Bacheloroppgave

BYGA2900 Bacheloroppgave

Bærekraftig analyse av Prefabrikasjon og konvensjonell

Kandidat nr. 10025, 10012 og 10003

Totalt antall sider inkludert forsiden: 50

Ålesund 20.05.2022

Studiepoeng: 20

Veileder: Amin Moazami

Publiseringsavtale

Obligatorisk egenerklæring/gruppeerklæring

Du/dere fyller ut erklæringen ved å klikke i ruten til høyre for den enkelte del 1-6:		
1.	**Jeg/vi erklærer herved at min/vår besvarelse er mitt/vårt eget arbeid, og at jeg/vi ikke har brukt andre kilder eller har mottatt annen hjelp enn det som er nevnt i besvarelsen.**	☒
2.	**Jeg/vi erklærer videre at denne besvarelsen:** • ikke har vært brukt til annen eksamen ved annen avdeling/universitet/høgskole innenlands eller utenlands. • ikke refererer til andres arbeid uten at det er oppgitt. • ikke refererer til eget tidligere arbeid uten at det er oppgitt. • har alle referansene oppgitt i litteraturlisten. • ikke er en kopi, duplikat eller avskrift av andres arbeid eller besvarelse.	☒
3.	**Jeg/vi er kjent med at brudd på ovennevnte er å betrakte som fusk og kan medføre annullering av eksamen og utestengelse fra universiteter og høgskoler i Norge, jf. Universitets- og høgskoleloven §§4-7 og 4-8 og Forskrift om eksamen §§14 og 15.**	☒
4.	**Jeg/vi er kjent med at alle innleverte oppgaver kan bli plagiatkontrollert i Ephorus, se Retningslinjer for elektronisk innlevering og publisering av studiepoenggivende studentoppgaver**	☒
5.	**Jeg/vi er kjent med at høgskolen vil behandle alle saker hvor det forligger mistanke om fusk etter høgskolens studieforskrift §31**	☒
6.	**Jeg/vi har satt oss inn i regler og retningslinjer i bruk av kilder og referanser på biblioteket sine nettsider**	☒

Fullmakt til elektronisk publisering av oppgaven

Forfatter(ne) har opphavsrett til oppgaven. Det betyr blant annet enerett til å gjøre verket tilgjengelig for allmennheten (Åndsverkloven §2).

Alle oppgaver som fyller kriteriene, vil bli registrert og publisert i Brage med forfatter(ne)s godkjennelse.

Oppgaver som er unntatt offentlighet eller båndlagt vil ikke bli publisert.

Jeg/vi gir herved NTNU en vederlagsfri rett til å

gjøre oppgaven tilgjengelig for elektronisk publisering: X☐**ja** ☐**nei**

Er oppgaven båndlagt (konfidensiell)? ☐**ja** X☐**nei**

(Båndleggingsavtale må fylles ut)

- Hvis ja:

Kan oppgaven publiseres når båndleggingsperioden er over? X☐**ja** ☐**nei**

Er oppgaven unntatt offentlighet? ☐**ja** X☐**nei**

(inneholder taushetsbelagt informasjon. Jfr. Offl. §13/Fvl. §13

Dato: 20.05.2022

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet våren 2022, og markerer avslutningen på det 3-årige studieprogrammet byggingeniør ved Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet (NTNU) i Ålesund. Oppgaven vår inngår i emnet IE303612 - Bacheloroppgave ved institutt for Institutt for IKT og realfag. Prosjektgruppen studerer retning- konstruksjon ved NTNU Ålesund og samarbeidspartnere for denne oppgaven er Stranda kommune, Nordplan, NTNU og EcoCocon. Oppgaven er produsert i samhandling sammen med tre studenter og meddeles totalt 60 studiepoeng fordelt på de tre forfatterne.

Oppgaven omhandler bærekraftig analyse av Hellesylt Kaihus med hensyn på klimaavtrykk. Bakgrunnen for valget av tematikken er forfatternes interesse og engasjement for bærekraft og miljø, og økende interesse for bærekraftige metoder innen bygge bransjen. Etter mye frem og tilbake ved valg av problemstillingen endte vi med å bestemme oss for å skrive noe relatert til bærekraft i byggebransjen. Det har vært svært lærerikt og interessant å arbeide med et så dagsaktuelt tema, som har åpnet muligheten til å ha digitale møter og snakke med engasjerte og ikke minst dyktige folk i bransjen.

Det er flere som fortjener en stor hyllest for bidrag til oppgaven vår. Først ønsker vi å takke hjalp med oss med bestemmelse av problemstillingen, deriblant Inge Bjørdal som satt oss i kontakt med Henrik Tryggestad Koi fra Nordplan. Vi ønsker også å rette en stor takk til Max Vittrup Jensen fra EcoCocon som har både gitt oss tilbake melding på oppgaven vår og gitt oss en god del ressurs relatert til oppgaven vår.

Vi er også takknemlig for all hjelp vi har fått fra Amin Moazami, vår veileder ved fakultet, som har fulgt arbeidet gjennom prosjektperioden. Amina Moazami har vært en stor hjelp ved oppstart av oppgaven. Hans tilbakemeldinger og vurdering underveis gjorde ting mer klart og tydelig for oss. En stor takk rettes også til våre nære som har støttet oss gjennom et intensivt semester og hjulpet oss med korrekturlesing. Til slutt vil vi takke hverandre for et inspirerende og morsomt samarbeid gjennom lange arbeidsdager på lesesal og hjemmekontor.

Ålesund, mai 2022

Ismail Samadi | *Hans Ove Venås* | Suliman A. Suliman

Sammendrag

Kaihuset oppgaven handler om, ligger i Hellesylt - Stranda kommune. Denne oppgaven skal ta for seg bærekraftig analyse av plassbygde vegger og prefabrikkerte halmmoduler, med hensyn på klimaavtrykk. Oppgaven har som hensikt å sammenligne de metodene og avveie Co2 utslipp av de to metodene. Hovedfokuset vil da være å gjøre en livssyklusanalyse.

Teorien er hentet fra litteraturstudie, Sintef Byggforsk, universitets biblioteker fra USA og Sverige. I tillegg er det brukt skolebøker og kompendier. Beregning CO2 utslipp av prefabrikkerte og konvensjonelle vegger er gjort ved bruk av OneClick LCA.

Deretter har løsningen blitt modellert i Revit. Gjennom modellen får man ut mengder materialene som kan eksporteres til verktøyet for livssyklusanalyse, One Click LCA. Det er tatt hensyn til produksjon og transport av materialene, riving og avfallsbehandling ved livsløpets slutt.

Ut ifra resultatene demonstreres da at den bærekraftige bygget har 15.2% lavere utslipp sammenlignet med det konvensjonelle bygget. Dette er positivt resultat tilsvarende innenfor den rekkevidden som var antatt. Konvensjonelle veggen danner 3.31 ganger så mye utslipp sammenlignet med den bærekraftige veggen, dette var mer enn forventet.

Abstract

Kaihuset the task is about is in Hellesylt, Stranda municipality. This task will address sustainable analysis of conventional walls and prefabricated straw modules, considering climate footprints. The task aims to compare the methods and weigh CO2 worn out by the two. The focus will then be to do a life cycle analysis for the two methods. In addition, the task deals with the dimensioning of the new solution in prefabricated ecococon wall elements.

The theory is taken from literature study, Sintef Byggforsk, university libraries from the USA and Sweden. In addition, schoolbooks and compendiums are used. Calculation of prefabricated straw modules and conventional ones is done using OneClick LCA.

Then the solution has been modeled in Revit. The model extracts quantities of the various materials that can be exported to the lifecycle analysis tool, One Click LCA. Consideration has been given to the production and transport of the materials, demolition and waste treatment at the end of the life cycle.

Based on the results, it is demonstrated that the sustainable building has 15.2% lower emissions compared to the conventional building as a whole. This is a positive result corresponding to the range assumed. Conventional wall forms 3.31 times as many emissions compared to the sustainable wall, this was more than expected.

Innholdsliste

Sammendrag 5
Abstract 6
Terminologi 10
1 Innledning 11
1.1 Bakgrunn 11
1.2 Formål og problemstilling 12
1.3 Avgrensninger 13
1.4 Rapportens oppbygging 13
2 Teoretisk grunnlag og litteratur 14
2.1 Klimakrise og behov for bærekraftig utvikling. 14
2.2 Bærekraft i bygningsbransjen 15
2.2.2 Bærekraftig byggeprosess 16
2.3 Prefabrikasjon 18
2.3.1 prefabrikkerte moduler 18
2.3.2 Halm som konstruksjonsmateriale 18
2.3.3 konstruksjoners brannmotstand 20
2.3.4 Lydisolasjon 21
2.3.5 Tekniske installasjoner. 22
2.4 LCA-metodikk 23
2.4.2 Rammeverk for LCA 23
2.4.3 EPD (Environmental Product Declaration) 24
2.5 Bestilling og transport 27
2.6 Kostnadsforskjellen 28
2.7 Lovverk 30
2.7.1 Forskrifter 30
2.7.2 Standarder 30
3 Metode 32
3.1 Forskningsmetode 32
3.2 Programvare/data 32
3.2.1 Revit 2022 32
3.2.2 Oneclick LCA 34
3.3 Fremgangsmåte 35
3.3.1 Modellering ..... **Feil! Bokmerke er ikke definert.**
3.3.2 Dimensjonering 36

3.3.2.1 Konvensjonell yttervegg 36
3.3.3.2 Bærekraftig yttervegg 38
3.3.3 valg av byggemateriale 38
3.3.4 Analyse i Oneclick LCA 38
4 Resultater 40
4.1 Klimagassutslipp til bærekraftig og konvensjonelt bygg 40
4.2 Bærekraftig og konvensjonell vegg 43
5 Diskusjon 44
5.1 Ga metodene brukt i denne oppgaven presise resultater 44
5.2 Kunne vi beholde det eksisterende bygget 44
5.3 Hvilket fordeler har den prefabrikkerte veggen 44
5.4 CO2 utslippet ved valg av de to metodene og sammenligning klimagassutslipp 45
6 Konklusjon 46
7 Videre arbeid 46
8 Referanse 47
9 Vedlegg 50

Figur liste

Figur 1 Figur - Hellesylt Kaihus illustrert av Nordplan. 11
Figur 2 - Verdens samlede CO2-utslipp. Kilde: Global Carbon Budget 2018 15
Figur 3 - Byggematerialets pyramide. Kilde: (KPF, 2020) 16
Figur 4 - Direkte og indirekte utslipp i byggesektoren. (Kilde: ipcc.ch) 17
Figur 5 - Sammenhengen mellom energikilde og klimagassutslipp for norske bygg. Kilde: bnl.no 17
Figur 8 - illustrasjon av tekniske installasjoner. Kilder: EcoCocon 22
Figur 9 9 - LCA Rammeverk. Redigert: banenor.no 23
Figur 10 10 - Sammenligning av bruks- og materialfasen til en 10-20 år gammel 26
Figur 11 11 - Klimagassutslipp i Norge fordelt på ulike kilder. Oppvarming av bygg er markert i rosa, og har redusert kraftig. Kilde: SSB og miljødirektoratet. 26
Figur 12 - Foreløpig prisoverslag fra EcoCocon 28
Figur 13 - Eurokode 31
Figur 14 - Snitt av konvensjonell vegg med tre-konstruksjon. 36
Figur 15 - Stendere og sviller, bære-konstruksjonen til det konvensjonelle bygget. 36
Figur 16 - Energitiltak fra TEK17 (Kapittel 14 - energi, 2020) 37
Figur 17 Snitt av Bærekraftig yttervegg av halm 38
Figur 18 - CO2 utslipp til det bærekraftige og konvensjonelle bygget. 40
Figur 19 - Ressurs-typer bærekraftig bygg 41
Figur 20 - Ressurs-typer konvensjonelt bygg 41
Figur 21 - Sankey Diagram av CO2 utslipp av bærekraftig bygg 42
Figur 22 - Sankey diagram av konvensjonelle bygg 42
Figur 23 - CO2 utslipp til det bærekraftige og konvensjonelle veggene 43

Tabell liste:

Tabellen 1 - Fasene i en LCA basert på NS-EN 15804. Kilde: (Myhre, 2021) 25
Tabellen 2 - Prissammenligning for prefabrikkert og konvensjonell yttervegg 29
Tabellen 3 - Material verdier fra Revit (Material takeoff) 33
Tabellen 4 - Material verdier satt inn i One Click LCA. 35
Tabellen 5 - U-verdi for yttervegger av bindingsverk isolert med mineralull (Sintef, 2014) 37
Tabellen 6 - Mest medvirkende materialer 39

Terminologi

Forkortelse

LCA Life Cycle Assessment (Livssyklusanalyse)
TEK Teknisk forskrift
SAK Byggesaksbehandling
DOK Forskrift om dokumentasjon av byggevarer
NS Norsk Standard
ISO International Organization for Standardization
BIM Bygningsinformasjonsmodellering

BKL Brannklasse
BRA Bruksareal
BTA Bruttoareal
GWP Global Warming Potential (Globalt oppvarmingspotensial)
GWP Global warming potential
EPD Environmental Product Declaration (Miljødeklarasjon)
MMI Modell Modenhets Indeks
IPCC International Panel on Climate Change, FNs klimapanel
FDVU Forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling

1 Innledning

Tema for denne oppgaven ble valgt på bakgrunn av et ønske om en mer bærekraftig bygge-bransje med fokus på fornybare bygningsdeler og metoder. Målet med dette kapittelet er å gjøre rede for formålet med oppgaven-, og dens avgrensninger presenteres. I slutten av dette kapittelet blir oppgavens struktur presentert for leserveiledning.

1.1 Bakgrunn

Kaihuset denne oppgaven handler om ligger i Hellesylt, Stranda kommune. Byggets funksjon har variert gjennom tidene og ble brukt som lager av bøndene i begynnelsen. Bygget blir for tiden brukt som lager til fritidsutstyr av Fjord nature. Kommunen har ønske om et nytt bygg som erstatning og rive ned det eksisterende bygget. Det nye bygget vil da gå under kategorien kulturbygg. Funksjonen til det kommende bygget har blitt diskutert av kommunen og lokale i Hellesylt. Blant annet har kommunen holdt åpent møte hvor alle interesserte kunne delta og få frem sin mening om byggets kommende funksjon(er). Her er det flere saker som er nevnt, men turister blir tatt hensyn til ved utbygging, mulighet for billettkjøp, venterom for passasjerer, både lokale og turister som skal gjennom fjorden til Geiranger og for lokale på Hellesylt. Bygget skal styres av Strande kommune og eventuelt lokale i Hellesylt.

Figur 1 Figur - Hellesylt Kaihus illustrert av Nordplan

Dagens samfunn er under konstant utvikling, der det er behov for ingeniører som tar ansvar for bygg- og anleggsbransjen. Her er det mangel på miljøvennlige og bærekraftige løsninger. Det er fordi store deler av klimabelastningen kommer fra bygge-bransjen. Det er stort fokus på bærekraftig utbygging, men dessverre går ikke utviklingen i den hastigheten det er tenkt fra myndighetene. Bygninger stod for 32% av energiforbruket i verden i 2010 og 19% av klimagassutslippene globalt kom fra produksjonsfasen til bygninger (IPCC). I Norge benyttes det store og rene energi kilder som vannkraft og vindkraft, noe som er bærekraftig. De forente nasjoner (FN) har gjort det klart at for å nå klimamålet i Parisavtalen om å begrense temperaturøkningen til 2 grader (FN, 2015). I tillegg må klimagassutslippene reduseres med 40-50% i perioden 2010 til 2030 (Miljødirektoratet, 2018). Parisavtalen er en internasjonal avtale som sørge for at verdens land når begrensning av klimaendringene. Målet er at jorda ikke skal bli mer en maks 2 grader varmere, og helst ikke mer enn 1.5 grader. Norge har 24 nasjonale miljømål, delt inn i 6 kategorier: Naturmangfold, kulturminner, friluftsliv, forurensing, klima og polarområde. Norge skal dermed bli klimanøytral i 2030, og har et lovfestet mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050. (Miljødirektoratet, 2022). Stranda kommune har søkt om støtte fra miljødepartementet for utbygging av Kaihuset. Som svar på søknaden har de blitt bedt om en rapport, hvor det viser at miljøvennlige løsninger blir valgt ved utbygging av Kaihuset. Oppdraget for en slik rapport ble gitt til Nordplan. Etter et møte med Nordplan, ble det enighet om at denne rapporten kunne bli med på å finne miljøvennlige løsninger for bygget.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med oppgaven er å analysere og vurdere en del av klimaavtrykket for det nye Kaihuset i Hellesylt og finne miljøvennlige løsninger for prosjektet. Det finnes et stort potensial når det kommer til bærekraft i byggenæringen. I denne oppgaven blir det lagt stor vekt på bærekraft ved prosjektering og valg av bygg-komponenter, dette kan spare miljøet for store klimabelastninger. I resultatet av oppgaven blir det presentert et anslag for CO2-utslippene for de forskjellige alternativene. Det skal gjøres ved å sammenligne et konvensjonelt bygg, med et prefabrikkert et. I tillegg er det ønske om å komme frem til et resultat som viser kostnadene fra transport til selve kostnadene av prefabrikkerte moduler.

Forskningsspørsmål:

- Hvilke miljømessige fordeler er det å benytte prefabrikkerte vegger kontra en konvensjonell (plassbygd) vegg?
- Hva er CO2 utslippet ved valg av de to metodene?
- Hvordan er prosessen med bestilling og transport for et slikt prosjekt?

1.3 Avgrensninger

Hele bygget er på 224 m2, og grunnen/fundamentet vil bli hevet med 70 cm grunnet nye standarder. I denne oppgaven ville omfanget av hele bygget inkludert tak og fundamentering blitt for stor for oppgaven. Det ble besluttet å se bort fra fundamentering og golv. Videre er det valgt å se bort fra energibruk i drift, vannforbruk og vedlikehold i bruksstadiet. Når det gjelder bæresystemet er det besluttet å se bort fra lastberegning for horisontale lastene: vindlast, seismiske laster og ulykkelaster. Oppgaven er derfor begrenset til å gjelde sammenligning av de to alternativene man har for veggene, konvensjonelle og prefabrikkerte.

1.4 Rapportens oppbygging

Kapittel 1

Tar for seg bakgrunnen for valget vårt, formål problemstillingen, oppgavens avgrensninger og til slutt rapportens oppbygging.

Kapittel 2

Tar for seg litteratur og teoretisk grunn oppgaven vår er bygget på. Her prøves å besvare spørsmål rundt halm som konstruksjonsmateriale og dens fordeler og ulemper.

Kapittel 3

Tar for seg metoden for analysen.

Kapittel 4

Dette kapitelet inneholder resultatene funnet i analysen.

Kapittel 5

Her blir diskusjonen og drøftinga til resultatene i kapittel 4 tatt for seg.

Kapittel 6

Dette kapittelet inneholder konklusjonen av hele rapporten.

Kapittel 7

Her presenteres videre arbeid.

2 Teoretisk grunnlag og litteratur

I dette kapittelet tas det teoretiske grunnlaget oppgaven er bygget på, her presenteres temaer som klimakrise og behov for bærekraftig utvikling, bærekraft i byggebransjen, prefabrikasjon, halm som konstruksjonsmateriale og lovverk.

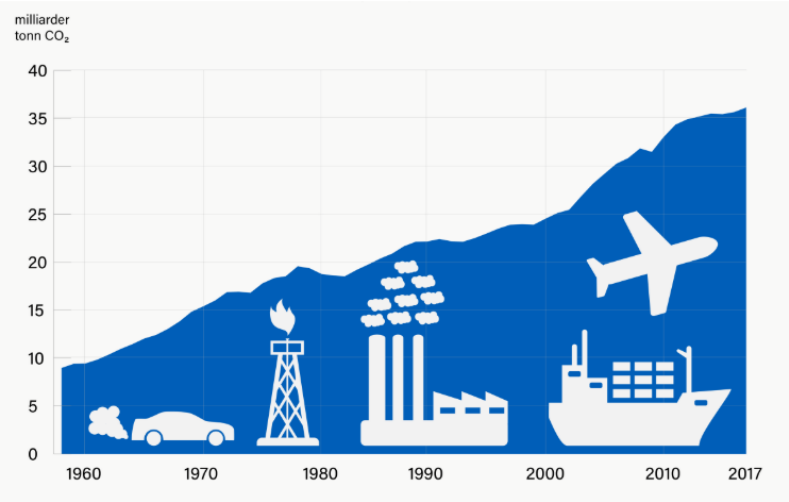
2.1 Klimakrise og behov for bærekraftig utvikling.

Det er økt økonomisk aktivitet globalt, befolkningsvekts og globalisering som har ført til kraftig økning av menneskers innvirkning på jorda det siste århundret (Bakshi, 2019). Dagens lineære forbruksmønster vil si at ressursforbruk øker i takt med menneskers velferdsnivåer og ikke minst økonomisk aktivitet (IRP, 2017)En god del av naturens ressurser er preget nå av overforbruk. Økosystemer er presset og det oppleves drastisk nedgang i biologisk mangfold (Bakshi, 2019). Resultatet av menneskelig aktivitet har ført til en kraftig økning i utslipp av klimagasser, i tillegg er klimakrisen med global oppvarming, nå en av vår tids største utfordringer. For å unngå eller redusere omfanget av de alvorlige konsekvensene temperaturendringer kan medføre for både naturen og mennesker, kreves det drastiske endringer og hurtig omstilling (IPCC, 2018). FNs klimapanel påstår uavhengig av hvor stor temperatur endringene blir, vil resultatet bli utfordringer som fører til økt vannmangel, redusert matproduksjon, ekstremvær og global havstigning. Konsekvensene det medfører vil da ødelegge utallige menneskers levevilkår og levegrunnlag. I tillegg vil mange millioner ende opp som klimaflyktninger (Miljødirektoratet., 2018).

Fokus på bærekraft har nok aldri vært så stort som i dag. Som nevnt i innledningen lager myndighetene lover for å øke den bærekraftige utviklingen. Bedrifter og selskaper strekker seg langt for å assosiere seg med bærekraft, i tillegg tilbys bedre løsninger av banker for prosjekter assosiert med miljømessig fordeler ved hjelp av gunstigere renter. Slike lån blir ofte kalt grønne lån (Nordea, 2020). Det har også vært tilfeller hvor banker ikke ønsker å gi finansiering om det ikke tas klimahensyn (B, 2022)

Bærekraftige bygg går ut på levetid så vel som tilgjengelighet og energieffektivitet. De nevnte kalles bærekraftig kvalitet. Et samarbeid mellom bygg- og eiendomsnæringen og statlige myndigheter under navnet bygg21 har utviklet ti kvalitetsprinsipper for bærekraftige bygg. Rapporten tar for seg det sosiale, visuelle, innemiljøet, sikkerhet, tilgjengelig levetid, arealutnyttelse, energiutnyttelse, ressursutnyttelse, lave klimagassutslipp og lav forvalting, drift, vedlikehold og utviklings (FDVU)-kostnader. (DIBK, 2022)

FNs klimapanel har blant annet foreslått konkrete tiltak for å redusere klimagassutslippene. Et av disse er å bygge byer på en klimavennlig måte, ettersom at over halvparten av verdens befolkning bor i byer. Det er også estimert at befolkningen i byene kommer til å stige til 64-69% innen 2050. FN mener at det må legges til rette for lavere utslipp ved blant annet å satse på kollektivtransport og at fossile energikilder skal ikke være et krav for verken en bygning eller for infrastrukturen i byer. Klimapanelet har også utarbeidet fire ulike framskrivninger for klimaet frem mot 2100. I disse framskrivningene tar de for seg hvor store klimaendringene blir med tiden. De konkluderer med at jo lengre man venter med å igangsette tiltak, desto verre blir det å få endringene under kontroll (FN, 2019) Naturlig nok er det den rike delen av verden som står for den største delen av utslippene, nemlig 2/3. Se Figur 2.



Figur 2 - Verdens samlede CO2-utslipp. Kilde: Global Carbon Budget 2018

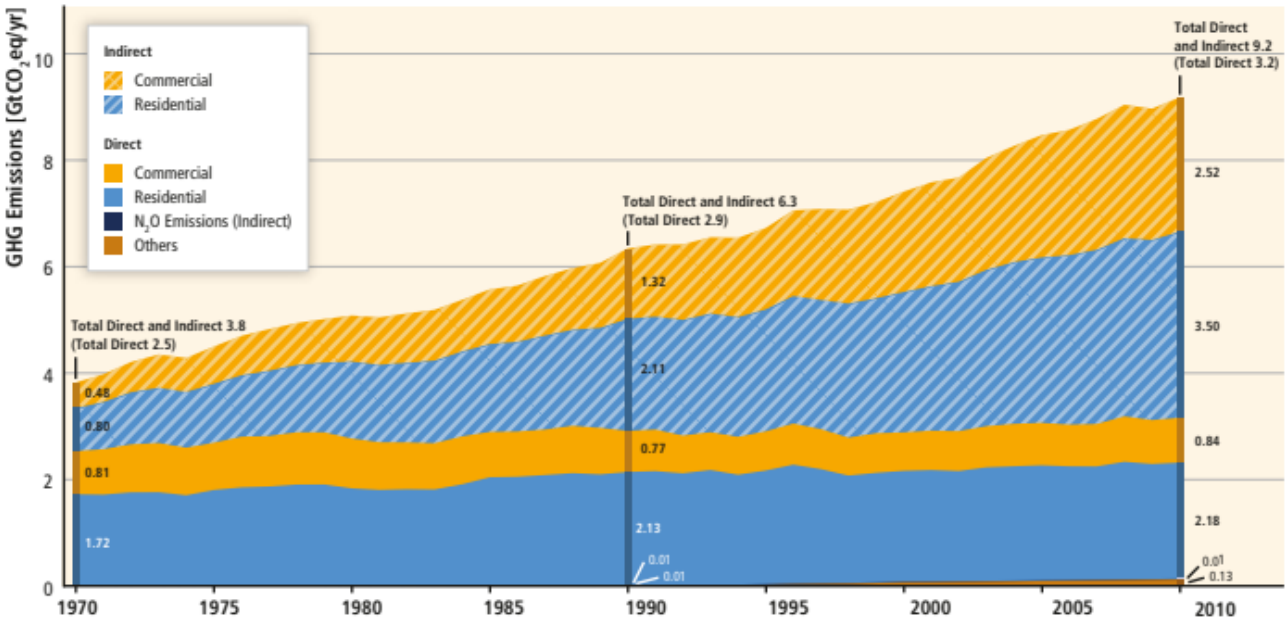
2.2 Bærekraft i bygningsbransjen

Når det gjelder bærekraft, står bygge-bransjen for en stor belastning på klimaet. Statistikken viser at det er en realitet vi ikke kan lukke øynene for med tanke på regjeringens ambisjoner om å redusere utslipp av gasser med 50 til 55 prosent innen 2030. Det er ønske fra 60 % av befolkningen om bærekraftig bygging, men under 5 % av igangsatte prosjekter kan betegnes som dette. Spørsmålet blir: hvordan kan man skape en mer bærekraftig bransje? Spesielt i en stadig mer urbanisert verden hvor man i 2050 kan forvente at i underkant av 70% av verdens befolkning bor i byene. Dette gjør det enda mer viktig å overveie virkningene av byggenæringen i fremtiden. Det er viktig å tenke langsiktig, bærekraftig bygg handler ikke bare om energieffektive bygninger. Men også om bygningens samlede fotavtrykk på klima og miljø, og bygningens påvirkning av brukernes velvære og økonomi. (NTI, 2022)

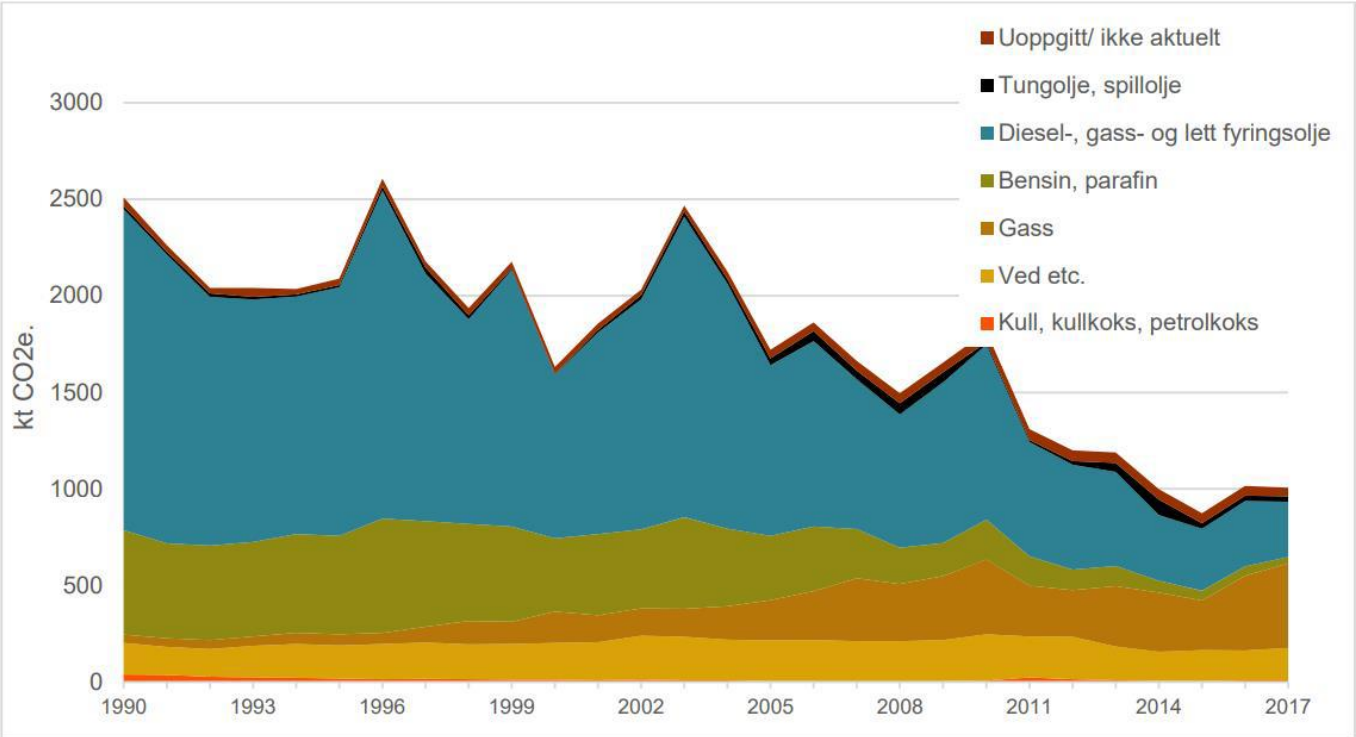
Figur 3 - Byggematerialets pyramide. Kilde: (KPF, 2020)

2.2.2 Bærekraftig byggeprosess

Byggeprosessen omfatter alle prosesser gjennom hele livsløpet til et byggverk; fra behovsavklaring, programmering, idé og konseptutvikling, til prosjektering og bygging, drifts- og bruksfase og til slutt avhending (SINTEF, 2022). Som nevnt i delkapittelet ovenfor står byggesektoren for store klimafotavtrykk i dagens samfunn. Rapporten som er utarbeidet av IPCC og FNs klimapanel, viser dette. Figur 4 viser at tallene har økt gradvis siden 1970. Tallene vist her er globale. I tillegg er klimautslippene fra energibruken i norske bygg stort sett lave. Dette kan ses i sammenheng med at fossil fyringsolje ble forbudt. Se figur 5. Til tross for at utslippene er lave, er energibruken fortsatt høy (Nersund Larsen, 2019)



Figur 4 - Direkte og indirekte utslipp i byggesektoren. (Kilde: ipcc.ch)



Figur 5 - Sammenhengen mellom energikilde og klimagassutslipp for norske bygg. Kilde: bnl.no

2.3 -Prefabrikasjon

2.3.1 prefabrikkerte moduler

Prefabrikkerte veggelementer, eller prefabrikkerte moduler, er vanligvis basert på samme type bindingsverk som konvensjonelle plassbygde vegger. Veggelementene blir lagd med dimensjoner som er tilpasset det enkelte huset, og størrelsen begrenses primært av de aktuelle transport- og monteringsmuligheter. For at lange veggelementer og moduler skal kunne heises, må de ha tilstrekkelig stivhet. En løsning for å gi elementene ekstra stivhet i veggplanet er å plassere minst 10mm tre-baserte plater på innsiden av bindingsverket.

Fabrikkframstilte ytterveggelementer gir en vesentlig raskere lukking av bygget enn plassbygging, og dermed mindre fukt i bygget. Samtidig blir elementer som settes sammen i en jigg på fabrikk som regel mer dimensjonsnøyaktige. De har også standard konstruksjonsdetaljer som er forhåndsprosjektert og gjerne kvalitetssikret gjennom teknisk godkjenning eller sertifisering av konstruksjonssystemet. Såkalte åpne veggelementer leveres til byggeplass uten varmeisolasjon eller innvendig kledning, også vinduer og eventuelle dører montert på fabrikken. Slike elementer krever relativt enkelt produksjonsutstyr, og er ikke så følsomme for blant annet fuktpåvirkninger ved lagring, transport og montering. Samtidig medfører åpne veggelementer mer kompletteringsarbeid (klargjøring for veggelement) på byggeplass. De gir imidlertid også stor fleksibilitet når det gjelder montering av teknisk installasjoner og utførelse av innvendig tettesjikt, kledning og tilslutning til etasjeskiller og tak. Såkalte lukkede veggelementer har varmeisolasjon og ofte innvendig sperresjikt og kledning ferdig montert på fabrikk. Dette krever mer produksjonsutstyr på fabrikken og mer detaljprosjektering i forkant og gir mindre fleksibilitet. Samtidig må man ta mer hensyn til klimapåvirkninger og fare for støtskader og liknende ved lagring, transport og montering. Til gjengjeld reduseres byggeplassarbeidet i vesentlig grad. (Edvardsen, 2014)

2.3.2 Halm som konstruksjonsmateriale

Halm er strå og blad av modent korn, av belgvekster og av engvekster høstet til frø, særlig etter at kornet eller frøet er skilt fra ved tresking (SNL,2022). Tidligere har halm blitt brukt til forskjellige formål som blant annet sengefyll eller underlag for dyr. Mange av rollene halm hadde før, har den også i dag. I dag brukes halm som brensel (tørket og presset til briketter som CO2 nøytral), drivstoff (omdannet til bioetanol som CO2 nøytrale drivstoffer for biler) og til hus som prefabrikkerte halmmoduler (Knudsen Trygve, 2022)

Halmmoduler er en byggemetode som bruker halm som konstruksjonselementer, som bygningsisolasjon eller begge deler. Denne byggemetoden brukes ofte i «grønne prosjekter». Forskning har vist at bruk av halmmoduler er en bærekraftig byggemetode både med tanke på materialer og energi som trengs for oppvarming og kjøling. Fordelen med halmmoduler sammenlignet med konvensjonelle byggesystemer er halms fornybare natur, pris og tilgjengelighet, naturlig brannhemmende og høy isolasjonsverdi. Det er gjort forskning ved bruk av fuktprober plassert innenfor halmveggen der 7 av 8 lokasjoner hadde fuktighetsinnhold på mindre enn 20%. Dette er fuktighetsnivå som ikke hjelper til med

nedbryting av halmen. Riktig konstruksjon av halmmoduler er imidlertid viktig for holde fuktighetsnivået nede, akkurat som i konstruksjonen av alle typer bygninger.

Halmhus har blitt bygget på de afrikanske slettene siden paleolittisk tid. Halmballer ble brukt i konstruksjoner for 400 år siden i Tyskland; og stråtak har lenge vært brukt i Nord-Europa og Asia. Da europeiske nybyggere kom til Nord-Amerika, ble teltene isolert om vinteren med løs halm mellom innerforet og ytterdekselet (R.Marks). Konstruksjon av halmballer ble i stor grad forenklet av den mekaniske høyballepressen, som ble oppfunnet på 1850-tallet og var utbredt på 1890-tallet. Det viste seg spesielt nyttig i Nebraska Sandhills . Folk som søkte land under Homestead ACT fra 1862 og Kinkaid ACT fra 1904 fant mangel på trær over store deler av Nebraska. I mange deler av staten var jorda egnet for gravehull og torvhus . Den første dokumenterte bruken av høyballer i konstruksjon i Nebraska var et skolehus bygget i 1896 eller 1897. Ugjerdet og ubeskyttet av stukkatur eller gips, ble det rapportert i 1902 å ha blitt spist av kyr. For å bekjempe dette begynte utbyggere å gipse ballekonstruksjonene sine; hvis sement eller lime stukk var utilgjengelig, ble lokalt oppnådd ved bruk av gjørme (blandet med sand osv.) . Siden 1990-tallet har halmballekonstruksjonen blitt betydelig gjenopplivet, spesielt i Nord-Amerika, Europa og Australia (Wikipedia, 2022)

Prefabrikasjon gjør de klimavennlige materialene økonomisk konkurransedyktige. I tillegg reguleres slike materialer inneklimaet bedre enn vanlige vegger. I dagens boliger er det plast på innsiden av isolasjonen, og byggene er nærmest lufttette. I et prefabrikkerte halmhus fra EcoCocon er det ikke nødvendig med plast i veggene og det er ikke nødvendigvis behov for ventilasjonsanlegg. Tidligere problem med halm-bygg har vært at plassbygging tar lengre tid før bygget er lukket, som kan føre til fuktskade på materialet (SOLBERG, 2017).

Figur6 - Den første halm Kirke, i Arthur, Nebraska (1920)(Kilde WP)

2.3.3 konstruksjoners brannmotstand

Ved klassifisering av bygningsdelers brannmotstand angis den tiden som bygningsdelen kan motstå en standardisert brannprøving uten å miste sin bæreevne (R), beholde sin integritet slik at brannen ikke trenger gjennom sprekker og åpninger (E), og uten at temperaturstigningen på motsatt side av brannrommet i gjennomsnitt er større enn 140 °C. Klassifisering av brannmotstand gjøres i henhold til NS-EN_13501-E med tilhørende prøvemetoder, og omfatter standardtider fra 10 til 360 minutter. For spesielle komponenter kan klassifiseringen av brannmotstand også omfatte andre egenskaper, for eksempel stråling (W) for glasskonstruksjoner, røyktetthet (S) og mekanisk motstandsevne for brannvegger (M). Brannmotstanden til kledningsplater klassifiseres som evnen til å beskytte bakenforliggende materiale mot antennelse (K). Ved prøving brukes normalt en standardisert sponplatetype bak kledningen. De mest aktuelle brannmotstandstidene for klassifisering av trehuskonstruksjoner er 15, 30 og 60 minutter, og 10 minutter for kledninger.

Bæreevnen knyttet til en brannmotstand angis som den lastekapasiteten bygningsdelen har etter å ha vært påvirket av brann i den deklarerte brannmotstandstiden. Dette betegnes også som restkapasitet. Når en bygningsdel, for eksempel en tresøyle, klassifiseres som R60, må denne klassifikasjonen knyttes til den lastekapasiteten som søylen har etter å ha vært påvirket av en brann i 60 minutter. Kapasiteten bestemmes av det gjenværende tverrsnittet innenfor de forkullede sjiktene. Ved prøving eksponeres bygningsdelen for en standard temperatur- og tidskurve gitt i NS-EN-1995-1-2, samtidig som bygningsdelen belastes med en konstant last under hele brannforløpet. Denne lasten angis som lastkapasiteten ved brann. Det samme gjelder dersom bygningsdelen også er skillende i tillegg til å være bærende, for eksempel med en klassifikasjon som REI 60. Prøving av bærende bygningsdeler gjøres i henhold til NS-EN 1365. Klassifikasjon av brannmotstand i henhold til NS EN 13501-2 er strengt tatt bare knyttet bestemmelse av brannmotstand ved prøving, og hvor restkapasiteten regnes som den lasten som er brukt ved prøving. I praksis er det også aktuelt å bestemme lastkapasiteten ved brann gjennom beregning av restkapasiteten (Edvardsen, 2014)

Ved bruk av halm er det lett å tenke at halm brenner effektivt. Halmmoduler er hard presset som det gjør det vanskelig for brann å opprettholde seg, grunnet mangel av oksygen. Halmmoduler har visst seg å holde lengre enn trevirke ved brannmotstand. I Tyskland og Østerrike ble det gjennomført offisielt tester som visste et resultat på F90 (minutter) brannmotstandstid. Halm er brennbart, men det handler om hvordan det blir brukt og ikke minst behandlet for bruk som byggemateriale (Sjöberg, 2015). I motsetning til hva mange tror, er prefabrikkerte halmmoduler svært motstandsdyktige overfor brann. Halmen i elementene er presset til en tetthet på 110 kg/m³, noe som gir så lavt oksygennivå at brann ikke kan utvikle seg. Dessuten har halm et høyt innhold av silika (kiselsyre); et naturlig, brannhemmende stoff. Disse omstendigheter fører ved brann til at halmen forkuller på overflaten, hvilket igjen hindrer den videre forbrenning. Kombinert med leirpuss har halm moduler bestått de europeiske brannsikkerhetskrav ved å tåle to timers intens brann i henhold til REI 120 og REIef120-sertifiseringen. Etter to timer med over 1000°C på den ene siden, viste den andre siden en temperaturøkning på kun 17.7°C.

Denne brannmotstandstiden er over kravene som stilles i NS-EN. Et eksempel som er verdt å nevne er ved skogbrann i California i 2020 holdt veggene laget av halm seg lengre enn de andre veggene (BJØRHEIM, 2021). Leirpuss på halmen fører til godt inneklima. Den tar til seg fukt ved høy fuktighet i rommet og gir fra seg ved lavt. (Ecococon, 2022).

	Brannklasse		
Bygningsdel	1	2	3
Bærende hovedsystem	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]
Sekundære, bærende bygningsdeler, etasjeskillere og takkonstruksjoner som ikke er del av hovedbæresystem eller stabiliserende	R 30 [B 30]	R 60 [B 60]	R 60 A2-s1,d0 [A 60]
Trappeløp	-	R 30 [B 30]	R 30 A2-s1,d0 [A 30]
Bærende bygningsdeler under øverste kjeller	R 60 A2-s1,d0 [A 60]	R 90 A2-s1,d0 [A 90]	R 120 A2-s1,d0 [A 120]
Utvendig trappeløp, beskyttet mot flammepåvirkning og strålevarme	-	R 30 [B 30] eller A2-s1,d0 [ubrennbart]	A2-s1,d0 [ubrennbart]

Figur 7 - §11-4 Bærende bygningsdelers brannmotstand avhengig av brann-klasse

2.3.4 Lydisolasjon

I en konstruksjon vil da lydoverføringen forekomme i form av luft- og trinnlyd. Luftlyden kan forbedres med hjelp av luftlydisolasjon som hindrer at luftbåret lyder fra blant annet TV, høyttalere og tale. Lydisolasjonen har til hensikt å være med på å gjøre lydreduksjonstallet så høyt som det lar seg gjøre. Lydreduksjonstallet er målt i dB(desibel).

Når det gjelder trinnlyden, går det mer på strukturbåret lyd. Dette er vibrasjoner som går igjennom konstruksjonen. Disse vibrasjonene oppstå grunnet folk som går i etasjen over. Dette lydtrykket skal i motstykke til lydreduksjonstallet være lavest gjennomførlig. Her har tykkelse og type element mye å si på hva slags lydtrykk du får (Glasø, 2008).

2.3.5 Tekniske installasjoner.

Når det gjelder tekniske installasjoner gir ikke halmmelementer noen utfordringer eller ulempe. Nedenfor er det et par figurer som illustrer bruken av tekniske installasjoner i halmmoduler, tilsend av EcoCocon.

Figur 7 – Illustrasjon av tekniske installasjoner. Kilder: EcoCocon

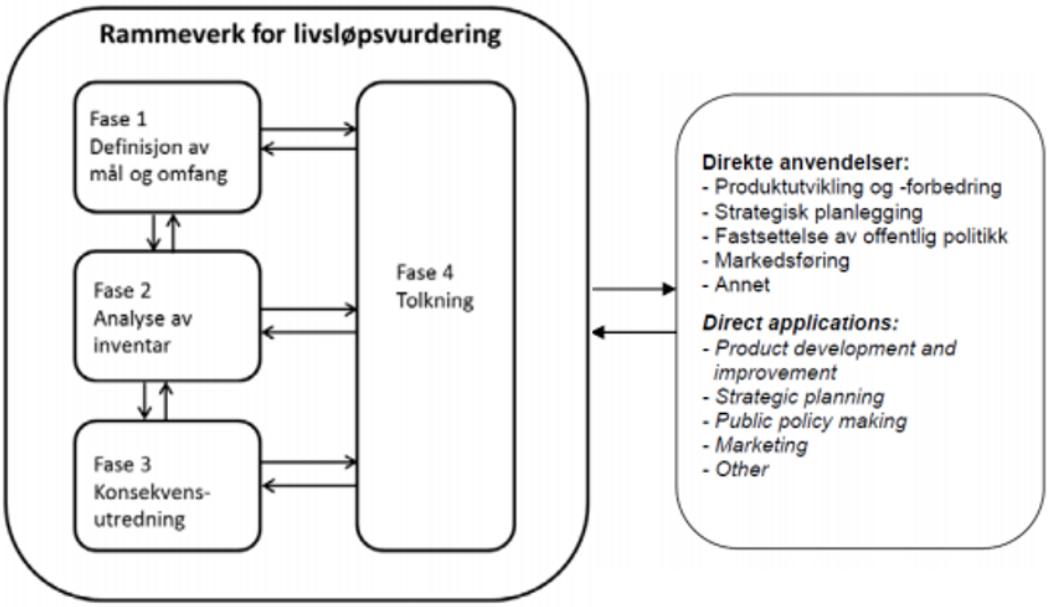
Figur 6 - illustrasjon av tekniske installasjoner. Kilder: EcoCocon

2.4 LCA-metodikk

Life Cycle Assessment (LCA) er en standardisering og generell metode vurdering av et produkt eller en tjenestes miljø- og ressurspåvirkning fra hele verdikjeden. Denne analysen kvantifiserer alle utslipp og ressursforbruk ut i fra relevans for produktet, og kan deles i flere miljøpåvirkningskategorier, hvilke av den meste brukte er GWP (Global oppvarmingspotensial) som måles i [kg CO2 ekvivalent. /m3] (Ica.no, 2022). For å regne ut en slik verdi eksisterer det en karakteriseringsfaktor for miljøpåvirkning utarbeidet av IPCC. Enhver klimagass har en global oppvarmingspotensial-faktor som sier på hvilken måte den påvirker klimaet. Ved utregning av et produkts klimaeffekt, blir klimagassene fra livsløpet fra produktet multiplisert med korresponderende GWP-faktor. Det er sammenheng mellom klimagassens GWP-faktor og effekten denne gassen har på atmosfæren (Skullestad, 2016). En LCA er et tilfredsstillende grunnlag for sammenligning av miljøbelastningen eller klimagassutslippene til tross for at produksjonsmetodene er ulike. Men på den andre siden er det viktig at rammene og forutsetningene er like, dette er for at resultatene skal være sammenlignbare. LCA kan være teorien for å utarbeide en EPD (EnvironmentalProduct Declaration) for et enkelt produkt eller for vurdering av en hel bygningsmiljøpåvirkning. En del som vil bestå av EPD'er fra flere ulike produkter.

2.4.2 Rammeverk for LCA

Det er avgjørende å ha et rammeverk for gjennomføring av like miljøanalyse for ulike bygninger og fra forskjellige produsenter, uansett system eller teknologi brukt.



Figur 7- LCA Rammeverk. Redigert: banenor.no

Definisjon av mål og omfang
Det er mulighet for oppdeling av en livssyklusanalyse opp i fire steg. I det første steget griper saken definering av målet med analyse for avgrensning deretter. Det nevnte steget er viktig for tidlig definering siden den er avgjørende for valg av metodikk, kilder, systemavgrensninger, utvalg av miljøpåvirkningskategorier og miljøindikatorer. Systemgrenser beskriver omfanget av livsløpsvurderingen. Det blir vist hvilke rammer en har for verdikjeden som er satt til basis for livsløpet. Av den grunn er det av stor betydning å vise hvilke elementer i verdikjeden som er tatt med, og hvilke som ikke er tatt med i analysen. Dette kan for eksempel være få enheter og komponenter, detaljeringsgrad eller livsfaser (Dahlstrøm & Korsmo, 2012).

Analyse av inventar
Denne fasen omhandler innsamling av material mengden og energi som går med i produksjonen av byggevaren. Videre omfatter mengden avfall og utslipp som produseres i forbindelse med produksjon av byggevaren. Resursene og utslippene fra prosessene lagt sammen og sammenslått over livsløpet. Her blir det vist total miljøpåvirkning for det gitte produktet. Disse samles fra en mengde kilder, som for eksempel EPD fra leverandører, erfaringsdata, miljørapport eller LCI (Life Cycle Inventory)-databaser (Dahlstrøm & Korsmo, 2012).

Konsekvensutredning
Hensikten med denne fasen er visning av de mulige miljømessige konsekvensene, eksempelvis forbruk av energi, materialer og forskjellige utslipp kan gi. Dette blir representert i en liste der utslipp omregnes til utslipp og ressursforbruk, og der utslipp tilordnes en eller en rekke effektkategorier. I dette stadiet blir utslippene regnet om til en felles faktor hvor en kan sammenligne uansett produksjonsmetode eller lignende. Dette er naturligvis oppgitt i CO_2-ekvivalenter. Videre blir resultat av konsekvensutredningen en sum av miljøpåvirkningene fra prosessene i produksjonen en gjør analysen for (Byggforskserien., 2014)

Tolkning av LCA
Tolkning går ut på å lage et handlingsreferat av resultatene fra de forekommende fasene. Det er av betydning at det ses i tråd med det man definerte i første fase, som lager basisen og hensikten med studiet. (Byggforskserien., 2014). Meningen med tolkningen er at det skal gi en forståelse, hel og sammenhengende prestasjon av analysen som svarer på hensikt og mål med studiet.

2.4.3 EPD (Environmental Product Declaration)

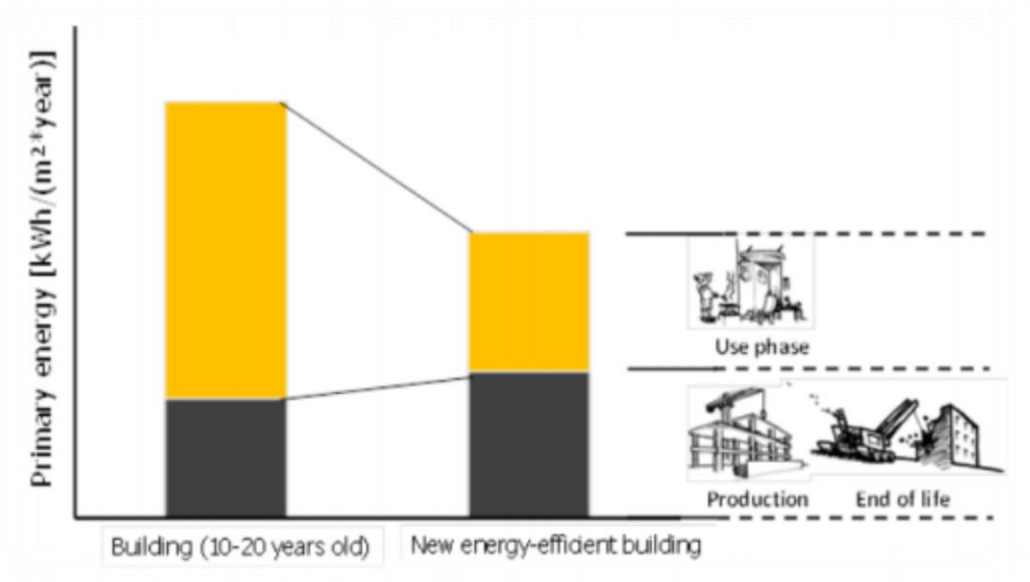
Det er mulighet for at et enkelt material kan resultatet av LCA være en basis for å lage en miljødeklarasjon eller EPD. «En EPD er et kortfattet dokument som beskriver numerisk miljøegenskapene til et produkt over produktets livsløp fra vugge til grav, eller definerte deler av livsløpet» (Byggforskserien., 2014). En EPD framstiller basisen for en livssyklusanalyse for et system av flere bygningskomponenter og elementer. I NS-EN ISO 14025 blir prinsipp og prosedyre ved planlegging av slike miljødeklarasjoner tatt. Det står blant annet her at produsenten skal sikre at informasjonen og data for produktet holder seg uavhengig verifisert og at informasjonen må være relevant for formålet og sammenlignbart med lignende produkt (Standard Norge., 2010) 2.4.4 LCA av bygninger.

NS-EN 15804 (produktkategoriregler for byggevarer) og NS 15978 (beregningsmetode for bygningers miljøpåvirkning) blir de generelle standardene for LCA tatt. En LCA for en komplett bygning vil ta seg ut veldig komplekst sammenlignet med en enkelt byggevare. Det er metodisk dokumenter og regler for byggevarer, samtidig for bygninger er dette ikke tilfellet. Dette fører til at resultatet kommer vil være basert på hvilke valg som gjøres i analysen (Byggforskserien., 2014). Dertil vil endringer på innsamlingsmetode, kilder og alder på data være en faktor på resultat av analysen (Anand & Amor, 2017)). OneClick LCA er et verdensledende beregningsverktøy for LCA for bygninger. Les mer om OneClick i kapittel 3.2.2 Oneclick LCA. En LCA bidrar med seg muligheten til å finne forbedringspotensial og identifisere hva slags og når en kan minke utslippene fra bygget. Enten om det er i materialvalgene, transportfasen, produksjonsfasen, bruksfasen eller ved riving. De nevnte fasene blir videre delt inn i fem faser, A1-D, og illustreres i Figur 2.6.3. Det er et krav om at en EPD for et byggemateriale skal inneholde A1-A3, og man kan selv som produsent velge å inkludere ytterligere faser, mye grunnet de store variasjoner i byggeprosjekt som forekommer. Dette blir oftest inkludert i LCA-en av bygningen i stedet.

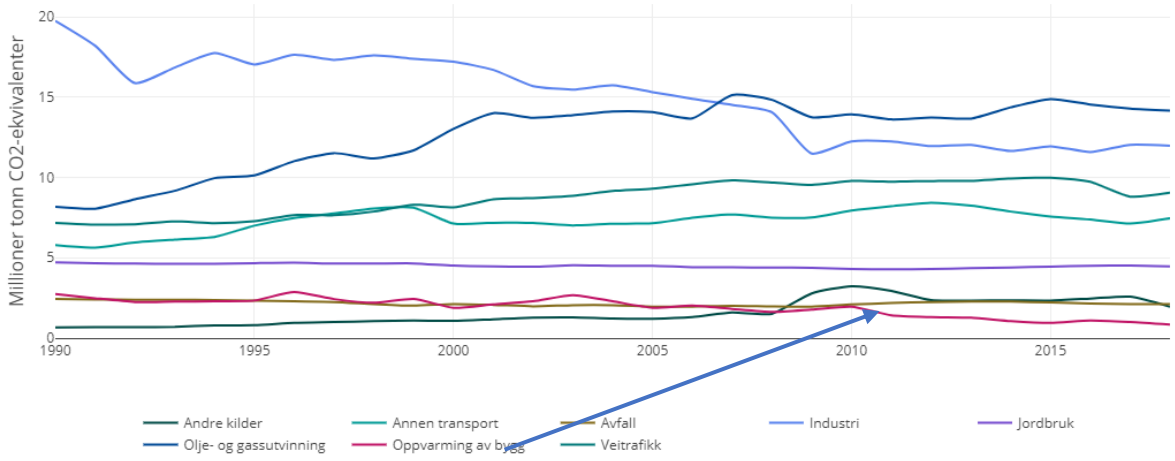
Informasjon om Bygningens livsløp	
Produkt stadiet	
A1	Råvarer
A2	Transport
A3	Produksjon
Gjennomføringsstadiet	
A4	Transport
A5	Anleggs, bygge og monteringsarbeid
Bruksstadiet	
B1	Bruk
B2	Vedlikehold
B3	Reparasjon
B4	Utskiftning
B5	Ombygging
B6	Energibruk i drift
B7	Vannforbruk i drift
B8	Transport i drift
Sluttstadiet	
C1	Riving
C2	Transport
C3	Avfallsbehandling
C4	Avhending
Tilleggsinformasjon utover bygningslivsløp	
Fordeler og ulemper utover systemgrensen	
D	Material- og energigjenvinning og ombruk av materialer og eksport av egenprodusert energi

Tabellen 1 - Fasene i en LCA basert på NS-EN 15804. Kilde: (Myhre, 2021)

Siden det praktisere for å gjøre nullutslippsbygg til standard kvalitet, er en livssyklusanalyse av stor betydning. Som regel har materialene i et bygg stått for rundt 30% av total energibruk i livsløpet til bygningen (Kristjansddottir, 2013) Samsvarende med kravene for å redusere utslipp gjennom drift og bruk av bygget står materialene for en solid større part av den totale miljøbelastningen, samtidig har driftskostnadene blitt redusert kraftig. Grunnen er økt bruk av isolasjon, teknisk utstyr og lignende og illustreres i Figur 10 og Figur 11. For å sammenligne er ambisjonene om nullutslippsbygg skyhøye. Av den grunn må man bruker LCA for dette.



Figur 8 - Sammenligning av bruks- og materialfasen til en 10-20 år gammel



Figur 11 9 - Klimagassutslipp i Norge fordelt på ulike kilder. Oppvarming av bygg er markert i rosa, og har redusert kraftig. Kilde: SSB og miljødirektoratet.

Bundet energi og CO_2

Bundet energi er knyttet til materialene i et bygg. Det går ut på energiforbruket som er kobla til livsløpet til materialene som er brukt i produksjonen. I riving tilfelle vil disse materialene frigi sin energi og sitt innhold av CO_2. Bundet energi omfatter ikke for driftsaspektet som for eksempel oppvarming, ventilasjon og lignende, siden produksjon av energi frambringer utslippene direkte (Skullestad, 2016)

LCA, BIM og MMI

Ideen med et LCA-verktøy er gjerne framstilling av en bygnings miljøpåvirkning etter at det har stått ferdig bygd. LCA-verktøy har gjerne nyttig gjort seg i vitenskapelig forskning i etterkant av produksjonen (Olinzock, 2015). Årsaken til dette er BIM-modellen mangler viktiginformasjon i designfase og den merker ofte raske korrigeringer i de tidlige fasene (Knotten, 2015). Derfor er bruken av LCA i designfasen redusert (Meex et al., 2018). Det vil si bygg er sjeldent bygd med kun et generelt søkelys på å fiksere klimagassutslippene. Med hjelp fra LCA i designfasen vil man
klare ta en god del, uvesentlig valg for å holde utslippene nede. Det er kjangs for oppdeling av et byggeprosjekt opp i litt av hvert designfaser ut ifra et begrep kalt MMI. MMI behandler hvilken informasjon et objekt består av. I starten vil dette bare være et forslag, og hvilket produkt og hvilken produsent vil dermed ikke være gitt på dette stadiet. MMI er til for å ha overlegent kontroll på bygningsinformasjonen gjennom et prosjekt på tvers av fag. Tidlig tidspunkt er intetsigende for betydelig informasjon angående modellen. Resultatet kan bli ekstra jobb, enten for deg individuelt eller for andre fag i prosjektet. Av den grunn, kan en som regel ikke drive en LCA før en har kommet til MMI 400. Det er klart mulig å begynne med LCA tidligere og anslå LCA-verdier som et mål for prosjektet. Forandringene på resultatet av analysen vil være betydelige, men tidlig involvering av LCA makter å bidra til å holde utslippene på et lavere nivå.

2.5 Bestilling og transport

Prosjektgruppen har fått kommet i kontakt med EcoCocon representert her i Norge av Max Vittrup Jensen. EcoCocon består med god veiledning, råd og hjelp med det meste. Slik er saksgangen: man leverer ønsket sitt til de og man får et kostnadsoverslag fra de tilsendt, prisen inkluderer ikke transport. Transport kommer i tillegg. Etter prisoverslag får man et endelig pristilbud fra dem. Videre blir produksjonen av elementene startet dette med en kontraktsignering og 50% forskuddsbetaling. Siste steget her blir levering å oppgjøre, her blir ferdigstillelse av ordren, samt oppgjort betaling, sendes halmelementene direkte til byggeplassen. For prosjektet vårt fikk vil tilsend et prisoverslag, figur 12 (Elementhus: en komplett guide, 2022).

Dette er et foreløpig prisoverslag. For å komme frem til et bindende pristilbud må det i samarbeid med din arkitekt utarbeides et prosjektforslag.

Beskrivelse	Mengde	€/m²	Pris eksl. mva
Prosjektforslag	1		896,00 €
EcoCocon halmelementer	224 m²	165,00 €	36 960,00 €
Vindsperreduk og festematerialer	224 m²	11,50 €	2 576,00 €
Sum			**40 432,00 €**
Trefiberplater - 60 mm (valgfri)	246,4 m²	20,50 €	5 051,20 €
Leirpuss (valgfri)	201,6 m²	12,00 €	2 419,20 €
TOTAL (eksl. mva)			**47 902,40 €**

Figur 10 - Foreløpig prisoverslag fra EcoCocon

Produksjonsfasen til prefabrikkerte bygg blir gjort på fabrikken, dette er en prosess som tar 4-8 uker. Produksjonsfasen av elementene tar sirka 2 uker før det blir transportert til byggeplassen for montering. Monteringen av prefabrikkerte elementer tar 1-2 uker, alt etter størrelse på bygget og arbeidskraft

2.6 Kostnadsforskjellen

Kvadratprisen på en enebolig er gjennomsnittlig 33.000kr, prefabrikkerte hus ligger sirka på samme snittpris. Veggene på et konvensjonelt bygg vil kosta 284.400kr, mens prefabrikkerte halmmoduler vil kose 421.250kr. Dette er prisene på materialet til veggene uten kledning. Her er materialet til det prefabrikkerte veggene dyrere, men når man kalkulerer inn arbeidstimene det tar å sette opp vil det koste cirka 137.000kr mer. Material mengden ble regnet ut ved hjelp av material takeout i Revit. Prisene på materialet til det konvensjonelle veggene ble hentet fra Byggmax (04.05.22). Prisene på det bærekraftige bygget ble sendt fra EcoCocon. Denne kalkuleringen er en estimering på hva veggene vil koste, og dermed kan litt avvik forekomme.

Prefabrikkert		Konvensjonell		
Prefabrikkerte deler	Pris	Materialer	Pris	Link
EcoCocon Halm moduler	1620kr/m2 189 m2 = 306.000kr	Isolasjon Glava 200mm	150kr/m2 190 m2 = 28.500kr	https://www.byggmax.no/isolasjon-glava-34-proff-plate#1257=5607
Vindsperreduk og festematerial	113kr/m2 189 m2 = 21.300kr	Dampsperre + Div. festematerial	110kr/m2 190 m2 = 20.900kr	https://www.byggmax.no/fuktsperre-p21022
OSB plate	201kr/m2 189 = 37.900kr	Trefiberplate	250kr/m2 190 m2 = 47.500kr	https://www.byggmax.no/osb-plate-med-fals
		48x198 konstruksjons-virke	77kr/m 769m = 59.248kr	https://www.byggmax.no/48x198-konstruksjonsvirke-p08148198
		Isolasjon Glava 50mm	40kr/m2 190 m2 = 7.600kr	https://www.byggmax.no/isolasjon-glava-34-proff-plate#1257=51993
		48x48 Lekt	22kr/m 385m = 8470kr	https://www.byggmax.no/48x48-lekt-p08148048
	Totalpris = 365.200kr		Totalpris = 172.200kr	
48 Arbeidstimer	750kr/time 75t = 56.250kr	150 arbeidstimer	750kr/time 150t = 112.500	
Totalpris	421.450kr	Totalpris	284.700kr	

Tabellen 2 - Prissammenligning for prefabrikkert og konvensjonell yttervegg

2.7 Lovverk

2.7.1 Forskrifter

Forskrifter utfyller plan- og bygningsloven (regjeringen, 2018). PBL/plan- og bygningsloven Den har bestemmelser som omfatter planlegging, gjennomføring, byggesak og håndheving av regler (Trehus, Sintef). Her gjelder forskrifter som byggesaksloven (SAK10), byggeteknisk forskrift (TEK17) og dokumentasjonsforskriften (DOK).

Den mest relevante for denne oppgaven er TEK17, denne forskrifter inneholder de tekniske kravene til sikkerhet, miljø, helse og energi (DIBK, 2018). TEK17 sier noe om minimums egenskapene bygg må ha for å være lovlige i Norge. Nåværende versjon av Tek17 ble vedtatt i 2017. TEK17 inneholder 17 kapiteler, det mest relevante for denne oppgaven er kapittel 14 – Energi.

Kapitel 14 – Energi §14-2 krav til energieffektivitet, sier noe om det totale netto energi behovet en bygning ikke skal overstige. Dette er relevant for denne oppgaven siden man skal se på dimensjonering av vegger og den nødvendige isolasjonen/energitiltak.

2.7.2 Standarder

"Under planlegging, prosjektering og verifikasjon av bygg- og anleggskonstruksjoner er det behov for en rekke standarder" (Standard). For bygging eller renovering er det krav til dokumentasjon for materialer, produkter og konstruksjonstyper, her kommer ulike standarder inn i bilde.

ISO Standarder

ISO (Internal organization for standardization) er en internasjonal standardiseringsorganisasjon. ISO har utviklet standarder for ulike sektorer siden 1947. Standard Norge (SN) er en norsk medlemsorganisasjon som har standardiseringsoppgaver på ulike områder, SN er medlem av europeiske standardorganisasjonen CEN og ISO (standard).

Standard Norge har gitt ut Norsk standard, som er en rekke standarder som brukes i Norge innenfor ulike områder. Noen standarder som blir relevant for denne oppgaven er Norsk standard for bygging i tre – NS3516 (Standard).

Eurokode

Eurokode er en serie standard felles for Europa. Denne standarden inneholder "prosjektering av byggverk og dokumentasjon av produkters bæreevne/styrke til konstruksjonsformål" (Standard, 2017). Det er totalt 10 Eurokoder. (Edvarsen)

NS-EN 1990 – Eurokode 0	Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN 1991 – Eurokode 1	Laster på konstruksjoner
NS-EN 1992 – Eurokode 2	Prosjektering av betongkonstruksjoner
NS-EN 1993 – Eurokode 3	Prosjektering av stålkonstruksjoner
NS-EN 1994 – Eurokode 4	Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong
NS-EN 1995 – Eurokode 5	Prosjektering av trekonstruksjoner
NS-EN 1996 – Eurokode 6	Prosjektering av murkonstruksjoner
NS-EN 1997 – Eurokode 7	Geoteknisk prosjektering
NS-EN 1998 – Eurokode 8	Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
NS-EN 1999 – Eurokode 9	Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner

Figur 11 - Eurokode

En relevant standard for denne oppgaven er NS-EN 1995 – Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner.

3 Metode

3.1 Forskningsmetode

For å avgjøre hvilken tilnærming vi vil ta til problemstillingen vår, er det vanlig å skille mellom to hovedtyper av metoder: kvalitativ og kvantitativ, og å referere til beslutningsgrunnlaget. som består av: oppgavens gyldighet og relativitet. (Olsson, 2015)

Kvantitative data består av kalde og harde fakta det vil si tall. Kvantitative data er strukturerte og statistiske og nyttige når man skal trekke generelle konklusjoner fra undersøkelsene man har gjort. Kvalitative data er informasjon som primært beskriver, ikke måler, et problem. Som for eksempel inntrykk, meninger og synspunkter. En kvalitativ undersøkelse er ikke bygget opp på samme måte som en kvantitativ undersøkelse, men har som mål å grave dypere inn i emnet for å få innsikt i folks tanker og meninger. holdninger og hva som motiverer dem. Dette åpner for dypere innsikt i undersøkelsesspørsmålene, men gjør det også vanskeligere å analysere resultatene. Hvilken valgte vi?

3.2 Programvare/data

3.2.1 Revit 2022

Revit 2022 er BIM (Bygningsinformasjonsmodellering - Modellering av bygginfomasjon) programvare. Dette er et modellerings program som brukes av alle fagområder, fra arkitekter og ingeniører til rørleggere og elektrikere. Programmet brukes for å design, visualisering og analyse til tilvirkning og konstruksjon. Dette øker effektiviteten og sørger for godt samarbeid mellom alle partene i et prosjekt.

For dette prosjektet blir Revet brukt til og visualisering og design av Kai huset, i tillegg lagre informasjon om bygget (f.eks. Veggtykkelse, isolasjonstype og fundamentering). 3D-Modellen blir essensielt for analysen om byggets bærekraft. 3D-modellen kan eksporteres til programmet One CLICK LCA, for eksakte verdier på utslippet til bygget.

For å fullføre analyse i denne oppgaven ble det modellert to like bygg, der veggene er forskjellige. Gulv, fundament, innervegger og tak er identiske. Det ene bygget har konvensjonelle vegger med tre konstruksjon og den andre har prefabrikkerte halmmoduler. For å fullføre en LCA i One Click LCA ble det brukt “Material takeoff” på modellene, her blir det tatt ut en liste med all materialet som blir brukt for å konstruere byggene.

Ut av Revit kom disse verdiene:

Materialer			
Tak		Golv og fundament	
Navn	Volum	Navn	Volum
Trevirke	12,53 m3	Betong gulv	34,36 m3
Takstein	8,36 m3	Betong fundament	20,64 m3
Isolasjon	85,64 m3	Isolasjon	91,62 m3
Konvensjonelle vegger (Inkludert innervegger)		Prefabrikkerte vegger (Inkludert innervegger)	
Navn	Volum	Navn	Volum
Trevirke	8,2 m3	Halm	75,32 m3
Isolasjon	57,2 m3	Trefiberplate	11,31 m3
Kledning	6,7 m3	Kledning	6,79 m3
Gips 12mm	4,83 m3	Gips 12mm	4,83 m3
Vindsperre	250 m2	Isolasjon	13,86 m3

Tabellen 3 - Material verdier fra Revit (Material takeoff)

3.2.2 Oneclick LCA

Tilleggsinformasjon:

One Click LCA gir muligheten for sammenligning av forskjellige materialer og produkter. Her kan forskjellen mellom betong, stål, og trekonstruksjoner sammenlignes. Oneclick LCA kan brukes til å drive innarbeidede retningslinjer for karbon- og materialeffektivitet, samt individuelle beslutninger om design, konstruksjon og anskaffelse. (One Click LCA, u.d.)

Data som inkluderes i One Click LCA er de ti mest karbonintensive og mest betydelige materialkategoriene i konstruksjon. Dette er sement betongelementer, ferdigblandet betong, stål, aluminium, gips, murstein, isolasjon, glass og treverk. I tillegg inkluderer programvaren utvalgte, viktige konstruksjonsmåter. (LCA, u.d.)

Større funksjonalitet:
One Click LCA er den mest avanserte LCA-programvaren for bygninger, og den støtter overholdelse av regler eller sertifiseringer ved å jobbe med ytterligere byggematerialer. For eksempel byggesystemer, BIM integrasjoner eller funksjoner for miljøvennlig design.
- Alle påvirkningskategorier i EN 15978/15804 / ISO 21930 *
- Database med alle materialkategorier, inkludert separat lisensierte data og / eller tilgang til nasjonale data.

Rapportering av resultater i kjente formater som Excel og andre formater
- Støtte for overholdelse av regler og sertifiseringer.
- Betydelig forbedret funksjonalitet. (One click LCA, u.d.)

Beregninga av miljøpåvirkning i One Click LCA.

Miljøpåvirkning av bærekraftig bygg og den konvensjonelt bygg løsning. Her skal en se på de total CO2e utslipp er regne ut fra One Click LCA. Vi tar for oss produktnivåene A1-A4, C1-C4 og D for sektorer til klimagassutslipp til bygget.

- A1: Råmaterial, utvinning og bearbeiding
- A2: Transport av råvarer til byggeplass
- A3: Produksjon

Nedenunder vises to tabeller med materialene vi førte inn i One Click LCA, disse verdiene er tatt fra material takeoff fra Revit. Noen materialer har blitt regnet for hånd, som vindsperre og takbelegg.

Input i One Click LCA			
Tak		Fundament og gulv	
Navn	Volum	Navn	Volum
Betong B20	35,79 m3	Glassull isolasjons.	85,64 m3
Betong B35	20,64 m3	Gipsplater	4,18 m3
Steinull Isolasjon	95,45 m3	Trefiber plate	4,18 m3
Radon og fuktmembran	257 m2	Trematerialе	12,53 m3
		Metertykk Kombi	270 m2
Bærekraftig vegg		Konvensjonell vegg	
Navn	Volum	Navn	Volum
Gips plater	4,83 m3	Glava glassull	57,2 m3
Glassull isolasjonsplater	13,86 m3	Gips	4,83 m3
Trefiber plate	11,31 m3	Trefiber plate	2,28 m3
Halmmoduler	75 m3	Utvendig kledning	6,7 m3
Utvendig kledning	6,7 m3	Trematerialе	8,2 m3
		Vindsperre	260 m2

Tabellen 4 - Material verdier satt inn i One Click LCA

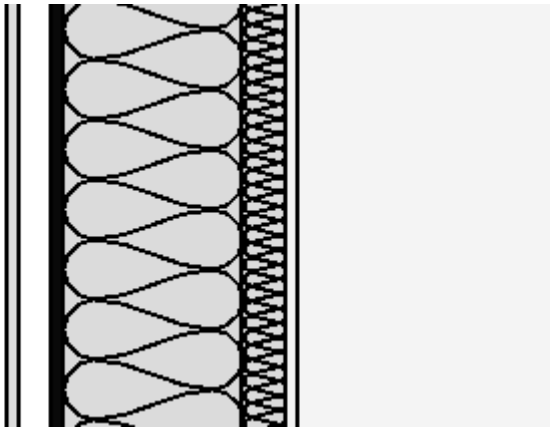
3.3 Fremgangsmåte

Ved hjelp av Revit ble det modellert et konvensjonelt bygg og et bygg av halm elementer. Her ble det skrevet ut material mengde som kan føres inn i One Click LCA. Med denne dataen kan CO2 utslippet til de ulike byggene sammenlignes.

3.3.2 Dimensjonering

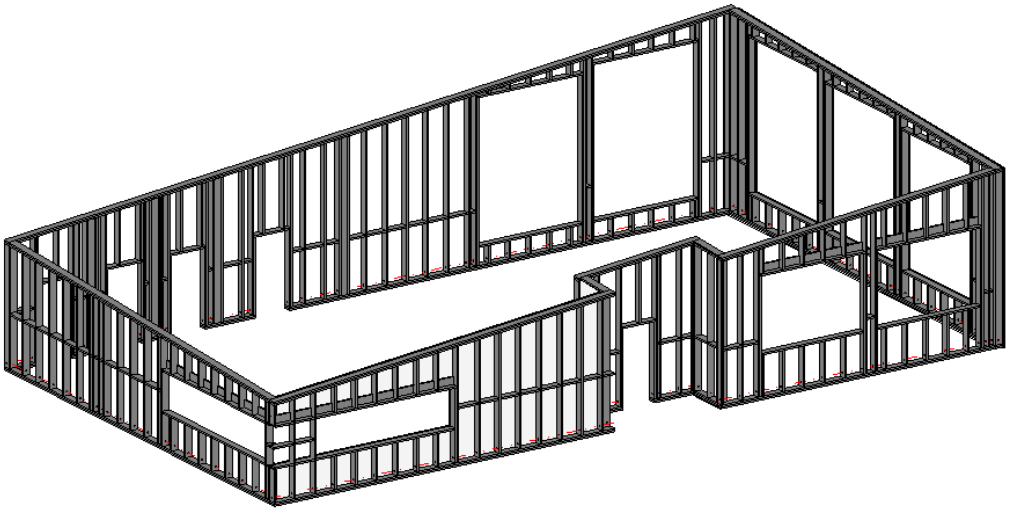
3.3.2.1 Konvensjonell yttervegg

Det konvensjonelle bygget blir bygget med standard trekonstruksjon. Konstruksjonen til veggene er bygget opp av 48x198mm stendere, med 600mm avstand mellom hver. Innvending blir det bygget på med 48mm stendere, så den totale isolasjon tykkelsen blir 250mm (200+50). Innvendig kledning blir 12mm med gips plater. Utvendig blir det dampsperre, 12mm trefiber plate (vindsperre), og luftet kledning. Luft åpning er 36mm og kledning er 12mm. Avbildet under er det snitt av ytterveggen til det konvensjonelle bygget.



Figur 12 - Snitt av konvensjonell vegg med tre-konstruksjon.

Avbildet under er det sville og stendere, som oppgjør bære-konstruksjonen til det konvensjonelle bygget.



Figur 13 - Stendere og sviller, bære-konstruksjonen til det konvensjonelle bygget.

Gjennom TEK17 §14-2, er kravet til U-verdi for yttervegg lik eller mindre enn 0.18 W/(m^2*K). Tabellen nedenfor viser til de

	Energitiltak	**Småhus**	**Boligblokk**
1.	U-verdi yttervegg [W/(m^2 K)]	≤ 0,18	≤ 0,18
2.	U-verdi tak [W/(m^2 K)]	≤ 0,13	≤ 0,13
3.	U-verdi gulv [W/(m^2 K)]	≤ 0,10	≤ 0,10
4.	U-verdi vinduer og dører [W/(m^2 K)]	≤ 0,80	≤ 0,80
5.	Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	≤ 25 %	≤ 25 %
6.	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	≥ 80 %	≥ 80 %
7.	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m^3 /s)]	≤ 1,5	≤ 1,5
8.	Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa trykkforskjell	≤ 0,6	≤ 0,6
9.	Normalisert kuldebroverdi, der m^2 angis som oppvarmet BRA [W/(m^2 K)]	≤ 0,05	≤ 0,07

Figur 14 - Energitiltak fra TEK17 (Kapittel 14 - energi, 2020)

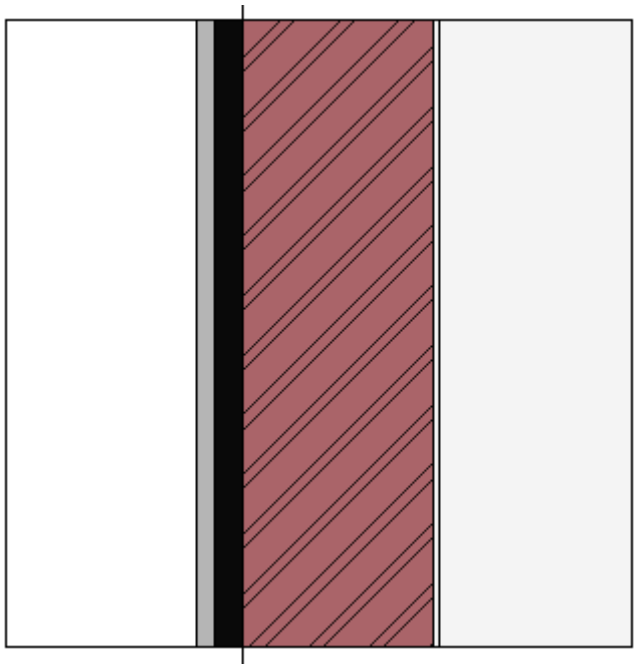
Med 250mm isolasjon vil bygget vårt få 0.16 W/(m^2*K), og bestå kravet om 0.18 W/(m^2*K). Tabellen under er hentet fra trehusboka, og viser «varmegjennomgangkoeffisient, U-verdi, for yttervegger av bindingsverk isolert med mineralull» (Sintef, 2014)

Total mineralulltykkelse	U-verdi W/(m^2*K)
	Mineralullkvalitet
	= 0.033 (W/(mK)
150 mm	0.25 W/(m^2*K)
200 mm	0.20 W/(m^2*K)
250 mm	0.16 W/(m^2*K)
300mm	0.14 W/(m^2*K)

Tabellen 5 - U-verdi for yttervegger av bindingsverk isolert med mineralull (Sintef, 2014)

3.3.2.2 Bærekraftig yttervegg

Den bærekraftige ytterveggen er konstruert av halm moduler. Halm modulen er 400mm, som med hjelp av en trefiber-isolasjons plate på 60mm vil være godkjent innenfor TEK17 §14-2 sine krav om isolasjon.



Figur 15 Snitt av Bærekraftig yttervegg av halm

3.3.3 valg av byggemateriale

Et av målene for denne oppgaven, var å kunne velge materialer som ville gi muligheten for redusert klimagassutslipp. Vurderingen må gjøres for å ha flere perspektiv av bygging med miljøvennlige metoder. Metoden vil gi en klart skisse av hvilke materialer og faktorer som gir mest utslipp eller omvendt. Et utvalg av materialene skal fraktes inn fra utlandet, samtidig en god del hentes lokalt. Fordelen her blir lokalt benyttelse av materiale og kortreist. De nevnte årsakene bidrar med redusering av CO2 utslippet fra transport. Valg av material som blir benyttet er prefabrikasjon av vegger, takk og fundament. Her blir betong brukt kun i fundament og gulv.

3.3.4 Analyse i Oneclick LCA

Det ble gjennomført beregning av klimagassutslippene ved bruk av programmet One Click LCA. I det ene metoden ble trehus valgt, og den andre løsningen var prefabrikkert av halmmoduler. Analysene ble sammenlignet mot hverandre, og det ble sett på fordeler og ulemper ved bruk av hver løsning. Grunnlaget for tegningen av bygget og hvordan bygge er designet kommer fra Nord Plan. Det blir dimensjonert både for metoder ved bruk av halmmoduler og en annen for trehus. Disse to blir gjennomført med forskjellige materiale. Målene for halmmoduler og løsningen ble hentet fra EcoCocon. I tillegg ble alt av

lastberegning og brannsikkerhet hentet fra der. Målene for trehusløsningen har sitt utgangspunkt fra teoribøker og kompendier. Disse teoriene ble brukt for dimensjoneringen av bæresystemet i trehus. Hensikten med dette var å kunne finne dimensjoner og mengder til klimagassregnskapet i One Click LCA.

Informasjonen som det er behov for gjennomføring av livssyklusvurderingen av bygningen, går under navnet Life Cycle Inventory (LCI). Det er mulighet for at Utstyr kan klassifiseres i byggematerialer og operasjoner. Byggematerialer: Gir ut informasjon om type, mengde, brukstid og livssyklus til bygningen der materialet brukes. Denne informasjonen finnes vanligvis i kostnadsplaner, tegninger og BIM-modeller. Dataprogrammer som Revit, Tekla, Rhino og Grasshopper kan benyttes for å samle informasjon om materialmengde.

Tabellen nedenfor viser de 10 mest medvirkende material-kategoriene, for de to byggene.

Bærekraftig vegg				Konvensjonell vegg			
Nr.	Ressurs	Påvirkning	Andel	Nr.	Ressurs	Påvirkning	andel
1	Steinull isolasjon	7 tonn	26,6%	1	Steinull Isolasjon	7 tonn	22,3%
2	Betong - gulv	6,1 tonn	23,3%	2	Betong B20	6,1 tonn	19,5%
3	Betong	4,3 tonn	16,6%	3	Glava glassull	5 tonn	16,2%
4	Trematerialе	2,4 tonn	9,4%	4	Betong B35	4,3 tonn	13,9%
5	Gipsplater	2,0 tonn	7,7%	5	Trematerialе	2,4 tonn	7,8%
6	Halmmodul	1.7 tonn	6,4%	6	Trematerialе	1,7 tonn	5,4%
7	Kombi tekk	0,81 tonn	3,1%	7	Gips	0,94 tonn	3,0%
8	Radon og fukt Sp.	0,69 tonn	2,7%	8	Gips	0.94 tonn	3,8%
9	Utvendig kledning	0,44 tonn	1,7%	9	Master tekk Kombi	0,81 tonn	2,6%
10	Glassull isolasjon	0,44 tonn	1,7%	10	Radon membran	0,69 tonn	2,2%
11	Trefiber plate	0.27 tonn	0,9%	11	Utvendig kledning	0,44 tonn	1,4%
12					Glassull isolasjon	0,38 tonn	1,2%
13					Vindsperre	0,33 tonn	1,0%
14					Trefiber plate	96 kg	0,3%

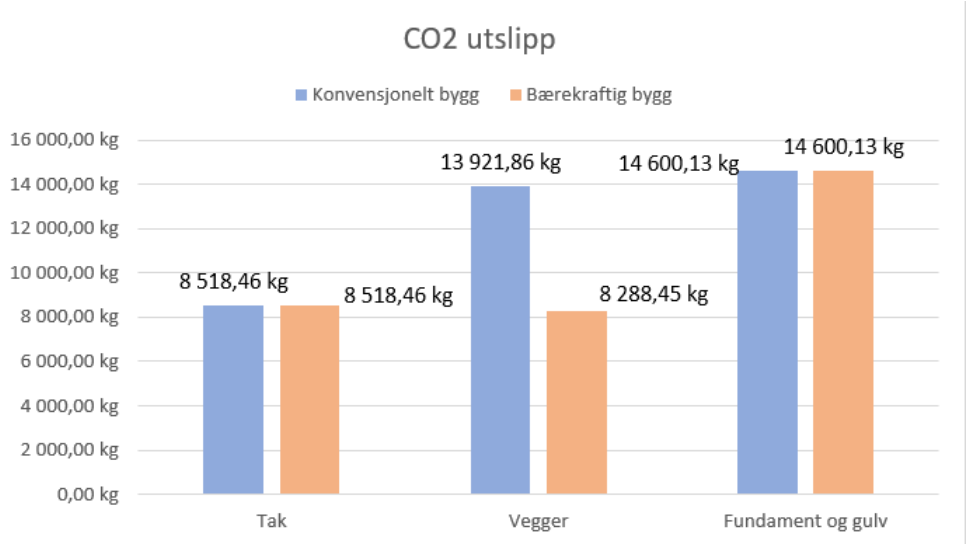
Tabellen 6 - Mest medvirkende materialer

4 Resultater

4.1 Klimagassutslipp til bærekraftig og konvensjonelt bygg

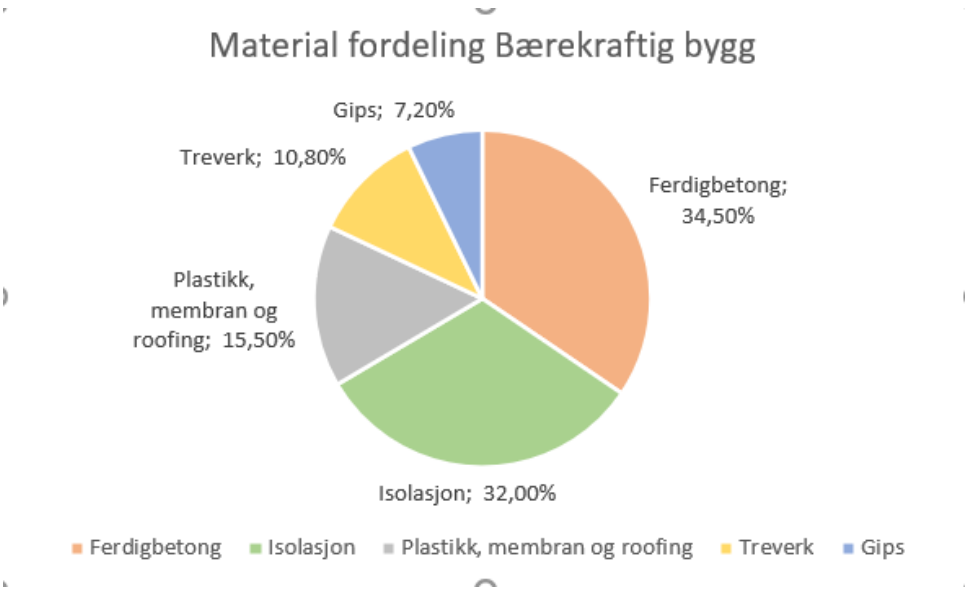
De to byggene som ble sammenlignet i metoden, hadde identisk tak, fundament, gulv og innervegger. Forskjellen på byggene var kledning, strukturen i veggen, isolasjonen og vindsperren. Resultatet viser at det bærekraftige bygget har 7855 kg mindre CO2 utslipp, sammenlignet med det konvensjonelle bygget.

I tabell under vises det at veggene til det konvensjonelle bygget har høyest utslipp, og i begge byggene er det høyt utslipp i fundamentet og gulv. Taket har det laveste utslippet, og veggene til det bærekraftige bygget er nært.

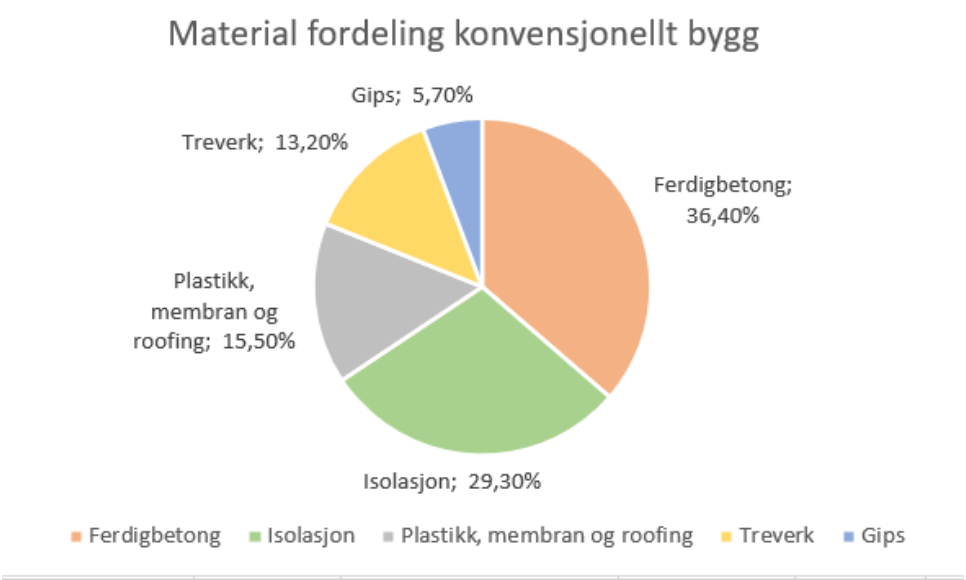


Figur 16 - CO2 utslipp til det bærekraftige og konvensjonelle bygget.

For å vise Klimagassutslippene fordelt på de forskjellige hovedkategoriene av materialer, blir det lagt til 2 kakediagram nedenunder. Figur 15 viser det bærekraftige bygget, og figur 16 viser det konvensjonelle bygget.

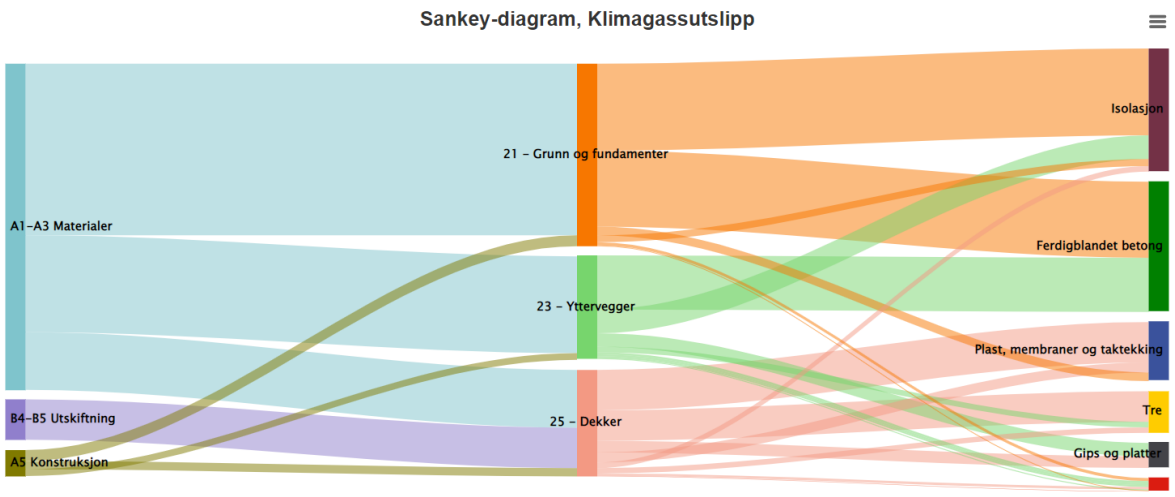


Figur 17 - Ressurs-typer bærekraftig bygg

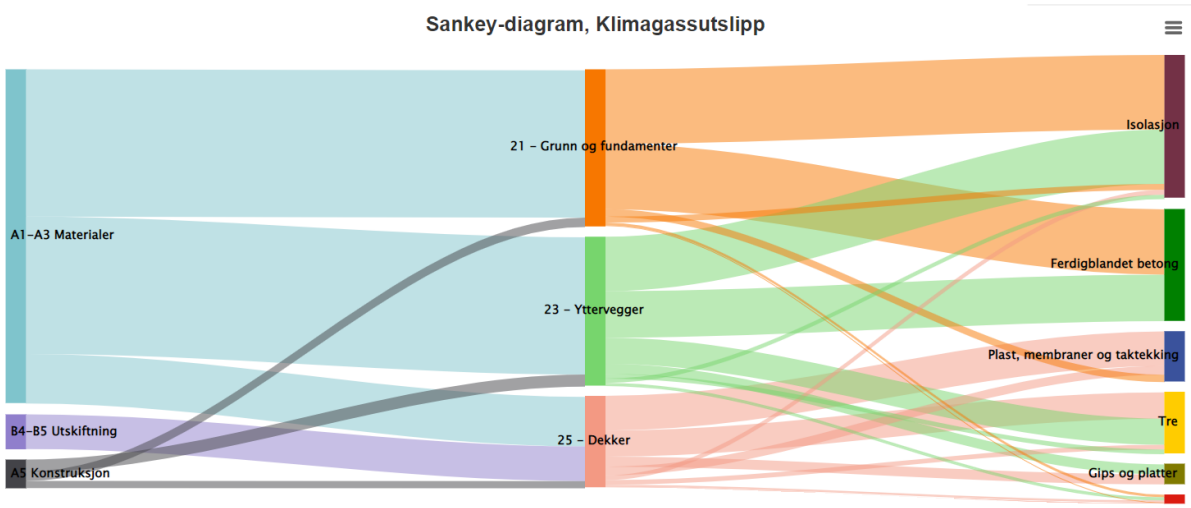


Figur 18 - Ressurs-typer konvensjonelt bygg

Nedenfor vises et Sankey-diagram, her vises klimagassutslippene i forhold til materialer, utskiftning og konstruksjon. Disse er fordelt på bygg-delene grunn og fundament, yttervegg og dekker (tak). Den viser til slutt hvilket material er fordelt til hver av bygg-delene. Detter er et fint diagram for det viser et stort overbilde av hele prosessen. Diagrammet nedenfor er sankeydiagrammet av det bærekraftige bygget. Tabell med verdier vil bli lagt til som vedlegg. Sankey-diagrammer som viser de områdene som har høyere og lavere CO2 utslipp i de forskjellige bygg delene. Her vises på sankeydiagrammene i Figur 19 og 20. Her vises hvor stor del hver bygnings komponent utgjør av CO2 utslipp, og hvilket material hver komponent består av.



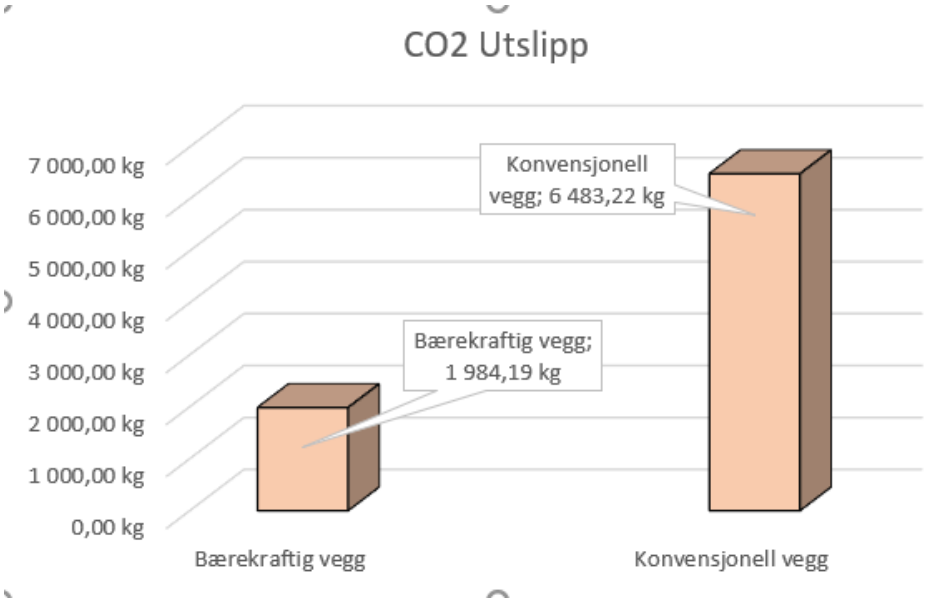
Figur 19 - Sankey Diagram av CO2 utslipp av bærekraftig bygg



Figur 20 - Sankey diagram av konvensjonelle bygg

4.2 Bærekraftig og konvensjonell vegg

Den bærekraftige veggen hadde 4500kg lavere CO2 utslipp, sammenlignet med den konvensjonelle veggen. Her blir kun konstruksjon, isolasjon og vind/fukt-tetting til yttervegg tatt i betraktning, uten gips og kledning. Resultatene vises i diagrammet nedenfor.



Figur 21 - CO2 utslipp til det bærekraftige og konvensjonelle veggene

5 Diskusjon

5.1 Ga metodene brukt i denne oppgaven presise resultater

Svakheter ved bruk av LCA.

Det er flere faktorer som kan føre til upresise resultat i denne oppgaven. Vår utregning av mengde material og valg av material, dette har en stor påvirkning av hvor mye CO2 utslipp som kommer frem i resultatet. Hvor presist One Click LCA er og hvilke faktorer den tar i bruk, vil også ha en effekt.

Med bruk av Revit til å finne material mengdene, og One Click LCA til å fullføre analysen er det ingen grunn til å tro at det er noen store avvik i denne rapporten. Små avvik vil uansett forekomme, grunnet feil-beregninger eller feil-inntastninger.

5.2 Kunne vi beholde det eksisterende bygget

Vårt problemstillingen dreier seg hovedsakelig om valg av to metoder man kan reise opp vegene på. Allikevel tenkte vi at det ville vært et lite hul å ikke nevne hvorfor vi ikke tenkte å gjøre noe med det eksisterende bygget. Etter å ha fått oppgaven fra Stranda Kommune fikk vi tilbud om befaring av det eksisterende Kaihuset. Vi la fort merke til at bygget var veldig enkelt oppreist og det hadde ikke blitt tatt hensyn til en god del tekniske krav som gir mening i forhold til dens funksjoner.

Nå som Stranda kommune har et ønske om å bruke bygget til andre hensikter er det dukket opp for en bedre bygg enn det eksisterende. Å bygge nytt på plassen er noe kommunen har vurdert selv etter flere gjennomganger. Til tross for at det ikke ser helt miljøvennlig å rive ned eksisterende bygg og bygge nytt på stedet er det viktig at man tenker langsiktig. La oss si at bygget hadde blitt pusset opp innvendig og gjort klart for de funksjonen som kommunen ønsker. Da ville spørsmålet være om hvor lenge det måtte gått før de måtte pusse opp igjen? Ville bygget brukt mer energi enn om det hadde vært bygget nytt? Ser man på bygningers levetid er det fornuftig å bygge nytt på stedet.

Materiale fra det revne bygget kan godt brukes om igjen dersom de holder til tekniske kravene. Nå har vi ikke fått noe tall eller rapport om hva eller hvor mye som kan eventuelt brukes om igjen på det nye bygget. Dette kan nok bli gjort etter en tilstandsanalyse av kommunen eller på oppdrag fra kommunen av en bedrift. Muligheten for gjenbruk er der, men stor usikkerhet til omfanget. Slik vi så på taket mener vi at store deler av materialer fra taket kan gjenbrukes, etter vår mening.

5.3 Hvilket fordeler har den prefabrikkerte veggen

Resultatet viser at konstruksjonen til den prefabrikkerte veggen kan spare 4500kg CO2, sammenlignet med den konvensjonelle.

Dette her kommer ikke gratis. Pris-sammenligningen viser en stigning på 48% i pris, i forhold til den konvensjonelle veggen. Bygg er som alle andre næringskjeder, et grønt skifte er ikke billig. Dette er noe som vil bli mindre forskjell på, når grønne bygninger blir mer populære.

En stor fordel med prefabrikasjon er at det blir mindre tid på konstruksjonsområde. Modulene settes kjapt sammen, uten noe høyt krav til kompetanse. Det blir en rask lukking av bygget som forminsker sjansene for fuktskade. Med mindre arbeidstimer på byggeplassen, vil det føre til mindre transport til og fra arbeidsplassen for arbeidere.

Prefabrikasjon av halm fører til mindre materialer utvinning. Halm er et biprodukt fra korn, dette materialet vil bli produsert avhengig av om det blir brukt i bygninger eller ikke. Derfor sparer det miljøet ovenfor å produsere isolasjon.

5.4 CO2 utslippet ved valg av de to metodene og sammenligning klimagassutslipp

I resultatene vises det at den bærekraftige bygget har 15.2% lavere utslipp enn det konvensjonelle bygget totalt. Dette er positive resultat som er innenfor den rekkevidden som var forutsett. Den konvensjonelle veggen utgjør 3.31 ganger så mye utslipp sammenlignet med den bærekraftige veggen, dette var mer enn forutsett. Grunnen til at veggen har

6 Konklusjon

Formålet med denne oppgaven var å analysere og vurdere en del av klimaavtrykket for det nye Kaihuset i Hellesylt og finne miljøvennlige løsninger for prosjektet. I denne oppgaven har det blitt fremstilt et miljøvennlig alternativ som har vist kan redusere klimaavtrykket forholdsvis.

Forskningsspørsmålene var: å se på de miljømessige fordelene med å benytte prefabrikkerte vegger kontra plassbygd konvensjonelle vegger. Hva er CO2 utslippene ved valg av de to metodene og hvordan er prosessen med bestilling og transport for et slikt prosjekt.

De miljømessige fordelene med å benytte prefabrikkerte vegger kontra plassbygd konvensjonelle vegger er at det blir mindre kast av materialer, og det åpner for muligheter som å bygge av mindre konvensjonelle materialer som halm.

Hva er CO2 utslippene ved valg av de to metodene, i resultatet viser de en reduksjon av CO2 utslipp ved bruk av prefabrikkerte halmmoduler. Der hele bygget har 15,2% lavere utslipp, ved å bruke prefabrikkerte halmmoduler.

Hvordan er prosessen med bestilling og transport for et slikt prosjekt? Prosjekteringen av bygget vil skje på fabrikken, her blir planleggingen, utformingen, detaljtegningene og dimensjoneringen gjort. Dette er en prosess som vil ta fra 4-8 uker, før modulene blir produsert. Produksjonen tar sirka 2 uker, men kommer an på størrelse av bygg og eventuelle tekniske løsninger. Transport er ganske enkelt rett fram at modulene blir sendt fra fabrikk til arbeidsplass, gjerne med lastebil der de blir montert på 1-2 uker.

Prefabrikasjon kommer med mange gode egenskaper, ved å flytte store mengder av arbeid fra arbeidsplassen til en fabrikk åpner muligheten for effektivisering. Ved bygging av et enkelt bygg blir det ikke så mye tid eller penger å spare. Men med bygging av flere bygg, vil det redusere tids bruken betraktelig. Prefabrikasjon kan også spare miljøet ved mindre kast, og mer miljøvennlige materialer.

7 Videre arbeid

Videre er det mulig å se på miljøgevinstene ved bruke av prefabrikkert tak. Veggene har vist seg at de kan redusere klimagassutslippene, hvor mye mer kan bli spart med hjelp av prefabrikkert tak.

Et tema som hadde vert interessant for mer utforskning er CO2 utslippene ved å produsere prefabrikkerte elementer av samme type material som det konvensjonelle bygget. Hvor mye utslipp kan spares ved å produsere i en fabrikk, ved hjelp av mer nøyaktig bruk av materialer og mindre transport til og fra konstruksjonsplassen.

8 Referanse

(u.d.). Hentet fra Sintef: https://www.sintef.no/ekspertise/community/byggeprosess/

(u.d.). Hentet fra Standard: https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/eurokoder1/

(15, 9 17). Hentet fra DIBK: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/

(18, 2 25). Hentet fra Regjeringen: https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Representantforslag/2020-2021/dok8-202021-023s/?all=true

(2017). Hentet fra IRP: https://www.resourcepanel.org/reports/assessing-global-resource-use

(2017). Hentet fra Standard: https://www.standard.no/fagomrader/bygg-anlegg-og-eiendom/konstruksjonsteknikk/

(2019). Hentet fra FN: https://www.fn.no/tema/klima-og-miljoe/klimaendringer

(2020). Hentet fra KPF: https://www.kpf.com/ja/stories/acaw-2020

(2021). Hentet fra Stortinget: https://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Representantforslag/2020-2021/dok8-202021-023s/?all=true

(2022). Hentet fra Ungenergi: https://ungenergi.no/miljoteknologi/bygg/energieffektivisering/

(2022). Hentet fra NTI: https://www.nti.biz/no/radgivning/losninger-og-konsepter/barekraftig-fremtid/baerekraftig-bygg/

Anand & Amor. (2017). *Recent developments, future challenges and new.* https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116305524?via%3Dihub.

B, H. (2022, 1 7). *DNB har nektet hunder som forurenser å få lån - lavere utslipp gir lavere rente*. Hentet fra DIBK: https://dibk.no/bygg21

Bakshi, B. R. (2019). *Sustainable Engineering.* https://vdoc.pub/download/sustainable-engineering-principles-and-practice-mc5kg5i63ek0.

BJØRHEIM, K. (2021). *Prefabrikasjon gjør de klimavennlige materialene økonomisk konkurransedyktige.* https://www.tu.no/artikler/byggematerialer-av-halm-jord-og-leire-tar-opp-kampen-med-massivtre-og-betong/510397.

Byggforskserien. (2014). *Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer—Byggforskserien.* https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byg.

Dahlstrøm & Korsmo. (2012). *Veileder for utarbeidelse av Miljøbudsjett.* https://www.banenor.no/globalassets/documents/prosjekter/follobanen/veiled.

DIBK. (2022). *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning.* https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/4/4-1/.

. (2022). *Produkt.* https://.eu/no/faq.

Edvardsen, K. I. (2014). *Trehus.* SINTEF Håndbøker.

Edvarsen, K. R. (u.d.). *Håndbok 5 - Trehus.* Sintef.

Elementhus: en komplett guide. (2022). Hentet fra Byggstart: https://www.byggstart.no/guide/elementhus

Grønne bedriftslån. (2022, Mai 3). Hentet fra Nordea: Nordea.no/bedrift/vareprodukt/finansiering/gronne-laan.html

Halm. (u.d.). Hentet fra Wikipedia: https://no.wikipedia.org/wiki/Halm

Halm. (u.d.). Hentet fra SNL: https://snl.no/halm

Ica.no. (2022). *Hva er LCA?* https://lca.no/hva-er-lca/.

IPCC. (2018). *FN.* Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of.

Kapittel 14 - energi. (2020, Oktober 01). Hentet fra Direktoratet for byggkvalitet: https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/

Knotten, V. S. (2015). *Design.* https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00158-6.

Knudsen Trygve, N. R. (2022). *Halm.* https://no.wikipedia.org/wiki/Halm.

Kristjansddottir, T. (2013). Utfordringer og beregniner av klimagassutslipp for.

Larsen, N. (2009). Hentet fra BNL: https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf

LCA, O. C. (u.d.). *One Click LCA*. Hentet fra https://oneclicklca.drift.click/building-lca-ebook

Marks, L. R. (2005). Hentet fra https://web.archive.org/web/20120316174607/http://etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi?ohiou1125775864.

Marks, L. R. (2005). *Leanne R. Marks.* https://web.archive.org/web/20120316174607/http:/etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi?ohiou1125775864.

Miljødirektoratet. (2022, 03 25). Hentet fra https://miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/klima/

Miljødirektoratet. (2018). *FNs klimapanel: Klimagassutslippene må reduseres med.* https://www.miljodirektoratet.no/aktuelt/nyheter/2018/oktober-2018/fnsklimapanel-.

Nersund Larsen, H. (2019). *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp.* https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.

Nordea. (2020). *Grønne bedriftslån.* https://www.nordea.no/bedrift/vare-produkter/finansiering/gronne-laan.html.

Olinzock, M. A. (2015). *Life cycle assessment use in the.* 2011/2012 survey. The International Journal of Life Cycle Assessment,.

Olsson, N. (2015). *Praktisk rapportskriving.* Hentet fra Olsson, N. (2015). Praktisk rapportskriving. Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke.

One Click LCA. (u.d.). *Background information & Documentation*. Hentet fra One Click LCA: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/categories/360002657279-Background-information-Documentation

One Click LCA. (u.d.). *Background information & Documentation*. Hentet fra One Click LCA: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/categories/360002657279-Background-information-Documentation

One click LCA. (u.d.). *ONE CKICK ACA*. Hentet fra https://oneclicklcaapp.com/app/sec/design/results?entityId=622f16e361090f16998b5ee7&childEntityId=62457bc82263d153ff28ac44&indicatorId=lcaForPlanetary_Norway

R.Marks, L. (u.d.). *Straw House.* https://web.archive.org/web/20120316174607/http://etd.ohiolink.edu/send-pdf.cgi?ohiou1125775864.

Sintef. (u.d.). Hentet fra Trehusboka: https://www.sintefbok.no/book/index/991/trehus?gclid=CjwKCAjw9-KTBhBcEiwAr19igzs5RbjKrsK9lAfhxKnJKQOFNmgZat6W1_O07ZwyMVgBgwb4hZQTSxoCdtcQAvD_BwE

SINTEF. (2022). *Innføring i byggereglene TEK17.* Kirkhus, A.

Sjöberg, E. S. (2015). *SENSIBLE.* https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/218347/218347.pdf.

Skullestad, J. L. (2016). *Bygging av høyhus i tre som et klimatiltak (s. 176).* https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2407885/14670_FULLTEXT.pdf?sequence=1.

SOLBERG, M. G. (2017). *Halmus.* https://www.tu.no/artikler/ved-forste-oyekast-ser-det-ut-som-et-vanlig-murhus-men-det-bestar-av-halm-og-leire/382248.

Standard Norge. (2010). NS-EN ISO 14025:2010.

Wikipedia. (2022). *Straw-bale construction.* https://en.wikipedia.org/wiki/Straw-bale_construction#cite_note-laststraw-11.

9 Vedlegg

Data fra Sankey diagram:

from	to	weight
A1-A3 Materialer	21 - Grunn og fundamenter	13731.136189827273
A1-A3 Materialer	23 - Yttervegger	7749.632434093954
21 - Grunn og fundamenter	Isolasjon	6952.935937500001
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigblandet betong	6084.3
A1-A3 Materialer	25 - Dekker	4620.006662145345
23 - Yttervegger	Ferdigblandet betong	4334.400000000001
B4-B5 Utskiftning	25 - Dekker	3229.2000000000003
25 - Dekker	Plast, membraner og taktekking	3229.2000000000003
25 - Dekker	Tre	2441.8464
23 - Yttervegger	Isolasjon	1898.8030544654382
23 - Yttervegger	Gips og platter	1072.3266769258125
25 - Dekker	Gips og platter	928.0177038405582
A5 Konstruksjon	21 - Grunn og fundamenter	868.9969002327275
25 - Dekker	Plast, membraner og taktekking	807.3000000000001
21 - Grunn og fundamenter	Plast, membraner og taktekking	693.9002523272728
A5 Konstruksjon	25 - Dekker	669.2501232444528
21 - Grunn og fundamenter	Isolasjon	556.2348750000001
A5 Konstruksjon	23 - Yttervegger	538.8154627567454
23 - Yttervegger	Tre	444.1027027027027
25 - Dekker	Isolasjon	442.842558304787
25 - Dekker	Tre	437.0905056
21 - Grunn og fundamenter	Andre ressurstyper	243.372
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	173.37600000000003
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	151.90424435723506
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	134.04083461572657
25 - Dekker	Andre ressurstyper	116.00221298006979
25 - Dekker	Andre ressurstyper	80.73
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	79.49438378378377
21 - Grunn og fundamenter	Andre ressurstyper	69.39002523272728
25 - Dekker	Andre ressurstyper	35.42740466438296

Vedlegg 1 - Sankey data, bærekraftig bygg

from	to	weight
A1-A3 Materialer	21 - Grunn og fundamenter	13731.136189827273
A1-A3 Materialer	23 - Yttervegger	12791.94476847387
21 - Grunn og fundamenter	Isolasjon	6952.935937500001
21 - Grunn og fundamenter	Ferdigblandet betong	6084.3
23 - Yttervegger	Isolasjon	5076.140000000001
A1-A3 Materialer	25 - Dekker	4620.006662145345
23 - Yttervegger	Ferdigblandet betong	4334.400000000001
B4-B5 Utskiftning	25 - Dekker	3229.2000000000003
25 - Dekker	Plast, membraner og taktekking	3229.2000000000003
25 - Dekker	Tre	2441.8464
23 - Yttervegger	Tre	2438.394216216216
A5 Konstruksjon	23 - Yttervegger	1129.9160837349095
23 - Yttervegger	Gips og platter	943.0105522576522
25 - Dekker	Gips og platter	928.0177038405582
A5 Konstruksjon	21 - Grunn og fundamenter	868.9969002327275
25 - Dekker	Plast, membraner og taktekking	807.3000000000001
21 - Grunn og fundamenter	Plast, membraner og taktekking	693.9002523272728
A5 Konstruksjon	25 - Dekker	669.2501232444528
21 - Grunn og fundamenter	Isolasjon	556.2348750000001
25 - Dekker	Isolasjon	442.842558304787
25 - Dekker	Tre	437.0905056
23 - Yttervegger	Tre	432.57256470270266
23 - Yttervegger	Isolasjon	406.0912000000001
21 - Grunn og fundamenter	Andre ressurstyper	243.372
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	173.37600000000003
23 - Yttervegger	Andre ressurstyper	117.87631903220652
25 - Dekker	Andre ressurstyper	116.00221298006979
25 - Dekker	Andre ressurstyper	80.73
21 - Grunn og fundamenter	Andre ressurstyper	69.39002523272728
25 - Dekker	Andre ressurstyper	35.42740466438296

Vedlegg 2 - Sankey diagram, konvensjonelt bygg