

Anette Archer Lohne
Oline Kristin Rekdal
Erika Agnete Bugten

Effekten av miljøvennlige materialvalg på klimagassregnskap

The effect of environmentally friendly material selection on green house gas emissions

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg

Veileder: Bozena Hrynyszyn

Mai 2020

Anette Archer Lohne
Oline Kristin Rekdal
Erika Agnete Bugten

Effekten av miljøvennlige materialvalg på klimagassregnskap

The effect of environmentally friendly material
selection on green house gas emissions

Bacheloroppgave i ingeniørfag, bygg
Veileder: Bozena Hrynyszyn
Mai 2020

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



NTNU

Kunnskap for en bedre verden

Rapporten er ÅPEN

Prosjektbeskrivelse:

Det skal utføres en klimagassberegning av Huseby Skoler ved hjelp av programvaren «One Click LCA». Etter utført beregning, skal muligheter for forbedringer på regnskapet vurderes. Det vil også bli produsert en brukermanual til «One Click LCA», slik at Prosjektutvikling Midt-Norge enklere kan ta i bruk programvaren.

Stikkord:

Klimagassregnskap

One Click LCA

Huseby skoler

Materialvalg

Keywords:

Greenhouse gas calculation

One Click LCA

Huseby skoler

Material selection

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2020 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven på det treårige bachelorstudiet Byggingeniør, og utgjør 20 studiepoeng.

Vi har gjennom byggingeniørstudiet utviklet en interesse for klimavennlige løsninger i byggebransjen, og ønsket at dette skulle være temaet for oppgaven. Oppgaven handler om klimagassregnskap for Huseby skoler, og utføres i samarbeid med Prosjektutvikling Midt-Norge. Gjennom arbeidet med oppgaven har vi tilegnet oss kunnskap vi mener vil være nyttig i arbeidslivet.

Vi vil takke veileder Bozena Dorota Hrynyszyn for svært god støtte og smittende engasjement gjennom arbeidet. En stor takk går også til ekstern veileder Ingunn Tøvik Andersen og resten av Prosjektutvikling Midt-Norge for idé til oppgaven, veiledning og hjelp. Vi vil også takke alle tilknyttet prosjektet, som har hjulpet oss underveis med informasjon og råd fra deres fagfelt. En spesiell takk til Treteknisk, Unicon og Anders Fiskvik med sitt grundige og detaljerte informasjonsbidrag.

Til slutt vil vi takke hverandre for et godt samarbeid. Det har vært utfordrende ikke å kunne møte hverandre de siste to månedene av oppgaveperioden på grunn av Covid-19, men vi har likevel fått til et godt samarbeid og resultat vi er fornøyde med.

Trondheim, 27. mai 2020

Anette Archer Lohne

Anette Archer Lohne

Oline K Rekdal

Oline Kristin Rekdal

Erika Bugten

Erika Agnete Bugten

Sammendrag

Menneskeskapte klimagassutslipp har ført til at verden står ovenfor store klimautfordringer. Byggebransjen er i dag ansvarlig for 39 % disse utslippene og bruker klimagassregnskap som et virkemiddel i et forsøk på å redusere utslippene. Klimagassregnskapene viser tydelig hvilke elementer som fører til de største utslippene i et bygg og gjør det lettere å finne hvilke tiltak som har størst effekt. Denne oppgaven tar for seg hvilken effekt miljøvennlige materialvalg har på et klimagassregnskap. Det er undersøkt ved å utføre en klimagassberegning av Huseby skoler.

Klimagassberegningen viser at den prosjekterte skolen har svært lave klimagassutslipp, og at dette i stor grad er grunnet miljøvennlige materialvalg. Selv små endringer i materialer har en effekt. Derfor legges det frem ulike scenarioer som ytterligere reduserer utslippene, der det beste scenarioet viser en reduksjon av CO₂-ekvivalenter på 7 %. Oppgaven belyser samtidig eventuelle svakheter ved ulike materialvalg, og peker ut tre som et materiale med lave utslipp. Videre understreker den også viktigheten av lokale materialvalg, da transportavstand gir store utslag i regnskapet. Det kreves en detaljprosjektering for å avdekke nødvendige tekniske løsninger som oppfyller ulike byggtekniske krav, og uten dette kan det ikke fastslås at det beste scenarioet vil prestere bedre enn prosjektert bygg. Til tross for dette, viser scenarioene fortsatt reelle tiltak som bør vurderes og som vil redusere utslippene ytterligere.

Abstract

The world is facing significant challenges due to greenhouse gas emissions caused by human activities. The construction industry is currently responsible for 39% of these emissions and is utilizing greenhouse gas calculation to reduce the emission and mitigate these challenges. The calculations can help identify which elements in a building that contribute to most emissions and make it easier to find which measures can be taken to best help reduce these. The aim of this thesis is to examine the effect of environmentally friendly material selection on greenhouse gas emissions. This is done by performing a greenhouse gas calculation of “Huseby skoler”.

The calculations show that it already performs very well, and that this is mostly due to environmentally friendly material selection. Because even small exchanges of materials can have an effect on the results, this thesis presents different scenarios that further reduces the greenhouse gas emissions. The results show that the best performing scenario reduces CO₂-equivalents by 7 %. This thesis also sheds light on potential weaknesses in various choices of materials and identifies wood as a material with low emissions. Furthermore, it highlights the importance of locally sourced materials, because transportation distance largely impacts the results. It would require a detailed planning to uncover technical solutions necessary to meet various building requirements. Without this, it cannot be presumed that the best scenario will perform better than the school is already doing, however, the scenarios still show substantial measures that should be considered because they can potentially further reduce emissions.

Innhold

Forord.....	II
Sammendrag	IV
Abstract.....	VI
Forkortelser og definisjoner.....	XII
1. Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for tema.....	1
1.2 Oppgaven	2
1.2.1 Problemstilling.....	2
1.2.2 Omfang og avgrensing.....	2
1.3 Programvare	4
1.3.1 One Click LCA	4
1.3.2 Solibri.....	4
1.4 Huseby skoler.....	5
1.5 Involverte aktører	7
2. Teori.....	9
2.1 Klimaendringer.....	9
2.1.1 Global oppvarming	9
2.1.2 Det grønne skiftet.....	12
2.2 Klima i byggebransjen	14
2.2.1 BREEAM.....	14
2.2.2 Passivhus.....	16
2.3 Livssyklusanalyse.....	17
2.3.1 <i>Environmental Product Declaration (EPD)</i>	19
2.4 Klimagassberegninger.....	21

2.4.1	NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger.....	21
2.5	Materialer	22
2.5.1	Massivtre.....	22
2.5.2	Betong.....	24
2.5.3	Stål	26
3.	Metode	28
3.1	Litteratursøk	28
3.2	Avgrensninger for beregninger	29
3.3	Bruk av programmer	30
3.4	Fremgangsmetode for beregning.....	31
3.5	Tilnærming til One Click	37
3.6	Følsomhetsanalyse	39
3.6.1	Endring av massivtreleverandør	39
3.6.2	Endring i betongkvalitet av plasstøpt betong.....	39
3.6.3	Endring av hulldekketype	39
3.6.4	Endring av faktor for elektrisitet og fjernvarme	40
4.	Forslag til omprosjektering.....	41
4.1	Avgrensninger	42
4.2	Scenarier.....	43
4.2.1	Original løsning med trestendere og togtransport.....	43
4.2.2.	Lavkarbonbetong	43
4.2.2	Norsk massivtre	44
4.2.3	Delvis utskifting av betong til massivtre	45
4.2.4	Sammenslått løsning	49
5.	Resultater	51

5.1	Klimagassberegning for Huseby Skoler (Prosjektert bygg).....	51
5.2	Original løsning med trestendere og togtransport	56
5.3	Bruk av Lavkarbonbetong.....	59
5.4	Bruk av norsk massivtre og limtre	62
5.5	Delvis utskifting av betong til massivtre.....	65
5.6	Løsninger sammensatt.....	68
5.7	Sammenligning av scenarioer	71
5.8	Følsomhetsanalyse	73
6.	Diskusjon	74
6.1	Diskusjon av resultater	74
6.1.1	Klimagassberegning av Huseby skoler (Prosjektert bygg).....	74
6.1.2	Original løsning med trestendere og togtransport.....	75
6.1.3	Bruk av Lavkarbonbetong.....	75
6.1.4	Bruk av norsk massivtre og limtre	76
6.1.5	Delvis utskifting av betong til massivtre	77
6.1.6	Sammensatt løsning	77
6.1.7	Sammenligning av scenarioer	77
6.2	Sammenligning av resultater mot andre studier	79
6.3	Diskusjon av metode	81
6.4	Diskusjon av konseptet klimagassberegninger	83
6.5	Feilkilder	85
7.	Forskning og utviklingsarbeid (FoU) – Massivtreproduksjon i Norge.....	86
8.	Konklusjon.....	90
9.	Videre arbeid.....	91
	Figurer.....	92

Tabeller	95
Referanser	98
Vedlegg	108

Forkortelser og definisjoner

ARK	Arkitekt
BIM	Bygningsinformasjonsmodell
BRA	Bruksareal
BREEAM	Et verktøy som brukes for å miljøsertifisere bygninger
CO ₂ e	CO ₂ -ekvivalenter. Sammenligningsverktøy for å kunne sammenligne ulike klimagassers utslipp mot hverandre.
EPD	Environmental Product Declaration
Fjernvarme	Oppvarmingssystem hvor varmtvann fraktes i rør og brukes i for eksempel vannbåren gulvvarme eller i radiatorer (1).
GWP	Global warming potential, globalt oppvarmingspotensial
IFC	Industry Foundation Classes er et filformat som brukes for utveksling av BIM mellom ulike faggrupper og programvarer. I Norge styres utviklingen av IFC av den ideelle, internasjonale organisasjonen buildingSMART (2).
LCA	Life cycle assessment, livssyklusanalyse/livsløpsvurdering
LEED	Miljøsertifiseringsverktøy
NS	Norsk standard utviklet av Standard Norge
PCR	Product category rules, produktkategoriregler
Prosjekthotell	En passordbeskyttet samling av informasjon om prosjektet tilgjengelig for alle med tilknytning til prosjektet. De ulike aktørene legger her inn sine informasjonsbidrag.
RIB	Rådgivende ingeniør bygg
RIBprefab	Rådgivende ingeniør bygg for prefabrikkerte elementer
RIBr	Rådgivende ingeniør brann
R _w	Reduksjonstall som beskriver konstruksjonens evne til å isolere mot luftlydoverføring (3).

R60/R30	Brannteknisk begrep for en konstruksjons bæreevne. Resistance, (R) og antall minutter (60/30).
SHA	Sikkerhet, helse og arbeidsmiljø
Simien	Simuleringsprogram som brukes til å gjennomføre bla. energiberegninger, passivhusevalueringer og årssimuleringer
TEK	Byggteknisk forskrift
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient

1. Introduksjon

I dette kapittelet introduseres oppgaven og bakgrunn for tema. I tillegg presenteres programvaren som er brukt, informasjon om byggeprosjektet og de involverte aktørene.

1.1 Bakgrunn for tema

Klimaendringene som pågår, er en av vår tids største utfordringer. Derfor er det naturlig å skrive en oppgave om løsninger på hvordan denne samfunnsutfordringen kan møtes. Dersom kun et ferdig bygg betraktes, er det ikke åpenbart at bygninger i seg selv har store utslipp av klimagasser. Ved å se nærmere på andre sektorer som er nært knyttet til bygg og byggebransjen, for eksempel transport, energi, industri, materialproduksjon og arealbruk, er det tydelig at byggebransjen har stor innvirkning på klimagassutslippene. Totalt står byggenæringen for 39 % av klimagassutslippene på verdensbasis, og 15,3 % av de norske utslippene. (4,5) Det jobbes iherdig med å redusere denne andelen, helt ned på nanoteknologinivå, fordi dette er et sentralt bidrag til at Norge og resten av verden skal nå sine klimamål. I den sammenheng bidrar denne oppgaven som første skritt inn i den større oppgaven, som er å senke byggebransjens utslipp. For å dokumentere effekten av tiltakene som gjøres for å nå klimamålene, er det viktig å ha et universalt verktøy som kan attestere klimagassutslipp. Klimagassberegninger er en internasjonalt anerkjent metode som går vitenskapelig til verks for å dokumentere om tiltak er effektive eller ikke, og baserer seg på standardiserte mål av CO₂-ekvivalenter. Noen av tiltakene som jobbes med er lavkarbonbetong, fossilfri byggeplass, økt bruk av massivtre og andre klimavennlige materialer, karbonfangst og kortreiste materialer.

1.2 Oppgaven

Målet med oppgaven er å vurdere ulike materialers innvirkning på et byggeprosjekts klimagassregnskap. Oppgaven løses ved å gjennomføre en klimagassberegning av byggeprosjektet, Huseby skoler. Beregningen skal vise hvordan byggets utslipp fordeles i ulike kategorier, hvordan det kan forbedres ved å se på alternative materialvalg og presentere disse som forskjellige scenarier. Beregningen utføres med programmet One Click LCA (One Click), der en del av oppgaven er å lære seg programvaren.

I denne oppgaven beskrives klimagassberegninger og årsaken til at de er viktige i dagens byggebransje. Metoden for gjennomføring av beregningen til det prosjekterte bygget beskrives, og de ulike scenarioene med forslag til endringer av bygget presenteres. Resultatet fra regnskapet av prosjektert bygg fremlegges og sammenlignes med resultatene fra de ulike scenarioene. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Prosjektutvikling Midt-Norge, og kunnskapen om programmet skal videreformidles i form av en brukermanual.

1.2.1 Problemstilling

Det er ønsket å finne ut hvordan, og i hvor stor grad, materialvalg vil påvirke klimagassregnskapet til skolebygget. I tillegg vil det være interessant å undersøke hvilket scenario som vil gi størst reduksjon av klimagassutslipp, og undersøke hvilke scenarier som kan vurderes som alternativ til prosjekteringen av skolen.

1.2.2 Omfang og avgrensing

Oppgaven omfatter å lære seg bruken av programmet One Click LCA (Version: 14.03.2020, Database version: 7.6), benytte det til å utføre en klimagassberegning av Huseby skoler, og til slutt vurdere hvilke materialendringer som kan gjøres for at bygget skal prestere bedre i klimagassregnskapet. Denne oppgaven utføres ved hjelp av programmets studentlisens. Færre funksjoner er tilgjengelige ved bruk av studentlisens enn med kjøpt lisens, noe som gir visse begrensninger for bruken av programmet. Hverken gruppen eller noen av gruppens veiledere har tidligere kjennskap til One Click. Hjemmesidene tilbyr opplæringskurs i programmet, men dette er ikke tilgjengelig for studentlisens. Dermed er opplæring og problemløsning begrenset til kundeservice, Youtube-videoer og informasjonsblader på hjemmesidene til One Click. Beregninger utføres som en del av læringsprosessen. Av endringer er de byggetekniske endringene fokusert på,

og hverken strømforbruk, inneklima, økonomi eller BREEAM er vurdert i større grad. Skolebygget ble ikke ferdigstilt i løpet av tiden det tok å gjennomføre oppgaven, noe som vil si at utgangspunktet for beregningene er et uferdig bygg. All informasjon om byggets materialer har ikke vært tilgjengelig.

1.3 Programvare

1.3.1 One Click LCA

One Click LCA er et nettbasert program som kan brukes for å gjennomføre livsløpsanalyser og klimagassregnskap. Programmet er laget for å kunne støtte en rekke sertifiseringer som BREEAM og LEED. Programmet viser hvordan utslippene fordeles i prosjektet. Dette vises ved hjelp av grafer som viser flere klimatiske påvirkningsfaktorer som CO₂-utslipp, havforsuring, overgjødning, nedbryting av ozonlaget, samling av ozon i atmosfæren og bruk av fossile energikilder. Disse viser byggets klimafotavtrykk og klimaeffektivitet, og kan vise ulike tiltaks kostnadseffektivitet (6).

Programmet er laget av det finske selskapet Bionova Ltd, og de har sitt hovedkontor i Helsinki. Bionova ønsker at programmet skal kunne brukes av byggebransjen til å beregne miljøpåvirkningen til prosjekter på en rask og enkel måte, og at alle ledd i byggeindustrien skal kunne bidra til å kartlegge et prosjekts karbonavtrykk (7).

One Click kan importere data fra blant annet BIM og Excel. Data for materialers miljøpåvirkning hentes fra One Clicks database med EPD-er (7). Det utarbeides standardiserte rapporter som følger kravene i NS 3720 «Metode for klimagassberegninger av bygninger», EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode», ISO 21931 «Sustainability in buildings and civil engineering works — Framework for methods of assessment of the environmental, social and economic performance of construction works as a basis for sustainability assessment — Part 2: Civil engineering works» og ISO 21929-1 «Sustainability in building construction – Sustainability indicators – part 1: Framework for the development of indicators and a core set of indicators for buildings» (6,7).

1.3.2 Solibri

Solibri er et program for analysering, kvalitetssikring og visualisering av BIM. Det ble opprettet i Finland og brukes nå i over 70 land. Verktøyet har som mål å bidra til bedre samarbeid og koordinering mellom forskjellige fagområder og er sertifisert for IFC-filer.

Det finnes fire forskjellige versjoner: Anywhere, Site, Office og Enterprise. For beregninger i dette prosjektet benyttes Office for å se på modeller og hente ut nødvendige data. Programmet kan også brukes til blant annet å kontrollere rømningsveier, kollisjonskontroller og avdekke feil eller problemer ved prosjekteringen. (8)

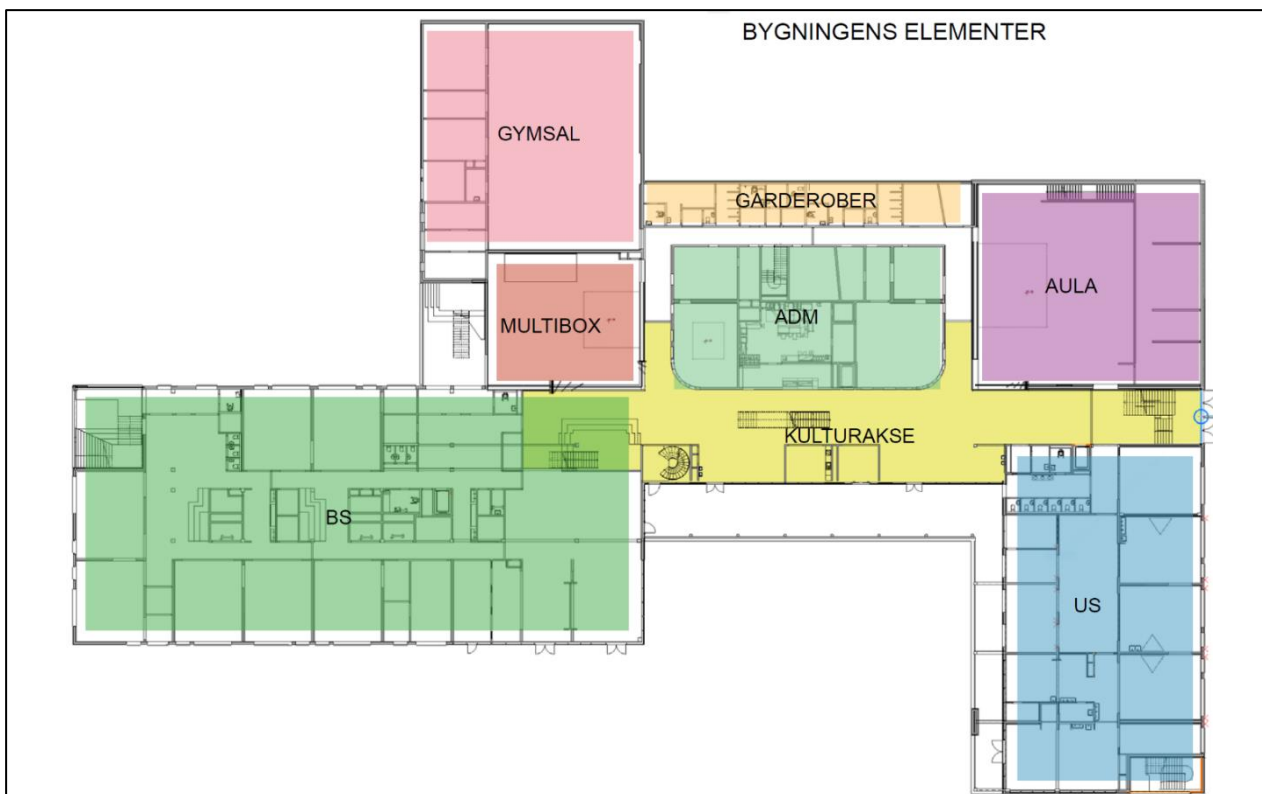
1.4 Huseby skoler

Huseby skoler bygges på tomten til gamle Saupstad skole i Trondheim. Skolen skal stå ferdig i 2021 og huse barneskole, ungdomsskole, minoritetsspråklige elever, ressurscenter for hørsel og tegnspråk og bydelsavdeling for Trondheim kommunale musikk- og kulturskole. Barneskolen skal romme 700 elever, ungdomsskolen 450, og skolen skal totalt ha om lag 140 ansatte (9).



Figur 1 viser hvordan byggets kulturakse kan bli seende ut i bruk. (10)

Totalt areal (BRA) blir 13688 m² fordelt på fire etasjer og et mindre kjellerareal. Barne- og ungdomsskolen vil forbindes med en kulturakse og administrativ del. Der vil det blant annet være bandrom, aula og danserom i tillegg til en multibox, se figur 2.



Figur 2 viser prosjektert inndeling av bygget, der barneskole (BS) og ungdomsskole (US) separeres av en felles kulturakse som tilfredsstillende behovene til begge skolene. (Vedlegg 8).

Ved utforming og prosjektering av Huseby skoler har klimabevissthet stått i fokus. Skolen blir hovedsakelig bygget i massivtre, men har også deler av betong og stål. Skolen er et passivhus og blir BREEAM-sertifisert til nivået «Very Good».



Figur 3 viser skolen sett fra hovedinngangen til skoleområdet og kulturtorget (11)

Sammenlignet med et referansebygg presterer skolen 30 % bedre med tanke på klimagassutslipp (Vedlegg 8). Det har altså vært et stort fokus på å velge lokale leverandører og miljøvennlige transportmidler og materialer med lave klimagassutslipp.



Figur 4 Huseby skoler, designet av arkitektene Filter arkitekter AS og Spinn arkitekter AS. Landskapsarkitekt er Grindaker AS. (10)

1.5 Involverte aktører

Huseby skoler bygges av HENT på oppdrag av Trondheim kommune. Prosjektutvikling Midt-Norge er byggherreombud, SHA-koordinator og miljøkoordinator. HENT er en nordisk prosjektutvikler og entreprenør med hovedkontor i Trondheim. De har avdelingskontorer flere steder i Norge, i tillegg til en svensk og en dansk avdeling. Prosjektutvikling Midt-Norge driver med tverrfaglig rådgiving innen både prosjektering og prosjektadministrative tjenester. Sammenhengen mellom de ulike aktørene kan ses i tabellen nedenfor.

Tabell 1 viser oversikten over de mest sentrale aktørene på prosjektet Huseby skoler, fra denne oppgavens perspektiv.

Involvert aktør	Ansvarsområde
Trondheim kommune	Byggherre
HENT	Totalentreprenør
Prosjektutvikling Midt-Norge	Byggherreombud SHA-koordinator utførelse Miljøkoordinator utførelse

Trondheim kommune er byggherre og kommunen vektlegger at skolen bygges med lavt klimafotavtrykk. Gjennom miljøoppfølgingsplanen til Huseby skoler defineres krav om:

- 30 % lavere klimagassutslipp enn referansebygg (kg CO₂e/m²/år eller kg CO₂e/år)
- Ulike krav til bygningsmaterialer
- BREEAM-NOR sertifisering “Very Good”
- Passivhusstandard i henhold til NS 3701
- Energiklasse A
- Fossilfri byggeplass

(Vedlegg 8)

De siste årene er det bygget flere skoler i Trondheim kommune med massivtre som bæresystem og med klimagassreduksjon i fokus. Både Nardo, Åsveien og Lade skole er oppført i massivtre, og flere skoler har tilbygg med dette som bæresystem (11).

Trondheim kommune har utarbeidet en klimaplan for kommunen. Visjonen i klimaplanen er: «Trondheim skal være en internasjonal foregangskommune for utvikling av gode klima- og miljøløsninger». Kommunen har satt opp ti mål fordelt på Trondheim kommune som by og virksomhet. Et av disse målene er at stasjonær energibruk i bygg og anlegg skal være på samme nivå i 2030, som det var i 2013. Det vil tilsvare en reduksjon på 20 % forbruk per person. Et annet mål er at klimafotavtrykket til større investeringsprosjekter i Trondheim kommune skal reduseres med 30 % i forhold til sammenlignbare referansebygg, forutsatt at livssyklus kostnadene ikke øker vesentlig. Dette er kun to av ti mål kommunen har satt seg, men det er spesielt disse som er relevante for denne oppgaven (12).

2. Teori

I dette kapitlet introduseres begreper og det teoretiske rammeverket som er aktuelt for å belyse og besvare problemstillingen. Innledningsvis blir klimaendringer og klima i byggebransjen presentert. Deretter forklares livssyklusanalyse, klimagassregnskap, og til slutt teori om de relevante materialene.

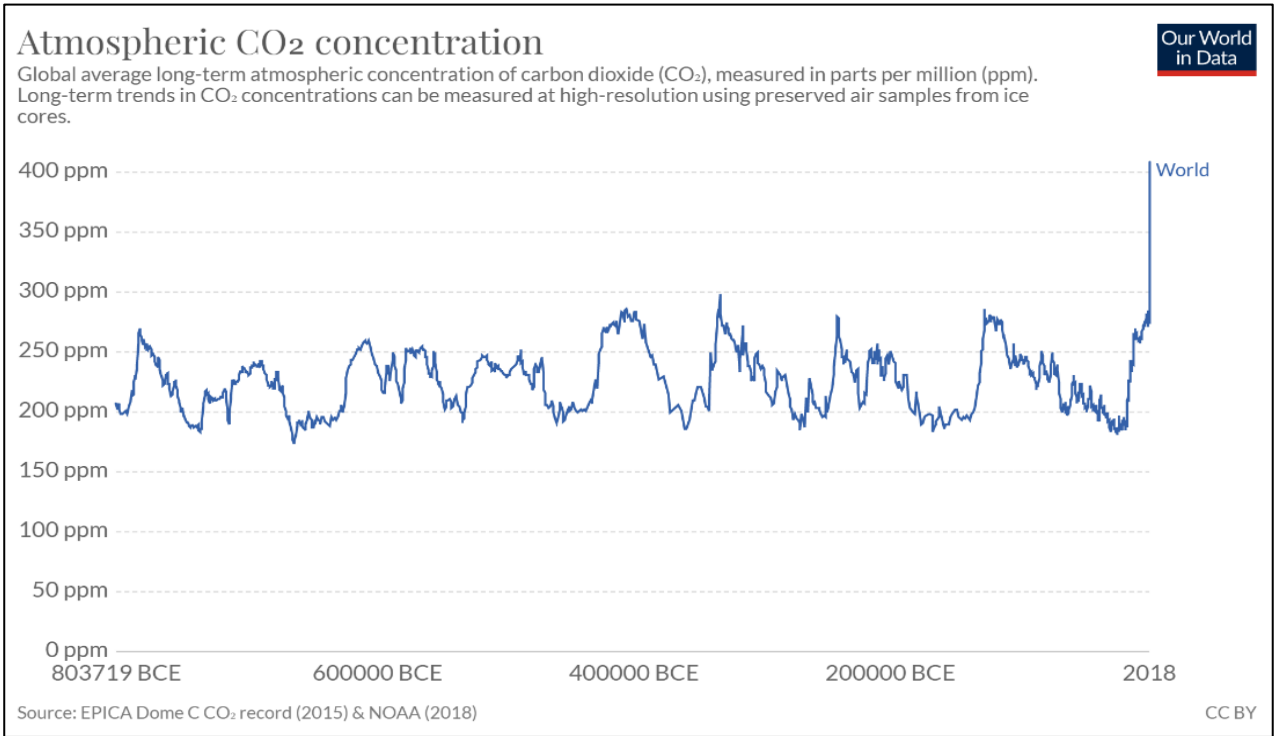
2.1 Klimaendringer

Menneskeskapte klimaendringer er oppfattet som et problem over lengre tid. Allerede i 1896 ble det oppdaget en sammenheng mellom CO₂ og temperaturen på jorden. På 1950- og 60-tallet begynte systematisk forskning på menneskeskapte klimaendringer, en forskning som tok seg opp på 80-tallet. Ny teknologi gjorde at det var mulig å sende opp værsatellitter og forske på iskjerner. I tillegg fantes datateknologi som kunne prosessere det som ble forsket på. Først i 1988 ble det snakket om og tatt opp som et problem (13). Som følge av dette ble FNs klimapanel opprettet. FNs klimapanel defineres som følgende:

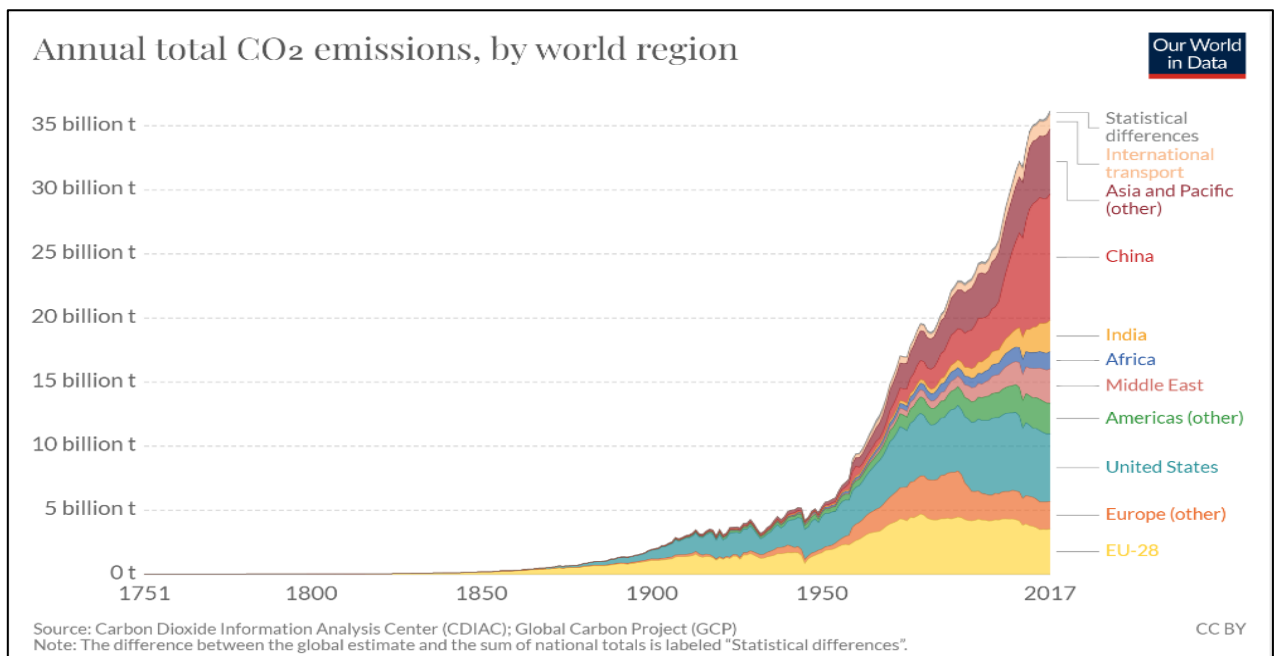
«FNs klimapanel er et vitenskapelig organ som har som sin viktigste oppgave å utføre regelmessige vurderinger og sammenfatninger av den til enhver tid gjeldende kunnskapsstatus om klima og klimaendringer» (14).

2.1.1 Global oppvarming

Blant forskere er det i dag 97 % konsensus om at klimaendringene er menneskeskapte (15). Vitenskapelig bevis for dette kan blant annet finnes ved å forske på iskjerner. Iskjerner fungerer som historisk værdata, ettersom vær og temperatur påvirker snøens utforming. Over tid vil lag på lag med snø bli presset sammen til is. På den måten kan innsamlet data fra flere iskjerner hentet fra flere lag i ulik dybde, gi en graf over temperaturendringer gjennom tidene. Ved hjelp av blant annet denne forskningen, observeres det at kloden alltid har hatt svingninger i temperatur og CO₂ i atmosfæren, se figur 5 (16). For å kunne undersøke ulike klimagassers bidrag til global oppvarming, regnes alle utslipp om til CO₂-ekvivalenter, for å kunne sammenlignes (17).



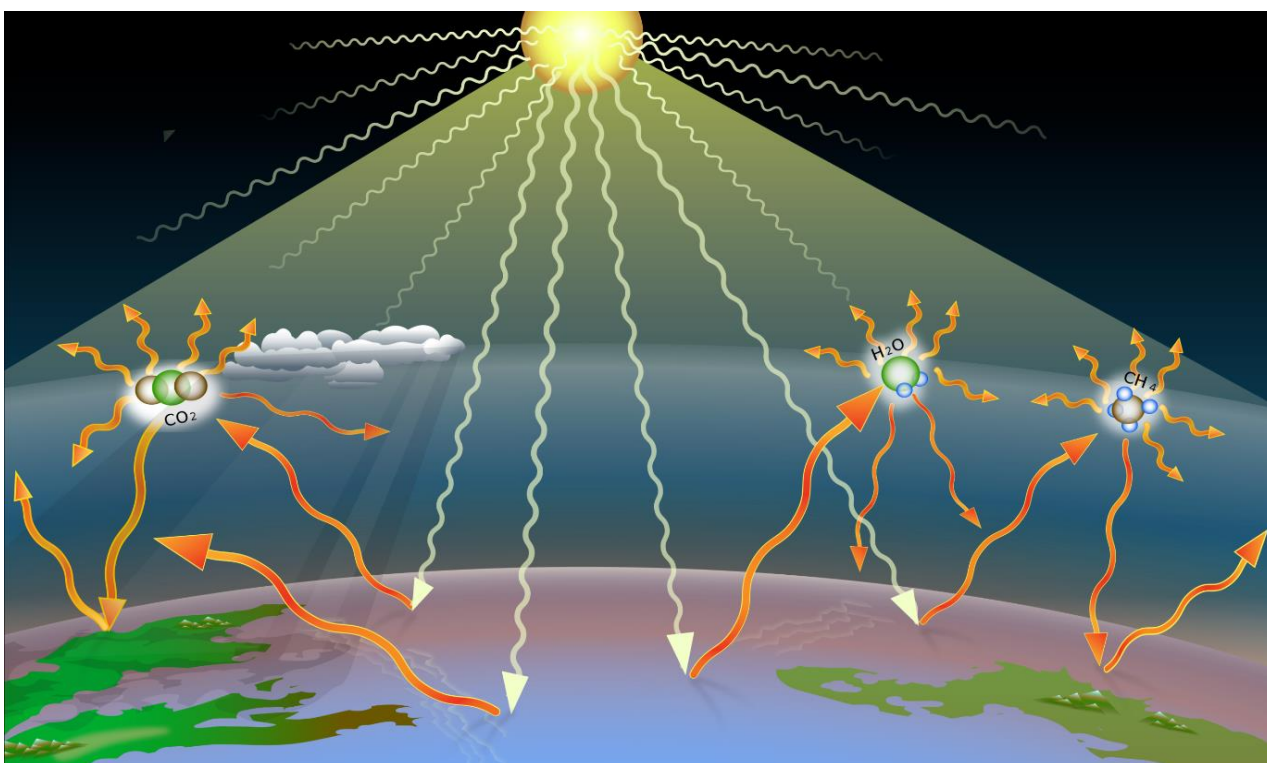
Figur 5 viser konsentrasjon av karbondioksid i atmosfæren fra over 800000 år tilbake i tid. Her vises tydelig svingningene i temperatur gjennom tiden (18)



Figur 6 viser utslipp fra 1750 til 2017, sortert på verdensregioner. Dette relativt korte tidsrommet, sammenlignet med figur 5 viser hvor drastisk økningen faktisk er. (18)

Ved å studere endringene fra den industrielle revolusjonen og frem til i dag, er det tydelig at de skiller seg fra tidligere svingninger. Dette danner grunnlaget for å kunne påstå at menneskelig aktivitet påvirker temperaturen og klimaet på jorden. Endringene skjer nå betydelig raskere enn tidligere, og CO₂-verdiene i atmosfæren er ekstremt mye høyere enn de noen gang har vært, se figur 6 (18).

Det som gjør at konsentrasjonen av CO₂ i atmosfæren øker, er det som kalles drivhuseffekten. Uten drivhuseffekten ville det ikke vært mulig å leve på jorden, da det er denne effekten som gjør at middeltemperatur på jorden er rundt 15°C. Varmestråling fra solen slippes gjennom jordens atmosfære, men etter de reflekteres tilbake fra bakken er det ikke alle strålene som slipper ut igjen. Dette gjør at disse varmemstrålene «fanges» i jordens atmosfære og varmer den opp. Atmosfæren består av mange gasser, der noen av disse kalles drivhusgasser. Dette er blant annet vandamp, karbondioksid og metan. Disse gassmolekylene er bygget opp annerledes enn resten av gassmolekylene i atmosfæren, noe som gjør at de både kan absorbere varmemstråler og reflektere videre, enten tilbake til jorda, til andre gassmolekyler eller videre ut til verdensrommet. Se figur 7. En økning av drivhusgasser i atmosfæren vil dermed føre til at færre varmemstråler kommer ut til verdensrommet igjen, og en økning av jordens middeltemperatur (21).



Figur 7 viser hvordan varmemstrålene beveger seg gjennom atmosfæren og etter de har truffet jordoverflaten (20)

FNs klimapanel kommer med regelmessige hovedrapporter, som danner det faglige grunnlaget for politiske beslutninger i Klimakonvensjonen. Disse kommer hvert femte til sjuende år, med spesialrapporter innimellom. Siden 1990 har det kommet fem rapporter og én spesialrapport (16). Rapportene presenterer fakta, og det er opp til politikere å velge hvordan de vil handle. I 2015 ble det internasjonal enighet om Parisavtalen, og 195 har forpliktet seg til denne. Dette er den første internasjonale, juridisk forpliktende avtalen som legger føringer for klimapolitikk (21). Det er tre overordnede mål landene har forpliktet seg til. Disse lyder slik:

- 1. Å begrense global oppvarming til «godt under» 2°C, men helst til 1,5°C, sammenliknet med førindustriell tid.*
- 2. Å øke lands kapasitet til å tilpasse seg klimaendringene og samtidig oppnå en utvikling som fostrer klimarobusthet og lave utslipp.*
- 3. Globale finansstrømmer skal gjøres forenelige med lave klimagassutslipp og klimarobust utvikling. (21)*

Dette er ansett som en del av det grønne skiftet i samfunnet.

2.1.2 Det grønne skiftet

Siden 80-tallet har det vært internasjonale uenigheter om hva som bør gjøres for å hindre klimaendringene. Da effekten av klimaendringene ble merkbare, bidro dette til større handlingsvilje. Året 2016 var det varmeste siden temperaturmålingene startet i 1880, og de fem varmeste årene har vært etter 2015. Ni av de ti varmeste årene har vært etter 2005, og det har nå gått 43 år på rad med gjennomsnittstemperaturer over gjennomsnittet for forrige århundre (22). Som følge av dette oppleves hyppigere ekstremvær og store ødeleggelser. I 2019 alene kunne blant annet orkanen Dorian, som påførte store skader på Bahamas, og den tropiske syklonen Idai bevitnes. Sistnevnte stod for de dyreste ødeleggelsene noensinne for både Zimbabwe og Mosambik, i tillegg til at den tok livet av 964 mennesker fra Mosambik, Zimbabwe, Malawi og Madagaskar. Store landområder i Australia ble også skadelidende etter en skogbrann som herjet fra november 2019 og inn i det nye året (23).

Norge har satt seg 23 mål for miljøet, fordelt på seks kategorier. Klima- og miljødepartementet står for fastsettingen av disse miljømålene. Det er flere miljøindikatorer under hver kategori, som til sammen kan gi en indikasjon på hvordan det står til med miljøet. En av kategoriene heter Klima, og

det er den som tar for seg Norges utslipp og definerer mål for Norge i et tidsperspektiv. I denne kategorien står det blant annet at «Norge skal fram til 2020 kutte i de globale utslippene av klimagasser tilsvarende 30 prosent av Norges utslipp i 1990» og «Norge skal være klimanøytralt innen 2030 og skal ha lovfestet et mål om å være et lavutslippssamfunn i 2050» (24).

Regjeringen benytter seg av økonomiske virkemidler som avgifter og kvoter som takserer utslippene. I tillegg er det innført visse lovreguleringer og støtteordninger for å redusere utslippene. Det er blant annet innført forbud mot bruk av mineralolje til oppvarming av bygninger fra 2020. Det er utarbeidet en ny lov om offentlige anskaffelser, som trådte i kraft i 2017. Denne inneholder miljøbestemmelser som skal bidra til å redusere skadelig miljøpåvirkning og fremme klimavennlige løsninger der det er relevant. Det satses også stort på klimavennlige transportløsninger. Norge ligger langt fremme i elektrifisering av transportsektoren. I tillegg er det stor satsing på innovasjon av grønne løsninger. Globalt bidrar Norge med bistand til klimavennlige prosjekter (25).

2.2 Klima i byggebransjen

Byggindustrien står for 39% av menneskeskapte klimagassutslipp og 36 % av energibruken i verden (4). Det jobbes med å redusere dette, blant annet ved å miljøsertifisere bygninger og ved at de byggtekniske forskriftene stadig blir strengere. Det forsøkes også å gjøre bygninger mer energieffektive, og det forskes på hvordan materialer kan bli mer miljøvennlige (26).

2.2.1 BREEAM

BREEAM ble lansert i 1990 og står for Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (27). BREEAM er en type miljøsertifiseringsverktøy, og er ledende for bygninger i Europa (28). Metoden blir brukt i 86 land, er internasjonalt anerkjent og bruker tredjepartssertifisering for å garantere uavhengighet og pålitelighet i merkingen (29). Det er mer enn 530 000 bygninger som har sertifisering etter BREEAM-metoden. Felles for de BREEAM-sertifiserte bygningene er at de er planlagt, prosjektert, oppført og driftet i tråd med prinsipper for beste bærekraftspraksis (27).

BREEAM eies av BRE Global, som er den nasjonale operatøren for Storbritannia. BREEAM-NOR er den norske tilpasningen av BREEAM og er utarbeidet av Grønn Byggallianse i samarbeid med folk fra hele verdikjeden i den norske bygge- og eiendomsbransjen. Det betyr at kravene i manualen er innrettet etter norske forhold der det lar seg gjøre. Grønn Byggallianse er utnevnt av BRE Global til å være nasjonal operatør for den nye manualen, BREEAM-NOR (27).

Når en bygning skal sertifiseres, blir den vurdert i ti ulike tekniske kategorier. Et ulikt antall poeng kan oppnås i de ulike kategoriene. Dette er fordi noen kategorier har større betydning for reduksjon av byggets miljøpåvirkning enn andre, og kan derfor gi høyere poengsum. De respektive kategoriene har ulik vektning, og denne vektningen er spesifikk for hvert enkelt land. I BREEAM-NOR er for eksempel vann vektet lavere enn i land som har mindre tilgang på vann. Vektningen regulerer den forholdsmessige påvirkningen av kategoriene. De ulike kategoriene med tilhørende vektning kan ses i tabellen nedenfor (27).

Tabell 2 viser de ti tekniske kategoriene som blir vurdert når en bygning skal BREEAM-NOR-sertifiseres, med tilhørende vektning (27).

Kategori	Vekting (%)
Ledelse	12
Helse og innemiljø	15
Energi	19
Transport	10
Vann	5
Materialer	13,5
Avfall	7,5
Arealbruk og økologi	10
Forurensning	8
Innovasjon	10
Sum	110

Summen av vektningen er 110 fordi det blir tildelt ekstrapoeng for innovasjon. Dette er fordi BREEAM-NOR ønsker å dyrke innovasjon i byggebransjen. Ved å ta antall ervervede poeng i en kategori, dividere på antall mulige poeng og multiplisere med kategoriens vektning, beregnes kategoriens totale poengsum. Basert på poengsummene i de ulike kategoriene oppnår bygget en BREEAM-NOR-klassifisering. Det er seks ulike klassifiseringer, og disse kan ses i tabell 3.

Tabell 3 viser de seks ulike BREEAM-NOR-klassifiseringene, med tilhørende poengsummer (27).

BREEAM-klassifisering	Poengsum i %
Outstanding	≥ 85
Excellent	≥ 70
Very good	≥ 55
Good	≥ 45
Pass	≥ 30
Uklassifisert	< 30

Om et bygg vurderes som uklassifisert betyr det at bygget ikke har oppnådd laveste godkjente klassifisering, eller at bygget ikke har oppfylt ett eller flere av minstekravene i BREEAM-NOR. I bærekraftskategoriene av stor betydning har BREEAM-NOR fastsatt minstekrav. Dette er for å beskytte det primære bærekraftshensynet slik at dette ikke blir forsømt i ønsket om en spesifikk klassifisering (27).

2.2.2 Passivhus

Byggteknisk forskrift (TEK17) trådte i kraft 1. juli 2017 (30). TEK17 gir minimumskrav for et byggverks egenskaper, deriblant energibruk. Det blir stadig vanligere å bygge etter strengere krav enn minstekravene. Standarden NS 3701:2012 «Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Yrkesbygninger», stiller betingelser til to ulike kategorier med energieffektive yrkesbygninger; passivhus og lavenergibygninger. Kriteriene som stilles til passivhus er strengere enn de som stilles til lavenergibygninger (31).

Begrepet passivhus kommer opprinnelig fra Tyskland. Dr. Wolfgang Feist utviklet konseptet ved Passivhus-instituttet (32). Det har siden slutten av 80-tallet blitt bygget bygninger med et betraktelig lavere energibehov enn minstekravene i Tyskland. Utbredelsen av passivhus har spredt seg i Europa, og i Norge er det økende interesse. I landene der bruken av passivhus har spredt seg, har de høye kravene til prosjektering og utførelse ført til at passivhus er anerkjent som miljøvennlige bygninger med godt inneklima og lavt energibehov (31-33).

Det totale energibehovet til et passivhus er omtrent 25 % av energibehovet til en vanlig bolig (32). Det stilles strenge krav til passivhus på områder som tetting og varmetap. Navnet passivhus kommer av at de fleste tiltakene for å redusere energibehovet er passive. Passive tiltak kan være dører og vinduer med lave U-verdier, kuldebrofrie ytterkonstruksjoner, ekstra varmeisolasjon, og å minske luftlekkasjer. I tillegg kan bruken av balansert ventilasjon med høyeffektiv virkningsgrad og god varmegjenvinning redusere energibehovet til ventilasjon og oppvarming, og dermed også energikostnadene. Ved å bygge etter passivhusstandard vil varmetapet reduseres, driftsutgiftene senkes, og bygningen vil sannsynligvis få et bedre energimerke (32-34). Det sies at «Passivhuset vil bli fremtidens forskriftskrav» (33).

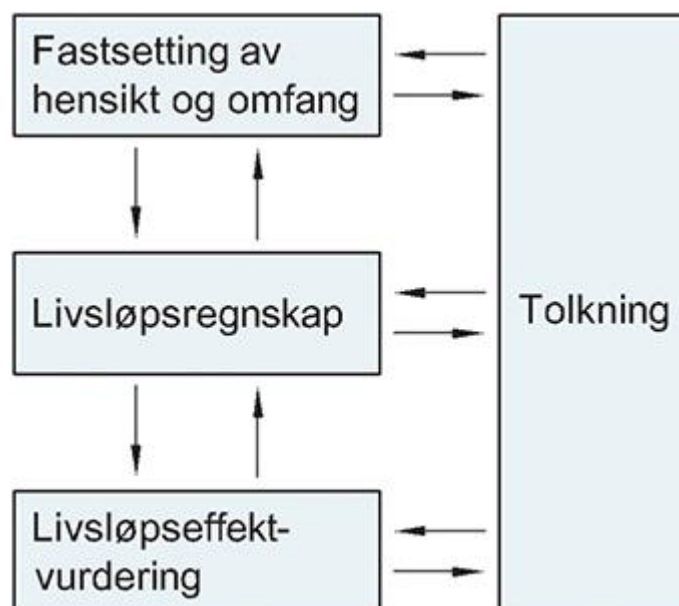
I tillegg til å bygge etter strengere krav, blir det mer og mer vanlig å utføre klimagassregnskap for bygninger. Da er den etablerte metoden å utføre klimagassregnskap basert på en livsløpsanalyse av materialene og handlingene som brukes i byggeprosessen.

2.3 Livssyklusanalyse

Livssyklusanalyse er en metode som brukes for å vurdere et bygg eller et materiale sin totale miljøpåvirkning. Livssyklusanalyse gir mulighet til å evaluere effekten et produkt, en tjeneste eller en prosess har på miljøet gjennom hele dets livssyklus. Alle fasene i produktets livssyklus inkluderes i regnskapet. Det innebærer råvarehenting, produksjon, distribusjon og transport, bygging, bruk, vedlikehold, resirkulering og avfallshåndtering (35). Dette er en internasjonalt standardisert metode som kvantifiserer alle relevante utslipp og miljø- og helseeffekter, samt ressursbruk. Fordelen til livssyklusanalyser er at de ser på hva som skjer før og etter det ferdige produktet blir brukt av kunder, og kan måle miljøeffekter over en lengre periode.

Det finnes to hovedtyper LCA; regnskaps-LCA og konsekvens-LCA. Klimagassberegninger er regnskaps-LCA (36). Livsløpsvurderinger er standardisert gjennom NS-EN ISO 14040 «Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Prinsipper og rammeverk» og NS-EN ISO 14044 «Miljøstyring – Livsløpsvurdering – Krav og retningslinjer».

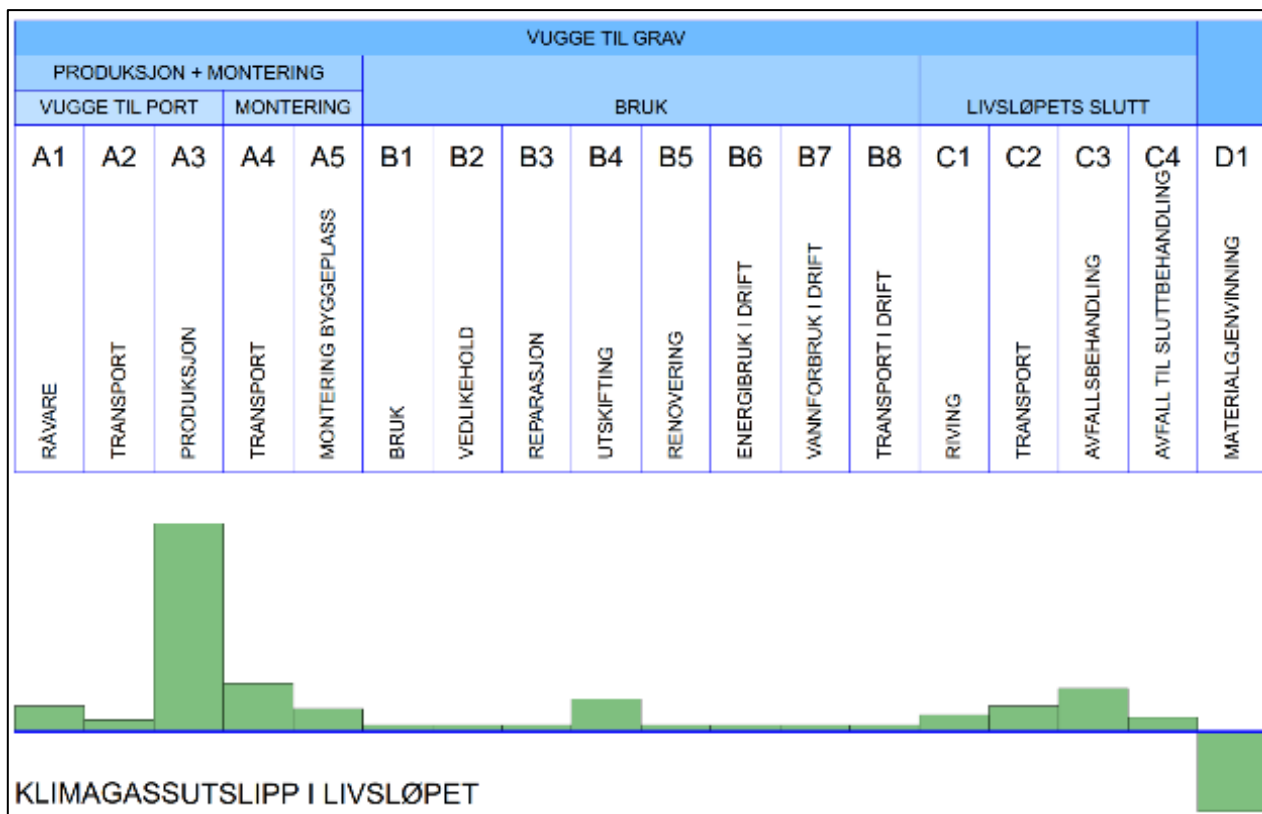
Figur 8 viser de fire ulike stegene i en LCA. Fastsetting av hensikt og omfang er det første steget. Her bestemmes også detaljnivå, systemgrenser og funksjonell enhet. En funksjonell enhet er en referanseenhet som muliggjør sammenligning med andre produkter. Det andre steget er å sette opp regnskapet for ressursene som benyttes til fremstillingen, og de tilhørende utlippene gjennom livsløpet til produktet., Prosessene vist på figur 9, er alt som inngår i produktsystemet og skal inkluderes i livsløpsregnskapet. Steg tre er



Figur 8 viser de fire stegene i en LCA (37).

livsløpseffektvurderingen. Her evalueres de potensielle miljøpåvirkningene som kommer av utslipp og forbruk av materialer og energi. Det siste steget i LCA er tolkning og rapportering av resultater. Som figur 8 viser er ikke dette en lineær prosess, men de ulike stegene må gjentas og gjøres om hverandre underveis i prosessen (37).

En bygnings livssyklus kan deles inn i forskjellige faser. I det europeiske markedet er disse fasene definert av standardene EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode» og EN 15804 «Bærekraftige byggverk – Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer». Tabellen på figur 9 viser livssyklusfasene slik de følger EN-standardene.



Figur 9 viser de ulike livssyklusfasene til en bygning eller et produkt. (38)

A1: Uttak av råmateriale og prosessering av dette.

A2: Transport til fabrikk

A3: Produksjon

A4: Transport til byggeplass

A5: Installasjon i bygningen

Modul A1, A2 og A3 kan anses som en sammensatt modul, A1-A3. I alle fasene inngår forsyning av materialer, produkter og energi, i tillegg til avfallshåndtering frem til slutten av avfallstilstand eller avhending av sluttrester i produktfasen. Evalueringer tar bare hensyn til bygningen og dens deler. Den tar ikke hensyn til for eksempel møbler eller innretninger. Fase A4 og A5 inkluderer alle påvirkninger og aspekter relatert til tap i løpet av konstruksjons- og transportfasen.

B1: Bruk eller implementering av et installert produkt

B2: Vedlikehold

B3: Reparasjoner

B4: Utskiftning

B5: Ombygging

B6: Energibruk i drift

B7: Vannforbruk i drift

I tillegg til energi- og vannforsyning inkluderer modulene B6 og B7 transport og avfallsbehandling av materialene som inngår i B1-B5.

C1: Riving

C2: Transport til avfallsplass

C3: Avfallsbehandling for gjenbruk og/eller gjenvinning

C4: Avhending

Modul C inkluderer all transport og alt energi- og vannforbruk knyttet til riving og avfallshåndtering

D: Material- og energigjenvinning, ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi

Modul D er en tilleggsmodul som kan inkluderes i omfanget av vurderingen. Modul D gjør det mulig å vurdere tilleggsinformasjon utover bygningens livssyklus. For byggevarer betyr dette at fordelene og ulempene ved avhending etter riving kan tas med i betraktningen.

For ulike omfang av LCA kan forskjellige livssyklusstadier være obligatoriske. I overenstemmelse med EN 15804 «Bærekraftige byggverk – Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer» er bare modulene A1-A3 obligatoriske på produktnivå-EPD-er. I bygningsnivåberegninger, i henhold til EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode», er tanken å ta hensyn til alle de betydningsfulle innvirkningene i løpet av bygningens levetid. Ulike sertifiserings- og beregningssystemer kan begrense hvilke moduler som er beregnet (39).

2.3.1 Environmental Product Declaration (EPD)

Environmental Product Declaration (EPD) er en miljødeklarasjon for et produkt eller en tjeneste. Den skal fremstilles på en standardisert, verifiserbar og objektiv måte, og lages etter spesifikasjoner gitt i ISO 14025 «Miljømerker og deklarasjoner – Miljødeklarasjoner type III – Prinsipper og

prosedyrer». EPD-er bygges opp etter samme prinsipper som livssyklusanalyser ved at utslippene kategoriseres i de samme modulene som LCA, i henhold til ISO 14040-14044. Denne standardiseringen sikrer at ulike produkters miljøinformasjon kan sammenlignes uavhengig av region eller land. De skal være godkjente av en uavhengig tredjepart for å sikre at de fire kravene objektivitet, sammenlignbarhet, troverdighet og mulighet for addering er fulgt. (40)

Det er forskjellige programoperatører som produserer EPD-er i forskjellige land. Den norske operatøren er EPD Norge. EPD-er kan kun sammenlignes hvis det er samme produkt og de er basert på samme produktkategoriregler (PCR). PCR-en fastsetter hvilke elementer som skal inngå i EPD-en. (41)

EPD-er kan skilles i to hovedkategorier, spesifikt produkt eller gjennomsnitts-EPD. Spesifikke EPD-er gjelder et spesifikt produkt fra en produsent eller leverandør. Gjennomsnitts-EPD kan være et gjennomsnitt av flere lignende produkter, med små forskjeller som tykkelse og overflatebehandling, eller generiske EPD-er hvor flere produsenter går sammen for å lage en felles EPD. Gjennomsnitts-EPD-er skal helst ikke ha mer enn 10 % variasjon mellom produktene. (42, 43)

Modul D kan gi relevant tilleggsinformasjon om resirkulering av materialer ved livsløpets slutt, og kan være betydelig med tanke på bygningens totale innvirkning og fotavtrykk. Virkningene som rapporteres i modul D er fremkommer ved bruk av metaller og materialer med høy gjenvinningsgrad. Modulen rapporterer kun om visse miljøpåvirkninger og gir ikke nødvendigvis hele gjenvinningshistorien. Den europeiske standarden beskriver en metode for modellering og beregning av modul D som kan være åpen for tolkning, og gir rom for flere scenarier og hypoteser. Et materiale kan til tider benyttes på ulike måter etter endt livsløp, der de forskjellige måtene gir ulike besparelser i utslipp. I tillegg er det ikke alltid lett å definere funksjonell ekvivalens, og det er nødvendig med god innsikt i produksjonens prosesser for å beskrive avkastningsfaktorer eller teoretiske primære prosesser. Den begrensede tilgangen på offentlig data om resirkulert innhold og scenarier for resirkulering, gjør at de som utformer livssyklusanalyser og EPD-er må gjøre en betydelig mengde tilleggsforskning. Dette må gjøres for å kunne stole på flere av antakelsene som gjøres når de modellerer prosessene i Modul D. (44)

Det er ikke pålagt å utarbeide EPD for et produkt, men en innkjøper av produktet kan kreve det, og det blir ansett som et klart konkurransefortrinn. (43)

2.4 Klimagassberegninger

For å se hvordan ulike deler av en bygning medvirker til klimagassutslipp, kan klimagassutslippene i et livsløpsperspektiv undersøkes ved å gjennomføre en klimagassberegning. Utslippene knyttet til de ulike livsfasene vil presenteres i et klimagassregnskap. LCA danner grunnlaget for klimagassberegninger. Standardisering av metoden er stadig under utvikling, der målet er å fastsette noen forutsetninger og systemavgrensninger slik at utslippsberegninger fra ulike bygg kan sammenlignes. (45)

2.4.1 NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger

Standarden NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» ble publisert i september 2018, og beskriver en metode for å beregne klimagassutslippene til et bygg gjennom byggets livsløp. Den definerer kravene til metoden som benyttes for å beregne klimagassutslippene til enten et helt bygg, deler av en bygning eller deler av livsløpet til bygningen eller bygningsdelen. Standarden er basert på NS-EN 15978 «Bærekraftige byggverk – Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode» som gir generelle kalkuleringsregler for LCA av bygninger, mens NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» kun beskriver en vurdering av klimagasser. Standarden bygger på definisjonen av klimagasser og beregninger, utarbeidet av FNs klimapanel. Karakteriseringsfaktorene for et 100-årsperspektiv, GWP-100, skal benyttes slik de er definert i FNs klimapanel til enhver tid siste hovedrapport. Alle utslippsfaktorer skal være livsløpsbaserte og skal inkludere infrastruktur (36).

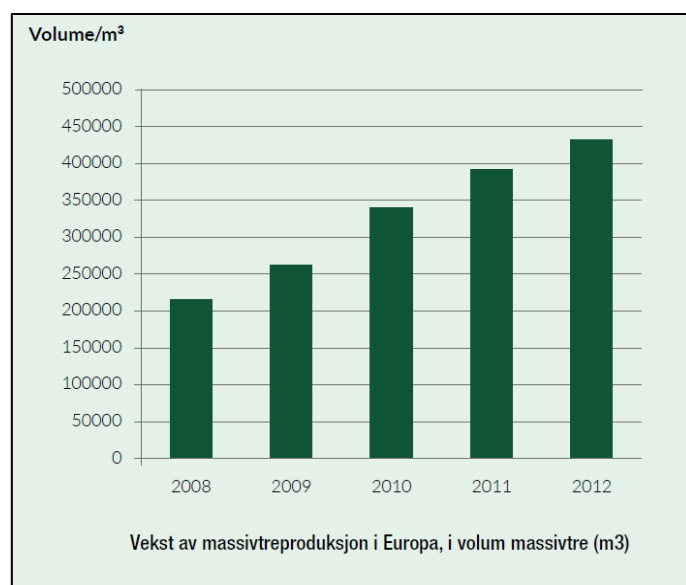
I standarden beskrives to kvalitetsnivåer for EPD og andre LCA-data. Nivå 1 defineres som «spesifikk data som er beregnet og/eller målt for et konkret produkt eller en konkret tjeneste» (36). Det vil si at datagrunnlaget skal representere det reelle produktet eller tjenesten innenfor et visst tidsrom. For å oppfylle kravet til kvaliteten på nivå 1 må dataen verifiseres av en tredjepart. Dette er det kvalitetsnivået som bør etterstrebnes ved utførelse av beregninger, for at resultatet skal bli mest mulig korrekt. Datakvalitet på nivå 2 defineres som «alle LCA-data som ikke tilfredsstiller kravet til datakvalitet på nivå 1» (36). Med dette menes all generisk data, gjennomsnittsdata og representative data. Et eksempel på dette er bransje-EPD, som representerer alle eller en gruppe av produsenter av en produkttype (36). En EPD bør oppdateres hvert femte år, og vil innenfor dette tidsrommet bli ansett som datakvalitet på nivå 1. Datakvalitet på nivå 2 kan være EPD-er som ikke er oppdatert etter 5 år, men data som er eldre enn ti år bør uansett unngås (36, 43).

2.5 Materialer

2.5.1 Massivtre

Norge er et land med store skogressurser, og lange tradisjoner knyttet til tre som byggemateriale (46). Massivtre er likevel relativt nytt. I 2016 utgjorde bygg med massivtre som bærekonstruksjon 1,85 % av det norske byggemarkedet (47). Massivtreelementer ble først utviklet i Sentral-Europa på 1990-tallet, og Østerrike er fortsatt den ledende produsenten med rundt 75 % av verdens produksjon (47, 48). Siden 1904 har det i alle norske byer vært ulovlig å bygge trebygninger over to etasjer innenfor bygrensene. I 1997 ble dette endret, noe som har bidratt til at konkurranseevnen og bruken av tre har økt i Norge (49). Det er likevel ikke bare i Norge massivtre opplever en kraftig vekst, men også resten av Europa. Dette vises på figur 10 (50).

Tre oppfattes som et naturlig, miljøvennlig, varmt og levende materiale, og folk er generelt positive til bruken av tre. Flere undersøkelser viser at bruken av tre kan redusere stress og gi opplevelsen av et godt inneklima (48). Massivtreet er et hygroskopisk materiale som påvirker inneklimaet ved at det jevner ut variasjoner



Figur 10 viser veksten til massivtreproduksjonen i Europa. 50

i temperatur og relativ fuktighet (51). Det kan også tyde på at det blir mindre lukt i trebygg. En analyse gjennomført av Asplan Viak i 2014 viser at eksponerte treoverflater kan føre til energibesparelse form av ventilasjon og oppvarming (50).

Det finnes tre hovedtyper massivtreelementer: kantstilte elementer, hulromselementer og krysslagte elementer. Kantstilte elementer er en fellesbetegnelse på elementer som er satt sammen av stående lameller. Disse forbindes med skruer, spiker, tredybler eller stålstag. Hulromselementer har et hulrom som skiller øvre og nedre massivtreelement (52). Krysslagte (KLT) elementer, eller Cross laminated timber (CLT), er elementer bygget opp av lameller satt sammen i vinkler på 90 grader, og festet med lim eller tredybler (51). Vanlige KLT-massivtreelementer har en tykkelse på ca. 60-240 mm og består av tre til ni sjikt. De midterste elementene kan bestå av trevirke med dårligere kvalitet,

noe som bidrar til å utnytte råstoffet maksimalt. På grunn av praktiske begrensninger som transport og håndtering produseres elementene i opptil 16 meters lengde og 3 meters bredde (50).

Massivtre kan brukes til å produsere ferdige bygningselementer med høy presisjon (53). De ferdige elementene kan korte ned byggetiden ved at de heises raskt på plass. Dette vil gi flere positive effekter som færre arbeidere, mindre avfall på byggeplass og økonomiske besparelser (50, 54).

Massivtre kan brukes som både bærende og ikke-bærende element i vegg, gulv og tak i alle typer bygg. Materialet tåler store punktlaster og er derfor fleksibelt ved bruk i asymmetrisk plassering av vegger (55). Fritt spenn kan være opptil 7-7,5 m, men i kombinasjon med betong eller limtre kan spennviddene bli opptil omtrent 14 m (51).

De siste årene har massivtre økt kraftig i popularitet (54). Stor enighet blant forskere om at massivtre har lave klimagassutslipp er en av årsakene til dette. I fotosyntesen vil treet binde karbon gjennom karbonkretsløpet. Ett kilogram tre vil binde om lag 1,8 kg CO₂. Når trærne hogges vil skogen i en periode på omtrent 30-40 år slippe ut CO₂ fra jordsmonn, røtter, greiner og lignende som blir liggende igjen og brytes ned (50,53). En stor andel av restmaterialene fra trelastproduksjonen brukes til energiproduksjon. Karbonet som er lagret i treet vil da frigjøres (50). Tre har lave CO₂-utslipp forbundet med produksjonen, men limet som brukes i massivtre, limtre og andre treprodukter kan føre til større utslipp (56).

For at trelastproduksjonen skal være bærekraftig må treet hentes ut på riktig måte. Riktig forvaltning av skog kan gi trevirke i nærmest ubegrensede mengder. I Norge er rundt 90 % av skogene sertifisert i henhold til internasjonale standarder for bærekraftig skogbruk (51). Både massivtre og limtre kan brukes på nytt etter riving uten større prosesser. Dette er ikke så vanlig å gjøre da treet ofte nyttiggjøres ved energigjenvinning (56).

Siden massivtre ikke produseres i Norge i stor nok grad, må det importeres og transporteres over lengre avstander. Det medfører ofte bruk av fossilt brennstoff, og utgjør en betydelig andel av utslippene (53, 56).

Tre er et brennbart materiale, men på grunn av sin lave varmeledningsevne og forutsigbare innbrenningshastighet har det god brannmotstand i et fullt utviklet brannforløp (58). Det vil under en brannpåvirkning danne forkullende lag ettersom det brenner innover. Dette forkullende laget vil beskytte bakenforliggende sjikt som vil få nesten uendret fasthet- og stivhetsegenskaper. Nominell innbrenningshastighet for limte krysslagte elementer er 0,7 mm/min og for dyblede krysslagte

elementer er den 0,8 mm/min (51). Forsøk viser likevel at massivtre kan ha store bidrag til brannforløpet, og for mange åpne flater med tre bør derfor unngås (57). For å bruke massivtre i brannskillende konstruksjoner trengs tilleggslag med gips, påstøp eller mineralull (58). Bruk av brennbare materialer i konstruksjoner er ikke preakseptert for bygninger i brannklasse 3 i henhold til TEK17 med veiledning (59). Egenskapene til treverk under et brannforløp er noe det forskes mye på (Vedlegg 7).

Massivtre veier 400-500 kg/m³, og er et lett materiale sammenlignet med stål, med sine 7900 kg/m³, og betong på 2000-2500 kg/m³. Treets lave vekt gir både fordeler og ulemper. Den lave vekten bidrar til mindre omfattende grunn og fundamenteringsarbeid. Det kan også være viktig med tanke på rehabilitering eller utbygging. Den negative effekten er at bygningene vil være mindre motstandsdyktige mot krefter og svingninger som skapes av blant annet vind og lyd (50).

2.5.2 Betong

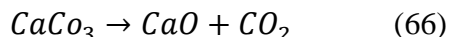
Betong er et av verdens mest brukte byggematerialer, og har blitt brukt siden oldtiden, selv om det var i en annen form enn den vi kjenner i dag (60). Betongproduksjon står for om lag 6 % av de totale menneskeskapte klimagassutslippene. Det forsøkes derfor å finne metoder for å redusere disse utslippene, ved for eksempel å resirkulere betong, karbonfangst i produksjonsanlegg og bruke mindre sement i betongen (61).

Betong lages ved å blande sement, vann, tilslag og tilsetningsstoffer. Vann og sement vil danne en kjemisk prosess kalt hydratisering og bli sementlim. Tilslaget består av stein og sand i forskjellige størrelser. For å få en lettere betong kan også lettklinker brukes som tilslag (62). Tilsetningsstoffer kan brukes ved produksjon av betong for å få frem ønskede egenskaper. Frostbestandighet og raskere fasthetsutvikling er eksempler på slike egenskaper (63).

Betong har svært stor trykkfasthet, men langt dårligere strekkfasthet. For å forbedre strekkfastheten armeres betongen med armeringsjern. Vannsementforholdet til betongen forteller hvor mange liter vann det er i forhold til kilogram sement i betongen. Dette forholdet bestemmer i stor grad betongens trykkfasthet (64). Masseforhold er forholdet mellom vann og bindemiddel. Bindemiddel er sement og andre tilsetningsmaterialer.

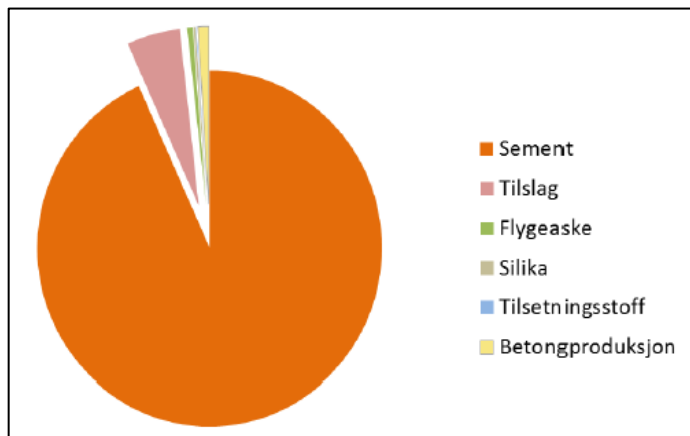
Norcem er den eneste sementprodusenten i Norge med sine fabrikker i Brevik og Kjøpsvik (65). Portlandsement er den vanligste typen sement, og lages ved å brenne en blanding av kalkstein og for eksempel kvarts og skifer på rundt 1450°C. Dette gir sementklinker som videre blandes med gips og

blir sement. Kalkstein består i stor grad av karbon, og når denne brennes avgis CO₂ gjennom en prosess kalt kalsinering. Dette vises gjennom den kjemiske reaksjonen for kalsinering som er:



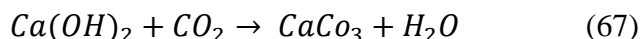
Omtrent 60 % av utslippene fra sementproduksjon kommer fra kalsinering av kalkstein, mens de resterende utslippene i hovedsak kommer fra oppvarming av ovner og transport. For ferdig sement beregnes utslippet til ca. 800kg CO₂-ekvivalenter per tonn. (60)

Sementproduksjonen står for om lag 5 % av verdens totale menneskeskapte klimagassutslipp, og er årsaken til hoveddelen av utslippene knyttet til betongproduksjon, se figur 8. Typiske tiltak for å redusere utslippene er å bruke avfall som brennstoff, økt bruk av varmegjenvinning og mer tilsetningsmaterialer i sement (60).



Figur 11 viser klimagassutslipp til typisk konstruksjonsbetong B30M60, fordelt på de ulike komponentene betongen består av (60).

Når betong kommer i kontakt med luft vil den begynne å karbonatisere. Det innebærer at betongen tar opp CO₂ fra lufta og løser det opp i porevannet. Dette kan ses i den forenklede kjemiske reaksjonen for karbonatisering:



Det er stor uenighet i hvor mye av CO₂-utslippet fra produksjonen som vil tas opp i betongen gjennom et livsløp. Dette er avhengig av betongkvalitet, sementmengde, bruk og eksponeringsflater (65). Denne prosessen er hovedsakelig uønsket da den senker pH-verdien i betongen fra omtrent 13 til rundt 9. Betongen vil da ikke lenger være korrosjonshindrende og armeringen kan begynne å ruste, noe som videre kan føre til kollaps av betongen (67).

Det har de siste 10-20 årene vært mye fokus på å få redusert miljøbelastningen fra sementproduksjonen. Lavkarbonbetong har derfor vokst frem som et alternativ som begrenser mengden sementklinker i sementen. Norsk betongforening har laget en publikasjon som har som mål å definere en bransjenorm for lavkarbonbetong. Klimagassutslippet måles i CO₂-ekvivalenter og andre gasser vektet i henhold til GWP (60). Publikasjonen deler Lavkarbonbetongen inn i fire

forskjellige klasser ut fra maksimalt tillatt CO₂-ekvivalenter per kubikkmeter betong. Ekstrem har strengest krav og deretter kommer klassene Pluss, A og B (68).

Sementen brukt i Lavkarbonbetong har lavere CO₂-utslipp enn i vanlig betong, ved at en del av klinkeren er byttet ut med tilsetningsmaterialer med gode bindemiddelsegenskaper og lavere klimagassutslipp. Dette kan være pozzolaner eller hydrauliske bindemidler, som silikastøv, flygeaske eller slagg (60, 66). Alle disse materialene er restprodukter fra industrier som også har store klimagassutslipp. Slagg kommer ofte fra råjernproduksjon, flygeaske fra kullfyrte kraftverk og silikastøv fra produksjon av ferrosilisium- eller silisiummetall. Klimagassutslipp knyttes kun til hovedproduktet, så restproduktene regnes som klimanøytrale og vil derfor ikke ha noe bidrag til sementens klimagassutslipp. Flygeaske kan være opptil 35 % av den totale bindemiddelmengden, silikastøv kan være opptil 11 % og slagg opptil 80 %. Slagg er derfor det som kan brukes i størst grad, men det finnes ikke nok slagg til å bruke det på generell basis. Om 18 % av sementklinkeren erstattes med flygeaske tilsvarer besparelsen omtrent 150 kg CO₂ per tonn sement (60).

Lavkarbonbetong, særlig de beste klassene, kan ha en forsinket fasthetsutvikling, noe som kan påvirke fremdriften i byggeprosjekter (62). Herdelsesakseleratorer kan til en viss grad kompensere for dette. Betong med flygeaske vil også ha liten varmeutvikling og økt temperaturfølsomhet (61). Denne betongen vil ha en lav risiko for rissdannelse og oppsprekking på grunn av den lave varmeutviklingen (62). Lavkarbonbetong vil ha noe dårligere støpbarhet enn tradisjonell betong, men i de fleste tilfeller kan dette enkelt løses (60).

Betongens levetid har også stor betydning for livsløpsvurderingen og den reelle miljøpåvirkningen. Ved bruk av flygeaske eller slagg i sementen reduseres betongens motstandsdyktighet mot karbonatisering og masseforholdet må bli lavere for å oppnå samme motstandsdyktighet. Dette fører til økt sementbruk som reduserer klimagassbesparelsen noe. Flygeasken gir likevel også positive effekter ved at motstanden mot kloridinntrenging, temperaturendring og kjemisk nedbryting blir bedre (60).

2.5.3 Stål

Stål er legeringer av jern som inneholder mindre enn 1,7-2 % karbon (69). Jern har blitt brukt i flere tusen år, og teknikken med å fremstille jern fra malm begynte for rundt 3400 år siden og markerer starten på jernalderen (70). I dag produserer Kina om lag halvparten av verdens stål, men mye produseres også i USA, India, Japan, Russland og Sør-Korea (71).

Stål har to ulike fremstillingsmåter, enten med elektrisk bueovn og skrap som basismateriale, eller med basisk surstoffovn og flytende malmbasert råjern som basismateriale. Stål kan fullstendig resirkuleres uten at det går på bekostning av kvaliteten og ca. 50 % av verdens stålproduksjon er basert på resirkulert skrap. Det skrapet som oppstår under utvinningsprosessen resirkuleres øyeblikkelig. Slagg er det største biproduktet av stålfremstillingen, og dette brukes som tilsetningsmateriale i Lavkarbonbetong (72).

Stål krever likevel mye energi i fremstillingsprosessen, og ca. 75 % av denne energien kommer fra kullkraft. Luft- og vannforurensing er andre negative sider av industrien (71). I tillegg står stålindustrien bak 7-9 % av de direkte utslippene fra fossilt brennstoff. Per tonn stål som produseres slippes det ut i gjennomsnitt 1,83 tonn med CO₂ (73).

3. Metode

I dette kapitlet beskrives metodene som er benyttet for å løse oppgaven. Her forklares hvordan det har blitt jobbet for å samle informasjon, hvordan programmer er benyttet, og hvilken data som inngår i beregningene.

3.1 Litteratursøk

I litteratursøket er databasene Oria og Google Scholar brukt, i tillegg til ordinært nettsøk. Oria gir tilgang til Universitetsbiblioteket til NTNU og Norske fagbibliotek. I Google Scholar er det enklere å finne akademisk litteratur, enn i ordinært nettsøk. Av litteraturen som er funnet, er nyere litteratur prioritert. Dette er fordi klimagassregnskap er et tema som er i utvikling, og det kommer jevnlig ny og forbedret informasjon. I tillegg er artikler og rapporter fra Europa og Skandinavia prioritert siden det vil være stor forskjell på et klimagassregnskap basert på norske forhold sammenlignet med et regnskap fra en annen klimasone.

En svakhet ved noe av den anvendte litteraturen, er at den er hentet fra kommersielle aktører med interesse av å fremme et budskap som gagnar dem. Disse kildene anses ikke som objektive, og har derfor blitt vurdert mot andre kilder for å finne ut hvilken informasjon som er troverdig.

Andre bachelor- og masteroppgaver er også brukt, og disse har en viss usikkerhet ved at de ikke vurderes på samme grunnlag som publiserte forskningsartikler. Oppgavenes gyldighet vil derfor være vanskelig å vurdere, og disse er brukt i så liten grad som mulig. De er hovedsakelig anvendt som inspirasjon, og kildelistene er benyttet for å finne relevante kilder. Spesielt to oppgaver er brukt, «Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og Verkstedgården 1» og «Hvordan redusere bygningers miljøpåvirkning med LCA og BIM» (74,75).

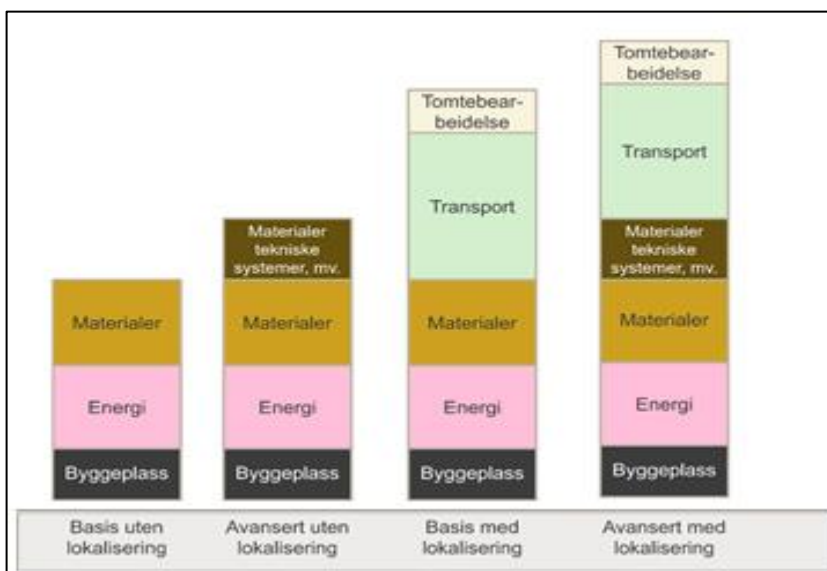
Det anvendes flere standarder til denne oppgaven, hentet fra Standard Norge sine nettsider. For å bli kjent med programmet One Click er mange av brukermanualene fra hjemmesidene brukt.

Ved intervjuer gjennom videosamtale er notater skrevet underveis i intervjuet. I etterkant er notatene finskrevet og sendt til gjeldende personer for godkjenning. Notatene er lagt ved som vedlegg. I tillegg er noe informasjon innhentet fra inntrykk og samtaler ved byggeplassbesøk på Huseby skoler.

3.2 Avgrensninger for beregninger

Beregningene er gjennomført over en periode fra midten av februar til slutten av april, og er utført i byggefasen. Beregningen defineres som en vurdering av bygningens helhetlige klimagassutslipp. Fra standarden NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger», kapittel 7.7, er typen beregning valgt ut fra tabell 1 på side 19 i standarden. Tabellen demonstrerer ulike forhåndsdefinerte omfang for helhetlige klimagassberegninger. Av disse er det valgt en basis beregning, med lokalisering. Se figur 12. Basis beregning, med lokalisering tilsvarer en komplett beregning, bortsett fra det tekniske systemet i bygget. Vannforbruk og tomtearbeidelse er ikke vurdert, til tross for at bygningens lokasjon er kjent.

Tilgang til informasjon om byggeprosjektet har vært begrenset. Spesielt med tanke på materialer, leverandører og dermed også transportavstand. Dette kommer av at fullstendige materiallister ikke har vært tilgjengelig og at prosjektet var i byggefasen da beregningene ble utført, derfor var ikke alle materialer og leverandører bestemt. Der denne informasjonen manglet er materialer antatt etter beste evne, noe som medfører en andel av datakvalitet på nivå 2. Av massivtre er kun krysslinitre (KLT) vurdert blant de forskjellige typene.



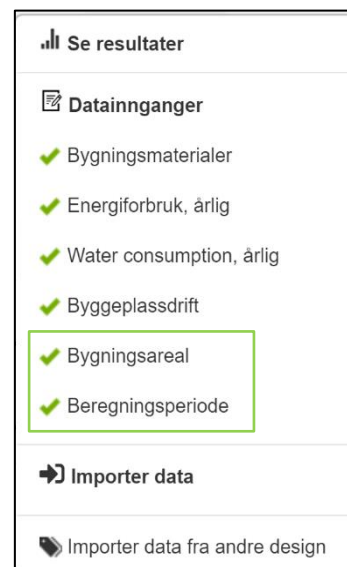
Figur 12 viser fire ulike varianter av helhetlige klimagassberegninger (76).

Transportavstander er beregnet ved hjelp av Google Maps. Ved valg av transportmiddel er det i de fleste tilfeller valgt trailer 40 tonns med 100 % fyllingsrate, som er det valget programmet automatisk velger. Transportmiddel for plasstøpt betong er lagt inn som betongbil med en kapasitet på omtrent 8 m³. All informasjon om materialer og mengder er hentet ut fra modellen av bygget som er tegnet i Solibri. Det er antatt at modelleringen er korrekt og presist nok utført for dette formålet.

3.3 Bruk av programmer

Solibri (versjon 9.10.8) er benyttet som informasjonskilde. Fullstendig modell av bygget, samt mindre modeller av spesifikke deler av bygget ligger ferdig tegnet i programmet. Modellene er verdifulle for å bli bedre kjent med hvordan bygget faktisk ser ut, og gir et inntrykk av hvordan skolen vil bli seende ut ved ferdigstillelse. Fra modellen er informasjon hentet ut i form av materialtyper og mengder. Programmet er kompatibelt med programvaren som er brukt for å utføre klimagassberegningen, slik at mengder og materialer kan hentes ut automatisk. For å gjøre denne prosessen så enkel som mulig er det en fordel om IFC-filen er tilpasset automatisk overføring til One Click. Det bør være en fil som inneholder kun de materialene som skal brukes i klimagassberegningen, og stripes for alle komponenter som ikke skal inkluderes i beregningen, som for eksempel modellert landskap eller VVS og annet teknisk utstyr. Alle komponentene bør også ha navn som beskriver hvilket materiale det er og hvilken bygningsdel det tilhører. Helst skal ikke materialene legges inn som kompositter. Solibri fungerer også som en «arbeidstegning», hvor komponenter kan lokaliseres og mengder dobbeltsjekkes etter de er lagt inn i One Click.

One Click er benyttet for å utføre selve klimagassberegningen. Først opprettes et prosjekt, der startparametere for beregningen føres inn. Parameterne listes opp i henhold til NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger», kapittel 8.2. Disse er blant annet geografisk lokalisering, totalt bruttoareal, bygningstype, byggeår og hvilke sertifiseringer som følges. Etter at et prosjekt er opprettet, spesifiseres det videre ved å lage et design. Et prosjekt kan ha flere design, som vil vises ved siden av hverandre i programmet slik at de lett kan sammenlignes og prestasjon med tanke på klimagasser synliggjøres. Materialer legges inn enten ved hjelp av import eller manuelt. Det er valgt å bruke import fra Solibri da dette virket mest aktuelt for Prosjektutvikling Midt-Norge senere. Programmet krever

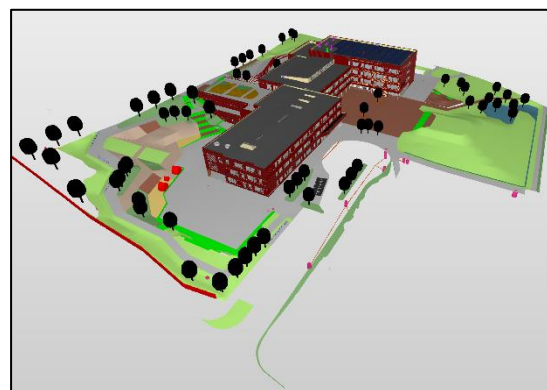


Figur 13 viser utklipp fra One Clicks inngangsparametre.

informasjon om strømforbruk, bygningsmaterialer og beregningsperiode for å kunne utføre en analyse, og følger dermed standarden. Utfyllende informasjon om bruken av One Click ligger i vedlegg 3 «Brukermanual for klimagassberegning i One Click LCA».

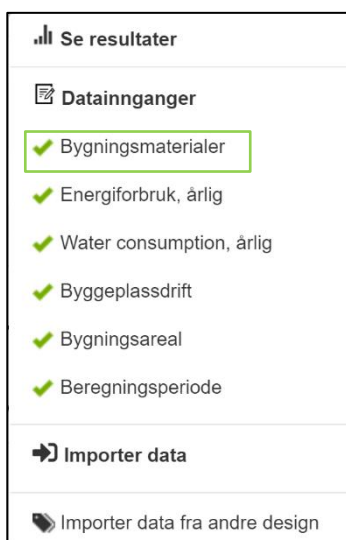
3.4 Fremgangsmetode for beregning

IFC-filen kalt «Sammensatt Modell», tilgjengelig på Huseby skolors prosjekthotell, brukes som grunnlag for beregningenes bygningsmaterialer. Dette er en stor modell, der alle byggets funksjoner inngår. For å utføre beregningen er data importert automatisk fra Solibri til One Click. For å kunne benytte denne funksjonen, må det lastes ned en import-fil fra oneclicklca.com. Ved å laste opp filen i Solibri, kan filen lese informasjon om bygget fra modellen og

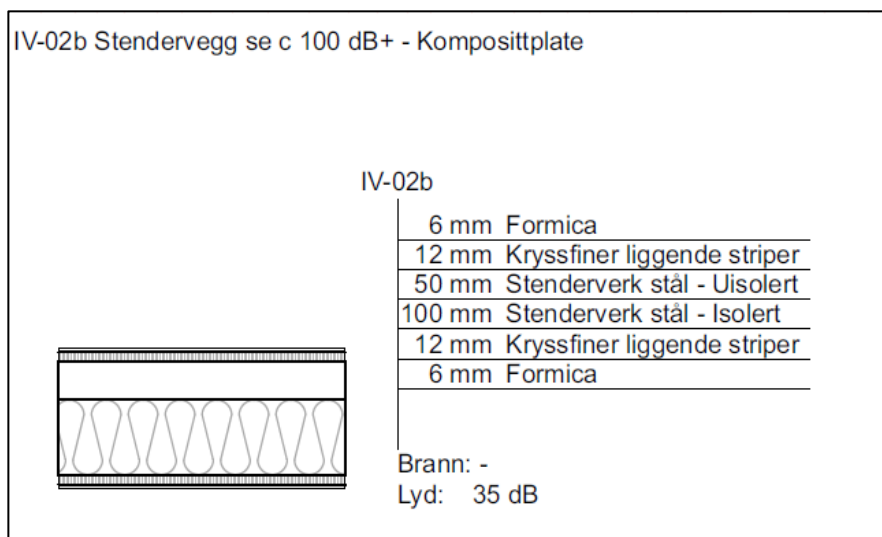


Figur 14 viser «Sammensatt modell» fra prosjekthotellet.

oversette slik at informasjonen kan leses av One Click. Informasjonen presenteres som en rapport i form av et Excel-ark der alle komponentene i hele modellen listes opp i m^3 . Omfanget av modellen som er brukt resulterte i en rapport på over 23000 datapunkter. På grunn av det høye antallet datapunkter, er Excel-arket delt opp i flere dokumenter som ble lastet opp i flere omganger. Under opplasting er like materialer kombinert, for å gjøre prosjektet til en håndterbar størrelse for programmet. Deler av materialsammenslåingen er gjort manuelt etter opplasting, for å frigjøre plass til å laste opp alle dokumentene.



Figur 16 viser at bygningsmaterialer er en viktig parameter.



Figur 15 viser et eksempel på hvordan veggene er listet opp inne i prosjekthotellet.

One Click håndterer ikke kompositter automatisk. Kompositter er derfor behandlet manuelt i programmet etter opplasting. En innervegg bestående av flere lag av ulike materialer, vil for eksempel sorteres som kun betong. Materialet kan manuelt deles opp slik at betong går fra å utgjøre 100 % av datapunktet, til å utgjøre for eksempel 50 %, der de resterende 50 % kan erstattes med lekting, isolasjon, kledning, og andre materialer som er i veggen. Prosentvis fordeling av materialene ble funnet ved hjelp av listene over vegger fra prosjekthotellet. Eksempelet IV-02b fra figur 16 viser en total tykkelse på 186 mm. Av tykkelsen utgjør «Stenderverk stål – isolert» 53,7 % av hele kompositten. I dette tilfellet blir utregningen og resultatet slik:

$$\text{Total tykkelse: } 6 + 12 + 50 + 100 + 12 + 6 = 186 \text{ mm}$$

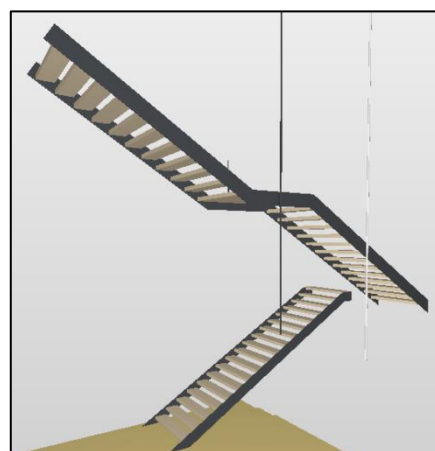
$$\text{Formica: } \frac{12}{186} = 0,064 = 6 \%$$

$$\text{Kryssfiner: } \frac{24}{186} = 0,129 = 13 \%$$

$$\text{Stenderverk stål – uisolert: } \frac{50}{186} = 0,268 = 27 \%$$

$$\text{Stenderverk stål – isolert: } \frac{100}{186} = 0,537 = 54 \%$$

I all hovedsak er det veggene som utgjør komposittene i bygget, og alle disse er gjennomgått på denne måten. Resten av datapunktene er i stor grad koblet direkte til korrekt materiale. Andre kompositter som mangler tilhørende lister, er søkt opp i Solibri-modellen. Modellen viser hvordan kompositten ser ut og gir mulighet til å enten uthente spesifikke mengder, eller gjøre en prosentvis mengdeantakelse basert på figur, dersom mengde ikke er oppgitt. Et eksempel på dette er trapper. Figur 17 viser en trapp som programmet automatisk sorterer som stål, selv om trappen egentlig er en tretrapp der kun de avstivende vaneene er av stål. Hvert trappeelement er lagret som 0 m^3 i programmet, noe som gjør at mengdene må legges inn basert på antakelser. I dette eksempelet er trappens total materialmengde i underkant av 1 m^3 , og det antas at stålvangene utgjør 20 % av total materialmengde, mens trappetrinn og repos i tre utgjør 80 %. Til slutt er alle datapunkter sortert som



Figur 17 viser et eksempel på en av trappene der presise materialmengder ikke var oppgitt i modellen.

samme materiale, innenfor samme bygningsdel i henhold til NS 3451 «Bygningsdelstabell», slått sammen.

Ikke alle materialer er mulige å finne i One Click, selv om programmet har en stor database med EPD-er. Det er gjennomgående forsøkt å finne riktig EPD for å få mest mulig datakvalitet av nivå 1. Der riktig materiale ikke er funnet, er det brukt et lignende materiale eller generiske verdier, noe som tilsvarer datakvalitet på nivå 2. Glava Pluss System benyttes i bygget, og er et eksempel på et materiale som ikke befinner seg i programvarens database. Glava Pluss System er en isolert stender, bestående av stuket glassull med pålimt treverk (77). I programmet er produktet lagt inn som Glava Proff mineralull, ettersom det er ansett som det nærmeste alternativet. Tilsvarende erstatninger er gjort for flere produkter, noe som tilsier at beregningene er mindre presise enn de kunne vært, dersom de korrekte materialene var tilgjengelige i databasen.

I tilfeller med isolert bindingsverk ble lengden på veggen delt opp slik at stenderne utgjorde 8 % av laget, og isolasjonen utgjorde 92 %. Prosentinndelingen er basert på utregninger fra et utsnitt av en vegg, der man tar utgangspunkt i standard senteravstand på 600 mm og 48 mm brede stendere.

$$\frac{48}{600} = 0,08 = 8 \%$$

Etter at alle materialer er lagt inn i programmet, og sortert til korrekt ressurs, er transportavstand og levetid redigert til korrekte verdier. Levetid er hentet fra materialets EPD, og transportavstand fra leverandør til byggeplass er anslått ved hjelp av Google Maps, der det er tatt utgangspunkt i nærmeste leverandør. I de tilfellene der produktleverandøren er ukjent, er denne antatt. Antakelser er markert med stjerne (*) i tabell 4.

*Tabell 4 viser de ulike materialene som er benyttet i bygget, med leverandør, transporteringsmetode og transportavstand. I de tilfellene produktleverandøren er ukjent, er denne antatt og markert med *.*

Materiale	Leverandør	Transportmiddel	Avstand[km]
Betong	Unicon	Betongbil	7,9
Hulldekker	Contiga	Lastebil	42
Massivtre og limtre	Binderholz	Tog/Lastebil	2230
Myk isolasjon	Glava AS	Lastebil	13,4
Armeringsjern	Celsa AS	Lastebil	17,4

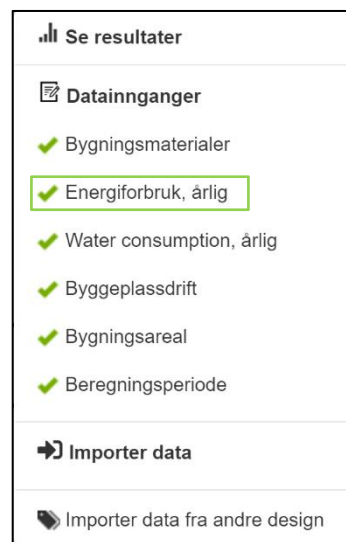
Stålprofiler	*Norsk Stål	Lastebil	17,5
Kryssfiner	Optimera	Lastebil	5,4
Gips (Brann, Robust og vanlig)	Gyproc	Lastebil	582
Gips (Fermacell)	Hunton Fiber	Lastebil	390
Brannisolasjon	Rockwool	Lastebil	14,3
Sementplate	*Cembrit	Lastebil	521
Akustiske himlingsplater	*Rockfon	Lastebil	491
XPS isolasjon	Sundolitt	Lastebil	467
Bygningsplater i tre	*Hunton	Lastebil	396
OSB-plater	*Byggform	Lastebil	519
Trinnlydplate	Canes AS	Lastebil	598
Parkett	*Farveringen	Lastebil	458
Bindingsverk, lekter og lignende (Lagt inn som høvellast, bartre)	Optimera	Lastebil	5,4
Ståltrapp	Midthaug	Lastebil	196
TRP-tak	Tata Steel	Lastebil	3,9
Formica	*Formica Skandinavien	Lastebil	1006
Brannisolasjon, stål	*Paroc	Lastebil	486
Utvendig kledning	*Moelven	Lastebil	7,2
Aluminium	*Hydro	Lastebil	184
Lettklinker	*Leca	Lastebil	496
Membran og takteking	*Icopaltak	Lastebil	6
PUR og PIR isolasjon	*Isobygg	Lastebil	3,4

Standarden NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» tilsier at «produkter som inngår i små mengder i bygget kan utelates». Innenfor hver bygningsdel i henhold til bygningsdelstabellen, på to-siffernivå, skal totalt utelatte elementer ikke overskride 5 vektprosent av bygningsdelens totale vekt. I beregningene er små, ukjente komponenter fra bygget fjernet, for å unngå å registrere de feil. Dette gjelder små materialmengder og er godt under bygningdelens vektprosentgrense på 5%.

I One Click skal årlig energiforbruk dokumenteres i kWh/år og fordeles mellom ulike energikilder. Dette rapporteres under «Energiforbruk, årlig» som vist i menyvalget på figur 18. Simulering utført i Simien er lagt til grunn for verdiene for årlig energiforbruk, og viser at elektrisitet fra nettet og fjernvarme er de aktuelle energikildene. I One Click føres dette inn under «Elektrisitetsforbruk fra nettet» og «Forbruk av fjernvarme».

Energisimuleringen er utført av HENT og gjort i henhold til NS 3031 «Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data» med klimadata for Oslo og årssimulering med Trondheims klima. Fordelingen mellom «Elektrisitetsforbruk fra nettet» og «Forbruk av fjernvarme» hentes fra levert energi vist i simuleringen i figur 19. Der

kan det ses at «Direkte el» krever 471 444 kWh og fjernvarme 543 471 kWh. Solcellene vil produsere 103 095 kWh, som føres til hovedtavlen og brukes i bygget. Dette trekkes derfor fra elektrisk forbruk fra nettet. Se beregning nedenfor (78).



Figur 18 viser at årlig energiforbruk skal legges inn i et klimagassregnskap.

$$471\,444\text{kWh} - 103\,095\text{kWh} = 368\,349\text{kWh}$$

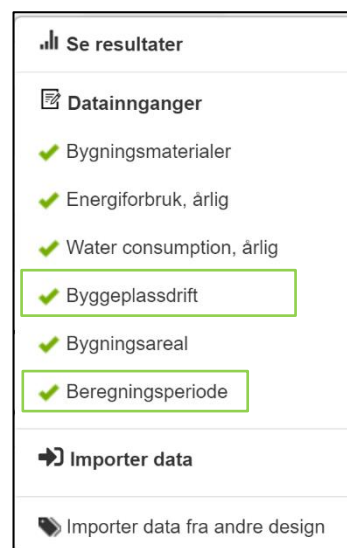
Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	471444 kWh	34,4 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	543471 kWh	39,7 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-70400 kWh	-5,1 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	944515 kWh	69,0 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-32695 kWh	-2,4 kWh/m ²
Netto levert energi	911820 kWh	66,6 kWh/m ²

Figur 19 viser en årssimulering av Huseby skoler. Simuleringen er utført i Simien.

Byggeplassdriften er lagt inn som scenario. Den er tatt ut fra et nordisk gjennomsnitt med fossilfri byggeplass og lagt inn som «Gjennomsnittlig byggeplass påvirkning – Norden med 100% biodiesel» i One Click. Dette gir ikke nøyaktige resultater. Noe informasjon om avfall og strømforbruk var tilgjengelig, men dette var ikke komplett, og det er derfor ansett som mer korrekt å bruke generiske verdier, selv om dette går på bekostning av datakvalitet og vil kategoriseres som datakvalitet nivå 2.

Beregningsperiode er knyttet til estimert levetid for bygningen. NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» tilsier at en klimagassberegning skal benytte 60 års levetid for bygningen, med mindre byggherre oppgir påkrevd levetid. Beregningsperioden er dermed satt til 60 år.

Med et ferdig klimagassregnskap av Huseby skoler som grunnlag, er det opprettet flere kopier av designet som utgjør en basis for utforming av flere scenarioer. Slik kan forslag til endringer legges inn og sammenlignes på samme basis, i henhold til NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger».



Figur 20 viser at byggeplassdrift og beregningsperiode er ulike parametere.

3.5 Tilnærming til One Click

Å lære One Click er til en viss grad basert på prøving og feiling. Det er opprettet flere prosjekter, der flere metoder er utforsket. Hovedutfordringen er å finne en metode som får all informasjonen fra modellen inn i One Click. En koding i programvaren tilsier at et prosjekt maksimalt kan ha 400 datapunkter. Denne begrensningen kan ikke unngås, ettersom leverandøren av programvaren ikke ønsker at prosjektene skal bli for tunge å kjøre. Det er et problem som utløste flere mindre problemer og hadde mye å si for fremdrift.

En av metodene som er testet, er å laste opp flere mindre IFC-filer fra prosjekthotellet, da disse er delt inn i flere disipliner, som for eksempel RIB, RIBprefab og ARK. Problemet med metoden er at filene kan overlape hverandre ved å inneholde noen av de samme elementene. I tillegg er det uklart om alle byggets elementer blir inkludert.

En annen metode som er testet, er å summere Excel-arket fra den sammensatte modellen. Dette viser

seg å være komplisert med hensyn til kompositter, inndeling i henhold til bygningsdelstabellen og lokalisering av hvilke elementer som korresponderer med hverandre i modellen. Ved opplasting i programmet kombinerer ikke metoden mange nok datapunkter, og metoden forkastes til fordel for valgt

CLASS	NAME	MATERIAL	QUANTITY	QTY_TYPE	COMPOSIT	THICKNESS	AREA_M2
Beam		Betong	4,646225	M3			
Beam	B-	Limtre	0,245773	M3			
Beam	B-	Limtre	1,383192	M3			
Beam	B-	Limtre	1,44704	M3			
Beam	B-	Limtre	1,792089	M3			
Beam	B-	Limtre	3,155328	M3			
Beam	B- 31	Limtre	2,600397	M3			
Beam	B-01	Limtre	0,563155	M3			
Beam	B-01	Limtre	0,716964	M3			
Beam	B-01	Limtre	0,849175	M3			
Beam	B-01	Limtre	1,018017	M3			

Figur 21 viser et utsnitt av rapporten. Det kan sees at det er naturlig å summere sammen bjelkene av limtre, men å ekskludere den øverste av betong.

metode, som laster opp den sammensatte modellen i flere omganger slår sammen materialer fortløpende.

Ved å benytte den sammensatte modellen av bygget, er det klart at ingen deler av bygget er oversett eller telt dobbelt. Derfor er dette ansett som den beste filen å ta utgangspunkt i. Dermed er utfordringen å finne en måte å få importert en modell av den størrelsen som er brukt, inn i et program som ikke godtar mer enn 1,7 % av de totale datapunktene.

I første omgang er problemet tolket som at kun det spesifikke dokumentet som lastes opp må begrenses til 400 datapunkter. Derfor splittes Excel-arket fra den sammensatte modellen opp i flere Excel-ark, som lastes inn i flere omganger. Da de siste filene ikke får plass blir det klart, i kombinasjon med stadig kommunikasjon med kundeservice, at hele prosjektet må begrenses til 400 datapunkter. Løsningen blir dermed justert til at de opplastede datapunktene må bli sammenslått så langt det lar seg gjøre, for å få plass til de siste filene. Ved siste fil blir grupperingskriteriene i opplastningsprosessen færre enn ønsket, for å få lastet opp alt.

Anbefalt grupperingskriterium:

CLASS QTY_TYPE COMPOSITE THICKNESS_MM

Ekstra grupperingskriterium:

NAME MATERIAL AREA_M2

Ved å bruke disse kombinasjonskriteriene, reduseres de opprinnelige 4 143 linjene til 346 rader. Den maksimale grensen for datapunkt er 400

Figur 22 viser hvilke kriterier det kunne hukes av for i kombineringsfasen ved opplasting.

Det er nødvending med manuell sortering av datapunkter i siste fase av opplastingen. På dette punktet mangler programmet mellomlagringsmulighet. Det betyr at alt må lastes opp i en omgang, uten pause, for ikke å miste arbeidet. Ved å splitte Excel-dokumentet blir mengden komponenter som må sorteres for hver gang redusert, noe som gjør at delprosessene kan gjøres i én omgang.

Det som viser seg å være problematisk med denne metoden, er at materialinndelingen i programmet blir uoversiktlig. Dette studeres nærmere i kapittel 6 Diskusjon.

▼ Uidentifisert eller problematisk informasjon: 217 / 27,72 % av volumet Du behøver bare å mappe elementer én gang. Vi husker Slett alle < 1% Slett alle < 0.1 %

valgene dine.

Importerte data					Map data til	
Materiale	Klasse	Kommentar	Mengde	Del	Måressurs	Bestem senere
utvendig kledning - stående lekt lufing	EXTERNA...	Utvendig kledning - Stående	114 m3	1,41 %	Velg mapping	Slett
utvendig kledning lekt lufing - vertikale	EXTERNA...	Utvendig kledning Lekt Luftir	76 m3	0,95 %	Velg mapping	Slett
tresjiktplate gipsplate - brann stender	EXTERNA...	Tresjiktplate Gipsplate - Br	75 m3	0,93 %	Velg mapping	Slett
finer lekt gipsplate - brann stenderverk	EXTERNA...	Finer Lekt Gipsplate - Brann	64 m3	0,8 %	Velg mapping	Slett

Figur 23: Programmet mapper mange elementer automatisk, men det er også mange elementer som programmet ikke kjenner igjen. Disse mappes manuelt. I dette eksempelet er det 217 datapunkter som må mappes til korrekt materiale før det kan lastes inn.

3.6 Følsomhetsanalyse

Det er utført en følsomhetsanalyse i henhold til NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» for å se hvilke faktorer som har størst innvirkning på resultatet og hvor følsomt resultatet er for endringer.

Det er gjennomført følsomhetsanalyser for de følgende faktorene:

- Betongkvalitet/leverandør ferdigbetong
- Betongkvalitet/leverandør hulldekker
- Leverandør av massivtre
- Faktor for elektrisitet og fjernvarme

3.6.1 Endring av massivtreleverandør

Massivtreleverandør er endret for å se hvordan det påvirker resultatet. Splitkon i Norge og Cross Timber System i Latvia er de alternativene som er vurdert mot den originale leverandøren Binderholz i Østerrike. Transportavstanden er holdt konstant, slik at kun utslipp knyttet til produksjon er sammenlignet. Alle leverandørene er fra ulike land, og anses som reelle alternativer.

3.6.2 Endring i betongkvalitet av plasstøpt betong

En stor del av utslippene er knyttet til plasstøpt betong, og det er derfor valgt å se på hvordan endring av den påvirker resultatet. Betongkvaliteten er originalt B30M60 og levert av Unicon. Den er sammenlignet med B20 levert av Ribe Betong og B45 fra Unicon. Også her er transportavstanden holdt konstant.

3.6.3 Endring av hulldekketype

Det er undersøkt hva hulldekketype har å si for resultatet og det er sammenlignet tre varianter. Hulldekkene er originalt Lavkarbon klasse B H200-520, levert av Contiga. Dette er vurdert opp mot en generisk verdi for hulldekker B30, og hulldekker fra Nobi Vass i kvaliteten B45, med lik transportavstand.

3.6.4 Endring av faktor for elektrisitet og fjernvarme

Fjernvarme er originalt lagt inn som «Distriktsoppvarming, Trondheim 2016-2018» med $GWP=0,0363 \text{ CO}_2\text{e/kWh}$. Det er testet mot gjennomsnitt i Norge, og distriktsoppvarming Bergen og Oslo, som vist i tabell 5. Dette viser hvor stor betydning endring i utslippsfaktor har å si for resultatet. Oslo og Bergen er valgt da de er andre store byer i Norge.

Tabell 5 viser ulike gjennomsnittlige distriktsoppvarminger med tilhørende utslippsfaktorer.

Distriktsoppvarming gjennomsnitt	Utslippsfaktor (kg CO ₂ e/kWh)
Trondheim 2016-2018	0,0363
Trondheim (Statkraft 2019)	0,0518
District heat Norway	0,14
Bergen 2016-2018	0,0158
Oslo 2016-2018	0,0138

Tabellen viser inngangsverdier hentet i One Click og én verdi hentet direkte fra Statkraft, leverandør for fjernvarme i Trondheim (79). Verdiene i One Click har stor variasjon og stemmer ikke alltid med verdier oppgitt av leverandører, som kan ses dersom Trondheim (2016-2018) sammenlignes med Trondheim (Statkraft 2019) i tabell 5. Dette kan være fordi One Click ikke har oppdaterte verdier. One Click er likevel brukt som kilde da det ikke er mulig å legge inn andre verdier i programmet.

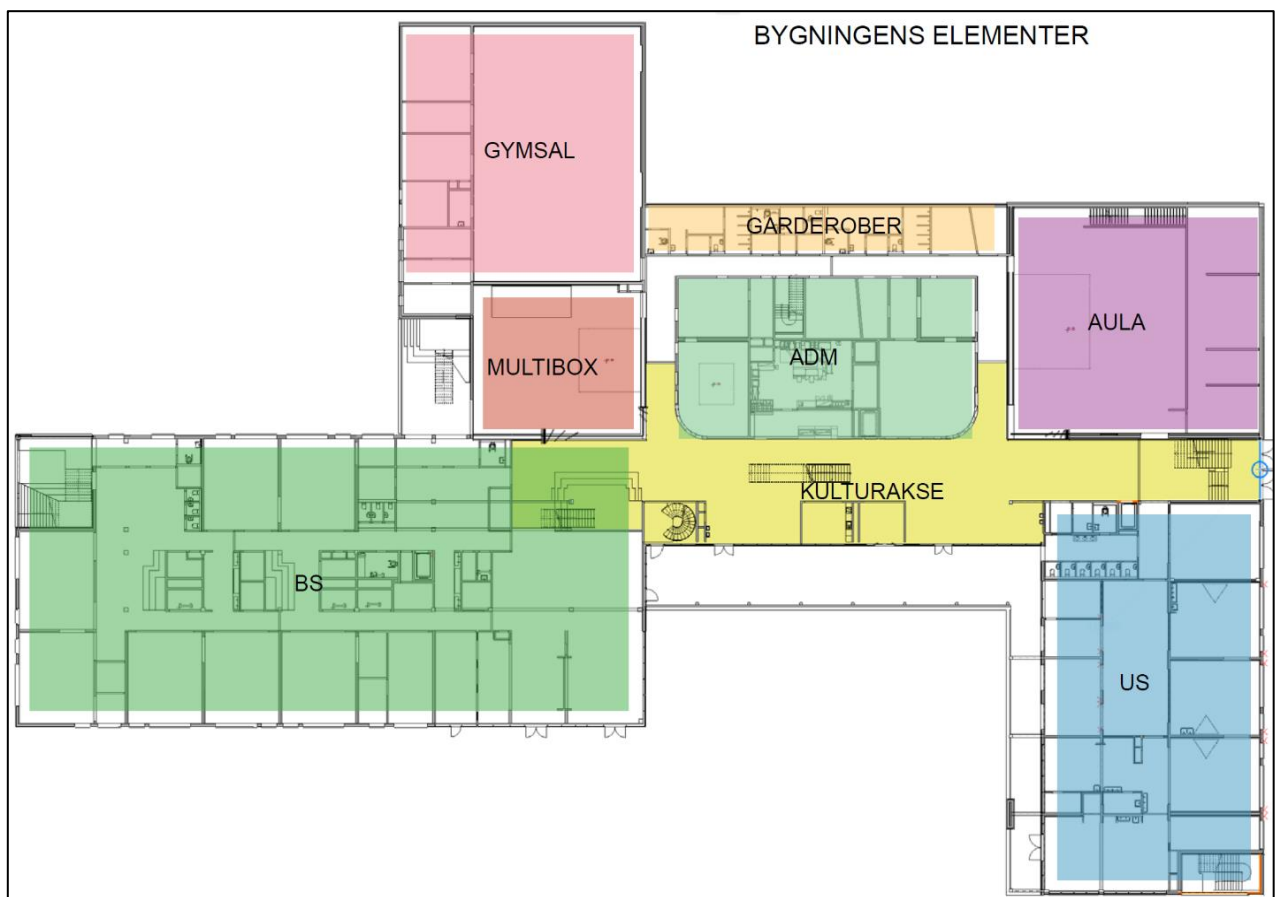
Elektrisitet er lagt inn som «Electricity, Norway» og mengden er 368349 kWt/år. Som alternativ er det lagt inn «Electricity, Europe» og «Elektrisitet Finland 2020-2080» siden Finland har relativt like forhold som Norge.

Tabell 6 viser ulike elektrisitetsscenarioer med tilhørende utslippsfaktorer.

Elektrisitet	Utslippsfaktor (kg CO ₂ e/kWh)
Norway	0,0307
Europe	0,39
Finland	0,0412

4. Forslag til omprosjektering

I dette kapitlet presenteres del to av oppgaven, som går ut på å finne alternative løsninger for skolens materialvalg. Det er valgt å se på fem ulike scenarier for endring. Fire av disse tar for seg hver sine endringer som kunne vært gjennomført i bygget, og det femte scenarioet ser på hvordan disse til sammen kunne bidratt med å redusere de totale utslippene. I scenarioene er det sett på å benytte tog som transportmiddel, trestendere, Lavkarbonbetong, norskprodusert massivtre og å øke bruken av massivtre til fordel for betong. I de følgende avsnittene vil flere av bygningens elementer omtales. Delene av bygget som byr på flest muligheter for endringer, er i kulturaksen, administrasjonsdelen (ADM) og i byggets aula, se figur 24.



Figur 24 viser prosjektert inndeling av bygget.

4.1 Avgrensninger

Ingen av de foreslåtte endringene skal gå på bekostning av byggets funksjoner. Alle scenarioer skal tilfredsstillende de samme kravene som det prosjekterte bygget. Alle endringer er foreslått med tanke på å bedre klimagassutslipp, øvrige forbedringer er ikke hensyntatt. Endringene kan derfor ha negative konsekvenser på for eksempel økonomi, arealutnyttelse og logistikk. Hvilke endringer som er mulige å gjennomføre, er basert på samtaler med prosjektets rådgivere samt opplæring gjennom byggingeniørstudiet, men det garanteres ikke at de er gjennomførbare. Det antas at energikrav og passivhuskrav fortsatt opprettholdes. Kravene de foreslåtte endringene utfordrer, er i all hovedsak akustiske krav og brannkrav. Det vil også være utfordringer knyttet til konstruksjonens statikk. Disse utfordringene er studert nærmere. Ingen av endringene er detaljert utarbeidet med beregninger, men har basert seg på enten preaksepterte løsninger eller samtaler med rådgivere. Mulighetene for å benytte ulike varianter av materiale, med lavere utslipp, er også undersøkt. Av alternative betongteknologier, er kun Lavkarbon undersøkt. Andre betongteknologier er ikke undersøkt i større grad. Ved skifte av materiale, vil det i noen tilfeller medføre endring av elementstørrelse. Feilsøk med tanke på kollisjoner mellom nye og eksisterende elementer ble ikke sjekket med 3D-modell av bygget. Alle foreslåtte endringer er likevel antatt gjennomførbare. Eventuelle økte økonomiske utgifter eller besparelser er ikke tatt i betraktning. Statikk, brannkrav og akustiske krav må sikres ved detaljprosjektering dersom endringene faktisk skal tas i bruk.

4.2 Scenarioer

4.2.1 Original løsning med trestendere og togtransport

I dette scenarioet er det gjort endringer som originalt var planlagt for Huseby skoler. Disse ble justert underveis av ulike årsaker, og gjennom dette scenarioet ønskes det å se hvilken effekt endringene har.

Massivtreet som brukes i skolen skulle i utgangspunktet fraktes på tog fra Østerrike til Trondheim. Det var problemer med logistikk og lessing, og dette gjorde at store deler av trelasten ble fraktet med lastebil istedenfor. Det er ukjent hvor stor del av den totale mengden massivtre som ble fraktet med tog, og hvor mye som ble fraktet med lastebil. Dette anses som et løselig problem. Hvis lessing på stasjon er problematisk, kan lasten plukkes opp på en alternativ stasjon. Dersom alle stasjoner i Trondheim skulle være problematiske, ville det uansett redusere utslipp å kunne frakte med tog til hvor som helst i Norge, og frakte resten av veien med lastebil i stedet. I studentversjonen av One Click er det ikke mulig å legge inn at samme materiale blir fraktet med flere transportmidler. Lastebilene som må brukes til og fra togstasjon er derfor ikke medregnet. I dette scenarioet er alt av massivtre og limtre fra Binderholz fraktet med tog hele strekningen fra fabrikk i Østerrike til byggeplass på Saupstad. Funksjonen «Tog gjennomsnitt» er brukt i One Click da nøyaktig type tog er ukjent.

Flere av stenderne som opprinnelig var planlagt som trestendere ble omprosjektert til stål. Grunnen til dette er ukjent, men kan ha vært på grunn av tekniske føring. Scenarioet viser utelukkende bruk av trestendere gjennom hele bygget. De er beregnet til å ha 17 ganger så stort volum som stålstenderne. Det antas at stålstenderne er u-profiler, lagt dobbelt, med totalt 3 mm tykkelse. Trestenderne antas å være 50 mm brede. Forholdstallet er avrundet til 17. Isolasjonsmengder er ikke endret, selv om overgangen kan ha påvirket mengdene. Det er antatt at dette har liten effekt på regnskapet grunnet den lille endringen og isolasjonens lave utslippstall. I dette scenarioet gjennomføres altså to endringer: materialbytte og transportmiddelbytte.

4.2.2. Lavkarbonbetong

Dette scenarioet viser bygget når all betongen er skiftet ut med Lavkarbon Pluss og Lavkarbon A for å minske utslippene knyttet til betongen. Hulldekkene og annen prefabrikkert betong er byttet til Lavkarbon A, og ferdigbetong er byttet til Lavkarbon Pluss. Lavkarbon Pluss må støpes utenom

vinterstid for å unngå for lave temperaturer som kan påvirke herdingsprosessen. Ideelt sett bør Lavkarbon Pluss benyttes i tykkere konstruksjoner da betongens varme ved leveringstidspunkt kan være nok til å holde på varmen, i tillegg til å sette i gang herdeprosessen. Tynnere konstruksjoner vil kreve tilført varme i form av forhåndsoppvarming av forskaling og videre oppvarming det første døgnet. Dette anses som mulig å gjennomføre selv om det kan påvirke fremdriften. Lavkarbon Ekstrem er ansett som usannsynlig å bruke som ferdigbetong fordi den krever større tiltak, men det utelukkes ikke at denne kan brukes med større tilpasninger. Tiltakene ville i stor grad vært de samme som for Lavkarbon Pluss, men av større omfang.

EPD-ene i One Click er ikke komplette innenfor dette feltet, og programmet mangler flere alternativer som kunne blitt benyttet. Det er derfor valgt de som ligger nærmest den ønskede betongkvaliteten. For ferdigbetong er Norsk Betongforenings Lavkarbon Pluss benyttet. Dette er ikke en konkret betong, men et eksempel på en betong som overholder kravet til denne kategorien. Denne er B45 M45/MF45. I One Click finnes ikke prefabrikkerte elementer i Lavkarbon Pluss, så her er det brukt Lavkarbon A.

4.2.2 Norsk massivtre

I dette scenarioet er alt av massivtre i bygget byttet ut med massivtre fra Splitkon på Åmot. Dette er den eneste norske massivtreprodusenten som er tilgjengelig i One Click. I tillegg er alt av limtre byttet ut med limtre fra Moelven, det norske alternativet med lavest utslipp i One Click. I det prosjekterte bygget er massivtre og limtre produsert av Binderholz i Østerrike. Disse byttene er ansett som gjennomførbare. For å vurdere om det ene materialet er bedre enn det andre, er materialenes EPD-er gransket, og GWP-verdiene til materialene sammenlignet. Dette vises i tabell 7 og tabell 8. EPD-ene er innbyrdes sammenlignbare siden de er basert på samme kjerne-PCR, EN 15804 «Bærekraftige byggverk – Miljødeklarasjoner – Grunnleggende produktkategoriregler for byggevarer». I tabellene er ikke spesifikk transport til byggeplass inkludert.

Det fremkommer av tabell 7, at GWP for materialene er relativt like når modulene A-C betraktes. Splitkon har en litt lavere verdi. Dersom modul D inkluderes kan det ses at Binderholz kommer desidert best ut. Disse tallene sannsynliggjør at D-modulen i de to EPD-ene viser ulike sluttscenarioer.

Tabell 7 viser GWP for massivtre fra Binderholz og Splitkon. X representerer at utslippene til modulen ikke er vurdert i EPD-en, men er antatt til å være 0. (Vedlegg 6).

GWP (Massivtre)							
Produsent	A1-A5	B1-B7	C1-C4	Sum A-C	D	Sum A-D	Enhet
Binderholz	-652,96	X	766,55	113,59	-412,0	-298,41	kg CO ₂ e
Splitkon	-593,87	0	700,55	106,68	-30,3	76,38	kg CO ₂ e

Når det kommer til limtre, tilsier tabell 8 at limtre fra Binderholz presterer bedre enn Moelven både på modulene A-C, og modulene A-D.

Tabell 8 viser GWP for limtre fra Binderholz og Moelven. X representerer at utslippene til modulen ikke er vurdert i EPD-en, men er antatt til å være 0. (Vedlegg 6).

GWP (Limtre)							
Produsent	A1-A5	B1-B7	C1-C4	Sum A-C	D	Sum A-D	Enhet
Binderholz	-634,92	X	749,54	114,62	-395,0	-280,38	kg CO ₂ e
Moelven	-643,99	0	793,32	149,33	-338,0	-188,67	kg CO ₂ e

Ved å bytte produsent fra Binderholz til Splitkon reduseres transportavstanden fra 2230 km til 523 km. Dette reduserer transportutslippene drastisk. Ved å benytte limtre fra Moelven reduseres transportavstanden fra 2230 km til 7,2 km.

4.2.3 Delvis utskifting av betong til massivtre

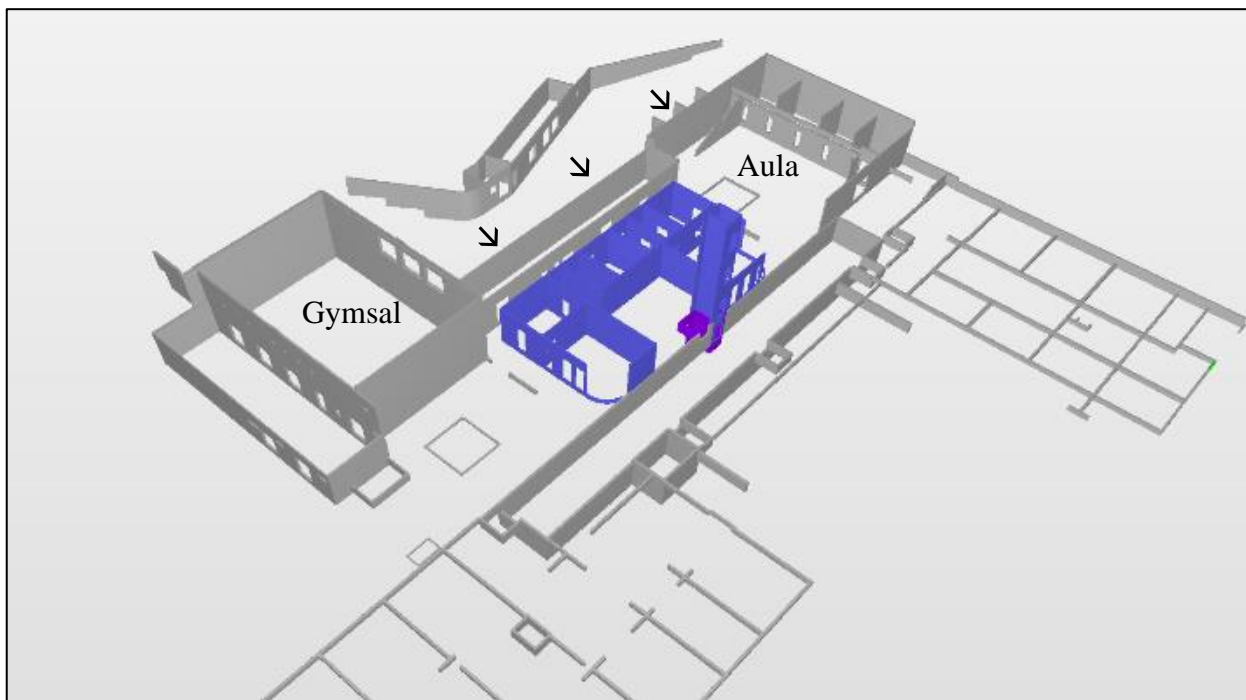
I dette scenarioet skiftes deler av byggets betong ut med massivtre. Etter samtale med flere av rådgiverne involvert i prosjekteringen av Huseby skoler, kom det frem at flere mente materialvalgene kunne være annerledes med tanke på eget fagfelt. Det ble påpekt at valgene antakeligvis var gjort med hensyn til andre fagfelt.

Betong- og stålelementene ansett som mest aktuelt å bytte ut. Endringene vises i tabell 9.

Tabell 9 viser forslagene til endringer for dette scenarioet.

Prosjektert løsning	Forslag til endring
Bærende betongvegger rundt musikkrom og heissjakt i kulturaksen.	Massivtrevegger med ekstra påføring for akustiske krav.
Betong- og stålsøyler	Limtresøyler
Plasstøpt betongplate over musikkrom og kjøkken i kulturakse.	Massivtredekker med tiltak for spennvidder.
Innvendig betong i Aula	Massivtre med tiltak for spennvidder og bæreevne
Betongtrapper	Massivtretrapper
Trapper i rustfritt stål	Massivtretrapp

Utfordringene ved bruk av massivtre i bygget, er hovedsakelig jordtrykk og lydkrav. I kulturaksen er det både musikkrom og kontorer. Vegger og dekker har derfor krav om $R_w=60$ dB. Det vil være et horisontalt jordtrykk på byggets vestside som vist ved hjelp av piler på figur 25.



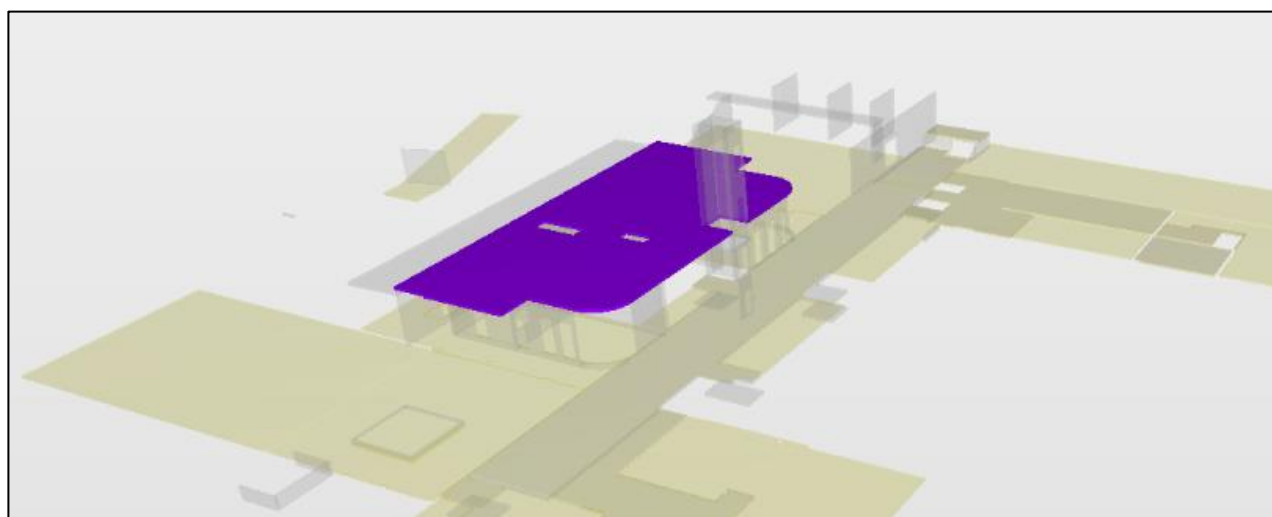
Figur 25 viser hvilke vegger som ble omgjort til massivtre, markert i blått og lilla. Pilene antyder jordtrykket som presser mot byggets vestside som følge av at terrenget er høyere på vestsiden enn østsiden. (Skjermbilde fra Solibri).

Figur 25 viser veggene som er skiftet ut med massivtre i kulturaksen, markert i blått og lilla. Tanken bak dette valget er at betongveggene som er i direkte kontakt med det horisontale jordtrykket forblir betongvegger, og de bærende betongveggene i kulturaksen, som tar opp vertikalt trykk og oppfyller lydkrav, er endret til massivtre.

I den prosjekterte løsningen er det støpt betong på utearealene, som bidrar til ekstra jordtrykk. Dette kan byttes ut med lettere materialer for å minske trykket. Når det kommer til heissjakten, er det undersøkt noe lignende er utført i massivtre tidligere, og hvilke kriterier som følger med. Dette viser seg å være mulig, siden høyden på sjakten ikke overstiger 15 meter (80).

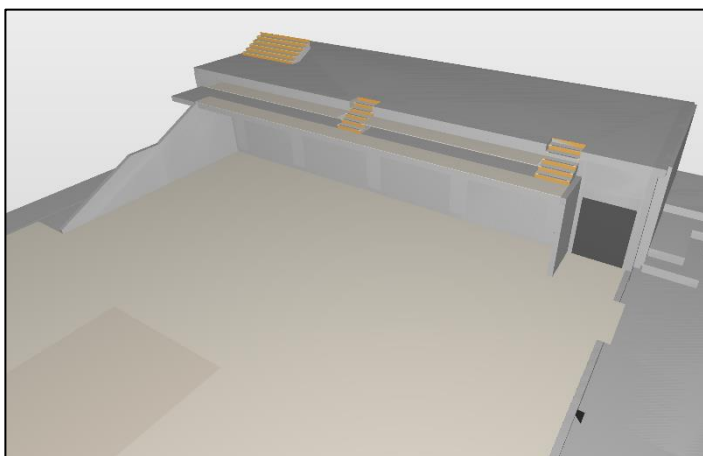
Ettersom bygget befinner seg i brannklasse 2, er det preakseptert med et bæresystem i brennbare materialer. Dermed kan bygget ha et hovedbæresystem i tre, noe som medfører at alle trapper kan utføres i tre, så lenge de har en bæreevne tilsvarende R30. Gjennom samtale med RIBr kom det frem at det er gjennomført en grundig vurdering i samråd med akustiker og arkitekt for å vurdere kledning og brannbeskyttelse av massivtre. Ved forslag om endring fra betongvegg til massivtrevegg, er utforming med hensyn til brannkrav utført med samme metode som allerede var benyttet for eksisterende massivtrevegger i bygget. I brannklasse 2 er det krav til R60, noe som medfører at veggflater trenger påføring på minst én side for å sikre en restkapasitet for bæreevne etter forkulling. (Se vedlegg 9)

En annen utfordring med massivtre er spennvidder. Dette er spesielt utfordrende for dekket over kjøkkenet. Kjøkkenet har musikkrom på hver side, og befinner seg midt under det lilla dekket på figur 26. Spennviddene på kjøkkenet er 9,8 meter i lengden og 6,5 meter i bredden, der massivtredekker tåler spennvidder opptil sju meter. Ved tiltak som for eksempel ribbedekker kan



Figur 26 viser det prosjekterte plasstøpte betongdekket (her markert i lilla) som foreslås å skiftes ut til massivtre.

spennvidden økes. De resterende etasjedekkene i kulturaksen er utført i prefabrikkerte betongdekker. Det antas at grunnen til at akkurat dette dekket er utført i plasstøpt betong er relatert til at det ligger i plan med bakkenivå på byggets vestside, og bidrar til å ta opp horisontale krefter fra jordtrykket. De prefabrikkerte hulldekkene anses som mindre problematiske å bytte ut, da disse ikke ligger i plan med bakken. Denne endringen er det litt tvil rundt, med antas likevel som mulig ved nærmere studie av tiltak for å møte utfordringene.

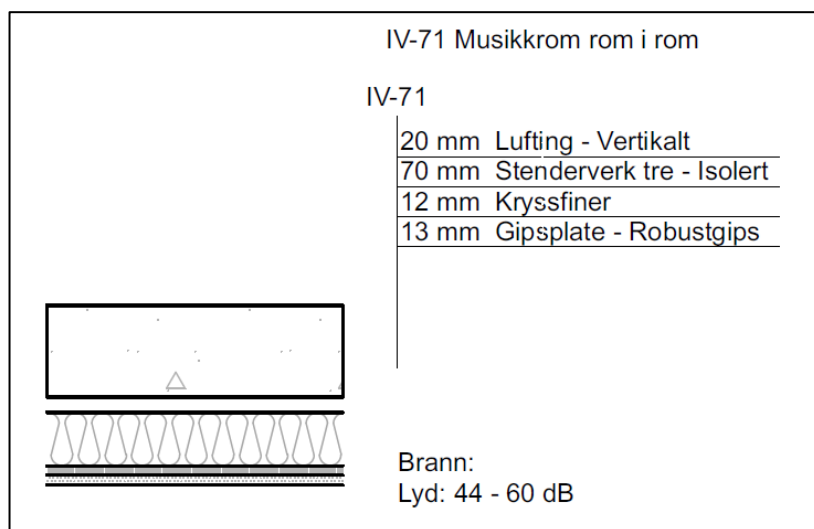


Figur 27 viser de indre veggene og dekkene av betong i aulaen, som er foreslått endret til massivtre.

I bygningens aula er ytterveggene bevart som betong, og indre, bærende vegger er omgjort til massivtre. Her benyttes samme fremgangsmåte som ved utskifting av de bærende veggene i kulturaksen. De ytre veggene som tar opp jordtrykket beholdes, mens de indre veggene og dekkene byttes ut med massivtre.

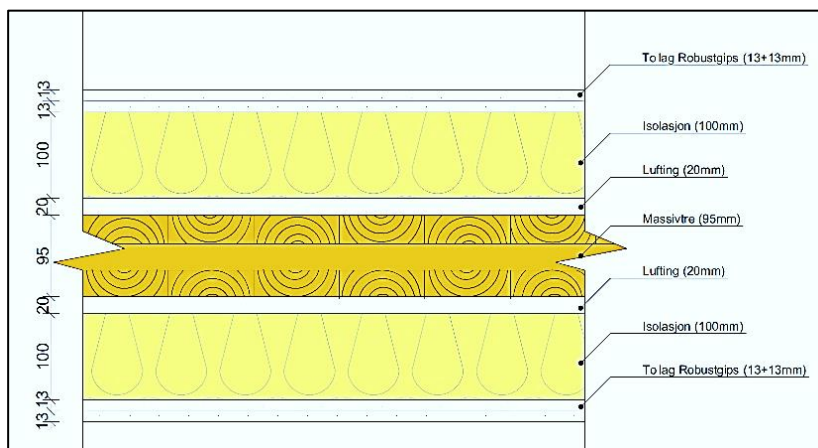
For å se nærmere på hvordan utskiftningen vil påvirke utslippene og hva som må gjøres for å nå kravene til akustikk, er det sett på en konkret vegg som eksempel, vist på figur 29. Mellom musikkrommene i kulturaksen er det krav om $R'_w = 60$ dB, det strengeste lydkravet i bygget. Derfor er denne valgt som eksempel. Lydkravet kan enklere nås med betong i konstruksjonen,

men er også mulig å oppnå med massivtre, ved økt bruk av gips og isolasjon, i tillegg til delt fundament. Etter samtale med Huseby skolars rådgiver innen akustikk, er det kommet frem til en veggløsning i massivtre som kan nå kravet, vist på figur 29 (vedlegg 9). Den prosjekterte vegg i



Figur 28 viser et snitt av prosjektert vegg. Vegg inneholder 95 mm betong i tillegg til materialene som er listet opp i figuren.

betong og det nye forslaget med massivtre, er derfor lagt inn i One Click for å sammenligne utslippene disse gir i en to meter lang vegg. I dette eksempelet er det valgt massivtre fra Splitkon, mens isolasjon, stenderverk og gipsplater forblir de samme materialene, med samme leverandører som i beregningen av det prosjekterte bygget.



Figur 29 viser hvordan den samme veggen vil se ut dersom den utføres i massivtre og skal møte de samme kravene.

Denne løsningen gir ikke synlig massivtre, noe som ofte er ønskelig i norske massivtrebygg.

4.2.4 Sammenslått løsning

I dette scenarioet er alle de tidligere scenarioene sammenslått, og de mest positive endringene videreført for å vise hvor stor endringen i totalt klimagassregnskap kan bli. Når det gjelder utskiftingen av betong flere steder i bygget, medfører flere av endringene utfordringer knyttet enten til arealbruk, akustikk, eller tyngde og stivhet i forbindelse med statikk. I stedet for å utrede alle materialene i bygget, er det fokusert på å bytte ut materialene som har størst utslipp. I dette scenarioet er bruken av norsk massivtre videreført, til tross for at utslippene tilsynelatende blir høyere. Begrunnelsen for dette valget er spørsmålet om EPD-ene til enten Binderholz eller Splitkon er misvisende med tanke på modul D. På andre områder er utslippene ganske like. Derfor stilles det spørsmål ved de tilsynelatende høye verdiene til norsk massivtre. Full oversikt over endringene, med programmets navn for materialer, vises i tabell 10.

Tabell 10 viser hvilke endringer som ble gjennomført. Alle tall er hentet fra materialenes EPD i One Click.

Prosjekttert (OC-materiale)	Utslipp[kg CO ₂ e/m ³]	Endring, (OC-materiale)	Utslipp[kg CO ₂ e/m ³]
Stålstendere (Strukturelle stålprofiler, generisk 90% resirkulert materiale)	5805,05	Trestendere (Høvellast, bartre)	53
Betongsøyler (Betongsøyle 250-700mm (Contiga))	426,18	Limtresøyler (Glue Laminated Timber (Østerrike))	459
Stålsøyler (Stål, kaldvalsede hulprofiler(Contiga))	20567	Limtresøyler (Glue Laminated Timber (Østerrike))	459
Innvendig betong i Aula (Ferdigbetong, ekskludert armeringsstål (B30 M60))	214	Delvis byttet ut med massivtre. (Krysslime tre (Splitkon))	90,3
Betongdekker, vegger og heissjakt – plasstøpt (Ferdigbetong, ekskludert armeringsstål (B30 M60))	214	Massivtre dekker, vegger og heissjakt. (Krysslime tre (Splitkon))	90,3
Massivtre fra Binderholz (Østerrike og Tyskland) ((Cross Laminated Timber (CLT), Brettsperrholz BBS (spruce))	191,34	Norsk massivtre (Krysslime tre (Splitkon))	90,3
Transport fra Østerrike og Tyskland med lastebil	-	All transport fra Østerrike og Tyskland med tog.	-

5. Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene for klimagassberegningen Huseby skoler slik det er prosjektert. I tillegg presenteres resultatene for alle scenarioene, sammenlignet mot prosjektert bygg. De totale utslippene, samt utslipp fordelt på livssyklusstadier og ressurstyper presenteres. Alle tabellene vises for hvert enkelt scenario og prosjektert bygg, og alle tall er hentet fra One Click. Resultatene oppsummeres i en sammenligningstabell. Til slutt presenteres resultatene fra følsomhetsanalysen.

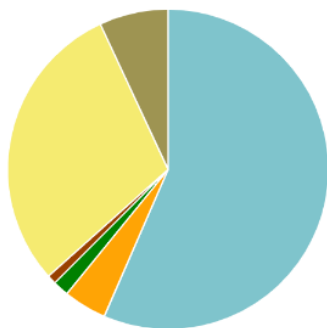
5.1 Klimagassberegning for Huseby Skoler (Prosjektert bygg)

Det prosjekterte bygget slipper totalt ut 6279 tonn CO₂-ekvivalenter. Det tilsier 337 kg per kvadratmeter av skolen. Dersom dette deles på beregningsperioden som er 60 år, vil det si at skolen slipper ut åtte CO₂-ekvivalenter per kvadratmeter i året, gjennom hele byggets levetid.

Tabell 11 viser det prosjekterte byggets samlede klimagassutslipp.

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Resultatene presentert i tabell 12 viser at den største andelen av utslippene fra det prosjekterte bygget stammer fra materialene, fase A1-A3 med 56,52 % av utslippene.



Tabell 12 viser resultater for det prosjekterte bygget, fordelt på livssyklusstadier.

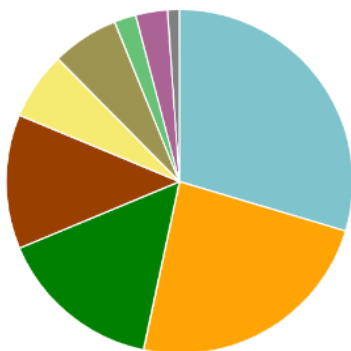
Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Slutten på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

Videre kommer det frem at energi er den nest største utslippskilden med 29,65 % av de totale utslippene, etterfulgt av fasen som representerer livsløpets slutt med sine 6,94 %. B1-B5 «Vedlikehold og utskiftning» står ut som den fasen med minst utslipp, med 0,94 % av de totale utslippene.

I tabell 13 vises utslippene fordelt på ressurstyper. Det kommer frem at «energi og vann» utgjør en vesentlig andel, med samme verdi som tidligere, 1 862 029,18 kg CO₂e. Betong er det materialet med størst utslipp på 23,68 %, etterfulgt av tre med 15,35 %. Dette til tross for at det er en mindre mengde betong i bygget. Det er 6375,1 m³ betong, og 6551,6 m³ tre. Installasjoner og systemer utgjør en forholdsvis stor prosent med 6,34 %. Stål og andre metaller bidrar til 12,62 % av utslippene i bygget og volumet av dette er 145,3 m³.

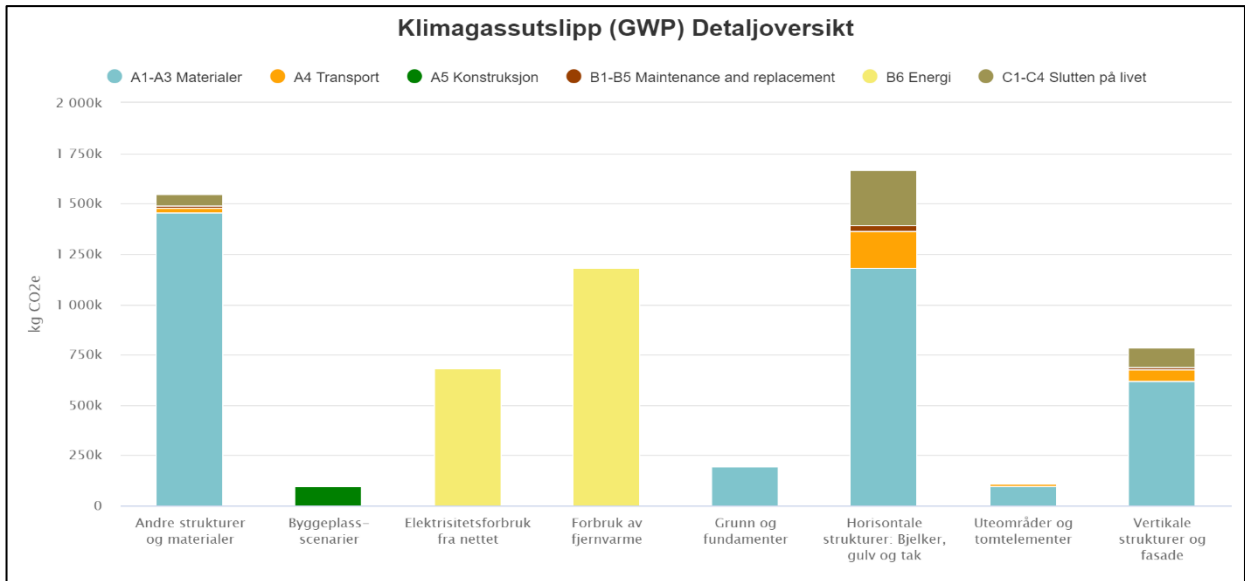
Tabell 13 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.

- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%



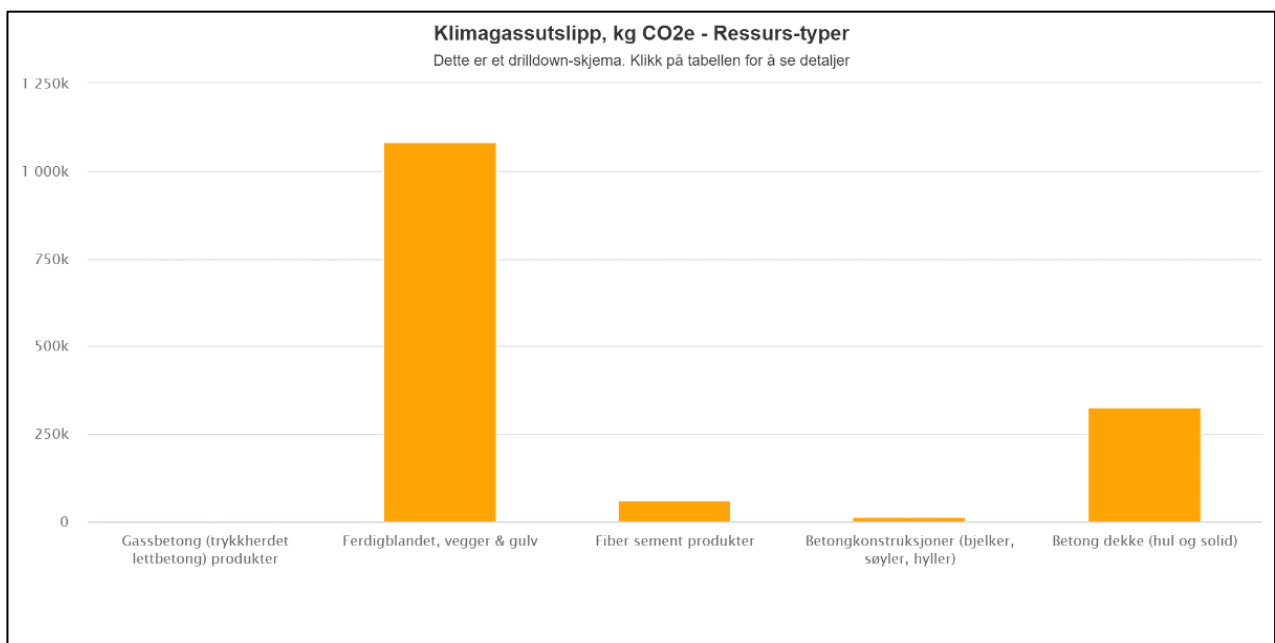
Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199,07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Figur 30 viser en oversikt over klimagassutslipp i GWP. Figuren viser livssyklusmodulene representert med farger, og kg CO₂e fremkommer fra høyden på søylene, som igjen er delt inn i bygningsdeler. Figuren viser at det er «horisontale strukturer, bjelker, gulv og tak» som har de største utslippene, og livssyklusfasene som utpeker seg fra denne søylen er modul «A1-A3» som representerer materialer, «A4 transport» utgjør en stor del av denne søylen, og «C1-C4 Slutten på livet». «Andre strukturer og materialer» med 1525 tonn utgjør nest størst utslipp, der materialene har størst utslipp, med sin store andel av blått i søylen.



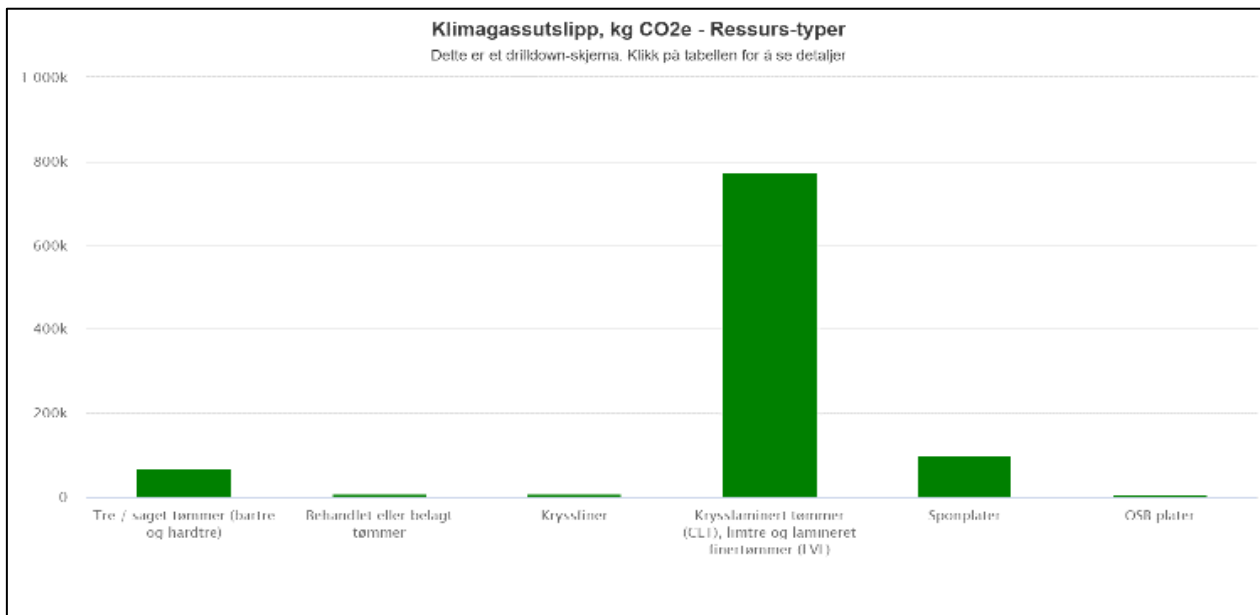
Figur 30 viser klimagassutslipp i GWP.

Figur 31 viser utslippsandelen til de forskjellige betongtypene. Her vises tydelig at ferdigblandet betong for vegger og gulv er den typen som har mest utslipp. Det er totalt 6375 m³ betong i bygget, og av dette er 4681,8m³ ferdigbetong. Det er altså ferdigbetong som er den største andelen. Ferdigblandet betong er benyttet i alle andre betongelementer enn hulldekker av prefabrikkert betong. Betongdekke (hul og solid) viser derfor kun utslippene til de prefabrikkerte elementene.



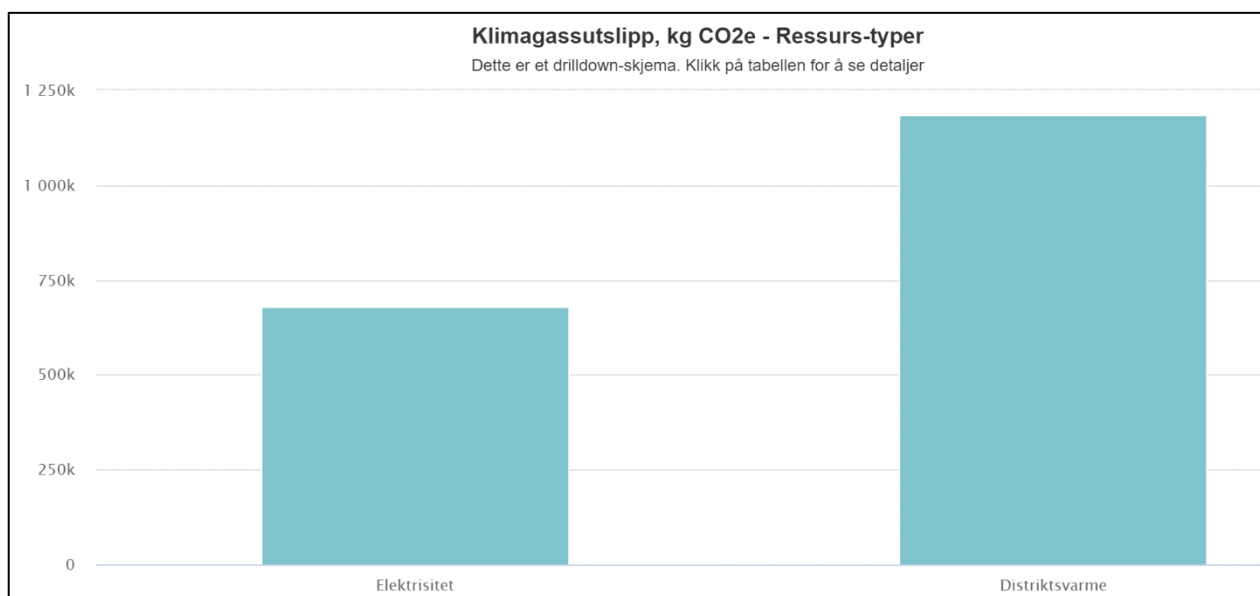
Figur 31 viser klimagassutslipp fra betong fordelt mellom de ulike betongtypene.

Ved å betrakte figur 32 kommer det tydelig frem at det er krysslaminert tømmer som står for den største delen av utslippene fra andelen «tre». Dette har sammenheng med de store mengdene limtre og massivtre i bygget. Sponplater viser nest størst utslipp med omtrent 100 tonn, etterfulgt av bartre og hardtre som benyttes i alle stendere, lekter, trespiler og sløyfer i bygget.



Figur 32 viser utslipp fra tre fordelt på de ulike trematerialene.

Skolens energiforbruk er fordelt på elektrisitet og distriktsvarme. Figur 33 viser at distriktsvarme utgjør en større del av utslippene enn elektrisitet. Distriktsvarme står for rundt 1200 tonn CO₂e, og elektrisitet står for rundt 700 tonn CO₂e.



Figur 33 viser utslipp knyttet til energiforbruk.

Skolens klimagassutslipp med livssyklusfaser og ulike påvirkningskategorier er vist i figur 34. Første resultatkolonne viser utslipp i kg CO₂e, og videre bortover vises forsuring av havet, overgjødning, potensial for nedbryting av ozonlaget, samling av ozon i atmosfæren og total bruk av fossil energi. Modul D vises med negative tall, fordi disse representerer materialgjennbruk og vil da ha en negativ utslippsverdi, altså en positiv innvirkning i form av sparte utslipp i fremtiden. De nederste radene i tabellen viser resultater per nevner. Med dette menes resultater fordelt på areal og fordelt på brukere.

Sektor	Klimagassutslipp kg CO ₂ e	Acidification kg SO ₂ e	Eutrophication kg PO ₄ e	Ozone depletion potential kg CFC11e	Formation of ozone of lower atmosphere kg Ethenee	Total use of primary energy ex. raw materials MJ
A1-A3 Byggematerialer	3 549 170,7	11 644,93	3 858,31	0,21	3 281,37	74 815 628,27
A4 Transport til byggeplassen	273 708,1	1 202,07	261,48	0,05	17,18	7 545 052,27
A5 Byggeplass	100 130,58	420,2	173,64	0,01	52,83	6 209 207,2
B1-B5 Maintenance and material replacement	58 830,93	447,51	89,71	0	236,79	6 917 687,7
B6 Energibruk i drift	1 862 029,18	5 180,52	1 034,36	0,31	286,84	137 313 131,68
C1-C4 Livsløpets slutt	435 545,28	913,16	212,18	0	79,66	2 439 570,13
D Utover livsløp (ikke inkludert i totalen)	-2 315 806,68	-3 233,92	-646,68	-0,01	-351,44	-35 723 920,7
Total	6 279 414,77	19 808,42	5 629,67	0,59	3 954,66	235 240 277,25
Resultater per nevner						
Bruttoareal (BTA), Norway 13688.0 m ²	458,75	1,45	0,41	0	0,29	17 185,88
Brutto internt gulvareal (IPMS / RICS), m ² 12800.0 m ²	490,58	1,55	0,44	0	0,31	18 378,15
Antall brukere 1250.0	5 023,53	15,85	4,5	0	3,16	188 192,22
Oppvarmet bruksareal (oppv. BRA), Norway 13688.0 m ²	458,75	1,45	0,41	0	0,29	17 185,88

Figur 34 viser byggets ulike utslipp basert på ulike miljøpåvirkninger

5.2 Original løsning med trestendere og togtransport

I denne løsningen har de totale utslippene sunket sammenlignet med det prosjekterte bygget. De samlede utslippene reduseres med 16 kg CO₂e/m². Denne løsningen har utslipp på 6069 tonn CO₂e sammenlignet med prosjektert bygg sine 6279 tonn. Det er en reduksjon på 210 tonn CO₂e, og 3,3 %. Utslippene vist i kg CO₂e/m²/år forblir det samme, 8 CO₂e/m²/år.

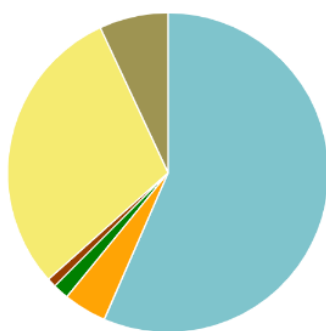
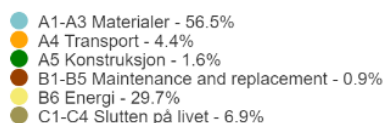
Tabell 14 viser prosjektert byggs samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Tabell 15 viser scenarioets samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Org. løsning)	
CO ₂ e/m ² [kg]	321
CO ₂ e [t]	6069
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

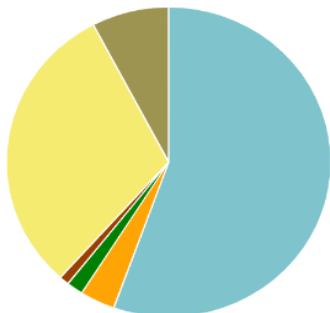
Utslipp knyttet til materialer synker med 180 141 kg CO₂e, noe som tilsvarer en reduksjon på 5 % av materialenes utslipp. Transport alene går ned 61 086,55 kg CO₂e, altså 22,3 %. Modul A5 «Konstruksjon», B1-B5 «Vedlikehold og utskiftning» samt B6 «Energi» er uendret. Utslippene ved livsløpets slutt øker med 30 631,88, en økning på 6,5 %. Dette vises på tabell 16 og tabell 17.



Tabell 16 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Slutten på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

- A1-A3 Materialer - 55.5%
- A4 Transport - 3.5%
- A5 Konstruksjon - 1.6%
- B1-B5 Maintenance and replacement - 1.0%
- B6 Energi - 30.7%
- C1-C4 Slutten på livet - 7.7%



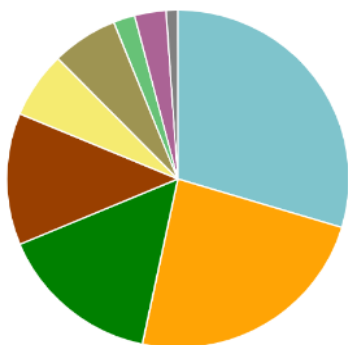
Tabell 17 viser resultater for original løsning med trestendere og frakt med tog.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Org. løsning)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 369 029,47	kg CO ₂ e	55,51%
A4 Transport	212 621,55	kg CO ₂ e	3,5%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,65%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,97%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	30,68%
C1-C4 Slutten på livet	466 177,16	kg CO ₂ e	7,68%

Resultatene, vist i tabell 18 og tabell 19, viser at fordelingen mellom ressurstyper er relativt lik prosjektert løsning. Forskjellen er at stål og andre metaller utslipp er redusert med 215 916,18 kg CO₂e, tilsvarende 27,2 %. Utslipp tilknyttet treverk har økt med 5 320,28 kg, tilsvarende 0,5 %.

Tabell 18 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.

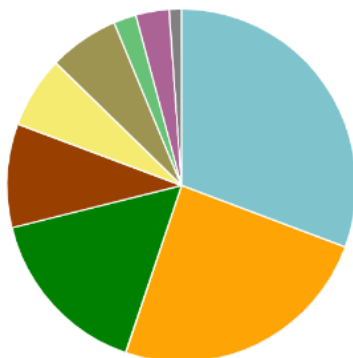
- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199,07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Tabell 19 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for original løsning med trestendere og frakt med tog.

- Energi og vann - 30.7%
- Betong - 24.5%
- Tre - 16.0%
- Stål og andre metaller - 9.5%
- Installasjoner og systemer - 6.6%
- Isolasjon - 6.5%
- Dører, vinduer, delere - 2.1%
- Andre ressurstyper - 3.1%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Org. løsning)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	30,68%
Betong	1 487 199, 07	kg CO ₂ e	24,51%
Tre	968 911,04	kg CO ₂ e	15,97%
Stål og andre metaller	576 842,64	kg CO ₂ e	9,51%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,56%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,47%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,11%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	3,09%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,12%

5.3 Bruk av Lavkarbonbetong

Resultatene av de totale utslippene reduseres ved bruk av Lavkarbonbetong. Verdiene for CO₂e/m² går ned med 12 kg. Utslippene målt i tonn CO₂e er redusert med 154 tonn, noe som er en reduksjon på 2,4 %.

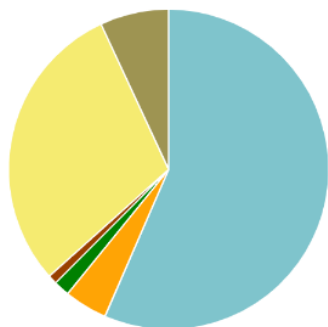
Tabell 20 viser prosjektert byggs samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Tabell 21 viser scenarioets samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Lavkarbon)	
CO ₂ e/m ² [kg]	325
CO ₂ e [t]	6125
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

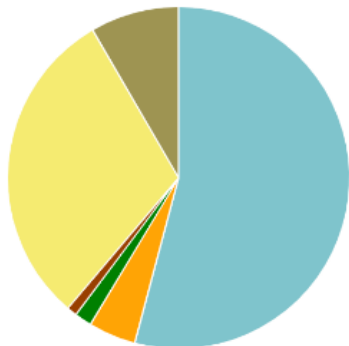
Tabell 22 og tabell 23 viser at utslipp knyttet til A1-A3 materialer går ned med 233 007,03 kg, en reduksjon på 6,5 %. Transport øker med 1 661,55 kg CO₂e. Det tilsvarer 0,6 % økning i totale transportutslipp. I tillegg øker utslippene knyttet til livsløpets slutt med 77 389,98 kg CO₂e tilsvarende 18 %.



Tabell 22 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Slutten på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

- A1-A3 Materialer - 54.1%
- A4 Transport - 4.5%
- A5 Konstruksjon - 1.6%
- B1-B5 Maintenance and replacement - 1.0%
- B6 Energi - 30.4%
- C1-C4 Slutten på livet - 8.4%

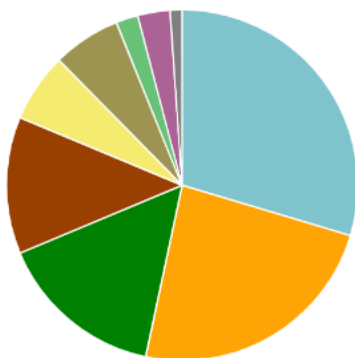


Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Lavkarbon)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 316 163,67	kg CO ₂ e	54,14%
A4 Transport	275 369,95	kg CO ₂ e	4,50%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,63%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,96%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	30,40%
C1-C4 Slutten på livet	512 935,26	kg CO ₂ e	8,37%

Tabell 23 viser resultater for løsning med Lavkarbonbetong.

I dette scenarioet viser tabell 24 og tabell 25 at betongutslippene reduseres 155 613,36 kg CO₂e tilsvarende 10,4 % av betongutslippene i prosjektert bygg. Utslipp knyttet til stål øker med 1 658,15 kg CO₂e.

- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%

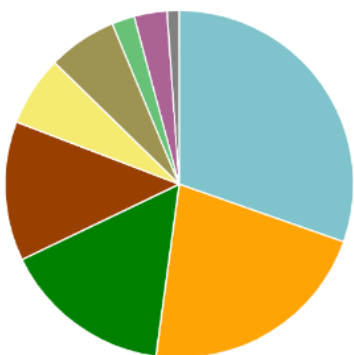


Tabell 24 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressenser.

Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199,07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Tabell 25 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løøsning med Lavkarbonbetong.

- Energi og vann - 30.4%
- Betong - 21.7%
- Tre - 15.7%
- Stål og andre metaller - 13.0%
- Installasjoner og systemer - 6.5%
- Isolasjon - 6.4%
- Dører, vinduer, delere - 2.1%
- Andre ressurstyper - 3.1%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Lavkarbon)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	30,40%
Betong	1 331 585,71	kg CO ₂ e	21,74%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,73%
Stål og andre metaller	794 416,97	kg CO ₂ e	12,97%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,50%
Isolasjon	392 453,90	kg CO ₂ e	6,41%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,09%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	3,06%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,11%

5.4 Bruk av norsk massivtre og limtre

Resultatene tilsier at å erstatte massivtre og limtre fra Østerrike med norskprodusert massivtre og limtre vil gi økte utslipp av klimagasser. Tabellene 26 og 27 sammenlignet viser at de totale utslippene øker med 10 kg CO₂e/m² og totalt 126 tonn CO₂e (2 %), dersom Splitkon benyttes som massivtreleverandør og Moelven er limtreleverandør.

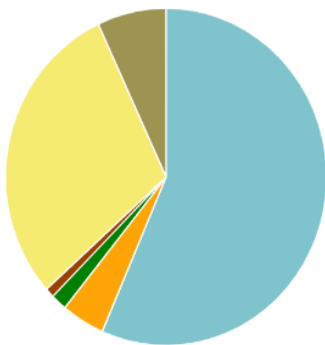
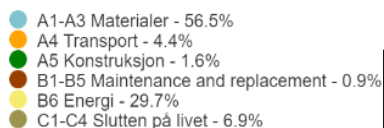
Tabell 26 viser prosjektert byggs samlede

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Tabell 27 viser scenarioets samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Norsk massivtre)	
CO ₂ e/m ² [kg]	347
CO ₂ e [t]	6405
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

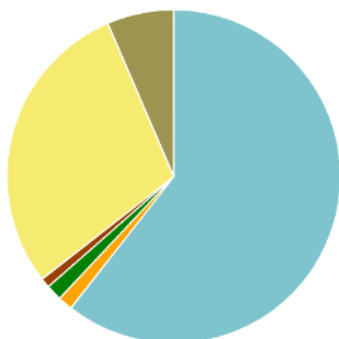
Tabellene 28 og 29 viser at reduksjonen i transportavstand medfører at de totale utslippene knyttet til transport reduseres med 183 028, 29 kg CO₂e, en nedgang på 66,8 %. Dette gjør likevel ikke opp for de økte utslippene knyttet til materialer, på 330 312,21 kg CO₂e, en økning på 9,3 % sammenlignet med utslippene for det prosjekterte bygget.



Tabell 28 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Slutten på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

- A1-A3 Materialer - 60.6%
- A4 Transport - 1.4%
- A5 Konstruksjon - 1.6%
- B1-B5 Maintenance and replacement - 0.9%
- B6 Energi - 29.1%
- C1-C4 Slutten på livet - 6.5%



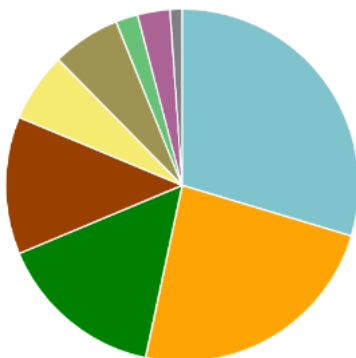
Tabell 29 viser resultater for løsning med norsk massivtre og limtre.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Norsk massivtre)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 879 482,91	kg CO ₂ e	60,57%
A4 Transport	90 679,81	kg CO ₂ e	1,42%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,56%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 830,93	kg CO ₂ e	0,92%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,07%
C1-C4 Slutten på livet	414 241,11	kg CO ₂ e	6,47%

Den totale mengden massivtre er 5752,78 m³ og det er dette som byttes ut i dette scenarioet. Ved å betrakte ressurstypene i dette scenarioet kan det sees at utslipp knyttet til tre øker med 125 979,75 kg CO₂e og 13 % sammenlignet med utslippene fra tre i prosjektert bygg. De andre ressurstypene forblir uendret, se tabell 30 og tabell 31.

Tabell 30 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.

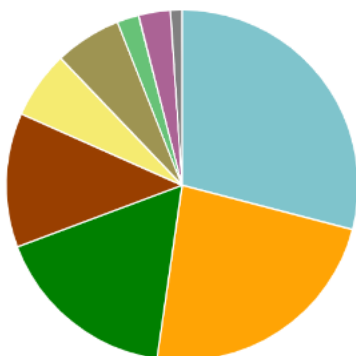
- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199, 07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Tabell 31 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løsning med norsk massivtre og limtre.

- Energi og vann - 29.1%
- Betong - 23.2%
- Tre - 17.0%
- Stål og andre metaller - 12.4%
- Installasjoner og systemer - 6.2%
- Isolasjon - 6.1%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 2.9%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Norsk massivtre)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,07%
Betong	1 487 199,07	kg CO ₂ e	23,22%
Tre	1 089 570,51	kg CO ₂ e	17,01%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,38%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,21%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,13%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,00%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,92%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,06%

5.5 Delvis utskifting av betong til massivtre

Ved å bytte ut deler av betongen til massivtre viser resultatene at totale utslipp senkes med 22 kg CO₂e/m². CO₂e reduseres med 274 tonn, et kutt på 4,3 %.

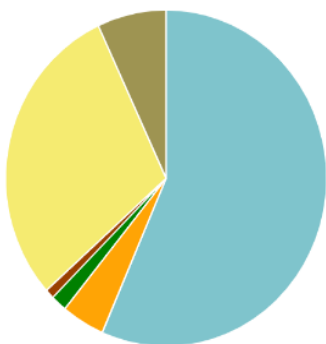
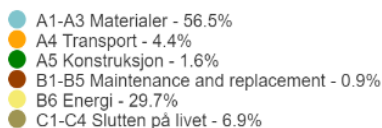
Tabell 32 viser prosjektert byggs samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Tabell 33 viser scenarioets samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Betong/massivtre)	
CO ₂ e/m ² [kg]	315
CO ₂ e [t]	6005
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

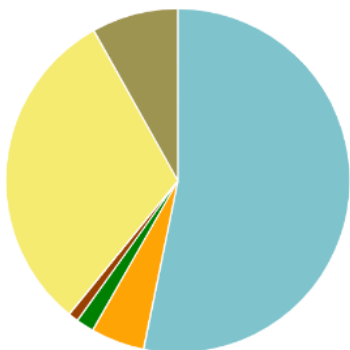
Materialenes utslipp reduseres med 352 842,76 kg CO₂e, tilsvarende 9,9 %, mens transportutslipp øker med 28 971,7 kg CO₂e, tilsvarende 10 % sammenlignet med prosjektert bygg, se tabell 34 og tabell 35. Vedlikehold og utskifting reduseres med 1 063,3 kg CO₂e, en reduksjon på 1,8 %, mens utslippene ved slutten på livet (C1-C4) øker med 51 870,08, tilsvarende 11 %.



Tabell 34 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskifting	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Slutten på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

- A1-A3 Materialer - 53.2%
- A4 Transport - 5.0%
- A5 Konstruksjon - 1.7%
- B1-B5 Maintenance and replacement - 1.0%
- B6 Energi - 31.0%
- C1-C4 Slutten på livet - 8.1%

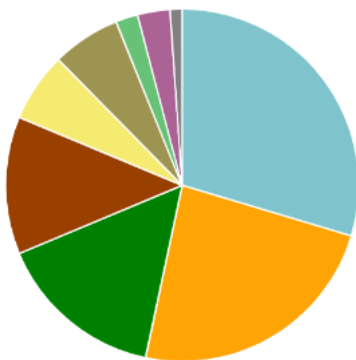


Tabell 35 viser resultater for løsning med delvis utskifting av betong til massivtre.

Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Betong → Massivtre)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 195 327,94	kg CO ₂ e	53,21%
A4 Transport	302 679,8	kg CO ₂ e	5,04%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,67%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	57 767,63	kg CO ₂ e	0,96%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	31,01%
C1-C4 Slutten på livet	487 415,36	kg CO ₂ e	8,12%

Av ressurstyper har utslippene knyttet til betong gått ned 214 574 kg CO₂, tilsvarende 14 %. Stål og andre metaller har sunket med 179 610,37 kg CO₂, tilsvarende 23 % og tre som har økt med 121 823,74 kg CO₂. Dette vises i tabell 36 og tabell 37.

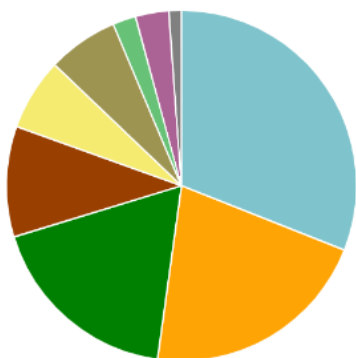
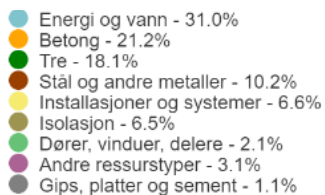
- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Tabell 36 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.

Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199,07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Tabell 37 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løsning med delvis utskifting av betong til massivtre.



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Betong → Massivtre)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	31,01%
Betong	1 272 624,78	kg CO ₂ e	21,19%
Tre	1 085 414,5	kg CO ₂ e	18,07%
Stål og andre metaller	613 148,45	kg CO ₂ e	10,21%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,63%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,54%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,13%
Andre ressurstyper	185 596,34	kg CO ₂ e	3,09%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,13%

Resultatene fra beregningen av eksempelveggen fra dette scenarioet viser at to meter av den prosjekterte betongveggen slipper ut 40,9 kg CO₂e. Forslaget i massivtre slipper ut 58,9 kg CO₂e. Betongveggen har derfor 31 % lavere utslipp.

5.6 Løsninger sammensatt

Dette scenarioet har de laveste utslippene med 303 kg CO₂e/m² sammenlignet med prosjektert scenario på 337 kg CO₂e/m². En reduksjon på 34 kg CO₂e/m². Totalt har dette scenarioet gått ned med 435 tonn CO₂e, fra 6279 til 5844 tonn. Det tilsvarer et utslippskutt på 7 %.

Tabell 39 viser prosjektert byggs samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Prosjektert)	
CO ₂ e/m ² [kg]	337
CO ₂ e [t]	6279
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

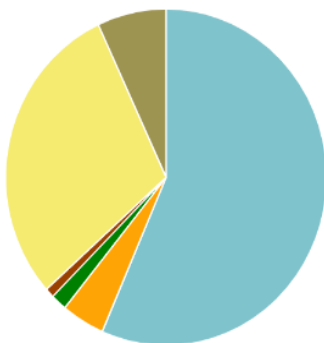
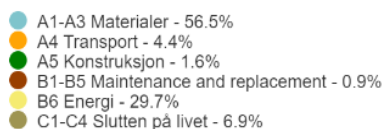
Tabell 38 viser scenarioets samlede utslipp.

Samlede klimagassutslipp (Sammensatt løsning)	
CO ₂ e/m ² [kg]	303
CO ₂ e [t]	5844
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8

Resultatene for utslipp knyttet til livssyklusstadier viser at materialer og transport går betraktelig ned, se tabell 40 og tabell 41.

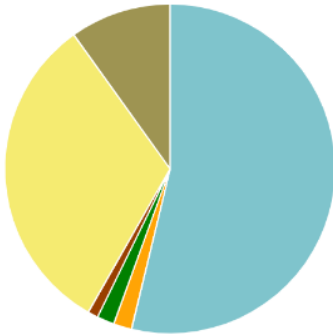
- Utslipp knyttet til materialer går ned 407 604 kg CO₂e (11,4 %).
- Transport reduseres med 169 595,54 kg CO₂e (61,2 %).
- Vedlikehold og utskifting reduseres med 770 kg CO₂ (1,3 %).
- Livsløpets slutt øker med 142 489,22 kg CO₂ (32,7 %).

Tabell 40 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.



Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 549 170,7	kg CO ₂ e	56,52%
A4 Transport	273 708,1	kg CO ₂ e	4,36%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,59%
B1-B5 Vedlikehold og utskifting	58 830,93	kg CO ₂ e	0,94%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
C1-C4 Sluttet på livet	435 545,28	kg CO ₂ e	6,94%

- A1-A3 Materialer - 53.8%
- A4 Transport - 1.8%
- A5 Konstruksjon - 1.7%
- B1-B5 Maintenance and replacement - 1.0%
- B6 Energi - 31.9%
- C1-C4 Slutten på livet - 9.9%



Tabell 42 viser resultater for sammensatt løsning.

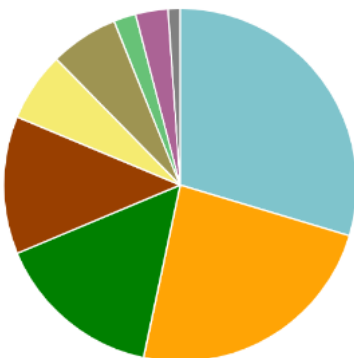
Klimagassutslipp – Livssyklus-stadier (Sammensatt løsning)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
A1-A3 Materialer	3 141 566,72	kg CO ₂ e	53,76%
A4 Transport	104 112,56	kg CO ₂ e	1,78%
A5 Konstruksjon	100 130,58	kg CO ₂ e	1,71%
B1-B5 Vedlikehold og utskiftning	58 060,38	kg CO ₂ e	0,99%
B6 Energi	1 862 029,18	kg CO ₂ e	31,86%
C1-C4 Slutten på livet	578 034,50	kg CO ₂ e	9,89%

Fordeling mellom utslipp av ressurstyper endres ved at betong, stål og andre metaller og andre ressurstyper reduseres, og tre økes. Se tabell 42 og 43.

- Utslipp knyttet til betong går fra 1 487 199,07 til 1 096 446,13 kg CO₂e og reduseres med 390 752,94 kg CO₂e (26 % sammenlignet med prosjektert bygg).
- Tre øker med 352 502 kg CO₂e (36,6 %), fra 963 590,76 til 1 316 092,76 kg CO₂e.
- Stål og andre metaller går fra 792 758,82 kg CO₂e til 397 232,27 og reduseres med 395 526,55 (49,9 %).
- Utslippene knyttet til de resterende ressursene forblir som i det prosjekterte bygget.

Tabell 41 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.

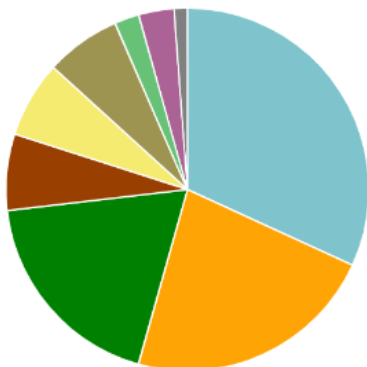
- Energi og vann - 29.7%
- Betong - 23.7%
- Tre - 15.3%
- Stål og andre metaller - 12.6%
- Installasjoner og systemer - 6.3%
- Isolasjon - 6.2%
- Dører, vinduer, delere - 2.0%
- Andre ressurstyper - 3.0%
- Gips, platter og sement - 1.1%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Prosjektert)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	29,65%
Betong	1 487 199, 07	kg CO ₂ e	23,68%
Tre	963 590,76	kg CO ₂ e	15,35%
Stål og andre metaller	792 758,82	kg CO ₂ e	12,62%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,34%
Isolasjon	392 453,9	kg CO ₂ e	6,25%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,04%
Andre ressurstyper	187 299,71	kg CO ₂ e	2,98%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,08%

Tabell 43 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for sammensatt løsnine.

- Energi og vann - 31.9%
- Tre - 22.5%
- Betong - 18.8%
- Installasjoner og systemer - 6.8%
- Stål og andre metaller - 6.8%
- Isolasjon - 6.7%
- Dører, vinduer, delere - 2.2%
- Andre ressurstyper - 3.2%
- Gips, platter og sement - 1.2%



Klimagassutslipp – Ressurstyper (Sammensatt løsning)			
Enhet	Verdi	Enhet	Prosent
Energi og vann	1 862 029,18	kg CO ₂ e	31,86%
Betong	1 096 446,13	kg CO ₂ e	18,76%
Tre	1 316 092,76	kg CO ₂ e	22,52%
Stål og andre metaller	397 232,27	kg CO ₂ e	6,80%
Installasjoner og systemer	398 080,87	kg CO ₂ e	6,81%
Isolasjon	392 453,90	kg CO ₂ e	6,72%
Dører, vinduer, delere	127 990,49	kg CO ₂ e	2,19%
Andre ressurstyper	185 596,34	kg CO ₂ e	3,18%
Gips, platter og sement	68 011,97	kg CO ₂ e	1,16%

5.7 Sammenligning av scenarioer

Fire av fem scenarioer har lavere utslipp enn det prosjekterte bygget. Det er ikke store forskjeller mellom de høyeste og laveste resultatene, med 561 tonn CO₂e mellom ytterpunktene Norsk massivtre og Sammenslått scenario.

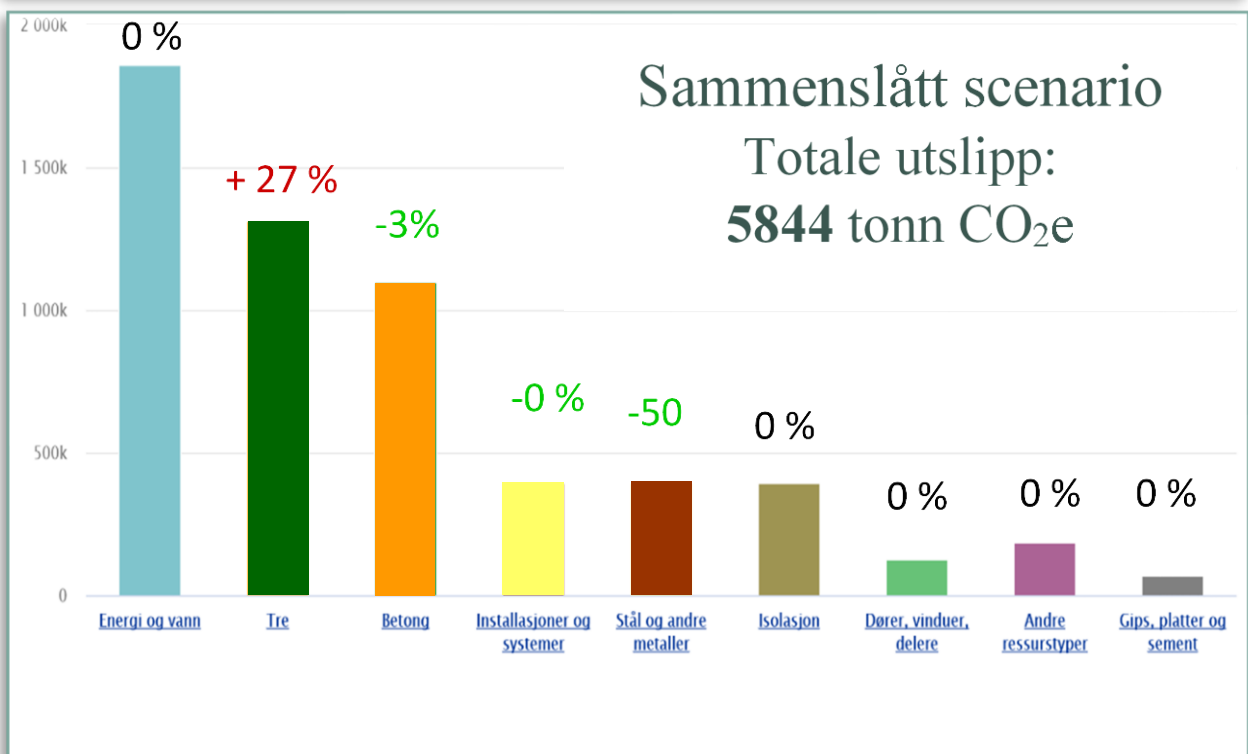
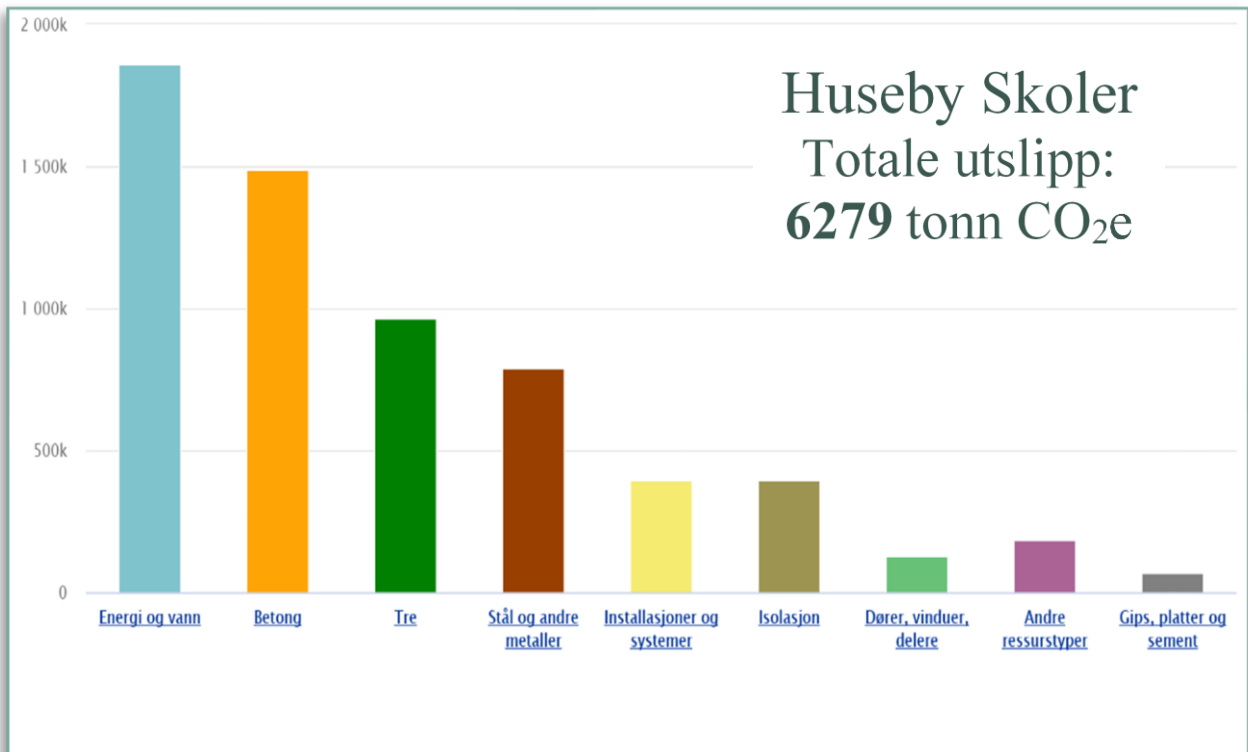
Tabellen viser at det årlige utslippet per kvadratmeter er det samme for alle tilfellene, på 8 CO₂e/m²/år. Scenarioet med utbytting til norsk massivtre har høyest utslipp av scenarioene, 6405 tonn CO₂e, 126 tonn høyere enn prosjektert bygg. Sammenslått har det laveste utslippet, 34 kg CO₂e/m² lavere enn prosjektert bygg.

	Prosjektert bygg	Original løsning	Lavkarbon pluss	Norsk massivtre	Betong/massivtre	Sammenslått
CO ₂ e/m ² [kg]	337	321	325	347	315	303
CO ₂ e [t]	6279	6069	6125	6405	6005	5844
CO ₂ e/m ² /år [kg]	8	8	8	8	8	8

Tabell 44 viser resultatene til det prosjekterte bygget og de ulike scenarioene.

Tabellene til de ulike scenarioene viser at det i all hovedsak er betong, stål, tre og transport som endrer verdier. Dette er i tråd med de endringene som er utført i de forskjellige scenarioene. Se figur 35.

UTSLIPP FORDELT PÅ MATERIALER



Figur 35 viser utslipp fordelt på materialer

5.8 Følsomhetsanalyse

Resultatene fra følsomhetsanalysen er presentert i tabell 43. Reduserte utslipp sammenlignet med prosjektert bygg vises ved negativ prosent og økte utslipp er representert ved positive prosenter.

Endringer	Prosentvis endring i utslipp (kg CO ₂ e)
Fjernvarme (endret fra Distriktsoppvarming Trondheim 2018)	
Distriktsoppvarming Oslo (2018)	-11,8%
Distriktsoppvarming Bergen (2018)	10,7%
Distriktsoppvarming Norge (2018)	54,6%
Elektrisitetsforsyning (endret fra Norge)	
Europa (2015)	124,5%
Finland (2020-2080)	3,7%
Massivtreleverandør (endret fra Binderholz, Østerrike)	
Splitkon, Norge	3,7%
Cross timber systems Skonto, Latvia	-1,4%
Hulldykker (endret fra Contiga Lavkarbon B H200-520)	
Generisk B30	-0,6%
Nobi Voss B45	0,8%
Plasstøpt betong (endret fra ferdigbetong B30M60 Unicon)	
Ribe betong B20	-1,8%
Unicon B45	2,1%

Tabell 45 viser resultatene av følsomhetsanalysen.

Følsomhetsanalysen viser at elektrisitetsforsyning og fjernvarme har størst effekt på resultatet. Ved valg av europeisk strømforsyning ble resultatet 124,5 % høyere utslipp. Ved valg av distriktsoppvarming Norge (2018) ble utslippene 54,6 % høyere. Endring av leverandør og type material har også effekt, men i mindre grad.

6. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres resultatene og funnene gjort i oppgaven. Disse sammenlignes med klimagassberegninger gjort av andre skoler. Det vendes også et kritisk blikk på oppgaven, og ulike elementer knyttet både til den brukte metoden og klimagassberegning generelt diskuteres.

6.1 Diskusjon av resultater

Resultatene viser at klimagassutslippene reduseres i de fleste scenarioene, noe som viser at å bytte ut materialene med mer miljøvennlige materialer har en effekt. Siden Huseby skoler allerede er prosjektert med miljøvennlige materialer har det ikke vært mulig å gjøre store utskiftninger. De utskiftingene som er gjort har i de fleste tilfellene bidratt til reduserte utslipp, men fordi små materialmengder er byttet ut, er også utslippsreduksjonen beskjeden.

6.1.1 Klimagassberegning av Huseby skoler (Prosjektert bygg)

A1-A3 Materialer utgjør den største utslippsposten. Dette viser at råvareuthenting, produksjon og transport for alle materialene er det som gir størst utslipp fra byggets livssyklus. Dette fremhever viktigheten av å være bevisst på både hvilke råvarer som brukes, men også transportavstand og produksjonsmetode. B6 Energi utgjør nest størst utslipp i byggets livssyklusstadier. Skolen er bygget som passivhus, noe som tilsier at energiforbruk er begrenset i stor grad. Det at energi fortsatt utgjør en så stor del av utslippene kan forklares ved at disse utslippene regnes gjennom hele byggets livsløp. Å begrense energiforbruk er derfor et viktig tiltak for å begrense utslipp.

Ved å se nærmere på byggets ressurser, kan det sees at Installasjoner og systemer utgjør en overraskende stor andel, siden denne ressursen kun representeres av solcellepanelene i bygget. Det tilsier at solcellepanelene alene står for 6,34% av klimagassutslippene knyttet til ressurser. Disse bidrar likevel til at bygget har et lavere behov for tilført energi og reduserer derfor utslippene knyttet energi. Det kommer også frem at betong har de største utslippene til tross for at det er brukt mer massivt i bygget. Stål og andre metaller utgjør relativt stor andel av byggets utslipp i forhold til mengdene som brukes i bygget. Stål og metallprodukter medfører store utslipp, men kan til gjengjeld benyttes i materialgjenvinning i større grad enn mange andre materialer. Det er tydelig at de valgte materialene har lang levetid, da utslipp knyttet til vedlikehold ikke utgjør mer enn 0,94 % av de totale utslippene.

Huseby skoler har lave totale klimagassutslipp. Materialene utgjør det største bidraget til utslipp, men det er likevel valgt miljøvennlige materialer i store deler av skolen, som bidrar til en lav total score.

6.1.2 Original løsning med trestendere og togtransport

I dette scenarioet er det i hovedsak A1-A4 materialer og transport som synker. Videre vises det at C1-C4, modulen for livsløpets slutt øker. Dette skyldes utslippene til tre ved avhending. Karbonet treet har lagret gjennom livsløpet slippes fri ved livsløpets slutt.

Massivtreet og limtreet, levert av Binderholz, har den desidert lengste transportavstanden og utgjør en stor andel av materialene. Endring av transportmiddel reduserer transportutslippene med 22 %. Dette er en stor besparelse og bør prioriteres. Togtransporten er lagt inn som gjennomsnittlig togtransport. Ved å benytte elektrisk tog, kunne utslippene blitt enda lavere. Å bytte ut stålstendere med trestendere er et svært effektivt tiltak, og totalt reduseres utslippene med 210 tonn CO₂, noe som tilsvarer 3,3 % av de totale utslippene.

Utslipp knyttet til transport og stål reduseres, og treet utslipp øker. Dette henger tydelig sammen med de endringene som ble gjort i dette scenarioet. Scenarioet viser at store utslipp kan spares ved å frakte materialer med tog fremfor lastebil. Det viser også at dersom det lar seg gjøre, er trestendere absolutt noe å foretrekke fremfor stålstendere i denne sammenheng.

6.1.3 Bruk av Lavkarbonbetong

I dette scenarioet reduseres utslippene knyttet til A1-A3 materialer, mens transportutslipp og utslipp knyttet til livsløpets slutt øker. Det viser seg også at utslippene knyttet til stål øker. Dette kan ha sammenheng med valget av betongtype i programmet. I prosjektert bygg benyttes en betongtype der armeringsjern spesifikt er ekskludert. Dette står det ikke spesifikt i den nye betongen. Likevel er det en veldig liten økning, og det kan ikke tilsvare nødvendig mengde armeringsjern. Dermed er grunnen til denne økningen ukjent.

Lavkarbonbetong medfører relativt høye utslippskutt. Dette er et scenario som kan gjøres på flere måter ved bruk av ulike typer Lavkarbonbetong. Ved å velge Lavkarbon Ekstrem kan utslippene reduseres ytterligere. Dette vil likevel kreve andre tiltak, som er mer omfattende enn for Lavkarbon Pluss. Om det blir behov for mye ekstra oppvarming kan dette nulle ut utslippsgevinsten. Å velge

for god Lavkarbonklasse kan by på så store problemer at det må bestilles ny betong, noe som vil bidra til ekstra utslipp.

Lavkarbonbetong blir forsket på og det kommer stadig ny informasjon og løsninger. Det er viktig å støtte denne forskningen ved å bruke de mulighetene som finnes. Om noen år kan det tenkes at betongen har redusert utslippene ytterligere.

6.1.4 Bruk av norsk massivtre og limtre

Ved å bytte til norskprodusert massiv- og limtre kuttet transportutslippene så drastisk at det er naturlig å anta at det vil gi et utslag i resultatene som tilsier at lokale produsenter er bedre. Likevel viser resultatene at de totale utslippene øker ved bruk av norske produsenter. Dette er knyttet til de ulike materialenes EPD-er, der den østerrikske produsenten Binderholz har vesentlig mindre utslipp knyttet til modul D enn norske Splitkon har.

Det stilles spørsmål ved hvordan modul D er utarbeidet for de to ulike massivtreleverandørene. Modul D er, som tidligere nevnt, modulen for materialgjenvinning. I utarbeidelsen for materialets EPD krever det gode kunnskaper om de ulike materialgjenvinningsmetodene som finnes, og det er nødvendig med antakelser knyttet til hvilken gjenvinningsmetode som brukes, om materialet skal gjenvinnes eller ikke, og hvilken teknologi som skal benyttes. Ettersom antakelsene baseres på dagens teknologi, gjenvinningsscenarioene er usikre og modulen viser store variasjoner for samme materiale, er denne modulen ansett som såpass usikker, at det er valgt å se vekk fra den i denne oppgaven. Dersom de resterende livssyklusmodulene betraktes, vil resultatet fortsatt vise at Binderholz presterer hakket bedre, men differansen vil være ubetydelig ved å ta transportavstand i betraktning, og dermed vil norsk massivtre være det beste valget. Det kan derfor antas at å bruke norsk massivtre egentlig gir lavere utslipp, selv om dette ikke kommer frem i resultatene.

Å bruke norsk massivtre kan ha positive effekter på klimagassutslipp i et langsiktig perspektiv. Ved å støtte norsk massivtreproduksjon kan det utvides i fremtiden. Det kan muligens bidra til å gjøre det enklere for andre aktører å velge både massivtre i seg selv, men særlig norskprodusert massivtre. Betraktes limtre derimot, vil den østerrikske produsenten være det beste valget med tanke på utslipp, selv med transportavstand tatt i betraktning.

6.1.5 Delvis utskifting av betong til massivtre

Ved å øke mengden massivtre i bygget, og redusere mengden betong, viser resultatene at denne endringen gir betydelige utslippsreduksjoner med 274 tonn CO_{2e}. Punktene som reduseres er i all hovedsak materialer og vedlikehold.

Veggene mellom musikkrommet var prosjektert i betong, trolig for å lettere imøtekomme lydkravene. Eksempelveggen, som presenteres i kapittel 4.2.3 Delvis utskifting av betong til massivtre, viser at å bytte denne veggen med massivtre bidrar til økte utslipp på grunn av de ekstra mengdene med isolasjon og gips. Dette er en av veggene med høyest lydkrav i bygget og vil derfor være den som trenger mest tilleggsmaterialer for å nå kravene. Den er altså ikke representativ for alle de omprosjekterte veggene, men viser den som krever de største endringene.

Selv om det er relativt små mengder betong som byttes til massivtre, er dette scenarioet med størst reduksjon, sett bort fra det sammensatte scenarioet. Dette viser at å bytte betong med massivtre gir lavere utslipp, selv i små mengder.

6.1.6 Sammensatt løsning

Den sammensatte løsningen er scenarioet med størst reduksjon av utslipp. Dette er forventet ettersom det var her flest endringer ble gjort. Selv om scenarioet med norsk massivtre viste at dette ga økte utslipp, er norsk massivtre brukt i sammenslått scenario. Resultatet for dette scenarioet kunne dermed sett bedre ut om massivtre fra Binderholz ble benyttet. Resultatene viser at effekten av de forskjellige tiltakene varierer. Det mest effektive tiltaket med tanke på utslipp knyttet til livssyklus er å endre transportavstander. Transportutslippene synker med 61,2 % sammenlignet med transportutslippene fra prosjektert skole. Av ressurstyper er det helt tydelig at å kutte i bruken av stål bidrar til store reduksjoner, da stål- og metallutslippene omtrent halveres sammenlignet med prosjektert bygg.

6.1.7 Sammenligning av scenarioer

Huseby skoler har en utstrakt bruk av massivtre og dette er en av grunnene til at den allerede har lave utslipp. Alle scenarioene presterer godt, og har lave utslipp som er nær hverandre i verdier. Det som gir størst innvirkning på de totale utslippene er å kutte transportavstand og benytte tre i stedet for betong. Likevel er det for små forskjeller til å kunne fastslå at noen av scenarioene er bedre enn

prosjektert bygg, grunnet mangel på detaljprosjektering. Det kan heller ikke konkluderes med sikkerhet at tiltakene som er presentert er gjennomførbare.

6.2 Sammenligning av resultater mot andre studier

Klimagassberegningen gjort av Huseby skoler er sammenlignet med klimagassberegninger gjort av andre skoler. Disse er alle ferdig bygget i 2014 eller senere, alle er passivhus og inneholder en flerbrukshall. De er likevel ulike i størrelse, og med tanke på funksjon som kun barneskole eller barneskole og ungdomsskole kombinert. Derfor skal skolene helst ikke sammenlignes for nøye, men det vil likevel gi en pekepinn på hvordan Huseby skoler presterer, sammenlignet med andre, lignende skolebygg.

Alle har hatt miljø i fokus under prosjektering og bygging. De er altså ikke gjennomsnittlige skoler og har alle hatt fokus på miljøvennlige materialvalg gjennom bruk av massivtre, lavkarbonbetong og resirkulert stål (81-85).

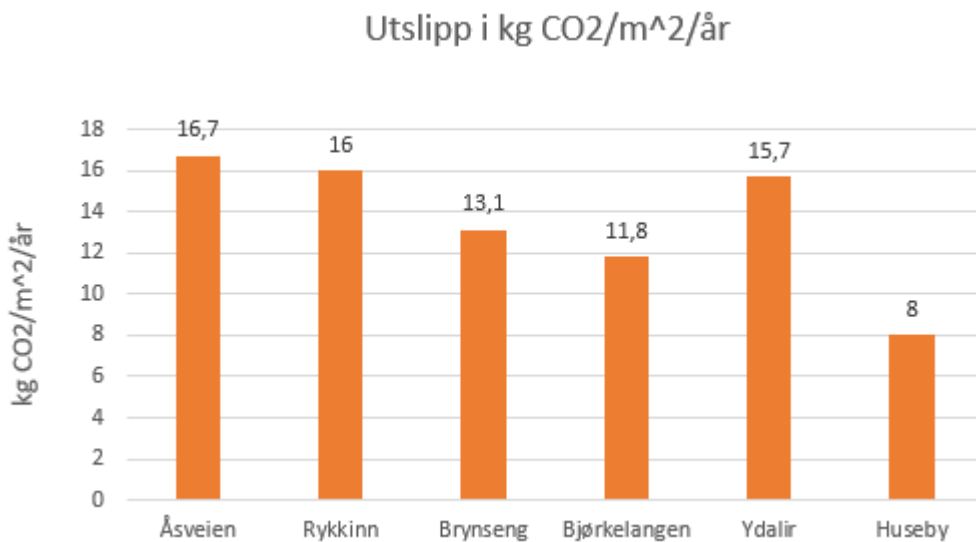
Resultatene for prosjekterte bygg er vist i tabell 46, figur 36 og figur 37.

	Åsveien	Rykkinn	Brynseng	Bjørkelangen	Ydalir	Huseby
BRA [m ²]	10 807	7415	10 725	10 753	6007	13688
Ferdig bygget	2015	2016	2017	2018	2019	2021
Skoletrinn	1-7	1-7	1-7	1-10	1-7	1-10
Antall etasjer	4	3	5	2	2	4
Flerbrukshall	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Passivhus	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Beliggenhet	Trondheim	Bærum	Oslo	Aurskog	Elverum	Trondheim
Hoved-bæresystem	Massivtre	Betong og stål	Betong og stål	Massivtre	Massivtre	Massivtre
Tonn CO ₂ e	10 829	7116	8400	7643	5669	6278
Kg CO ₂ e/m ² /år	16,7	16	13,1	11,8	15,7	8

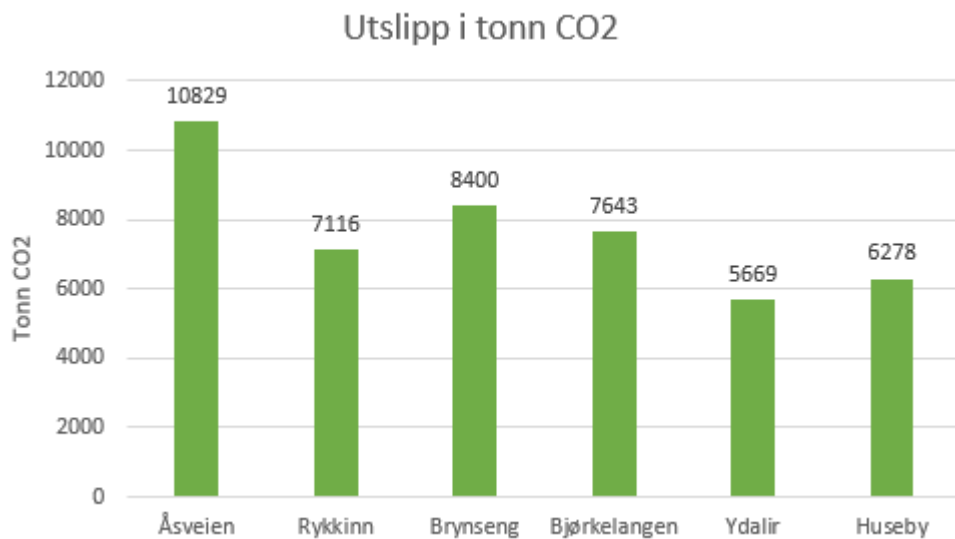
Tabell 46 viser resultatene for ulike skolebygg sammenlignet med Huseby skoler. (81-85)

Tabellen og figurene viser at de nyere byggene har bedre resultater enn de eldre, og Huseby som er den nyeste skolen, kommer best ut. Det viser at dette er et område som er i rask utvikling. Huseby

skoler kommer best ut i kg CO₂e/m²/år og nest best ut i tonn CO₂. Huseby er den største skolen, noe som sannsynligvis er litt av grunnen til at den kommer best ut i CO₂/m²/år.



Figur 36 viser utslippene til de ulike skolene i kg CO₂/m²/år.



Figur 37 viser utslippene til de ulike skolene i tonn CO₂.

6.3 Diskusjon av metode

I denne oppgaven er fokuset på å redusere klimagassutslippene rettet mot å se på ulike materials utslipp i form av CO₂e. Det må likevel nevnes at å velge materialer med lave klimagassutslipp ikke er det eneste som er viktig for å bygge miljøvennlige bygg. Materialenes levetid er vel så viktig for klimagassregnskapet som resten av materialets utslippsfaktorer. Dersom et materiale må byttes ut i løpet av byggets levetid, vil det være nødvendig å regne alle de samme utslippene på nytt for hver utskiftning. Da vil det i de fleste tilfeller lønne seg å velge et materiale med lengre levetid, helst like lang som bygget selv. Her spiller også byggets levetid en sentral rolle. Å bygge robuste bygninger som varer lenge og tåler fremtidens klima kan gi store besparelser i klimagassutslipp. Med klimaendringer medfølger hyppigere ekstremvær, og det er behov for bygninger og infrastruktur rustet for dette. Om dette ikke tas tilstrekkelig hensyn til, kan mange bygninger få redusert levetid eller behøve omfattende vedlikehold, som igjen vil føre til økte utslipp. Transportavstand er et annet aspekt som kan være utslagsgivende i et klimagassregnskap. Dersom materialer må fraktes flere turer over lengre avstander, kan det gi store besparelser å benytte lokale materialer i stedet. Valg av transportmiddel vil også være viktig ettersom ulike transportmidler gir stor forskjell i utslipp. I tillegg er byggets energieffektivitet sentralt for å redusere utslipp i bruksfasen. Ettersom Huseby skoler oppfyller kravene til passivhus, vil det si at energieffektivitet allerede er hensyntatt i dette prosjektet og det er antatt at dette opprettholdes i de ulike scenarioene.

Metoden som brukes for å komme frem til resultatene i denne oppgaven kan med fordel være annerledes. Å ha en oppgave som både går ut på å lære seg et program, og i tillegg være avhengig av å kunne bruke programmet for å få ut et resultat er ikke helt heldig. Med kjennskap til noen som kan gi en innføring av programvaren i starten av prosessen, kan mye tid spares og oppgavens fokus kan bli noe annet. I etterkant av beregningene er det åpenbart at modellen som brukes til informasjonsinnhenting bør klargjøres for klimagassberegninger før den tas i bruk til dette formålet. I dette tilfellet vil det være ideelt med en kjapp introduksjon til noen funksjoner både i Solibri og i One Click. Selv om programvarene i seg selv er relativt intuitive, er det ikke like intuitivt å forstå hvilke forberedelser som bør gjøres.

Gjennom prosessen er det erfart at en av metodene som ble startet på, summering av elementene i rapporten fra Excel-arket, vil være den mest korrekte metoden å fortsette med. Utfordringen med denne metoden er at navnet på de ulike veggene ikke finnes i dokumentet. Dermed er det umulig å dele opp de ulike veggkomposittene i riktige prosentdeler i Excel. I tillegg er det vanskelig å sortere

komponenter i henhold til NS 3451 «Bygningsdelstabell». Komponentene er delt inn i «class» i Excel. Denne inndelingen tilsvarer inndelingen i Bygningsdelstabellen i noen tilfeller, men i flertallet av tilfellene er inndelingen ulik. Dermed er det utfordrende å vite hvor de ulike materialene kommer fra, om det er for eksempel yttervegg, innervegg eller dekker. I One Click skal alle materialer være sortert etter NS 3451 «Bygningsdelstabell». Dette er også et krav i NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger». Det som stemmer overens med bygningsdelstabellen kan summeres i Excel, og resten i One Click, der det kommer frem mer informasjon om materialene. Slik kan opplastning fra Solibri til One Click gå raskere.

Å lære programmet underveis i oppgavejobbingen har likevel ført til god kjennskap til One Click som program. Gjennom mye prøving og feiling har mange funksjoner blitt testet ut og det har vært nødvendig med god informasjonsinnhenting rundt programmets mange funksjoner og muligheter. Det har vært mye kontakt med kundeservice som har bidratt med å øke forståelsen for programmet. Dette har gitt muligheten til å kunne produsere en utfyllende brukermanual for bruk av One Click.

6.4 Diskusjon av konseptet klimagassberegninger

En klimagassberegning krever visse forkunnskaper, og det tar tid å bli kjent med alle aspektene. Livssyklusanalyser og EPD-er er kompliserte og det er ikke alltid like lett å forstå hvilke utslipp som er med, eller hva de representerer. Klimagassregnskap er likevel en svært god metode for å undersøke miljøvennlige materialers effekt på klimagassutslipp. Ved bruk av One Click kan det enkelt gjøres endringer og tydelig se effekten av disse.

Utslipp knyttet til byggebransjen må reduseres for å nå klimamålene, og klimagassregnskap er et viktig virkemiddel for å oppnå dette. Regnskapet kan skape økt bevissthet rundt hvor store utslipp bransjen faktisk har, og hvilke tiltak som kan få utslippene ned. Ved å vite hvor utslippene kommer fra kan man lettere redusere dem.

Klimagassutslipp i form av CO₂e er ikke det eneste som er viktig for å bygge miljøvennlig og det er derfor ikke nok å kun gjøre en klimagassberegning. Fokus på naturmangfold, arealutnyttelse og andre naturpåkjenninger er vel så viktige for å begrense klimaendringene. One Click presenterer resultater for utslipp av ulike klimagasser og deres påvirkning på miljøet. Alle disse utslippene vil være viktige å ta hensyn til under prosjektering av bygninger.

Det kan også diskuteres hvor troverdig en klimagassanalyse som utføres i dag, egentlig er. Klimagassberegninger er et relativt nytt fenomen i bransjen, og en norsk bransjestandard på hvordan en analyse utføres var ikke ferdig utarbeidet før i 2018. Det kan tenkes at klimagassberegninger vil øke i utbredelse, at den erfaringsbaserte kunnskapen vil øke, og at beregningene vil bli mer standardisert i årene fremover.

Miljødeklarasjoner i form av EPD er også et relativt nytt fenomen. Mange produkter har enda ikke en spesifikk produkt-EPD. Derfor vil det i de fleste regnskap i dag være nødvendig å benytte lignende produkter eller generiske verdier som erstatning, ved gjennomføring av beregninger. Om miljødeklarasjoner var pålagt eller mer utbredt kunne beregningene vært mer presise. EPD-er skal oppdateres hvert femte år, noe som betyr at flere av dagens tilgjengelige miljødeklarasjoner allerede er utdatert. Dersom de ble utarbeidet etter krav fra innkjøper, er det sannsynlig at det må stilles nye krav til produsenten for at de skal oppdateres. Grunnlaget for klimagassberegninger dekker altså ikke alle produktene som blir benyttet i et prosjekt. En stor usikkerhet ved miljødeklarasjoner generelt, er det som inngår i modul D. Avfallsscenario beskrives ut fra dagens teknologi og praksis. Det er vanskelig å beskrive dette scenarioet på noen annen måte, men de som produserer produktet

kan ikke med sikkerhet vite hvordan avfallsscenarioet for produktet vil se ut. I dette prosjektet vil produsenten måtte forutsi hva som vil skje med produktet minst 60 år frem i tid. Det kan tenkes at det kommer en standard for modul D som er mindre spekulativ enn den som er i dag. Det kan også tenkes at klimagassberegninger blir mer utbredt og at det kommer mer veiledning og informasjon om hvordan de skal utføres korrekt.

I klimagassregnskapet subtraheres egenprodusert strøm fra byggets strømforbruk. Dette kan være misvisende da byggets energiforbruk ikke kommer helt korrekt frem. Tallene vil kun vise hvor mye som importeres fra strømmettet. Denne strømmen fører til utslipp under produksjon, noe strømmen produsert fra solceller ikke gjør. I dag er det derfor kun importert strøm fra strømmettet som vurderes relevant for klimagassberegningen. Om dette blir et økende fokus, kan det undergrave fokuset på energieffektive bygg som null-utslipp og passivhus. Det vil fortsatt være viktig å jobbe for å ha et lavt energiforbruk i bygninger, fordi produksjon av energi alltid vil medføre noe utslipp. Solcellene som brukes i bygget medfører klimagassutslipp under produksjon, transport, vedlikehold og reparasjon. Disse utslippene dokumenteres som bygningsmaterialer i beregningene.

6.5 Feilkilder

Som kommentert i avgrensningen av oppgaven, ble det gjort noen antakelser ved beregningen av Huseby skoler. Det ble antatt at Solibri-filen er korrekt, men om den er unøyaktig vil dette være en stor feilkilde. En av de mer omfattende antakelsene for materialer var at alle vinduene i bygget ble lagt inn med en gjennomsnittsstørrelse, på grunn av mangel på informasjon. I tillegg ble all plassen betong lagt inn som en type betong, selv om det er brukt forskjellige typer i utføringen. One Click har en stor katalog av produkter å velge mellom, men katalogen dekker likevel ikke alle de spesifikke produktene som er ønsket å benytte i beregningen, noe som også bidrar til unøyaktige verdier.

Det kan ikke sees bort fra regnefeil da datapunkter ble slått sammen manuelt. Arbeidet som ble gjort med å splitte opp datapunkter til flere materialer kan bli upresist, dersom deler av materialene utgjør såpass liten del av mengden som splittes opp. Ettersom kombineringsen av den siste filen som ble lastet opp ble gjort veldig grovt for å få alt inn i programmet, ble mange av de små elementene slått sammen. Her forsvant materialer med små mengder inn i materialer med større mengder, dersom de utgjorde mindre enn én prosent av den totale mengden materiale som ble splittet opp. Det vil ikke ha mye å si for det totale regnskapet, men gitt at det ikke bare var ett materiale dette skjedde med, kan det ha spilt inn på mengdene av de større materialene.

I One Click brukes EPD-er for å beregne utslippene til forskjellige materialer. Det kan virke som at flere av disse til en viss grad er utdatert. Ettersom det ikke er mulighet til å korrigere tallene i programmets EPD, kan det heller ikke fikses dersom det oppdages feil. Feil i EPD-er kan derfor være en feilkilde, men som det er vanskelig å unngå.

Programmet krever at det legges inn energibruk i drift. Dette er også en stor usikkerhet, da bygget ikke er ferdig og de beregnede verdiene ikke alltid er reelle. Dette er likevel en usikkerhet som ligger i alle klimagassberegninger som gjennomføres før bygget er tatt i bruk.

Når det kommer til de foreslåtte scenarioene, viser resultatene scenarioene uten detaljprosjektering. Når for eksempel betong ble endret til massivtre var det elementer med betong som også endret seg. Armering og isolasjon ble endret prosentvis likt som betongen, men dette kan være upresist. Andre tekniske løsninger vil heller ikke være representert, noe som tilsier at resultatene mest sannsynlig viser mindre utslipp enn de ville hatt i virkeligheten.

7. Forskning og utviklingsarbeid (FoU) – Massivtreproduksjon i Norge

Bruken av massivtre som byggemateriale har økt den siste tiden. I dag er det vanligst for norske prosjekter å benytte massivtre fra utenlandske produsenter i større byggeprosjekter. De største produsentene finnes i Østerrike, Tyskland, Latvia, Litauen og Sverige. Økt bruk av massivtre bunner i samfunnets ønske om å bygge mer miljøvennlige. Dette kan gjøres enda bedre ved å gjøre norsk massivtre mer tilgjengelig for brukere. Norge har et godt utgangspunkt for å kunne produsere massivtre. Det er et land med store mengder skog i nærhet til byer og tettsteder, noe som gir et godt grunnlag for å hente ut lokale råvarer med kort transportavstand. En markedsundersøkelse fra 2016 viste at bygg med massivtre som bærekonstruksjon kun utgjorde 1,85 % av det totale byggemarkedet i Norge. Den samme undersøkelsen estimerte at andelen ville øke med 6 % i analyseperioden, så lenge den samme mobiliseringen ble opprettholdt. Dersom det etablertes en norsk produsent, estimerte de at andelen kunne stige til rundt 9 % i 2024 (47). Massivtre markedet har ikke vært stort i Norge tidligere. Dette har sammenheng med forbudet mot å bygge trebygg høyere enn to etasjer, som varte helt til 1997. Forbudet gjaldt i norske byer, og ble opprettet på grunn av Norges historie med bybranner (49).

I samtale med Andreas Stenstad og Anne Elisabeth Årdal fra Treteknisk ble det diskutert tiltak som muligens kunne gjøre massivtre til et mer attraktivt valg for byggherrer i norske prosjekt, se referat i vedlegg 7. Generelt er det et problem at det mangler preaksepterte løsninger for bruken av massivtre. Som regel må løsninger dokumenteres i en egen analyse. Dette gjelder spesielt større trebygg i brannklasse 3. I tillegg er det mange flere hensyn som må tas ved bruk av massivtre, noe som gjør at det ofte må involveres flere aktører tidlig i prosessen, sammenlignet med bygg i betong og stål. Dette behøver ikke nødvendigvis å være negativt, ettersom det ofte lønner seg å ha prosjektert ferdig så mye som mulig i tidlig fase. Dette kan bety at for eksempel byggefasen vil kunne fullføres raskere. Det å ha flere personer med fra tidlig fase, er likevel noe som vil gjøre prosjektet dyrere. I tillegg krever ofte massivtre ekstra løsninger for å oppnå krav i henhold til lyd, brann og statikk. Dersom prosjektet ses som en helhet, er det ikke gitt at det spares i utslipp ved bruk av massivtre som materiale. Dersom det fører til økt materialbruk, mer prosjektering og flere analyser for å gjennomføre en løsning i massivtre sammenlignet med anerkjente, preaksepterte løsninger i stål og betong, kan det være riktig å velge en annen løsning. Forhåpentligvis vil det komme flere

preaksepterte løsninger med tiden, noe som vil kutte ned på hvor omfattende prosjekteringsfasen behøver å være.

Erfaring kan være avgjørende i valget mellom norske og utenlandske leverandører. Sentraleuropeiske land har vært i bransjen mye lenger enn norske leverandører, og har på grunn av dette en mye større kunnskapsbase og erfaring med bruken av materialet. For en byggherre som har lite eller ingen erfaring med massivtre, kan det føles tryggere å velge et godt etablert firma. I utlandet er det mer vanlig å ha hele verdikjeden i ett selskap. Det vil si at ett selskap kan eie hele produksjonen fra skogplanting til det ferdige produktet er klart til kunden. Disse firmaene stiller med mer enn bare produktet i seg selv, de stiller med erfaring innenfor prosjektering og beregninger. I tillegg kan de tilby prefabrikkerte elementer som leveres ferdig, og de kan stille med et mannskap til montering. De har generelt flere ressurser og disse utgjør en god helhetlig pakke. I Norge blir produksjonen fordelt på flere selskap. Da vil for eksempel et sagbruk være et eget selskap som selger videre til et firma som foredler materialet, som igjen selger videre til elementproduksjon. I salgsammenheng vil antakeligvis det helhetlige bildet selge bedre enn en oppdelt produksjon.

Ses det på produksjonen av massivtre, er det ikke store forskjeller på norsk produksjon sammenlignet med utenlandsk produksjon. Det finnes flere produkter av massivtre, og det som er mest relevant å vurdere i denne sammenhengen er det som kalles krysslimt massivtre. Disse produseres i stor skala, der store flak opptil 16m x 3m lages i ulike sjikt. I Østerrike er det flere produsenter som lager elementer helt opp i denne skalaen. I Norge er det i dag kun Splitkon som produserer slike elementer. Den åpenbare produksjonsforskjellen ligger i hva slags lim som blir brukt. I utlandet brukes hovedsakelig PU-lim (Polyuretanlim), der Splitkon bruker MUF-lim (melamin-urea-formaldehydlim). En annen sannsynlig forskjell kan være at råvarer må transporteres lengre i land med mindre tilgjengelig skog enn i Norge. Norge er ikke avhengig av å importere skog, mens dette er noe massivtreleverandører i utlandet er. Blant annet i Tyskland og Østerrike forbruker de mer tremateriale enn det er bærekraftig å ta ut av skogene, så de er avhengige av import for å klare etterspørselen (86). Det er gjerne det samme treslaget som benyttes i massivtreelementer fra ulike land, Norsk gran (Norwegian Spruce). Det kan tenkes at norsk produksjon av massivtre i fremtiden vil være mer effektivisert enn det den er i dag. En løsning kunne være at flere fabrikker plassert i nærheten av hverandre samarbeidet i form av storskala rullebånd, der en fabrikk masseproduserte råelementene, en annen skar ut vinduer, en tredje isolerte elementer og en fjerde fabrikk stod for

innpakking. Alternativt kunne bransjen utviklet seg i likhet med utenlandsk produksjon, der en bedrift eier hele produksjonskjeden.

Dagens leverandører bruker store mengder plastemballasje når de pakker produktene sine. Alle elementers sider blir dekket, og dette blir gjort gjennom hele produksjonskjeden. Dette er et forbedringspotensiale for hele bransjen. Emballasjen inngår i klimagassregnskapet, så dersom det ble brukt et mer klimavennlig materiale til innpakning, ville det bidra til betraktelig reduksjon av utslippene. Om det ikke blir funnet et alternativt materiale til emballasje, vil uansett gjenbruk og avfallshåndtering av emballasjen være viktig for å sikre sirkulærøkonomi. Lim er ofte fossilbasert. Mengden av produserte kjemikalier og hvilke råstoffer som brukes, vil ha innvirkning på elementenes totale klimagassregnskap. Det vil ha mye å si om materialene er biobaserte eller fossilbasert. Dette er noe som bør undersøkes nøyere. Eventuelt kan det ses på muligheten for å resirkulere råvarene i kjemikaliene.

Ved bruk av massivtre som bæresystem er det generelt viktig med god planlegging og prosjektering. Dette vil føre til at produktet utnyttes maksimalt og hindre at feil oppstår, noe som vil bidra til å holde utslippene til et minimum. Et dårlig prosjektert bygg vil føre til ekstra løsninger som vil forverre resultatet. Blant annet kan bygget få en unødvendig høy brann- eller risikoklasse, som fører til flere krav og høyere utslipp. Massivtre mangler fortsatt en del dokumentasjon innen brannkrav, særlig i hjørner og knutepunkter, samt angående limets egenskaper under brann. I løpet av året kommer en ny teknisk forskrift, TEK20, som muligens bidrar med nye retningslinjer og brannkrav for massivtre.

Det som kan gi norske leverandører et konkurransefortrinn i videre utvikling av industrien, er kravene til klimagassutslipp. Dersom norske leverandører kan vise til en EPD med lavere utslipp enn utenlandske produkter, vil dette kunne gjøre norsk massivtreproduksjon mer attraktiv i en fremtid der det vil ses en økning i antall produkter som har sammenlignbare EPD-er. Ettersom målet er at klimagassutslipp skal reduseres drastisk på kort tid, vil nok standarder bli strengere og markedet vil kunne skifte fokus fra pris til klimavennlighet når det kommer til valg av produkter. Et eksempel på hvordan Norge kan prestere godt i denne sammenhengen er hvordan det ses på bruk av strøm i produksjon. Produktet kan få en bedre EPD dersom norske leverandører kan dokumentere at strømmiksen de bruker er basert på mer fornybar energi enn utenlandske leverandører sin. I tillegg bør teknisk forskrift med veiledning og tekniske godkjenninger med preaksepterte løsninger bli tilpasset massivtre.

Det er grunn til å tro at produksjon av massivtre i Norge har gode fremtidsutsikter. En utfordring er at det tar lang tid å få nok dokumentasjon på ulike løsninger som kan brukes i andre prosjekter. Ved å øke antallet massivtreprosjekter vil flere utfordringer oppdages, og løsninger kan videreutvikles slik at det blir flere tekniske godkjenninger (47). Når denne bransjen får vokse i Norge, blir et bedre kunnskapsgrunnlag dannet. Dette vil gjøre det tryggere for byggherrer som ikke har benyttet massivtre i tidligere prosjekter å velge norske selskaper.

8. Konklusjon

Klimagassregnskap er et viktig virkemiddel for å redusere utslippene i byggebransjen og for å møte klimaendringene verden står ovenfor i dag. Klimagassberegninger viser tydelig hvilke elementer som fører til de største utslippene. Med denne kunnskapen er det lettere å finne hvilke tiltak som har størst effekt.

Klimagassberegningen av Huseby skoler viser at skolen har lave utslipp, og sammenlignet med de andre skolene presterer den totalt sett best. Miljøvennlige materialvalg er en av grunnene til dette. Det er ikke mange reelle endringer som kan forbedre skolen, men de endringene som er foreslått i oppgaven fører til utslippsreduksjon. Selv små endringer i materialer har en effekt. Det sammenslåtte scenarioet presterte best, og hadde en reduksjon på 7 %. Resultatene peker ut tre som et materiale med lave utslipp, og understreker viktigheten av lokale materialvalg, da både transportavstand, transportmiddel og materialenes egne utslipp gir store utslag i regnskapet. Det kreves en detaljprosjektering for å avdekke nødvendige tekniske løsninger som oppfyller ulike krav. Dette demonstreres med den akustiske eksempelveggen. Veggen får økte utslipp når betongen byttes ut med massivtre, til tross for at massivtreet i seg selv har lavere utslipp. Veggen er ikke representativ for alle veggene i bygget, men viser at detaljprosjektering kan snu om på resultatene.

Ettersom differansen mellom utslippene til de ulike scenarioene er relativt små, og scenarioene er ikke detaljprosjektert, kan det ikke sikkert konkluderes med at sammensatt løsning ville gjort det bedre enn prosjektert bygg. Til tross for dette, viser scenarioene fortsatt reelle tiltak som bør vurderes og som vil bidra til å redusere klimagassutslipp.

9. Videre arbeid

Ved videre arbeid med denne oppgaven bør det utføres en detaljprosjektering av de foreslåtte løsningene. Dette vil enten styrke eller svekke løsningene, og vise om de bør undersøkes nærmere. Det kan også gjennomføres en klimagassberegning ved bruk av andre metoder, for å validere nøyaktigheten av beregningen. Det kan gjøres ved hjelp av blant annet Excel eller ISY Calcus. Etter bygget er ferdigstilt og etter to års bruk er det interessant å utføre en beregning for å sammenligne resultatene.

Andre aspekter som kunne vært undersøkt for å redusere utslippene er strømforbruk. Det er muligheter for flere solceller ved å utnytte veggarealer og større takareal. Av materialtyper, kan det dykkes dypere inn i diverse betongteknologier. Det ble sett på å benytte en bedre type Lavkarbonbetong i denne oppgaven, men de beste typene ble ikke valgt på grunn av de nødvendige tiltakene for at det skulle vært mulig. Dette kan studeres videre og ses på om det vil lønne seg å bruke den beste Lavkarbonbetongen, eller om utslippsbesparelsen forsvinner i oppvarmingsbehov og lignende. Det kan ses videre på bruksområdene til massivtre. Kan dette brukes under bakken med tilstrekkelige tiltak? Er det måter som kan gi økte spennvidder?

Forskjellen i modul D bør ses mer på. Det ville være opplysende å komme til bunns i hvordan massivtre fra Binderholz i Østerrike kan påstå å ha lavere utslipp utover bygningens livsløp, enn Splitkon i Norge. Dette er antagelig noe som gjelder for flere materialer og omfanget av dette burde studeres videre. Det er mulig at strengere krav til EPD-er eller bedre veiledning kan ha en innvirkning på dette i fremtiden. Om det ikke er EPD-formulering som er problemet burde det undersøkes hvordan norsk massivtre kan oppnå like gode resultater i modul D.

Figurer

Figur 1 viser hvordan byggets kulturakse kan bli seende ut i bruk. (10).....	5
Figur 2 viser prosjektert inndeling av bygget, der barneskole (BS) og ungdomsskole (US) separeres av en felles kulturakse som tilfredsstiller behovene til begge skolene. (Vedlegg 8).....	5
Figur 3 viser skolen sett fra hovedinngangen til skoleområdet og kulturtorget (11).....	6
Figur 4 Huseby skoler, designet av arkitektene Filter arkitekter AS og Spinn arkitekter AS. Landskapsarkitekt er Grindaker AS. (10)	6
Figur 5 viser konsentrasjon av karbondioksid i atmosfæren fra over 800000 år tilbake i tid. Her vises tydelig svingningene i temperatur gjennom tiden (18).....	10
Figur 6 viser utslipp fra 1750 til 2017, sortert på verdensregioner. Dette relativt korte tidsrommet, sammenlignet med figur 5 viser hvor drastisk økningen faktisk er. (18)	10
Figur 7 viser hvordan varmestralene beveger seg gjennom atmosfæren og etter de har truffet jordoverflaten (20)	11
Figur 8 viser de fire stegene i en LCA (37).	17
Figur 9 viser de ulike livssyklusfasene til en bygning eller et produkt. (38).....	18
Figur 10 viser veksten til massivtreproduksjonen i Europa. 50.....	22
Figur 11 viser klimagassutslipp til typisk konstruksjonsbetong B30M60, fordelt på de ulike komponentene betongen består av (60).	25
Figur 12 viser fire ulike varianter av helhetlige klimagassberegninger (76).	29
Figur 13 viser utklipp fra One Clicks inngangsparametre.	30
Figur 14 viser «Sammensatt modell» fra prosjekthotellet.	31
Figur 15 viser et eksempel på hvordan veggene er listet opp inne i prosjekthotellet.	31
Figur 16 viser at bygningsmaterialer er en viktig parameter.	31
Figur 17 viser et eksempel på en av trappene der presise materialmengder ikke var oppgitt i modellen.....	32
Figur 18 viser at årlig energiforbruk skal legges inn i et klimagassregnskap.....	35

Figur 19 viser en årssimulering av Huseby skoler. Simuleringen er utført i Simien.....	36
Figur 20 viser at byggeplassdrift og beregningsperiode er ulike parametere.	36
Figur 21 viser et utsnitt av rapporten. Det kan sees at det er naturlig å summere sammen bjelkene av limtre, men å ekskludere den øverste av betong.	37
Figur 22 viser hvilke kriterier det kunne hukes av for i kombineringsfasen ved opplasting.....	38
Figur 23: Programmet mapper mange elementer automatisk, men det er også mange elementer som programmet ikke kjenner igjen. Disse mappes manuelt. I dette eksempelet er det 217 datapunkter som må mappes til korrekt materiale før det kan lastes inn.....	38
Figur 24 viser prosjektert inndeling av bygget.	41
Figur 25 viser hvilke vegger som ble omgjort til massivtre, markert i blått og lilla. Pilene antyder jordtrykket som presser mot byggets vestsida som følge av at terrenget er høyere på vestsiden enn østsiden. (Skjerm bilde fra Solibri).....	46
Figur 26 viser det prosjekterte plasstøpte betongdekket (her markert i lilla) som foreslås å skiftes ut til massivtre.....	47
Figur 27 viser de indre veggene og dekkene av betong i aulaen, som er foreslått endret til massivtre.	48
Figur 28 viser et snitt av prosjektert vegg. Veggene inneholder 95 mm betong i tillegg til materialene som er listet opp i figuren.....	48
Figur 29 viser hvordan den samme vegg vil se ut dersom den utføres i massivtre og skal møte de samme kravene.....	49
Figur 30 viser klimagassutslipp i GWP.	53
Figur 31 viser klimagassutslipp fra betong fordelt mellom de ulike betongtypene.....	53
Figur 32 viser utslipp fra tre fordelt på de ulike trematerialene.	54
Figur 33 viser utslipp knyttet til energiforbruk.....	54
Figur 34 viser byggets ulike utslipp basert på ulike miljøpåvirkninger.....	55
Figur 35 viser utslipp fordelt på materialer.....	72
Figur 36 viser utslippene til de ulike skolene i kg CO ₂ /m ² /år.....	80

Figur 37 viser utslippene til de ulike skolene i tonn CO₂. 80

Tabeller

Tabell 1 viser oversikten over de mest sentrale aktørene på prosjektet Huseby skoler, fra denne oppgavens perspektiv.....	7
Tabell 2 viser de ti tekniske kategoriene som blir vurdert når en bygning skal BREEAM-NOR-sertifiseres, med tilhørende vekting (27).	15
Tabell 3 viser de seks ulike BREEAM-NOR-klassifiseringene, med tilhørende poengsummer (27).	15
Tabell 4 viser de ulike materialene som er benyttet i bygget, med leverandør, transporteringsmetode og transportavstand. I de tilfellene produktleverandøren er ukjent, er denne antatt og markert med *.	33
Tabell 5 viser ulike gjennomsnittlige distriktsoppvarminger med tilhørende utslippsfaktorer.	40
Tabell 6 viser ulike elektrisitetsscenarioer med tilhørende utslippsfaktorer.	40
Tabell 7 viser GWP for massivtre fra Binderholz og Splitkon. X representerer at utslippene til modulen ikke er vurdert i EPD-en, men er antatt til å være 0. (Vedlegg 6).	45
Tabell 8 viser GWP for limtre fra Binderholz og Moelven. X representerer at utslippene til modulen ikke er vurdert i EPD-en, men er antatt til å være 0. (Vedlegg 6).	45
Tabell 9 viser forslagene til endringer for dette scenarioet.....	46
Tabell 10 viser hvilke endringer som ble gjennomført. Alle tall er hentet fra materialenes EPD i One Click.	50
Tabell 11 viser det prosjektert byggets samlede klimagassutslipp.	51
Tabell 12 viser resultater for det prosjekterte bygget, fordelt på livssyklusstadier.	51
Tabell 13 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	52
Tabell 14 viser prosjektert byggs samlede utslipp.	56
Tabell 15 viser scenarioets samlede utslipp.....	56
Tabell 16 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.	56
Tabell 17 viser resultater for original løsning med trestendere og frakt med tog.....	57

Tabell 18 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	57
Tabell 19 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for original løsning med trestendere og frakt med tog.	58
Tabell 20 viser prosjektert byggs samlede utslipp.	59
Tabell 21 viser scenarioets samlede utslipp.	59
Tabell 22 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.	59
Tabell 23 viser resultater for løsning med Lavkarbonbetong.	60
Tabell 24 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	60
Tabell 25 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løsning med Lavkarbonbetong.	61
Tabell 26 viser prosjektert byggs samlede utslipp.	62
Tabell 27 viser scenarioets samlede utslipp.	62
Tabell 28 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.	62
Tabell 29 viser resultater for løsning med norsk massivtre og limtre.	63
Tabell 30 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	63
Tabell 31 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løsning med norsk massivtre og limtre. ..	64
Tabell 32 viser prosjektert byggs samlede utslipp.	65
Tabell 33 viser scenarioets samlede utslipp.	65
Tabell 34 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.	65
Tabell 35 viser resultater for løsning med delvis utskifting av betong til massivtre.	66
Tabell 36 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	66
Tabell 37 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for løsning med delvis utskifting av betong til massivtre.	67
Tabell 38 viser scenarioets samlede utslipp.	68
Tabell 39 viser prosjektert byggs samlede utslipp.	68
Tabell 40 viser resultater for det prosjekterte bygget, til sammenligning.	68

Tabell 42 viser det prosjekterte byggets totale utslipp, fordelt på ressurser.	69
Tabell 41 viser resultater for sammensatt løsning.	69
Tabell 43 viser byggets utslipp fordelt på ressurser, for sammensatt løsning.	70
Tabell 44 viser resultatene til det prosjekterte bygget og de ulike scenarioene.	71
Tabell 45 viser resultatene av følsomhetsanalysen.	73
Tabell 46 viser resultatene for ulike skolebygg sammenlignet med Huseby skoler. (81-85).....	79

Referanser

1. Statkraft. Hva er fjernvarme? [Internett] Statkraft [hentet 13.mai 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.statkraftvarme.no/om-fjernvarme/undervisning/>
2. Graphisoft NO. BIM [Internett] Graphisoft NO [hentet 02.april 2020] Tilgjengelig fra: <https://graphisoft.no/archicad/bim-og-ifc/>
3. SINTEF Byggforsk. Romakustikk og lydisolering. Grunnbegreper [Internett] SINTEF Byggforsk; 2004 [hentet 26. mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/186/romakustikk_og_lydisolering_grunnbegreper
4. Romakustikk og lydisolering. Grunnbegreper. [Internett] Byggforsk.no; 2004 [hentet 10. april 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/186/romakustikk_og_lydisolering_grunnbegreper#i61
5. World green Building Council. Global Status Report 2017 [Internett] London: worldgbc.org; 11. Desember 2017 [hentet 04. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.worldgbc.org/news-media/global-status-report-2017>
6. Larsen, H.N.; Bygg- og anleggsektorens klimagassutslipp. [Internett] Oslo: Asplan Viak; 14. Mai 2019 [hentet 04. mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf
7. Bionova. NS 3720 Klimagassverktøyet One Click LCA Norge. [Internett] Bionova [hentet 25. april 2020]. Tilgjengelig fra: https://desk.zoho.eu/portal/oneclicklca/kb/articles/ns-3720-klimagassverktoyet#Hvordan_komme_i_gang
8. Bionova. Life cycle assaesment [Internett]. Bionova [hentet 01. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.oneclicklca.com/construction/life-cycle-assessment-software/>
9. Solibri. We revolutionize Model Checking [Internett]. Helsinki: Solibri.com; 2020 [hentet 13 mars 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.solibri.com/about>
10. Byggfakta. Hent bygger Huseby skoler. [Internett] Byggfakta; publisert: 3. desember. 2018 [hentet 09. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.byggfakta.no/hent-bygger-huseby-skoler-130556/nyhet.html>
11. SPINN arkitekter. Huseby Skoler [Internett]. Trondheim: Spinn Arkitekter; publisert: 2017 [hentet 09. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <http://spinnark.no/new-gallery-1/414a148jnte74et8bbf9ssk6n0by22>

12. Orskaug T. Trondheim bygger skole nummer tre i massivtre [Internett]. Trondheim: Trondheim 2030; 19. januar 2017 [hentet 10. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://trondheim2030.no/2017/01/19/imponert-over-trondheim-kommunes-arbeid-med-skoler-i-massivtre/>
13. Trondheim kommune. Kommunedelplan: energi og klima 2017-2030 [Internett]. Trondheim: Trondheim kommune; mai 2017, [sist oppdatert: 05. februar 2020, hentet 08. mars 2020]; Tilgjengelig fra: <https://www.trondheim.kommune.no/klimaplan/>
14. Bjørnstad, L. Bakgrunn: Hvordan oppdaget vi menneskeskapte klimaendringer? [Internett]. Oslo: Forskning.no; 07. desember 2015 [hentet 06. februar 2020]. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/bakgrunn-klima-forskningspolitiske-saker/bakgrunn-hvordan-oppdaget-vi-menneskeskapte-klimaendringer/453323>
15. Olerud, K.; Fuglestvedt, J.S.; Kallbekken, S. FN's klimapanel [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 14. februar 2009 [sist oppdatert: 30. september 2019, hentet 06. februar 2020]. Tilgjengelig fra: https://snl.no/FNs_klimapanel
16. Shaftel, H.; Jackson, R.; Callery, S.; Bailey, D. Climate change – how do we know? [Internett] California: NASA [Sist oppdatert: 18. mars 2020, hentet 18. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://climate.nasa.gov/evidence/>
17. National Science Foundation. Ice Core Facility. “About Ice Cores” [Internett]. Denver, Colorado: icecores.org [Hentet 16. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://icecores.org/about-ice-cores>
18. Eurostat statistics explained. Glossary: Carbon dioxide equivalent [Internett]. Eurostat [Sist oppdatert: 09. Mars 2017, hentet 16. Mars 2020]. Tilgjengelig fra: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Carbon_dioxide_equivalent
19. Ritchie, H.; Roser, M. CO₂ and Greenhouse Gas Emissions [Internett] Our World In Data [sist oppdatert: desember 2019, hentet 16. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
20. Fløttre, N. H. Drivhuseffekten [Internett]. NdlA [sist oppdatert: 23. januar 2019, hentet 19. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://ndla.no/nb/subjects/subject:21/topic:1:183344/topic:1:191070/resource:1:44498>

21. Wikipediabruker, v/avn «A loose necktie». File:Greenhouse-effect-t2.svg [Internett]. Wikipedia [oppdatert 9. august 2019, hentet 16. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=80356809>
22. Jacobsen, I.U.; Kallbekken, S. Parisavtalen [Internett]. Oslo: Store norske leksikon; 31. desember 2015 [sist oppdatert: 13. januar 2020, hentet 06. februar 2020] Tilgjengelig fra: <https://snl.no/Parisavtalen>
23. Miljødirektoratet; Temperaturøkning [Internett]. Trondheim: Miljødirektoratet; [sist oppdatert: 22. januar 2020, hentet 19. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/Temperaturokning/>
24. Masters, J. The Top 10 Weather and Climate stories of 2019 [Internett]. blog.scientificamerican.com; 03. Januar 2020 [hentet 22. Mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://blogs.scientificamerican.com/eye-of-the-storm/the-top-10-weather-and-climate-stories-of-2019/>
25. Miljødirektoratet. Miljømål [Internett]. Trondheim: Miljødirektoratet [sist oppdatert; hentet 19.03.20]. Tilgjengelig fra <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/>
26. Regjeringen. Klimaendringer og norsk klimapolitikk [Internett]. Oslo: regjeringen.no; [sist endret 13. mars 2020, hentet 22. mars 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
27. Dragland Å. Bygg star for 40% av verdens utslipp - slik skal det reduseres [Internett]. Oslo: Teknisk Ukeblad; 4. Juni 2015 [hentet 09. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/bygg-star-for-40-av-verdens-utslipp-slik-skal-det-reduseres/223922>
28. BREEAM-NOR. BREEAM-NOR 2016 for nybygg. Teknisk manual SD5075NOR – Ver: 1.2. [Internett]. Oslo: Grønn byggallianse; [Sist oppdatert 18. juni 2019, hentet 03. april 2020] Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/sertifisering/breem/om-breem-nor/>
29. Grønn byggallianse. Hva er BREEAM? [Internett]. Oslo: Grønn byggallianse [hentet 10. februar 2020]. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/sertifisering/breem/>
30. BREEAM. Worldwide [Internett]. Storbritannia: Building Research Establishment Ltd; [Sist oppdatert 03. April 2020, hentet 03. April 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.breem.com/worldwide/>

31. Direktoratet for byggkvalitet. Endringshistorikk TEK17 [Internett]. Direktoratet for byggkvalitet; [sist oppdatert 03. oktober 2019, hentet 25. april 2020] Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/endringshistorikk-tek17/>
32. Standard Norge. NS 3701:2012. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Yrkesbygninger [Internett]. Oslo: Standard Norges komité; 2012 [hentet 25. april 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802>
33. Rygh P. Passivhus [Internett]. Store norske leksikon; 14.februar 2009 [hentet 25. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/passivhus>
34. Enova hjemme. Hjelp til deg som skal kjøpe eller bygge passivhus [Internett]. Trondheim: Enova; Septemner 2011 [hentet 27. februar 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.enova.no/upload_images/085B53DE13A542D1809A93605BB8BC5A.pdf
35. Husbanken. Hva er et passivhus? [Internett]. Bodø: Husbanken; [Sist oppdatert 04. mars 2019, hentet 27. februar 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.husbanken.no/bolig-og-byggkvalitet/hva-er-et-passivhus/>
36. Ecoil. Life Cycle Assessment (LCA) [Internett]. Ecoil [hentet 01. april 2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.ecoil.tuc.gr/LCA-2.pdf>
37. Standard Norge. NS 3720:2018. Metode for klimagassberegninger for bygninger [Internett]. Oslo: Standard Norges komité; 2018 [hentet 10. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162>
38. SINTEF Byggforsk. 470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper [Internett] SINTEF; september 2018. [Hentet 1. april 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper
39. Solem B. Bærekraftige materialvalg [Internett]. Trondheim: Eggen arkitekter; 23. oktober 2018 [hentet 25. mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwivh7ze6s_pAhVy2aYKHSSgA5IQFjAAegQIAxAB&url=http%3A%2F%2Finnovativeansk

[affelser.no/wp-content/uploads/2018/10/181023-baerekraftig-materialvalg-bard-solem-eggen-arkitekter.pdf&usg=AOvVaw2l8UDb55kt8DdMtpJBssph](https://www.affelser.no/wp-content/uploads/2018/10/181023-baerekraftig-materialvalg-bard-solem-eggen-arkitekter.pdf&usg=AOvVaw2l8UDb55kt8DdMtpJBssph)

40. One Click LCA. What are building life cycle stages and how are they calculated? [Internett]. Finland: One Click LCA; [Hentet 10. mai 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.oneclicklca.com/support/faq/>
41. The Norwegian EPD Foundation. Hva er en EPD? [Internett] Oslo: The Norwegian EPD Foundation [Hentet 29. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
42. The Norwegian EPD Foundation. Hva er en PCR? [Internett] Oslo: The Norwegian EPS Foundation [Hentet 29. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/pcr/>
43. The Norwegian EPD Foundation. Hvilke EPD-er finnes og hvordan er de forskjellige? [Internett] Oslo: The Norwegian EPD Foundation [Hentet 29. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/139193-1531476240/Dokumenter/Hvilke%20typer%20EPDer%20finnes%20og%20hvordan%20er%20de%20forskjellige%20korr%20signe110718.pdf>
44. SINTEF Byggforsk. Veileder for utarbeidelse av miljødeklarasjoner, versjon 2 [Internett] Oslo: The Norwegian EPD Foundation; 16. September 2011 [hentet 09. mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.epd-norge.no/getfile.php/134741-1575466571/Dokumenter/DM-%23367992-v2-Veileder_for_EPD.pdf
45. Wastfield L; Delem L; Dessel JV. To module D or not to module D? The relevance and difficulties of considering the recycling potential in building LCA [Internett]. Researchgate: november 2013 [Hentet 19. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/266405400_To_module_D_or_not_to_module_D_The_relevance_and_difficulties_of_considering_the_recycling_potential_in_building_LCA
46. Wikipedia. Klimagassregnskap [Internett] Wikipedia.org. [Sist oppdatert 18. september 2019, hentet 15. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://no.wikipedia.org/wiki/Klimagassregnskap>
47. Nyrund A. Q., Bringslimark T. Opplevelse av trematerialer i innemiljø [Internett] Oslo: Treteknisk; 2012 [Hentet 05. mai 2020] Fokus nr. 54. Tilgjengelig fra: <http://www.treteknisk.no/publikasjoner/fokus-pa-tre/fokus-54--opplevelse-av-trematerialer-i-innemiljo>

48. Aasheim P. A., Lier B. Markedsanalyse massivtre markedet i Norge 2017 – 2024 [Internett]. Vestby: Trebruk; 28. februar 2017 [Hentet 25. mai 2020] Tilgjengelig fra: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEWij76K498_pAhVSyKYKHXBIB0cQFjAAegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwoodworkscluster.no%2Fwp-content%2Fuploads%2F2017%2F06%2Fmarkedsanalyse-massivtre-280217.pdf&usg=AOvVaw2Y8G_IpvuLE9f9zMdMGU0
49. Arch20. All you need to know about cross laminated timber CLT [Internett] arch20 [Hentet 25. Mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.arch2o.com/cross-laminated-timber-clt/>
50. Andersen T. S. Hvilke muligheter og begrensninger gir byggreglene for bruk av trekonstruksjoner og trematerialer i byggverk [Internett] Direktoratet for byggkvalitet: 14. februar 2017 [Hentet 29. april 2002]. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEWjGveiui43pAhXRw8QBHYMTAEEQFjABegQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.kommunalteknikk.no%2Fgetfile.php%2F3757141.896.utdvfarevx%2F1300%2BTrond%2BS.%2B%2B%255BReparert%255D.pdf&usg=AOvVaw1oW4QI33YzxNuuiwrh4W-q>
51. Bugge L. Bruk av tre i offentlige bygg [Internett]. Asplan Viak; 26. februar 2016 [Hentet 20. mars 2020] Tilgjengelig fra: <https://d21dbafykfdck9.cloudfront.net/1481729588/bruk-av-tre-i-offentlige-bygg.pdf>
52. Aarstad J., Glasø G. Massivtre [Internett] Treteknisk; januar 2008 Fokus nr. 20. Hentet 27. mars 2020] Tilgjengelig fra: www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/fokus-pa-tre/Fokus-nr-20.pdf
53. Trefokus. Massivtre [Internett] Oslo: Trefokus [Hentet 13 mars 2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/massivtre>
54. Glosli C. Så miljøvennlig er trebygg [Internett] Forskning.no/NMBU; 28. Mai 2018 [Hentet 05. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://forskning.no/nmbu-norges-miljo-og-biovitenskapelige-universitet-miljo-jord-og-skog/sa-miljovennlige-er-trebygg/266554>
55. Langfeld Wessel Arkitektur. Økonomi vs bruk av massivtre [Internett]. Oslo: Langfeld Wessel Arkitektur [Hentet: 18. mai 2020] Tilgjengelig fra: <http://www.langfeldtwessel.no/okonomi-vs-bruk-av-massivtre>
56. Norsk massivtre. Velkommen til Norsk Massivtre as [Internett]. Brekkestua: Norsk massivtre. [Hentet 25. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://norskmassivtre.no/>

57. Bygg og bevar. Massivtre [Internett]. Oslo: Bygg og bevar [Sist oppdatert 14. mars 2019, hentet 29. april 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.byggogbevar.no/enoe/groenne-materialvalg/konstruksjonsmaterialer/massivtre>
58. Reitan N. K., Friquin K.L., Mikalsen R.F. Brannsikkerhet ved bruk av krysslaminert massivtre i bygninger – en litteraturstudie [Internett] Trondheim: RISE; september 2019 [Hentet 29. april 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKewj_4fnSoI7pAhVQ1qYKHfQABpAQFjACegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Frise.no%2Fmedia%2Fpublikasjoner%2Fupload%2F2019%2F20385brannsikkerhet-ved-bruk-av-kl-rapport-9-2019.pdf&usg=AOvVaw0HwN7EUA6rH7byGPX6VJII
59. Norsk massivtre. Elementer [Internett] Brekkestua: Norsk massivtre [Hentet 05. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://norskmassivtre.no/elementer/>
60. Direktoratet for byggkvalitet. Veiledning til byggt teknisk forskrift 17 11-4 [Internett] Direktoratet for byggkvalitet: 2017 [Hentet 02. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/byggt teknisk-forskrift-tek17/11/ii/11-4/>
61. Norsk betongforening. Lavkarbonbetong [Internett]. Norsk betongforening; Juni 2015 [Hentet 14. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/>
62. Futurebuild. På vei mot nullutslippsbetong [Internett]. Oslo: Futurebuild [Sist oppdatert 28. mai 2018, hentet 31. mars 2020] Tilgjengelig fra: <https://www.futurebuilt.no/Nyheter#!Nyheter/Paa-vei-mot-nullutslippsbetong>
63. SINTEF Byggforsk. NS 572.205 Betong. Typer, egenskaper og bruksområder [Internett]. Oslo, Standard Norges komité; Mars 2016 [hentet 20. mars 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/5157/betong_typer_egenskaper_og_bruksomraader
64. SINTEF Byggforsk NS 572.207 Tilsetningsstoffer for betong [Internett] Oslo: Standard Norges komité [Sist oppdatert september 2010, hentet 10. mai 2020] Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/590/tilsetningsstoffer_for_betong
65. Thue J.V. Betong [Internett]. Trondheim: Store norske leksikon; 14. februar 2009 [Sist oppdatert 16. august 2019, hentet 14. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/betong>
66. Norcem. Om Norcem [Internett] Oslo: Norcem [hentet 14. mars 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.norcem.no/no/om_norcem

67. Norcem. Sementproduksjon og CO₂ [Internett]. Oslo: Norcem; 2020 [Hentet 14. mars 2020]
Tilgjengelig fra: <https://www.norcem.no/no/sementproduksjon-co2>
68. Thue J. V. Karbonatisering [Internett]. Trondheim: Store norske leksikon; 14. Februar 2009
[hentet 14. mars 2020]. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/karbonatisering>
69. Norsk betongforening. 37 PDF Lavkarbonbetong (2019) [Internett] Norsk betongforening;
2019 [hentet 07 mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/>
70. Christensen N., Almar-Næss A. Stål [Internett] Store norske leksikon; 15. februar 2009 [Sist
oppdatert: 11. april 2019, hentet 30. mars 2020] Tilgjengelig fra: <https://snl.no/st%C3%A5l>
71. Norsk stålforbund. Materialet [Internett] Oslo: Norsk stålforbund [Hentet 25. mai 2020].
Tilgjengelig fra: <https://www.stalforbund.no/om-stal/materialet>
72. The world counts. Tons of steel produced [Internett] The world counts: 2020 [hentet 02. April
2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.theworldcounts.com/challenges/planet-earth/mining/environmental-impact-of-steel-production>
73. Greenspec. Steel production & environmental impact [Internett]. Greenspec; 2020 [hentet
02. april 2020]. Tilgjengelig fra: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/steel-products-and-environmental-impact/>
74. World steel association. Steel's contribution to a low carbon future [Internett] Brussels:
World steel association; 2020 [hentet 02. April 2020]. Tilgjengelig fra:
<https://www.worldsteel.org/publications/position-papers/steel-s-contribution-to-a-low-carbon-future.html>
75. Eliassen A. R. Klimagassregnskap av Maskinparken 2, Maskinparken TRE og
Verkstedgården 1 [masteroppgave]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige
universitet; 2019
76. Thørgersen S. N. Hvordan redusere bygningers miljøpåvirkning med LCA og BIM
[masteroppgave]. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet; 2019
77. Selvig, E. Klimagassutslipp og bygninger. [Internett] Oslo: Standard Norge; 11. oktober
2018 [hentet 5. mai 2020]. Tilgjengelig fra:
https://www.standard.no/Global/PDF/Bygg,%20anlegg%20og%20eiendom/2018Klimagass_bygg/4%20NS%203720%20Frokostm%C3%B8te%20overrekking%20Eivind%20Selvig%2011.10.18.pdf

78. Glava. Pluss system [Internett] Glava [hentet 5. mai 2002]. Tilgjengelig fra: <https://www.glava.no/bygg/losninger/fasadesystemer/pluss-system/>
79. Civitas. Regneregler for klimagassberegninger i Future Build Bygg og områder [Internett] Civitas; 1.februar 2018 [hentet 09. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwiesX3rKnpAhXCxIsKHZ8MCRkQFjAAegQIBxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.futurebuilt.no%2Fcontent%2Fdownload%2F12110%2F85713&usg=AOvVaw2zZvc91DA7dbaRsVf5wTSi>
80. Statkraft. Trondheim [Internett] Trondheim: Statkraft [hentet 11. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://www.statkraftvarme.no/om-statkraftvarme/vare-anlegg/norge/trondheim/>
81. Lotherington, P.B. Raskere og billigere med heissjakt i massivtre. [Internett]. Oslo: Byggmesteren; 16. Oktober 2014 [hentet 29. April 2020]. Tilgjengelig fra: <https://byggmesteren.as/2014/10/16/raskere-og-billigere-med-heissjakt-i-massivtre/>
82. Veidekke. Rykkinn skole klimagassberegning [Internett]. Futurebuild; 25 november 2015 [sist oppdatert 25. februar 2019, hentet 18. mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj5sdqri9HpAhWOW6YKHQCgD7MQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.futurebuilt.no%2Fcontent%2Fdownload%2F10049%2Ffile%2FRykkinn_skole_Klimagassrapport_FutureBuilt_som_bygget.pdf&usg=AOvVaw3_2HNUfcO9fdcSSIal3EM8
83. Context. Åsveien skole [Internett] Framtidens bygg; juni 2018 [hentet 26. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/181704934-Asveien-skole-klimagassregnskap-i-drift.html>
84. Civias. Brynseng skole klimagassberegning [Internett]. Futurebuild; 29. januar 2018 [sist oppdatert 26. februar 2019, hentet 18 mai 2020]. Tilgjengelig fra: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi65OmBjdHpAhVJR5oKHeNQAm0QFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Fwww.futurebuilt.no%2Fcontent%2Fdownload%2F14401%2F96847&usg=AOvVaw3nil_QEHajKjVc4p4vtYmB
85. Neerland ED. Klimagassregnskap Bjørkelangen skole [Internett]. HENT AS; 02. oktober 2017 [hentet 18. mai 2020]. Tilgjengelig fra: <http://ecoinside.nu/wp-content/uploads/2017/10/Rapport-klimagassregnskap-Bj%C3%B8rkelangen.pdf>

86. Context. Ydalir skole klimagassberegning [Internett] Future build; 29. september 2016 [hentet 18. mai 2020]. Tilgjengelig fra:
<https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjuoN6Nj9HpAhVPR5oKHZUgDTgQFjAAegQIBBAB&url=https%3A%2F%2Fwww.miljokommune.no%2FDocuments%2FKlima%2FKlimasats-eraringer%25202017%2Ffelverum%2520171002%2520Ydalir%2520skole%2520klimagassregnskap.pdf&usq=AOvVaw0T0IeC20nBSC6tZOKYjLQG>
87. Binderholz GmbH & Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH. Sustainability Solid Timber Manual 2.0 [Internett]. Østerrike: Binderholz GmbH & Saint-Gobain Rigips Austria GesmbH; mai 2019 [hentet 22. mai 2020]. Tilgjengelig fra:
https://www.binderholz.com/fileadmin/user_upload/pdf/products/sustainability.pdf

Vedlegg

Vedlegg 1 – Artikkel

Vedlegg 2 – Plakat

Vedlegg 3 – Brukermanual for klimagassberegning i One Click LCA

Vedlegg 4 – One Click LCA Resultater med datakilder

Vedlegg 5 – One Click LCA Fullstendig rapport

Vedlegg 6 – Relevante EPD-er

Vedlegg 7 – Intervju med Treteknisk

Vedlegg 8 – Forslag til tema til bacheloroppgave

Vedlegg 9 – E-poster

