst klimagassutslipp. Ved alle tre scenarioene er gips en ressurstype med overraskende stort klimagassutslipp. Det ble avdekket et avvik ved inntastingen av avretningsmassen over dekkene: avretningsmasse ble registrert som ressurs typen gips ved alle

scenariene i One Click. Det ble forsøkt å bruke andre typer avretningsmasse, men alle tilgjengelige EPDer i One Click ble registrert som gips i resultatet. Klimagassutslippet knyttet til ressurstypen gips er derfor høyere enn det egentlig skal være. Totalt utslipp for alle ressurstypene er korrekt og avretningsmassen ble registrert riktig under bygningsdeler, dette er derimot et betydelig avvik ved ressurs-typene.

Ifølge figur nr. 21 vil alternativ 1 få en økning i klimagassutslipp sammenlignet med referansebygget knyttet til bygningsdelene søyler, bjelker og dekker. De bærende massivtreveggene i referansebygget ble byttet ut med bærende søyler og bjelker i stål ved omprosjekteringen. Det forklarer de drastiske endringene i utslipp knyttet til søyler og bjelker. Stål kommer generelt dårlig ut i klimagassregnskap der kun fasene A1-A3 og B4 er med. Det er blant annet fordi stålets resiklueringspotensial i slutfasen ikke er inkludert.

Alternativ 1 har en reduksjon i bygningsdelen innervegger. Det har en naturlig forklaring da stålsøyler og bjelker er de bærende elementene inni bindingsverk innerveggene og havner i bygningsdelene søyler og bjelker. De bærende elementene til referansebyggets innervegger er bærende massivtrevegger. De havner i bygningsdelen innervegg.

Alternativ 2 har mindre utslipp enn alternativ 1 ved bygningsdelen innervegg. Det er fordi betongsjakten havner innenfor bygningsdelen innervegger. Betongsjakten, i likhet med resten av betongelementene endret lavkarbonklasse fra alternativ 1 til 2. Alternativ 2 har også en reduksjon i bygningsdelen grunn og fundamenter sammenlignet med referansebygget og alternativ 1. Tabell nr. 22 og 23 viser at ved å bytte til lavkarbonklasse ekstrem ved grunn og fundament er det mulig å oppnå en reduksjon i klimagassutslipp på ca. 41,1 prosent ved denne bygningsdelen.

Det er i all hovedsak lagt fokus på den konservative beregningen av klimagassutslipp. Det betyr at den biogente karbonlagringen til trematerialene ikke er tatt hensyn til. Hvis bidraget fra karbonlagringen til trematerialene var med i beregningene viser tabell 3 at referansebyggets totale klimagassutslipp ville vært negativt. Det biogente karbonet som ble lagret i produktfasen slippes ut ved brenning av trematerialene. Hvis trematerialene derimot brukes på nytt, vil karbonet fortsatt være lagret i materialene. For å få et komplett bilde av effekten til den biogente karbonlagringen kreves det derfor å se på slutfasen til materialene. Slutfasen er ikke inkludert i klimagassberegningene til denne oppgaven. Derfor er hovedfokus på det ikke-biogente klimagassutslippet. Den biogente karbonlagringen er derimot med i resultatet for å illustrere den mulige effekten det kan ha på det totale klimagassutslippet. Beregningene viser at

det lagres en stor andel CO<sub>2</sub> i trematerialene og at effekten av den biogente karbonlagringen kan ha stor innvirkning på klimagassutslippet.

### **7.3.2 Diskusjon av metoden**

Det var utfordringer knyttet til å lære seg en programvare uten noen forkunnskaper. Det var også ekstra utfordrende at hele oppgaven var avhengig av denne programvaren. Ekstern veileder hadde derimot kjennskap til programvaren og gjorde denne prosessen lettere. Det var også utfordringer knyttet til at det bare var demoversjonen som var tilgjengelig uten å kjøpe lisens. Demo-utgaven ga bare tilgang i 14 dager, og det var flere funksjoner i programmet som ikke var tilgjengelig. De nødvendige funksjonene for å utføre klimagassregnskapet var derimot tilgjengelige, men gjorde det blant annet mer omstendelig å importere og å dele data med andre brukere.

Det er kun brukt programvaren One Click LCA til klimagassberegningene. Det ble som nevnt tidligere avdekket avvik knyttet til programvaren ved registreringen av ressurstyper. Ved å benytte flere programvarer, eller ved å beregne utslipp forhånd kunne slike avvik blitt oppdaget tidligere.

Livssyklusanalyser er et relativt nytt verktøy i byggebransjen, og det mangler fortsatt mange EPDer. Det kan føre til at de endelige resultatene er unøyaktige og ikke representerer virkeligheten godt nok. Verktøyet kan derimot brukes for å få en generell forståelse rundt klimagass-fotavtrykket til ulike byggeprosjekter, og ulike tiltak som kan redusere utslippet.

## **7.4 Kostnadsberegningene**

Vikhammer barnehage befinner seg per dags dato i forprosjektfasen. Dette regnes som et mellomstort prosjekt, og kostnadsestimatet vil dermed bestå av flere steg.

### **7.4.1 Diskusjon om metoden**

Norsk Prisbok 2020 er et oppslagsverk for den norske byggebransjen og brukes mye i studentoppgaver og prosjekter ved byggingeniørstudiet i NTNU Trondheim. Fordelen med Norsk Prisbok er at all informasjon er samlet på en plass. Verktøyet er lett å bruke, og finnes i både bokform, og digitalt på pc og app på mobilen. Det inneholder et større utvalg av informasjon, som konstruksjoner, priser, livssykluskostnader og carbon footprint. Disse kan

brukes i ulike prosjektfaser – fra tidligfaser til vurdering av bæresystem. Ifølge utviklere av Norsk Prisbok inneholder dette verktøyet rimelige priser.

Ulemper med å bruke Norsk Prisbok som verktøy til kostnadsberegning er at verktøyet oppdateres for sjelden i forhold til utviklingen i byggebransjen. Bygg og anlegg er en stor bransje med mye konkurranse, og er under stadig utvikling. Det er muligens ikke nok å oppdatere bokformen en gang i året, og digitale databaser to ganger i året.

De utførte kostnadsrammene er kun ment for bruk i sammenligningsarbeid i denne rapporten, på grunn av store usikkerheter i prisberegningsverktøyet. I praksis vil kostnadsestimering bestå av både direkte og indirekte kostnader. Direkte kostnader for et prosjekt, i tillegg til materialer, kan være arbeid, leveranser, kontraktører, utstyr og fasiliteter og reiser. Indirekte kostnader kan omhandle overhead, salg og markedsføring, ledelse og administrasjon. Ved utførelse av prosjekt bør priser hentes fra leverandører for mer konkrete tall.

På lik linje med beregningsverktøyet One Click, er også Norsk Prisbok mangelfullt på noen områder. Et eksempel i denne rapporten er mangelfulle kostnader for betong i ulike lavkarbonklasser. I dette tilfellet er det nødvendig å inkludere tall fra eksterne leverandører. I andre tilfeller er det blitt gjort antagelser ved å sammenligne enkeltprisen til et produkt med et lignende produkt. Prissettingen ble derfor en kombinasjon av generelle tall og spesifikke tall fra leverandører.

#### **7.4.2 Kostnad til bygningsdelene**

I resultat presenteres materialkostnadene i ulike bygningsdeler for Vikhammer barnehage.

Punkt 2.1 Grunn og fundament viser samme verdi for både referansebygget og prosjektert bygg alternativ 1. Dette er fordi grunn og fundament ikke endres. Prosjektert bygg alternativ 2 har litt høyere kostnad med en differanse på rundt 100 000 kr, dette fordi betongen i denne delen er erstattet med betong i lavkarbonklasse Ekstrem. Betongen med lavkarbonklasse B har en enhetspris på 1823 kr, og betongen med lavkarbonklasse Ekstrem har en enhetspris på 2363 kr, noe som utgjør cirka 500 kr i forskjell. For enhetspris og mer detaljert kostnader, se vedlegg nr. 6.

Punkt 2.2 Bæresystemer omfatter søyler og bjelker i byggene. Bæresystemet i referansebygget består av søyler og bjelker i limtre, og har en total kostnad på 2 008 555 kr. Det er ikke tatt med de delvis-bærende innervegger i dette regnestykket. Denne verdien er litt lavere enn kostnaden

for bæresystemet i prosjektert bygg, som er på 2 049 589 kr. Søylar og bjelker i det prosjekterte bygg er omprosjektert til stål, enten av hulprofiler eller IPE-profiler. Prisen til stål er betydelig lavere enn prisen til limtre. Mengden søylar og bjelker søker derimot i de omprosjekterte alternativene fordi alle bærende innerveggar er byttet ut med søylar og bjelker. Dermed gir det mening at totalkostnadene på dette punktet ikke har så mye forskjell. Det er tydelig at det er mulighet for å redusere kostnadene ved å bytte ut søylar og bjelker i limtre med stålprofiler.

Punkt 2.3 Yttervegg viser helt like verdier på alle byggene da ytterveggene fra referansebygget beholdes. Kostnaden på ytterveggene er 1 027 125 kr.

Punkt 2.4 Innerveggar viser store forskjeller på kostnader. Innerveggene i referansebygget består av massivtreelementer, som er mye dyrere enn tradisjonell stendervegg prosjektert i alternativ 1 og 2. Kostnaden på innerveggene i referansebygget er på 3 573 014 kr, som er nesten tre ganger så mye i forhold til innerveggar i prosjektert bygg. Grunnen til dette er delvis også fordi veggar i referansebygget er bærende eller delvis-bærende, og må dermed tåle laster innerveggene i de omprosjekterte alternativene ikke trenger. Innerveggen i prosjektert bygg alternativ 1 har en totalkostnad på 1 230 627 kr, noe som er litt lavere enn prisen til innerveggar i prosjektert bygg alternativ 2 på 1 242 549 kr. Dette er fordi trappesjakten i alternativ 2 er prosjektert med lavkarbonklasse Ekstrem, som har litt høyere pris enn betong lavkarbonklasse B.

Punkt 2.5 Dekker viser også store forskjeller i kostnadene mellom referansebygget og prosjektert bygg. Dekkene i referansebygget består hovedsakelig av massivtreelementer. Til sammen koster det 1 761 462 kr. Dekkene til referansebygg er en dobling av prisen til dekkene i prosjektert bygg, som ligger på 896 096 kr. Dekkene i prosjektert bygg er hulldekke.

Prefabrikkert betong har betydelig lavere pris i forhold til massivtreelementer. Kostnaden til hulldekker i prosjektert bygg alternativ 2 er på 930 887 kr, noe som er litt høyere enn prisen i alternativ 1. Dette er fordi hulldekkene i alternativ 2 er prosjektert i lavkarbonklasse A.

Punkt 2.6 Yttertakk viser helt like verdier for både referansebygget og prosjektert bygg alternativ 1 og 2, på 1 418 785 kr. Dette er fordi alle takene i referansebygget beholdes.

Nærmere mengder og kostnader i detaljer kan ses i vedlegg nr. 6.

Ved sammenlikning av kostnader til bygningsdeler viser det tydelig at prosjektert bygg alternativ 1 er det billigste alternativet. Det omprosjekterte bygg er ikke optimalisert for stål og betong. Ved en optimalisering for disse materialene kan det tenkes at prisen til prosjektert bygg blir enda lavere. Dette gjelder både prosjektert bygg alternativ 1 og alternativ 2.

### **7.4.3 Kostnader ved lavkarbon betong og betongelementer**

Det er ikke store forskjeller mellom enhetsprisen til materialene betong lavkarbonklasse Ekstrem og hulldekke lavkarbonklasse A. Hulldekke 265 lavkarbonklasse B koster 450 kr/ m<sup>2</sup>, og lavkarbonklasse A koster 500 kr/ m<sup>2</sup>. Prisforskjellen her er 50 kr. Betong lavkarbonklasse B koster 1823 kr, og lavkarbonklasse Ekstrem koster 2363 kr. Prisforskjellen på betongklassene ligger på rundt 500 kr.

Prosjektert bygg alternativ 1 har en sum bygning på 9 397 886 kr, som er rundt 150 000 kr lavere enn summen til alternativ 2 på 9 555 972 kr. Dette viser at det er ikke så mye dyrere å gå for strengere lavkarbonklassen innen betong.

I praksis kan omprosjektering fra betong lavkarbonklasse B til klasse Ekstrem føre til større prisforskjeller ved utførelse, da lavkarbonklassen Ekstrem krever større tiltak. Som nevnt tidligere går det utover herdetiden til betongen, i tillegg til å være væravhengig ved støpning. Dette kan forsinke prosjektet, montering og avtaking av forskaling. Disse tiltakene tas ikke hensyn til i rapporten, men bør videre utforskes ved utførelse.

### **7.4.4 Totalkostnad til byggene**

Ved sammenligning av kostnader til bygningsdelene, har referansebygget høyest kostnader. Selve bygningen til referansebygget har en totalkostnad på 12 564 604 kr. Dette er rundt 3 millioner dyrere enn det prosjekterte bygget i stål og betong. Det viser tydelig at materialer som limtre og massivtre-elementer er dyrere enn stål og betong.

Totalt vil kostnadsrammen til referansebygget være på 53 106 204 kr, alternativ 1 på 49 987 586 kr, og alternativ 2 på 50 136 672 kr. Dette kan ses i vedlegg nr. 6. Totalt sett har alternativ 1 5,8% lavere kostnader, og alternativ 2 5,6% lavere kostnader enn referansebygget. Forskjellen i byggene er nærmere beskrevet i forrige avsnitt, med ulike materialer og ressurser. Resten av kostnadsrammen, blant annet huskostnad, entreprise og byggekostnader er beregnet likt for alle 3 alternativer. Resultatene viser at er det billigere å bruke stål og betongelementer i Vikhammer barnehage.

Ved å kombinere byggemåten til referansebygget og å innføre strengere lavkarbonklasse i grunn og fundamenter vil total estimert pris med denne kombinasjonen bli 53 217 548 kr, noe

som er rundt 100 000 kr dyrere enn kostnadsestimatet til referansebygget, eller en 0,2% økning fra estimatet til referansebygget.

Alle tall i kostnadsberegningene er svært generelle da de er hentet fra Norsk Prisbok. Dette gjøres fordi prosjektet er i tidlig stadium, og det er fortsatt uklart hvilke leverandører som er aktuelle. Alle priser og kostnadsrammene blir derfor ikke være helt korrekt i forhold til realiteten. Det er kan være store prisforskjeller på materialer og utføring hos ulike leverandører og entreprenører. Prisene kan være svært dynamiske og det er stor konkurranse i byggebransjen om å være billigst. Ved sammenligning av priser bør dermed andre elementer som kvalitet og levetid tas hensyn til.

Betongelementene er et unntak fra de generelle prisene fordi Norsk Prisbok er mangelfullt på dette området. Prisene hentes i stedet fra betongleverandører. Det er regnet med tilleggspris for frakteavstand og tilleggspris for lavkarbonkvalitet til betongen.



## 7.5 Feilkilder

Prosjektmateriell av referansebygget fra Consto er grunnlaget for hele oppgaven. Som nevnt tidligere antas det at prosjektmaterialet er korrekt, hvis noe av prosjektmaterialet har mangler eller er unøyaktig vil dette være en stor feilkilde. Som kommenterte tidligere ble det gjort antagelser ved ufullstendig og manglende informasjon. Prosjekteringsfeil basert på disse antagelsene er derfor en mulig feilkilde.

Stort sett alle materialtyper og leverandører er antatt ved klimagassberegningene og noen av EPDene utgått. Feilaktig eller utgått informasjon fra EPDene er en mulig feilkilde.

Mengdeberegningen er stort sett gjort manuelt, og det kan ikke sees bort ifra regnefeil. Er det flere ledd mellom datapunktene kan sluttsvaret være upresist. Regnefeil kan gjelde i både mengdeuthenting, klimagass- og kostnadsberegningen.

Hovedbæresystemet i de omprosjekterte alternativene er ikke optimalisert til betong og stål. Ved å optimalisere bygget for et hovedbæresystem i stål og betong kan det blant annet være mulig med færre bærelinjer. Dette ville ha påvirket klimagass- og kostnadsberegningene i stor grad. Scenarioene ble ikke detaljprosjektert og derfor kan det oppstå unøyaktigheter ved prosjekteringen. For eksempel er mengden av armering i betongen er antatt. Det kan bety at mengdene og utslippene fra klimagassberegningene er større i virkeligheten enn presentert i denne oppgaven.

## 8 Utvikling i betongbransjen – Fiberbetong

Fiberbetong har med tiden blitt et alternativ til tradisjonell betong med slakkarmering og bruken av dette materialet øker. I Norge er det fortsatt begrenset tilgang på regelverk fordi fiberbetong er lite brukt. Norsk betongforening er nylig kommet ut med en publikasjon om fiberbetong, nr. NB38 «Fiberarmert betong i bærende konstruksjoner (2020)». Publikasjonen har til hensikt å gjøre det enklere og tryggere å bruke fiberarmering i konstruksjoner. Dette kan skape mer popularitet for materialet i Norge. (Seehusen, 2020)

Fiberbetong har mange gode kvaliteter. På grunn av materialets formbarhet og støpelighet er den blitt brukt i flere ulike betongkonstruksjoner. Eksempler på arkitektur med bruk av fiberbetong er Museum of Civilizations of Europe and the Mediterranean i Frankrike (Consolis, 2021), og Nasjonalmuseet i Qatar. (BFT International, 2021)

I fiberbetong brukes fiber som armering som tilsettes i betongen når den blandes.

Fiberarmeringen blir jevnt utdelt i betongen, som også gir best mulig fasthet og bæreevne i det ferdige produktet. Det finnes flere ulike typer fiberarmering, som blant annet stålfiber. Disse kommer i mange ulike lengder og former. (Concrete Technology Weblog, 2008)

Fiberarmert betong er sjeldent brukt alene i byggebransjen. Per nå brukes fiberbetong alene kun i konstruksjoner uten horisontale laster, for eksempel vegger, banketter og søyler. Materialet er allerede brukt en del i gulv på grunn, ulike rør og kummer, mindre kulverter og kabelkanal. I Norge er det mest vanlig å bruke fiberarmering i tillegg til slakkarmering. Dette gjøres for å redusere størrelsen til det ferdige produktet. Fiberarmering er også tidssparende da tradisjonell armering krever tid til oppsett. Fiberarmering har i tillegg lavere vekt enn slakkarmering og mer gunstig form for frakt. Ulemper kan være at de kan påvirke luftinnholdet i betongen, og fibermengden må kontrolleres. Vibrering av betong med fiberarmering er ugunstig, da fibre kan fordele seg ulikt i betongen og føre til ulikheter i fasthet og bæreevne. I flere tilfeller rådes det å bruke selvkomprimerende betong. I tilfeller der vibrator likevel kreves, frarådes det å bruke stavvibrator. (Seehusen, 2020)

Det er behov for mer forskning omkring miljøaspektet ved bruk av stålfiberarmert betong sammenlignet med slakkarmert betong. De siste årene har det derimot kommet forskning som indikerer at utslippet fra produksjonen av selve fiberarmeringen gir en betydelig økning av CO<sub>2</sub> sammenlignet med produksjonen av slakkarmering. Beregningen bak denne indikasjonen baserer seg på bruk av stålfiber. De nevner blant annet at økning av karbonutslippet ved bruk

av stålfiber sammenlignet med slakkarmering er fordi det trengs større mengder av disse i betongen. (Kroknes & Evjen, 2020).

Stålintustrien rundt om i verden fører til store klimagassutslipp under produksjon av stål. Når det kommer til den ugunstige miljøpåvirkningen på grunn av CO<sub>2</sub> utslipp under produksjon av stålfibre i industrien har det blitt gjort en betydelig forskningsinnsats de siste årene for bærekraftige og effektive alternativer som skal erstatte disse høyverdige stålfibrene. Økt anvendelser av resirkulerte stålfibre har vist seg å være en mulig erstatning for industrielle stålfibre, og har redusert miljøpåvirkning og lavere gjenvinningskostnader (Liew & Akbar, 2020).

Betong er det mest brukte bygningsmateriale med lange tradisjoner, så forbedringspotensialet er stort. Utvikling og forbedring er nødvendig for å redusere karbonutslippet og for å forsinke klimaendringene. (Kontrollrådet, 2018).

## 9 Konklusjon

I denne oppgaven er klimagassutslippet og kostnadsrammene fra tre ulike scenarioer med ulik materialbruk sammenlignet. Byggene som er sammenlignet er referansebygget Vikhammer barnehage med bæresystem i limtre og massivtre samt to omprosjekteringer. Omprosjektert bygg alternativ 1 har byttet bæresystemet til referansebygget med ett i stål og betong.

Omprosjektert bygg alternativ 2 bygger videre på alternativ 1 men betongen har en strengere lavkarbonklasse. Fasene som er undersøkt i klimagassberegningene er produktfasen (A1-A3) og utskiftningsfasen (B4).

Resultatene viser at begge omprosjekterte alternativ har høyere klimagassutslipp enn referansebygget. Endringen av hovedbæresystemet i limtre og massivtre til stål og betong førte til en økning i klimagassutslipp og en reduksjon av biogent karbonlagring. Resultatene viser at referansebygget er det scenarioet med lavest klimagassutslipp i både produktfasen og utskiftningsfasen. Betong og stål er de ressurstypene som står for det høyeste klimagassutslippet ved de tre scenarioene. Hvis den biogente karbonlagringen inkluderes i beregningene for totalt utslipp vil referansebygget få et negativt klimagassutslipp.

Resultatene viser et tiltak fra alternativ 2 som kan overføres til referansebygget og dermed redusere klimagassutslippet. Ved å bruke lavkarbonklasse Ekstrem fremfor lavkarbonklasse B i betongen i grunn og fundamenter er det mulig å spare ca. 41,1 prosent av klimagassutslippene knyttet til denne bygningsdelen.

Resultatene viser at de omprosjekterte alternativene har lavere materialkostnader sammenlignet med referansebygget. Det er omprosjektert bygg alternativ 1 som har lavest materialkonstanter etterfulgt av alternativ 2. Det er relativt små summer som skiller de omprosjekterte alternativene fra hverandre.

Selv om omprosjektert alternativ 1 har lavest materialkostnader vurderes det at økningen av klimagassutslipp ved omprosjekteringen er såpass stor at det er urealistisk å bytte hovedbæresystemet uten å optimalisere bygget først. Det viser seg likevel at det er store muligheter for å redusere klimagassutslippet for referansebygget ved å velge betong med strengere lavkarbonklasse.

Etttersom scenarioene ikke er detaljprosjektert, kan det ikke sikkert konkluderes med at denne endringen ville gjort det bedre enn referansebygget. Til tross for dette vurderes det fortsatt som reelle tiltak som bør vurderes og som kan bidra til å redusere klimagassutslipp.

## 10 Videre arbeid

Ved videre arbeid med denne oppgaven bør det utføres detaljprosjektering for løsningene presentert, både referansebygget og omprosjekteringene. Det er også gjennomføres klimagassberegningene ved hjelp av andre metoder eller programmer. Det vil også være interessant å utføre klimagassregnskapet for referansebygget på nytt når konkrete valg av byggemåte, materialer og leverandører er ferdigstilt. Da er det også mulig å inkludere flere av livsyklusfasene. Det er spesielt sluttfasen av bygget som er interessant da det vil gi et mer helhetlig bilde av de totale klimagassutslippene og den reelle effekten av den biogente karbonlagringen til trematerialene.

Prisberegning i denne oppgaven er basert på generelle verdier og materialer fra Norsk Prisbok. Det ville vært interessant å utføre kostnadsberegningene på nytt når prosjektet er ferdigbygd for å få et kostnadsestimat med mindre usikkerheter.

Av materialer kan blant annet flere ulike betongtyper og betongteknologier utforskes. Det kan undersøkes videre hvordan betong med strengere lavkarbonklasser bedre kan gjennomføres i Norge for å oppfordre flere i byggebransjen til å bruke det.

## Figurliste

Figur 1: Livsløpsanalysens metode fordelt på 4 faser .....	8
Figur 2: De ulike fasene innen klimagassberegninger .....	9
Figur 3: Kantstilte-, hulroms- og krysslagte massivtreelementer .....	12
Figur 4: Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter .....	29
Figur 5: Illustrasjon av tomten til Vikhammer .....	29
Figur 6: Illustrasjon referansebygget i massivtre .....	30
Figur 7: Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter .....	31
Figur 8: Plantegning 1.etg, utarbeidet av Spinn arkitekter .....	32
Figur 9: Plantegning 2.etg, utarbeidet av Spinn arkitekter .....	32
Figur 10: Plantegning loft, utarbeidet av Spinn arkitekter .....	33
Figur 11: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på Livssyklus-stadier ...	42
Figur 12: Klimagassutslippet kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på Livssyklus-stadier .....	42
Figur 13: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på klassifikasjoner .....	43
Figur 14: Klimagassutslippet kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på klassifikasjoner .....	43
Figur 15: Klimagassutslippet kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på ressurs-typer .....	44
Figur 16: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e til referansebygget fordelt på ressurs-typer .....	44
Figur 17: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på Livssyklus-stadier .....	46
Figur 18: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på Livssyklus-stadier .....	46
Figur 19: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner .....	47
Figur 20: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner .....	47
Figur 21: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på ressurs-typer .....	48
Figur 22: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e til alternativ 1 fordelt på ressurs-typer .....	48
Figur 23: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier .....	50
Figur 24: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier .....	50
Figur 25: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner .....	51
Figur 26: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner .....	51
Figur 27: Biogent karbonlagring kg CO <sub>2</sub> e – Ressurs-typer .....	52
Figur 28: Klimagassutslipp kg CO <sub>2</sub> e - Ressurs-typer .....	52
Figur 29: Klimagassutslipp for alle tre scenarioer fordelt på livssyklus-stadier .....	53
Figur 30: Kg CO <sub>2</sub> e klimagassutslipp for alle 3 scenarioene fordelt på bygningsdeler .....	56

## Tabeller

Tabell 1: Minimumskrav energieffektivitet Vikhammer barnehage .....	25
Tabell 2: En sammenligningstabell av prosjekteringen i de ulike scenarioene .....	40
Tabell 3: Totale kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget .....	41
Tabell 4: Klimagassutslippet for referansebygget fordelt på livssyklus stadier .....	42
Tabell 5: Biogent karbonlagring for referansebygget fordelt på livssyklus-stadier .....	42
Tabell 6: Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget fordelt på klassifikasjoner .....	43
Tabell 7: Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for referansebygget fordelt på ressurser .....	44
Tabell 8: Totale Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 1 .....	45
Tabell 9: Biogent karbonlagring til alternativ 1 fordelt på livssyklus-stadier .....	46
Tabell 10: Klimagassutslipp til alternativ 1 fordelt på livssyklus stadier .....	46
Tabell 11: Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter til alternativ 1 fordelt på klassifikasjoner .....	47
Tabell 12: Kg CO <sub>2</sub> for alternativ 1 fordelt på ressurser .....	48
Tabell 13: Totale kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2 .....	49
Tabell 14: Biogent karbonlagring for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier .....	50
Tabell 15: Klimagassutslipp for alternativ 2 fordelt på livssyklus-stadier .....	50
Tabell 16: Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2 fordelt på klassifikasjoner .....	51
Tabell 17: Kg CO <sub>2</sub> ekvivalenter for alternativ 2 fordelt på ressurser .....	52
Tabell 18: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på livssyklus-stadier .....	54
Tabell 19: Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på livssyklus-stadier .....	54
Tabell 20: Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1 fordelt på livssyklus-stadier .....	55
Tabell 21: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på bygningsdeler .....	57
Tabell 22: Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på bygningsdeler .....	58
Tabell 23: Alternativ 1 sammenlignet med alternativ 2 fordelt på bygningsdeler .....	59
Tabell 24: Alternativ 1 sammenlignet med referansebygget fordelt på ressurser .....	59
Tabell 25: Alternativ 2 sammenlignet med referansebygget fordelt på ressurser .....	60
Tabell 26: Alternativ 2 sammenlignet med alternativ 1 fordelt på ressurser .....	61
Tabell 27: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem i referansebygg .....	62
Tabell 28: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem i prosjektert bygg, alternativ 1 .....	62
Tabell 29: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem prosjektert bygg, alternativ 2 .....	62
Tabell 30: En del av kostnadsrammen til hovedbæresystem til referansebygget kombinert med lavkarbon betong .....	63

## Referanser

Andersen, T., 2017. *Hvilke muligheter og begrensninger gir byggeregler for bruk av trekonstruksjoner og trematerialer i byggverk?*. [Internett]

Available at:

<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjGv eiui43pAhXRw8QBHYMTAEEQFjABegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.kommunalt.eknikk.no%2Fgetfile.php%2F3757141.896.utdvfarevx%2F1300%2BTrond%2BS.%2B%2B%255BReparert%255D.pdf&usg=AOvVaw1oW>

[Funnet 10 mai 2021].

Asplan Viak, 2019. *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. [Internett]

Available at: [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf)

[Funnet 10 mai 2021].

Benestad, R., Mamen, J., Harstveit, K. & Fuglestvedt, J. S., 2021. *Klimaendringer*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/klimaendringer>

[Funnet 10 mai 2021].

BFT International, 2021. *Desert rose made of concrete - National Museum of Qatar*. [Internett]

Available at: [https://www.bft-](https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Desert_rose_made_of_concrete_-_National_Museum_of_Qatar_3478877.html)

[international.com/en/artikel/bft\\_Desert\\_rose\\_made\\_of\\_concrete\\_-\\_National\\_Museum\\_of\\_Qatar\\_3478877.html](https://www.bft-international.com/en/artikel/bft_Desert_rose_made_of_concrete_-_National_Museum_of_Qatar_3478877.html)

[Funnet 12 mai 2021].

Christensen, N. & Almar-Næss, A., 2019. *Stål*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/st%C3%A5l>

[Funnet 29 mars 2021].

Concrete Technology Weblog, 2008. *Historic development of Fibre Reinforced Concrete*.

[Internett]

Available at: <https://caementitium.wordpress.com/2008/01/24/historic-development-of-fibre-reinforced-concrete/>

[Funnet 12 mai 2021].

Consolis, 2021. *MuCEM Museum*. [Internett]

Available at: <https://www.consolis.com/references/mucem/>

[Funnet 12 mai 2021].



Direktorat for byggkvalitet, 2017. *Veiledning til byggteknisk forskrift 17 11-14*. [Internett]  
Available at: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/11/ii/11-4/>  
[Funnet 12 mai 2021].

Eliassen, R. A., 2019. *Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1*, Trondheim: NTNU.

Forbregd, Ø. O., Svenske, T. & Kleveland, T., 2019. *Miljøregnskap ved bruk av massivtre sammenlignet med stål*, Trondheim: NTNU.

Haraldsen, H., Kofstad, P. & Pedersen, B., 2020. *Jern*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/jern>  
[Funnet 11 mai 2021].

Inge Bryhni, K. O. J. M., 2019. *Klimagasser*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/klimagasser>  
[Funnet 22 april 2021].

Jakobsen, I., Kallbekken, S. & Lahn, B., 2021. *Parisavtalen*. [Internett]  
Available at: <https://snl.no/Parisavtalen>  
[Funnet 21 april 2021].

Kontrollrådet, 2018. *Betongens historie*. [Internett]  
Available at: <https://kontrollbetong.no/aktuelt/betongens-historie/>  
[Funnet 07 mai 2021].

Kroknes, E. H. & Evjen, R., 2020. *Fiberarmert betong*, Trondheim: NTNU.

Liew, K. M. & Akbar, A., 2020. *The recent progress of recycled steel fiber reinforced concrete*. [Internett]  
Available at:  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0950061819326844?token=D6D6BEB2CF63A6CF9467FF2132BACE22949D2DE43FCDC0FC8B9D570C857824E72D89D9FF07DC87564E427119AED7D826&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210512110019>  
[Funnet 12 mai 2021].

Lohne, A. A., Rekdal, O. K. & Bugten, E. A., 2020. *Effekten av miljøvennlige materialvalg på klimagassregnskap*, Trondheim: NTNU.

Miljødirektoratet, 2021 b. *Norges miljømål*. [Internett]

Available at: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/>

[Funnet 22 april 2021].

Miljødirektoratet, 2021 c. *Norske utslipp og opptak av klimagasser*. [Internett]

Available at: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/>

[Funnet 10 mai 2021].

Miljødirektoratet, 2021. *Temperaturøkning*. [Internett]

Available at: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/Temperaturokning/>

[Funnet 05 mai 2021].

Naturvernforbundet, 2019. *Global oppvarming og drivhuseffekten*. [Internett]

Available at: [https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=CjwKCAjwmv-](https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd2IfdmRvRHAA7liz53ws1c1wflLn85cwcPXMbjy6yuYYgzf7I02Q3BoCSb4QAvD_BwE)

[DBhAMEiwA7xYrd2IfdmRvRHAA7liz53ws1c1wflLn85cwcPXMbjy6yuYYgzf7I02Q3BoCS](https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd2IfdmRvRHAA7liz53ws1c1wflLn85cwcPXMbjy6yuYYgzf7I02Q3BoCSb4QAvD_BwE)

[b4QAvD\\_BwE](https://naturvernforbundet.no/hva-er-global-oppvarming/category1362.html?gclid=CjwKCAjwmv-DBhAMEiwA7xYrd2IfdmRvRHAA7liz53ws1c1wflLn85cwcPXMbjy6yuYYgzf7I02Q3BoCSb4QAvD_BwE)

[Funnet 22 april 2021].

Nitter, K., 2020. *De mest bærekraftige byggene finnes allerede*. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/de-mest-barekraftige-byggene-finneres-allerede/>

[Funnet 11 mai 2021].

Norconsult, Bygghanalyse, 2021. *Norsk Prisbok*. [Internett]

Available at: <https://www.norskprisbok.no/Home.aspx>

[Funnet 04 mai 2020].

Norsk Massivtre, 2021. *Elementer*. [Internett]

Available at: <https://norskmassivtre.no/elementer/>

[Funnet 10 mai 2021].

Norsk Standard, 2018. *Metode for klimagassberegninger for bygninger*. [Internett]

[Funnet 11 mai 2021].

Norsk Treteknisk Institutt, 2006. *Håndbok - Bygge med massivtreelementer*, Oslo: Norsk Treteknisk Institutt.

Norske Limtreprodusenters Forening , 2015. *Limtreboka*. s.l.:Norske Limtreprodusenters Forening .

One Click LCA, 2021. *Ny løsning for klimagassregnskap*. [Internett]  
Available at: <https://www.oneclicklca.com/ny-losning-for-klimagassregnskap/>  
[Funnet 12 april 2021].

Regjeringen, 2020. *CO2-avgiften*. [Internett]  
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/skatter-og-avgifter/veibruksavgift-pa-drivstoff/co2-avgiften/id2603484/>  
[Funnet 22 april 2021].

Regjeringens klimaavdeling, 2020. *Klimaendringer og norsk klimapolitikk*. [Internett]  
Available at: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>  
[Funnet 05 mai 2021].

Sandaker, B. N., Sandvik, M. & Vik, B., 2017. *Materialkunnskap*. 1 red. Lillestrøm: Byggenæringens Forlag AS.

Seehusen, J., 2020. *Fiberarmert betong - Konstruksjoner med fiberarmert betong ble ofte stanset av rådgiverne. Det har de ikke lenger grunn til.* [Internett]  
Available at: <https://www.tu.no/artikler/konstruksjoner-med-fiberarmert-betong-ble-ofte-stanset-av-radgiverne-det-har-de-ikke-lenger-grunn-til/487610?key=BZDVb3UF>  
[Funnet 12 mai 2021].

Sintef, 2006. 524.335 *Lydisolering i skoler og barnehager*. [Internett]  
Available at: [https://www.byggforsk.no/dokument/3242/lydisolering\\_i\\_skoler\\_og\\_barnehager](https://www.byggforsk.no/dokument/3242/lydisolering_i_skoler_og_barnehager)  
[Funnet 12 april 2021].

Sintef, 2014. *Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper*. [Internett]  
Available at:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering\\_lca\\_av\\_byggevarer\\_og\\_bygninger\\_innfoering\\_og\\_begreper](https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper)  
[Funnet 10 mai 2021].

Sintef, 2016. *Betong. Typer, egenskaper og bruksområder*. [Internett]  
Available at:  
[https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong\\_typer\\_egenskaper\\_og\\_bruksomraader](https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader)  
[Funnet 12 mai 2021].

Sintef, 2021. *Livsløpsanalyser av bygninger*. [Internett]

Available at: <https://www.sintef.no/ekspertise/community/livslopsanalyser-av-bygninger/>

[Funnet 10 mai 2021].

Thue, J. V., 2019. *Betong*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/betong>

[Funnet 29 mars 2021].

Total Materia, 2021. *Stålegenskaper*. [Internett]

Available at: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=SteelProperties&LN=NO>

[Funnet 11 mai 2021].

Trefokus AS og Treteknisk, 2011. *Fokus på tre - massivtre*, Oslo: Trefokus.

Trefokus, 2021 b. *Limtre*. [Internett]

Available at: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre>

[Funnet 10 mai 2021].

Tronstad, S., 2019. *Limtre*. [Internett]

Available at: <https://snl.no/limtre>

[Funnet 10 mai 2021].

Øvrebø, O. A., 2021. *Klimagassutslipp per innbygger*. [Internett]

Available at: <https://energiogklima.no/klimavakten/utslipp-per-innbygger/>

[Funnet 10 mai 2021].

## **Vedlegg**

### **I rapport:**

1. Artikkel A4
2. Plakat

### **I egen mappe:**

1. Artikkel A3
2. Plakat
3. Inndata klimagassregnskap
4. Resultat klimagassregnskap
5. Resultat biogent
6. Prisberegninger og kostnadsrammer
7. Plantegninger fra Consto
8. Rapporter fra Consto



Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter

Skrevet av: Victoria Nørve og Jenny Lee

Dato: 20.05.2021

---

# GRØNN SATSING

---

**Consto Midt-Norge skal bygge en ny barnehage på Vikhammer med bæresystem i limtre og massivtre. I Norge er det tradisjonelt å bygge med stål og betong. Massivtre og limtre har et rykte på seg som mer miljøvennlige materialer. Det er gjort en sammenligningsstudie av studenter på NTNU for å undersøke om massivtre og limtre faktisk er mer miljøvennlige materialer enn stål og betong.**

## Det grønne skiftet

Klimaendringer på grunn av global oppvarming fører til alvorlige konsekvenser for hele verden. Ifølge miljødirektoratet har jorda nå en gjennomsnittstemperatur som er én grad varmere enn den var på slutten av 1800-tallet, og 2020 var det nest varmeste året siden temperaturmålingene startet i 1880. Det er ifølge FNs klimapanel menneskelig påvirkning som er hovedårsaken til denne observerte temperaturøkningen. For å unngå å oppnå en temperøkning på 2 grader er det behov for raske reduksjoner i klimagassutslippene. Bygg- og anleggsbransjen står for omtrent 15,3 prosent av det norske klimagassutslippet og produksjon av byggevarer står for 24 prosent av de norske utslippene knyttet til bygg- og anlegg. Det er med andre ord et stort forbedringspotensial i materialenes klimagassutslipp.

## Massivtre og limtre

---

Massivtre og limtre er bygningmaterialer som består av sammenkoblede lag av treplanker

---

## Vikhammer barnehage

Vikhammer barnehage er et planlagt nybygg i Vikhammerløkka, Malvik kommune. Barnehagen skal huse 104 barn og det er estimert 25 ansatte. Vikhammer barnehage bygges av Consto Midt-Norge på oppdrag av Malvik kommune, og er totalentreprenør i dette prosjektet. Detaljregulering av Vikhammer Nedre pågår fortsatt. Etter planen skal byggingen av barnehagen begynne høsten 2021.



Illustrasjon av Vikhammer barnehage, utarbeidet av Spinn arkitekter

## Sammenligningsstudien

Det er utført en sammenligningsstudie i forbindelse med en bacheloroppgave på byggingeniørstudiet ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim. Oppdragsgiveren Consto Midt-Norge ønsket å undersøke om Vikhammers bæresystem i limtre/massivtre er mer miljøvennlig enn et tilsvarende bæresystem i stål og betong. Consto ønsket også å undersøke effekten på klimagassutslippet av å innføre betong med strengere lavkarbonklasse.

Studien ble utført ved å lage et klimagassregnskap for referansebygget samt to omprosjekterte alternativer. I Alternativ 1 er hovedbæresystemet endret til stål og betong. Alternativ 2 bygger videre på alternativ 1, men har en strengere betong lavkarbonklasse. Omprosjekteringen er gjort uten å optimalisere bygget, det er fordi det var ønskelig fra oppdragsgiver å beholde den originale planløsningen og formen på bygget. Det er sett bort i fra treverkets opptak av karbon, samt karbonatiseringen til betongen.

### Klimagassregnskap

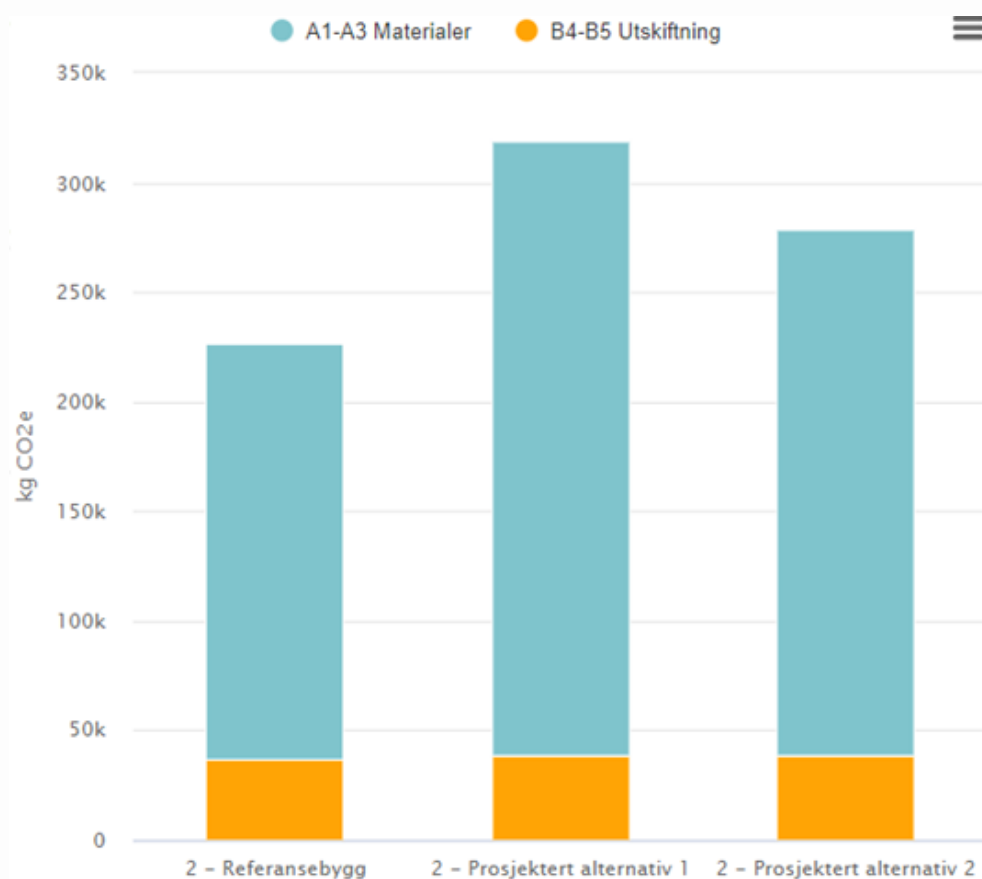
Klimagassregnskap er en metode for å vurdere miljøpåvirkningen av et produkt eller et bygg.

## Resultatene

Resultatene viser at begge omprosjekterte alternativ har høyere klimagassutslipp enn referansebygget. Endringen av hovedbæresystemet i limtre og massivtre til stål og betong medførte økning i klimagassutslipp og reduksjon av biogent karbonlagring. Resultatene viser at referansebygget er det scenarioet med lavest klimagassutslipp i både produktfasen (A1-A3) og utskiftningsfasen (B4).

Resultatene viser derimot et tiltak fra alternativ 2 som kan overføres til referansebygget og dermed spare klimagassutslipp. Ved å bruke lavkarbonklasse ekstrem fremfor lavkarbonklasse B i betongen i grunn og fundamenter er det mulig å spare ca. 41,1 prosent av klimagassutslippene knyttet til denne bygningsdelen.

Ettersom scenarioene ikke er detaljprosjektert, kan det ikke sikkert konkluderes med at denne endringen ville gjort det bedre enn referansebygget. Studien gir likevel grunnlag for å påstå at klimagassutslippet for bygg prosjektert i massivtre/limtre kan være lavere enn for tilsvarende bygg prosjektert i stål og betong.



**Totalt klimagassutslipp fordelt på de tre ulike scenarioene**



# Massivtre og limtre kontra stål og betong

## En sammenligningstudie mht pris og klimagassregnskap

### Det ble undersøkt ved å:

- Utføre klimagassregnskap av Vikhammer barnehage i massivtre og limtre
- Utføre prisberegning av Vikhammer barnehage
- Sammenligne med et omprosjektert bygg i stål og betong
- Se på alternativ med lavkarbonbetong



### Dette er funnene:

- Massiv- og limtrebygget har lavest klimagassutslipp
- Massiv- og limtrebygget er også dyrest
- Kan redusere klimagassutslippet ytterligere ved å bruke strengere lavkarbonklasse betong

### Fordeler med massivtre og limtre:

- Estetisk pent
- Klimavennlig
- Lettere bygg
- Bedre innelima
- Korte byggeprosesser



Verden har endret seg,  
og vi må endre oss med den!



