

Stian Birkeland Krohn-Dale
Sander Mossberg Hjelle
Truls Marthinussen

Ombruk kontra riving og nybygg: Sammenligningsstudie av klimagassutslipp og pris for bæresystemer

Renovation versus demolition and new construction:
Comparative study of greenhouse gas emissions and
cost for structural systems

Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk
Veileder: Aksel Fenerci
Medveileder: Tore Standal
Mai 2023

Stian Birkeland Krohn-Dale
Sander Mossberg Hjelle
Truls Marthinussen

Ombruk kontra riving og nybygg: Sammenligningsstudie av klimagassutslipp og pris for bæresystemer

Renovation versus demolition and new construction:
Comparative study of greenhouse gas emissions and
cost for structural systems

Bacheloroppgave i Konstruksjonsteknikk
Veileder: Aksel Fenerci
Medveileder: Tore Standal
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Abstract

Climate change due to global warming is an issue that concerns the whole world. The construction industry is a big contributing factor, with over 15 % of the pollution in Norway.

Life cycle analysis is a methodology used to evaluate the environmental impact of a product or building from the beginning of its raw material extraction to its ultimate disposal, including recycling. This approach, also known as "from cradle to grave", assesses the greenhouse gas emissions of each stage of the product or building's life cycle to identify areas of high environmental impact. By providing detailed information about the emissions and their timing, LCA can help identify opportunities for improving a product's or building's sustainability performance.

Ørsta KKS is a building that needs renewal, and the client, Møre og Romsdal Fylkeskommune wants to demolish and reconstruct, or reuse some parts and keep most intact. They have a goal to do this in the most sustainable way possible financially and practically. Concrete is the main material used for the existing building, with steel trusses and plates in the roof. This report will look at new alternatives as well as reuse of the old. Green house emissions and cost of the different scenarios will be calculated. Quantities are taken from the Revit-models made for the different alternatives, and One Click LCA will be used for determining the emission results, and Norsk Prisbok will be used for the cost.

The results will show how the different scenarios effect the climate in different ways. Scenario 1 is repurposing structural parts of the building, mostly the roof structure. Scenario 2 suggest deconstructing the existing and building a new with cross laminated timber and glulam, with a concrete foundation. Scenario 3 is a new building consisting of steel and pre-fabricated concrete, with a steel roof.

The results present that the second suggestion is the most optimal for the green house emission. Price wise it comes out more expensive than the third option, but further work on scenario 3 will cost more or the same than scenario 2.

Sammendrag

Klimaendringer på grunn av global oppvarming er et problem som angår hele verden. Byggebransjen er en stor bidragsyter, med over 15 % av forurensningen i Norge.

Livssyklusanalyse er en metodikk som brukes til å vurdere miljøpåvirkningen av et produkt eller en bygning. Fra begynnelsen av utvinning av råmaterialer til endelig avhending, inkludert resirkulering. Denne tilnærmingen også kjent som "fra vugge til grav", vurderer klimagassutslippene i hver fase av produktets eller bygningens livssyklus. Ved å gi detaljert informasjon om utslippene og tidspunktene, kan livssyklusanalyse bidra til å identifisere muligheter for å forbedre et produkts eller en bygnings bærekraftige ytelse.

Ørsta KKS er en bygning som trenger fornyelse, kunden, Møre og Romsdal Fylkeskommune ønsker å rive og bygge nytt, eller gjenbruke deler og beholde mest mulig intakt. Målet deres er å gjøre dette på best bærekraftig, økonomisk og praktisk måte. Betong er det viktigste materialet som brukes i den eksisterende bygningen, med stålbjelker og plater i taket. Denne rapporten vil se på nye alternativer samt gjenbruk av det gamle. Klimagassutslippene og kostnadene for de ulike scenarione vil bli beregnet. Mengder er hentet fra Revit-modellene som er laget for de ulike alternativene, og One Click LCA vil bli brukt for å bestemme utslippsresultatene, mens Norsk Prisbok vil bli brukt for kostnadsberegning.

Resultatene vil vise hvordan de ulike scenarione påvirker klimaet på forskjellige måter. Scenario 1 innebærer omdisponering av strukturelle deler av bygningen, hovedsakelig takstrukturen og dekker. Scenario 2 foreslår riving av den eksisterende bygningen og oppføring av en ny i massiv- og limtre, med betong i underetasje. Scenario 3 er en ny bygning bestående av stål og hulldekke, med et ståltak. Det er i tillegg lagt inn et alternativ der det blir sett på kun plasstøpt betong, men som er ment kun for sammenligning.

Resultatene viser at scenario 2 avgir minst klimagassutslipp av de andre scenarione med nybygg. Scenario 3 med hulldekke er et godt alternativ med tanke på både ombruk og økonomi. Scenario 1 ser lovende ut, men grunnet tilstand av bygget er det lite økonomisk grunnlag for dette.

Forord

Denne oppgaven er skrevet våren 2023 ved institutt for havromsoperasjoner og byggteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Ålesund. Bacheloroppgaven er den avsluttende oppgaven på det treårige bachelorstudiet byggingeniør i Ålesund, og utgjør 20 studiepoeng. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Multiconsult avdeling Ålesund.

Klimavennlige byggtekniske løsninger er noe vi interesserer oss for og Multiconsult hadde et tema som passet. Prosjektet Ørsta KKS var opprinnelig tenkt til BREEAM sertifisering, noe som ble lagt bort. Deretter ble oppgaven vår å utføre klimagassberegninger på tre ulike forslag til et nytt bygg. Gjennom prosessen har vi tilegnet oss egenskaper som vi mener kan være nyttig i arbeidslivet.

Vi ønsker å takke Tore Standal og Multiconsult for muligheten, samt god hjelp og veiledning til prosjektet og førsteamanuensis Aksel Fenerci ved NTNU Ålesund for hjelp til oppgaveskriving og generell veiledning.

Innhold

Sammendrag	i
Forord	iii
Innhold	vii
Figurliste	vii
Tabelliste	ix
Forkortelser	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Resultatmål	1
1.3 Bærekraftig utvikling i Norge	1
1.4 EUs green deal	2
2 Teori	4
2.1 Taksonomi	4
2.1.1 Taksonomi i Byggebransjen	5
2.2 BREEAM	6
2.2.1 BREEAM Manual	6
2.2.2 Poeng og klassifisering	7
2.2.3 Vekting av kategorier	8
2.2.4 Pre-analyse verktøy	8
2.2.5 Beregninger av BREEAM-NOR Klassifisering	9
2.3 Nybygg for fremtiden	10
2.3.1 Passivhus	10
2.3.2 NS for passivhus	10
2.3.3 Aktivhus	11
2.3.4 Plusshus	11
2.3.5 Nullenergibygninger	12
2.4 NS 3720: 2018, Metode for Klimagassberegninger for bygninger	12

2.4.1	Metode	12
2.4.2	Objektets levetid	12
2.4.3	Systemgrenser	13
2.4.4	Klimagassberegninger	14
2.4.5	Helhetlig klimagassberegning	15
2.4.6	EPD- Enviromental Product Declaration	15
2.4.7	Programvare for klimagassberegning	15
2.4.8	Hvilke utslippsverdier kan benyttes?	15
2.4.9	Utslipp for produksjonsmodulene A1-A3	16
2.5	Miljøtiltak og konkurransefortrinn	16
2.6	Materialer	17
2.6.1	Massivtre	17
2.6.2	Limtre	19
2.6.3	Biogen karbonlagring	19
2.6.4	Stål	20
2.6.5	Betong	21
3	Metode og innsamling	24
3.1	Litteraturinnsamling	24
3.2	Klimagassberegning	24
3.2.1	Beregningsavgrensninger	24
3.2.2	Beregning av klimagassutslipp	24
3.2.3	Avgrensninger	24
3.3	Bruk av Programvarer	25
3.3.1	One Click LCA	25
3.3.2	Revit	26
3.4	FEM-Design	26
3.5	Norsk prisbok	26
4	Eksisterende bygg og nye scenarioer	28
4.1	Generelt	28
4.2	Eksisterende bæresystem	29
4.2.1	Fundament	29
4.2.2	Søyler	29
4.2.3	Bjelker	29
4.2.4	Dekker	29
4.2.5	Takkonstruksjon	29
4.3	Tilstand på eksisterende bygning	30
4.3.1	Vannskader	30
4.4	Scenario 1: Ombruk	32
4.4.1	Fundament	32
4.4.2	Søyler	32
4.4.3	Bjelker	32
4.4.4	Dekker	32
4.4.5	Takkonstruksjon	32
4.4.6	Yttervegger	32
4.5	Scenario 2: Massiv- og limtre	33
4.5.1	Fundament	33

4.5.2	Søyler	33
4.5.3	Bjelker	33
4.5.4	Dekker	33
4.5.5	Takkonstruksjon	33
4.5.6	Yttervegger	33
4.6	Scenario 3: Prefab, betong og stål	34
4.6.1	Fundament	34
4.6.2	Søyler	34
4.6.3	Dekker	34
4.6.4	Takkonstruksjon	34
4.6.5	Yttervegger	34
4.6.6	Plasstøpt alternativ	34
5	Resultater	35
5.1	Sammenligning av prosjektering	35
5.2	Klimagassberegning	35
5.2.1	Eksisterende bygg	36
5.2.2	Scenario 1: Ombruk	38
5.2.3	Scenario 2: Massiv- og limtre	40
5.2.4	Scenario 3: Prefab, betong og stål	42
5.2.5	Plasstøpt dekke	43
5.3	Fasader scenario 2 og 3	43
5.4	Sammenligning utslipp	44
5.4.1	Utslipp LCA-faser	44
5.5	Nybygg opp mot ombruk	46
5.6	Bygningsdeler	47
5.6.1	Ombruk mot nybygg	49
5.7	Pris	50
5.7.1	Scenario 1: Ombruk	50
5.7.2	Scenario 2: Massiv- og limtre	51
5.7.3	Scenario 3: Prefab, betong og stål	52
5.8	Sammenligning mellom utslipp og pris	53
6	Analyse	54
6.1	Klimagassberegningene	54
6.1.1	Tolkning av resultatene	54
6.2	Kostnadsberegningene	55
6.2.1	Tolkning av resultatene	55
6.2.2	Totalkostnad av forslagene	55
6.3	Sammenligning pris og utslipp	55
6.4	Feilkilder	56
7	Drøfting	57
7.1	Diskusjon av funn	57
7.2	Diskusjon av metode	57
7.2.1	BREEAM	57
7.2.2	Klimagassberegningene	58
7.2.3	Valg av miljøbetong	58
7.2.4	Fasader	59

7.2.5	Lydkrav massivtre	59
7.2.6	Transport av materialer	59
7.2.7	Konstruksjon	60
7.2.8	Pris	60
7.3	Dimensjonering	61
7.3.1	Eksisterende takfagverk	61
7.3.2	Eksisterende plasstøpt betong	62
7.3.3	Fordeler med bygg i stål og betong	62
7.3.4	Fordeler med bygg i massiv- og limtre	62
7.3.5	Fordeler med prefabrikkerte elementer	63
7.4	Miljøgevinst	63
7.4.1	Bygge nytt	64
7.4.2	Levetid	64
7.4.3	Gjenbruk ved endt livsløp	64
7.5	Videre klimagassberegning og pris	65
7.6	Videre prosjektering	65
8	Konklusjon	66
	Referanseliste	68
	Vedlegg	71

Figurliste

2.2.1 BREEAM-GOOD resultat	9
2.3.1 Minstekrav byggetekniske løsninger og ventilasjon	11
2.4.1 Systemgrenser livsløp	13
2.4.2 Fire forhåndsdefinerte omfang for klimagassberegninger	14
2.6.1 Kantstilt element	18
2.6.2 Hulroms element	18
2.6.3 Krysslagt element	18
2.6.4 Sementproduksjon SNL	21
2.6.5 Hulldekke Spenncon	23
4.1.1 Fasaden fra øst	28
4.3.1 Vannskade vegg mot grunn	30
4.3.2 Vannskade gulv mot grunn	30
4.3.3 Søyle og bjelke under bibliotek	31
4.3.4 Søyle og bjelke under storsal	31
4.4.1 Scenario 1: Ombruk i Revit	32
4.5.1 Scenario 2: Massiv/limtre i Revit	33
4.6.1 Scenario 3: Prefab stål og betong i Revit	34
5.1.1 Forslag til prosjektering	35
5.2.1 Utslipp LCA-stadier	36
5.2.2 Bygningsdeler Utslipp eksisterende	37
5.2.3 Utslipp bygningsdeler ombruk	38
5.2.4 Utslipp LCA fasert ombruk	39
5.2.5 Utslipp bygningsdeler massivtre	40
5.2.6 Utslipp LCA fasert	41
5.2.7 Utslipp bygningsdeler prefab og stål	42
5.2.8 Utslipp LCA fasert	43
5.4.1 Sammenligning av resultatene	44
5.6.1 Sammenligning utslipp bygningsdeler	47
5.7.1 Pris, gjenbruk	50
5.7.2 Pris, massiv- og limtre	51
5.7.3 Pris, prefab	52

5.8.1 Sammenligning, utslipp og pris	53
5.8.2 Utslipp, pris, Δ utslipp per mill. kr	53
5.8.3 Δ Utslipp per million krone	53
7.2.1 Eksempel på utslipp ved isolering og kledning utvendig. Revidert Δ Utslipp per MNOK fra figur 5.8.2	59

Tabelliste

2.2.1 Prosentpoeng for hver kategori	7
2.2.2 Vekting av hver kategori	8
5.2.1 Utslipp LCA stadier	36
5.2.2 Utslipp eksisterende bygningsdeler	36
5.2.3 Utslipp fra dekonstruering	37
5.2.4 Utslipp bygningsdeler ombruk	38
5.2.5 Utslipp LCA faser ombruk	38
5.2.6 Utslipp bygningsdeler Massiv-limtre	40
5.2.7 Utslipp LCA faser	40
5.2.8 Utslipp bygningsdeler prefab og stål	42
5.2.9 Utslipp LCA faser	42
5.4.1 Scenario 1 sammenlignet med eksisterende i CO_2e	44
5.4.2 Scenario 2 sammenlignet med eksisterende i CO_2e	45
5.4.3 Scenario 3 sammenlignet med eksisterende	45
5.5.1 Ombruk mot Massiv- limtre	46
5.5.2 Ombruk mot prefab/stål	46
5.6.1 Scenario 1 opp mot eksisterende	48
5.6.2 Scenario 2 opp mot eksisterende	48
5.6.3 Scenario 3 opp mot eksisterende	48
5.6.4 Ombruk bygningsdeler mot massiv/limtre	49
5.6.5 Ombruk bygningsdeler mot prefab/stål	49
5.8.1 Sammenligning utslipp nye scenario	53

Forkortelser

Liste av alle forkortelser:

Forkortelse	Definisjon
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
<i>CO₂e</i>	Karbondioksid ekvivalenter
DiBk	Direktoratet for byggkvalitet
EPD	Environmental Product Declaration
EU	Europeisk Union
FEM	Finite element method
ibid	ibidem-brukes når samme kilde er brukt to ganger
kWh	Kilowatt-time
LCA	Livssyklusanalyse
LCC	Livssykluskostnad
Lavkarbonbetong	Betong produsert for å redusere karbonutslipp
NS	Norsk standard
NTNU	Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
NZEB	Nearly Zero Emission Building
MNOK	Millioner norske kroner
TRP	Selvbærende takplater stål

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Problemstilling

Denne rapporten går ut på å finne forskjellene i klimagassutslipp og pris fra tre ulike bæresystemer. Prosjektet er Ørsta Kulturhus.

1.2 Resultatmål

Resultatmålet er å presentere forskjellene i utslipp fra alternative bæresystemer. Kun bæresystemet er tatt i betraktning for å forenkle resultatene. Tre tilnærmede forslag lages i Revit i samme areal som det eksisterende bygget.

Klimagassberegningene tas fra modellene som lages i Revit. NS3720-Metode for klimagassberegninger i bygninger brukes til å etablere hvilke livssyklusfaser som velges. One Click LCA brukes til generering av livsløpsanalysen.

Materialene prissettes ved hjelp av Norsk Prisbok og parameterene fra Revit.

Konklusjonen kommer med en anbefaling om hvilket alternativ som egner seg best.

1.3 Bærekraftig utvikling i Norge

Norge har de siste årene satset hardt i retningen mot en mer bærekraftig utvikling. Dette er gjort i form av målsettinger som å bygge større andel passiv-, eller plusshus. Her er målet å spare inn miljøkostnaden eller å produsere mer energi enn hva som er nødvendig for byggingen. Andre tiltak som elektriske kjøretøy og anleggsmaskiner har blitt et krav i Oslo kommune og forventes at andre kommuner følger etter videre.

Prosjekter som Munchmuseet inngår i Oslo sitt "Future-built" som er en annen standard for bærekraftige byggeprosjekter. Denne har som mål å redusere totale

utslipp med minst 50 % i forhold til vanlig byggeprosess og materialer når den blir bygget. Direktoratet for byggekontroll, et nasjonalt kompetansesenter innen bygg, er i tillegg en sentral myndighet på flere områder innenfor bygningsdelen av plan- og bygningsloven. Som tilsynsmyndighet for byggevaremarkedet har de et stort ansvar for godkjenning av foretak med ansvarsrett. DiBk er med å utforme nasjonale og internasjonale regelverk for standardiseringsarbeid på byggeplasser. Direktoratet har to hovedmål de skal bidra til for å oppfylle; forutsigbare regelverk for effektiv ressursbruk og sikring av miljøvennlige og tilgjengelige bygg. Blant annet har de ansvar for utforming og distribusjon av TEK-standarder.

TEK17 er standarden som har blitt brukt siden 2017 og en ny versjon, TEK24, kommer i 2024. Forskriften sikrer at bygget holdes til tekniske krav til byggverk for å kunne oppføre lovlig i Norge. Standarden sikrer blant annet at et minimumskrav blir oppfylt for nybygg. Krav for energieffektivitet og tilgjengelighet for alle mennesker er noen av punktene den oppfyller.

DiBk har blitt kritisert for å være sent ute med å sette miljø og bærekraftighet i senter, noe som har gitt oss andre standarder som BREEAM-NOR og Futurebuilt.

Enova er en støtteanordning som skal promotere og gi initiativ til privatpersoner for å gjennomføre gode energi- og klima tiltak i privatboliger. Det blir gitt støtte for energisparende produkter som vannbåren varme, med enten bergvarme eller biokjele som oppvarming samt strømproduksjon med solpanel eller solfangere for varmeproduksjon.

1.4 EUs green deal

EUs Green Deal er et sett forslag for å tilrettelegge EUs retningslinjer for klima, energi, transport og skattelegging slik at de passer med målet om å redusere klimagasser med minst 55 % innen 2030, sammenlignet med 1990.¹ Forslaget ble lagt frem av EU-kommisjonen i desember 2019, og senere godkjent i 2020. Strategien skal sørge for at EU blir en moderne, ressurseffektiv og konkurransedyktig økonomi. Dette skal gjøre at EU står for ingen netto klimagass utslipp innen 2050, økonomisk vekst uavhengig av ressurs forbruk og at ingen personer eller plass blir etterlatt. Hovedpunktene som EUs Green Deal tilbyr er:

- Frisk luft, rent vann, sunn jord og biologisk mangfold
- Sunn og rimelig mat
- Mer offentlig transport
- Grønn energi og teknologisk innovasjon innenfor energisektoren
- Varer med lengre levetid som kan repareres, resirkuleres og gjenbrukes
- Fremtidssikre jobber
- Globalt konkurransedyktig og robust industri

¹Regjeringen, Feb. 7, 2020 [1]

- Renoverte, energieffektive bygninger

Innen forslaget til EU er det noen punkter som treffer bygg og anlegg.² En del av dette handler om avfallsdirektiver som; innen 2025 skal 60 % av husholdningsavfall og næringsavfall materialgjenvinnes. Dette skal økes til 65 % i 2030. Innen 2025 og 2030 skal 65 % og 75 % av emballasjeavfall materialgjenvinnes. I 2014 ble det rapportert at 61 % av det ikke-farlige bygg- og anleggsavfallet ble forberedt til ombruk eller materialgjennvunnet i Norge. EU-kommisjonen har varslet at de vil sette krav til resirkulert innhold for enkelte byggevarer, skjerpe målene for materialgjenvinning for bygg- og riveavfall og innføre en felles taksonomi for å bestemme bærekraften for investeringer i EU.³

²Grønn Byggallianse, Mar. 7, 2023 [2]

³Miljødirektoratet, Mar. 2, 2023 [3]

2.1 Taksonomi

Bakgrunnen til taksonomien er EUs Green Deal. Deler av EUs grønne giv er en handlingsplan for bærekraftig finans.¹ Fundamentet i denne planen er EUs taksonomi. Taksonomien er et system som klassifiserer informasjon. Dette tilfellet dreier seg om EUs klassifiseringssystem som skal definere bærekraftig aktivitet. Målet til EUs handlingsplan for bærekraftig finans er å tilrettelegge for bærekraftige aktiviteter. Behovet for å definere grønne investeringer har økt med vekst av grønne fond og medfølgende investeringsvilje. Et rammeverk for bærekraftig finans, kan øke finansieringen av bærekraftige løsninger og håndtere finansiell risiko som kommer av klimaendringene. Taksonomien kan også hjelpe med å motvirke grønnvasking og forenkle tilgang til informasjon om hvilke økonomiske aktiviteter som er bærekraftige.

Tiltakene til EU for å fremme bærekraftig økonomisk aktivitet kan deles i tre:

- Rapporteringskrav: Gjelder foretak innenfor bank- og finanssektorene, samt større foretak. Innføre krav om rapportering på delene av omsetningen som kommer fra bærekraftige aktiviteter
- Nye regler: Bank- og finanssektorene må rapportere på andelen av produktene de tilbyr som tilfredsstiller kravene til taksonomien. Omfatter forvaltning og risikostyring som forbindes med bærekraftige investeringer
- Klassifisering av bærekraft: Klassifiseringssystem for bærekraftige aktiviteter

Taksonomien har som mål å definere bærekraftig aktivitet. For å fylle kravene som settes må følgende kriterier oppfylles²:

- Vesentlig bidrag til minst ett av seks miljømål:

¹NHO, 2023 [4]

²NHO, 2023 [4]

1. Begrensning av klimaendringer
 2. Klimatilpasning
 3. Bærekraftig bruk og beskyttelse av vann- og havressurser
 4. Omstilling til sirkulærøkonomi
 5. Forebygging og bekjempelse av forurensing
 6. Beskyttelse og gjenopprettelse av biologisk mangfold og økosystemer
- Ikke være skadelig for noen av de andre miljømålene
 - Oppfylle minimumsvilkår for sosiale rettigheter

2.1.1 Taksonomi i Byggebransjen

Taksonomien til EU fokuserer i hovedsak på finansforetak, børsnoterte foretak og foretak med over 500 ansatte.³ Uansett vil dette også påvirke aktører i bygge- og anleggsbransjen. Så en innsikt i taksonomien vil ha betydning for å kunne tilpasse virksomheten til nye krav.

Bygg står for 40 % av energikonsumet og ca. 36 % av karbonutslippene i EUs medlemsland. Derfor er taksonomiens hovedmål å stimulere bygg- og anleggsbransjen for å vende investeringene mot mer energieffektive bygninger. Dette fører til at taksonomien påvirker og gir konsekvenser for bygg- og eiendomssektoren.

Sektoren vil få en direkte økonomisk fordel ved overordning av taksonomiens krav. Siden dette gjør selskapene mer attraktive som investeringer, vil de dermed tiltrekke seg mer kapital til sine prosjekter. Samsvar med taksonomien vil også gi bedre betingelser og lavere kapitalkrav.

Kravene til rapportering vil påvirke bransjen som følge av taksonomien samt andre nye regelverk. Store og børsnoterte selskaper vil måtte rapportere andelen av omsetning og investeringer som er i samsvar med taksonomien. I tillegg til dette pålegges finansmarkedsaktører og finansielle rådgivere en rekke nye og omfattende rapporteringsplikter. Disse aktørene pålegges å gi informasjon på sine nettsider, ved avtaleinngåelser med kunder og i periodiske rapporter blant annet om hvordan bærekraft integreres i investeringsbeslutninger, rådgivning og lønnspolitikk.

BREEAM-NOR er den største ordningen for sertifisering av nybygg og store rehabiliteringsprosjekter. Forskjellen mellom taksonomien og BREEAM-NOR er at sistnevnte bygger på relative kriterier. Taksonomiens krav er absolutte; kriteriene er oppfylt eller ikke. Dermed etterlater taksonomien mindre rom for fleksible løsninger tilpasset prosjektet.

³Johnsen, Apr. 27, 2021 [5]

2.2 BREEAM

BREEAM-NOR er en teknisk manual som tildeler poeng for prosjektdeler som oppfyller visse krav til det nye bygget, omhandler også renovasjon eller påbygg.⁴ BREEAM-NOR har som formål at de skal kunne umiddelbart bli anerkjent for at momenter som planlegging, prosjektering, oppføring og drift er i samsvar med prinsipper for beste bærekrafts praksis. Målet med kravene som kommer frem i manual og tekniske verktøy er å redusere miljøpåvirkningen for livsløpet for bygget. Som bivirkning gir og sertifiseringen publikasjon om fordelene ved å sertifisere nybygg med slike gode gjenkjennelige kvalifikasjoner. Dette gjør at leverandørene av gode produkter som både er miljøbevisste og energieffektive i produksjon og i bruk blir simulert av markedet som gir videre nyvinning og bedre produkter. Sertifiseringskravene setter brukerens helse og trivsel i sentrum samtidig som den gir dokumentert kvalitet for bygget.

BREEAM-NOR er i seg selv en frivillig sertifisering, men en som er veldig krevende og gir en ekstra prosjekterings kostnad i byggeprosjektet. Man kan argumentere for at sertifiseringa kan gi bygget en ekstra status eller økt økonomisk verdi.

Det finnes per. 25.01.2022 304 registrerte BREEAM-sertifiserte bygg i Norge der kun 1 prosjekt befinner seg i Møre og Romsdals fylke, Fagerlia VGS som ble tildelt "Good". Fremover antas det at flere prosjekt ønsker å gjennomføre kvalifikasjonen for å få sertifiseringen siden det er et offentlig bevis på at bygget har fra prosjektering til avslutning satt brukere og miljø i sentrum for å oppnå ønsket resultat.

2.2.1 BREEAM Manual

Manualen består av ni miljøområder i tillegg til innovasjon:

1. Ledelse
2. Helse og innemiljø
3. Energibruk
4. Transport
5. Vann
6. Materialer
7. Avfall
8. Arealforbruk og økologi
9. Forurensning

⁴Grønn Byggallianse, 2022 [6]

Samtlige områder inneholder en rekke evner som beskriver hvordan miljøpåvirkning fra rehabiliterte eller nye bygg kan reduseres.⁵ Hvert emne beskriver detaljert et formål med tilhørende kriterier og dokumentasjonskrav. Kriteriene spesifiserer den eller de ytelsene som valgte løsninger skal innfri. Kan prosjektet dokumentere at kriteriene er innfridd, kan BREEAM poeng tildeles.

2.2.2 Poeng og klassifisering

Hvert emne tar for seg en spesifikk bygningsrelatert miljøpåvirkning eller brukerrelatert faktor, og er forbundet med et visst antall poeng.⁶ Dette gjelder når bygg oppfyller ytelsesnivåene for beste praksis som er definert for emnet. Altså at bygget har redusert en miljøpåvirkning eller, for helse- og innemiljø kategorien, utbedret et brukerrelatert problem, f.eks. termisk miljø, tilgang til dagslys eller akustisk kvalitet.

Antall poeng som tildeles for hvert enkelt emne varierer. Poeng tildeles avhengig av størrelsen på miljøpåvirkningen i de forskjellige kategoriene.⁷ Dersom det er en mulighet for flere poeng, tar antallet vanligvis utgangspunkt i en glidende skala. Flere poeng tildeles ut fra nivået til ytelsen av bygget, tabell 2.2.1 viser prosentpoengene som kreves for kategoriene:

BREEAM-klassifisering	Poengsum i %
OUTSTANDING	≤ 85
EXCELLENT	≤ 70
VERY GOOD	≤ 55
GOOD	≤ 45
PASS	≤ 30
UKLASSIFISERT	< 30

Tabell 2.2.1: Prosentpoeng for hver kategori

BREEAM-klassifisering muliggjør det å sammenligne et byggs ytelse med andre bygg som er vurdert i samme prosjektfase.⁸ Hver klassifisering tilsvarer følgende ytelse:

1. Outstanding: Mindre enn øverste 1 % av nybygg (innovasjon)
2. Excellent: Øverste 10 % av nybygg (beste praksis)
3. Very good: Øverste 25 % av nybygg (svært god praksis)
4. Good: Øverste 50 % av nybygg (gjennomsnittlig god praksis)
5. Pass: Øverste 75 % av nybygg (standard god praksis)

⁵Grønn Byggallianse, Mar. 7, 2020 [7]

⁶Grønn Byggallianse, Mar. 7, 2020 [7]

⁷Asplan Viak, Nov. 22, 2022 [8]

⁸Grønn Byggallianse, 2022 [6]

Uklassifisert tilsvarende ytelse som ikke samsvarer med BREEAM. Dette tilsier at bygget ikke har oppfylt et eller flere av minstekravene eller samlet poengsum for laveste klassifisering ikke er oppnådd.

2.2.3 Vekting av kategorier

Enhver teknisk kategori har en tilhørende prosentandel vekting. Denne muliggjør å definere, for å så rangere, de relative påvirkningene i ordningen. Brukes som vist i tabell 2.2.2 et vektingssystem som er avledet fra en kombinasjon av konsensusbaserte vektinger, rangert av et ekspertpanel. Disse brukes til å bestemme de relevante verdiene av kategoriene og deres bidrag til en samlet poengsum.

Kategori	VEKTING (%)		
	Innredet	Uinnredet	Råbygg
LEDELSE	13 %	13 %	13 %
HELSE OG INNEMILJØ	16 %	9 %	8 %
ENERGI	14 %	12 %	7 %
TRANSPORT	10 %	12 %	15 %
VANN	4 %	4 %	1 %
MATERIALER	17 %	20 %	24 %
AVFALL	7 %	8 %	9 %
FORURENSNING	4 %	5 %	2 %
INNOVASJON	10 %	10 %	10 %

Tabell 2.2.2: Vekting av hver kategori

2.2.4 Pre-analyse verktøy

Pre-analyseverktøyet er en kalkulator som brukes til å anta hvilket BREEAM nivå et bygg har mulighet til å nå før prosjekteringen.⁹ Resultatene er en indikator for sertifiseringen til bygget, og baserer seg på en forenklet, informasjonsfokusert analyse og uverifiserte beslutninger. Dette vil si at resultatet ikke skal brukes til endelig sertifisering, derimot er kalkulatoren en markering av potensialet. Pre-analysen brukes i anbudsrunder for å bedre budet til prosjekterende.

I praksis er kalkulatoren delt inn i steg med hjelp av Excel.

- Analyse detaljer: Første steg er detaljer om prosjektet, BREEAM revisor, byggherre, arkitekt, og entreprenør
- Pre-analyse estimator: Andre steg er beregninger av poengsum som prosjektet kan oppnå. Kalkulatoren går gjennom emnene nevnt i tabell 2.2.2. Under hvert emne går kalkulatoren innom underkategorier som gir poeng mellom 0-1. Disse poengene utgjør en prosentandel som summert gir endelig potensielt resultat

⁹Asplan Viak, Nov. 22, 2022 [8]

- Sammendrag av byggets prestasjonsevne: Viser resultatet sammenlignet med prosenten poeng mulig per kategori, og resultatet i prosent per kategori, opp mot hvilket BREEAM nivå som er mulig i tre faser (målsetting, designfase og byggefase). I tillegg vises en tabell slik som figur 2.2.1, som viser resultatet i tall, både målsatte poeng og faktisk resultat. Steget viser også et sammendrag av målsetningen opp mot taksonomien
- Versjonskontroll: Inneholder en kontroll av hvilken versjon man bruker

2.2.5 Beregninger av BREEAM-NOR Klassifisering

Revisor bestemmer klassifiseringsnivået ved hjelp av relevante vurderingsverktøy og kalkulatorer.¹⁰ Indikasjoner på ytelse i henhold til BREEAM-NOR kan også fastsettes ved hjelp av pre-analyseverktøyet. Nedenfor forklares det hvordan en klassifisering fastsettes, og i figur 2.2.1 gis et eksempel for et prosjekt som oppnår klassifiseringsnivået GOOD.

BREEAM-NOR Kategori	Oppnådde poeng	Tilgjengelige poeng	%tilgjengelig e oppnådd	Kategori-vektning	Prosentpoeng for kategori
LEDELSE	11	21	52 %	0.13	7 %
HELSE OG INNEMILJØ	11	18	52 %	0.16	10 %
ENERGI	10	21	47 %	0.14	7 %
TRANSPORT	8	13	61 %	0.10	6 %
VANN	6	9	67 %	0.04	3 %
MATERIALER	9	21	43 %	0.17	7 %
AVFALL	4	7	57 %	0.07	4 %
AREALBRUK OG ØKOLOGI	6	18	33 %	0.15	5 %
INNOVASJON	0	0	0 %	0.10	0 %
Endelig poengsum					49 %
BREEAM-NOR klassifisering					GOOD

Figur 2.2.1: BREEAM-GOOD resultat

¹⁰Grønn Byggallianse, 2022 [6]

2.3 Nybygg for fremtiden

Samtlige byggherrer av nybygg må følge gjeldende teknisk forskrift. Kravene til energieffektivitet endres jevnlig og dagens energibehov for småhus skal ligge på 120 kWh per m², 1600 kWh/BRA per år.¹¹ Dette vil si at hus på 200 m² ikke skal utgjøre mer enn 128 kWh per kvadratmeter, slik at forbruket per år ender på 25600 kWh.

2.3.1 Passivhus

Passivhus tar i bruk passive tiltak for å redusere energibehovet:

- Yttervegger, tak og gulv mot grunn er ekstra godt isolert
- Ekstra godt isolerte vinduer
- God tetthet og minst mulig luftlekkasjer

For å få til best mulig luftkvalitet og et godt inneklima i et passivhus, må man ha et ventilasjonssystem med mulighet for varmegjenvinning.

2.3.2 NS for passivhus

Norge er det eneste landet i Europa med egen standard for passivhus. NS 3700 definerer krav til boliger, mens NS3701 definerer kravene til yrkesbygg.¹²

1. Krav til varmetapstall

Kravet til varmetapstall i NS3700 angir hvor stort varmetap bygget kan ha gjennom vegger, tak, gulv, vinduer, og dører, samt gjennom luftlekkasjer og ventilasjon.

- Passivhus under 100m²: 0,53 W/(m²*K)
- Passivhus mellom 100 og 250 m²: 0,48 W/(m²*K)
- Passivhus større enn 250 m²: 0,43 W/(m²*K)

2. Krav til oppvarmingsbehov

Klimaet og størrelsen på boligen avgjør oppvarmingsbehovet til boligen som tas hensyn til i standarden. I passivhus >250m² skal det ikke være nødvendig for beboende å bruke mer enn 15 kWh per m² per år til oppvarming. Mindre boliger har justert krav.

3. Krav til energiforsyning

I hovedsak skal passivhus i størst mulig grad basere seg på andre energikilder enn olje, gass, og elektrisitet. Standarden sier "levert energi fra elektrisk og fossile brensler må være mindre enn netto energibehov fratrukket 50 % av netto energibehov til varmtvann". Dette vil si at hvis en dekker litt mer

¹¹Tekna, May 4, 2018 [9]

¹²SINTEF Byggforsk, 2022 [10]

enn 50 % av energibehovet til varmtvann ved hjelp av en fornybar energikilde, kan man dekke resten av energibehovet ved hjelp av elektrisitet. En solfanger som dekker litt mer enn halvparten av varmtvannsbehovet vil oppfylle kravet. Varmepumpe og vannbåren varme er også en alternativ løsning.

4. Krav til bygningsdeler og lekkasjetall

Egenskap	Passivhus	Lavenergibygning	
		Klasse 1	Klasse 2
U -verdi vindu og dør	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Normalisert kuldebroverdi	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	$\leq 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjennvinner	$\geq 80\%$	$\geq 70\%$	
SFP faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	
Lekkasjetall ved 50 Pa	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$

a U -verdier skal beregnes som gjennomsnittsverdien.

b Normalisert kuldebroverdi kan fravikles med oppgraderingsprosjekter

c Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad er gjennomsnittsverdien for alle varmegjennvinnere

Figur 2.3.1: Minstekrav byggetekniske løsninger og ventilasjon

2.3.3 Aktivhus

Aktivhus har ingen entydig forklaring eller definisjon i Norge eller internasjonalt. Begrepet benyttes av aktører i norsk byggenæring om ulike konsepter og ulike bygningstyper:

- Bygd av miljøvennlige materialer, for eksempel med mye trevirke
- Hus som markedsføres med å ha et godt inneklima og naturlig belysning
- Bygninger med naturlig ventilasjon

Aktivhus er ikke knyttet til en spesifikk definisjon av energieffektivitet eller klimavennlighet.

2.3.4 Plusshus

Det finnes heller ingen standard for begrepet plusshus i Norge eller internasjonalt. Generelt kan en si at det er bygninger som gjennom driftsfasen produserer mer fornybar energi enn det som ble brukt til produksjon av byggematerialer, oppføring, drift, og avhending av bygningen. Energi fra teknisk utstyr, og belysning inkluderes ikke i Norge, men i utlandet. Powerhouse er en allianse bestående av en rekke aktører som samarbeider om å utvikle og bygge plusshus i Norge.

2.3.5 Nullenergibygninger

Nullenergibygninger omfatter både netto nullenergibygg og nesten nullenergi. Den engelske bruken av begrepet ZEB omfatter nullenergibygg . Begrepet brukes om bygninger som genererer nok fornybar energi til å utlikne eller overskride bygningens årlige netto energibehov. Det vil si at summert vil levert og eksportert energi være lik null.

EUs reviderte bygningsenergidirektiv fastslår at nye bygg skal være “nesten nullenergibygninger” fra 2020, og at alle offentlige bygg skal være “nesten nullenergibygg” fra 2018. Dette har bidratt til forskriftsendring og skjerpning, og er tilpasset EU sine krav.

I nesten nullenergibygg skal energibehovet være så lavt som mulig, så lenge det er teknisk og økonomisk fornuftig for landet. En kombinasjon av den oppnåelige energiytelsen og den beste teknologien innen fornybar energi. Energien trenger ikke å være effektiv økonomisk, derimot avhengig av de finansielle insentivene i hvert land. I Norge ligger det på passivhusnivå eller lavere og fornybar energiproduksjon i/på bygningen, slik at behovet for levert energi er nesten lik null.

2.4 NS 3720: 2018, Metode for Klimagassberegninger for bygninger

Standarden omhandler en beregningsmetode for klimagassutslipp som kan knyttes til en bygning gjennom dens livsløp og omfatter produkter, varer og tjenester relatert til bygging i tillegg til drift, bruk og avhending av bygningen.

Krav til metode for beregning av klimagassutslipp fra hele livsløpet til bygningen defineres fra starten av livsløpet til slutten. Standarden kan anvendes til å beregne klimagassutslipp knyttet til livsløpet til en hel eller deler av en bygning, samt deler av livsløpet til bygningen eller bygningsdelen. Standarden bygger på NS-EN 15978: *Bærekraftige byggverk- Vurderinger av bygningers miljøpåvirkning- Beregningsmetode* og er begrenset til beregning av klimagassutslipp.

2.4.1 Metode

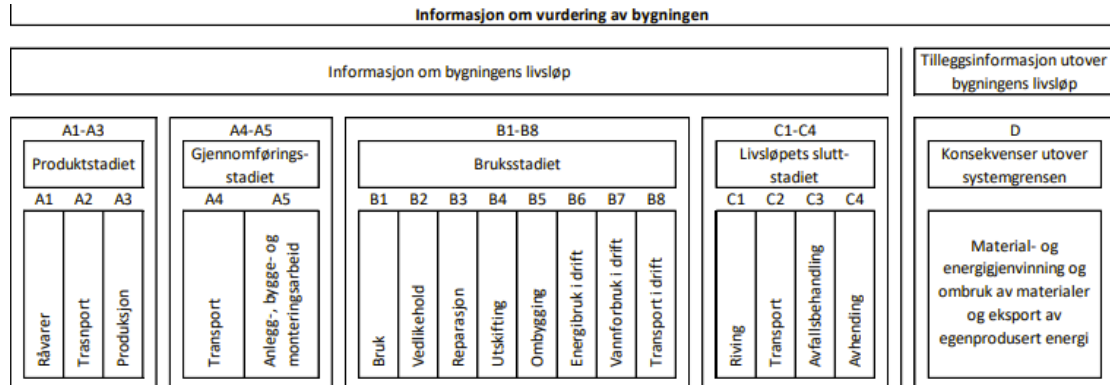
Fuller beregninger er nødvendig for å utføre klimagassberegninger som må utføres i riktig rekkefølge. Dette sikrer at all informasjon blir behandlet i samsvar med kravene i standarden.

2.4.2 Objektets levetid

Beregningene skal gjennomføres på grunnlag av nødvendig levetid gitt i byggherrens spesifikasjon. Nødvendig levetid avhenger av klimagassberegningene, tiltenkt bruk eller nasjonale veiledninger. Om byggherre ikke oppgir levetid, blir den satt til 60 år.

2.4.3 Systemgrenser

Figur 2.4.1 viser de forskjellige modulene som brukes til å vurdere bygningen, og tilsvarer informasjonsmodulene fra EPD for Byggevarer, prosesser og tjenester i henhold til NS-EN 15978 og NS-EN 15804 med noen avvik.



Figur 2.4.1: Systemgrenser livsløp

- Produktstadiet A1-A3: Omfatter klimagassutslipp fra hele produksjonsprosessen, inkluderer råvareuttak (A1), transport av råvare til fabrikk (A2) og produksjon av byggevaren (A3). Emballasjeproduksjon inngår også i A1-A3
- Gjennomføringsstadiet A4-A5: A4 er transport av byggevarene med emballasje fra fabrikk til byggeplass. A5 er byggeplassaktivitet med klargjøring av tomt og oppføring av bygningen. A5 inkluderer utslipp knyttet til kapp og svinn av materialer, medregnet produksjon, transport til byggeplass og avfallshåndtering. Videre omfatter A5 håndtering av emballasjeavfall, utslipp fra mobile og stasjonære arbeidsmaskiner og energibruk til oppvarming, ventilering, uttørking, belysning etc.
- Bruksstadiet B1-B8: Omfatter klimagassutslipp mens bygningen er i bruk.
- Livsløpets sluttstadium C1-C4: Utslipp knyttet til riving av bygget, transport av riveavfallet, avfallshåndtering og avhending
- Modul D: Omhandler gevinster ved enden av livsløpet når materialstrømmer og energi krysser systemgrensen. Kan være klimagassreduksjoner som oppnås med ombruk, materialgjenvinning og energiutnyttelse. Modul D er tilleggsmodul og inngår ikke i standarden

2.4.4 Klimagassberegninger

NS 3720 bygger på FNs klimapanelers definisjon av klimagasser og beregninger. Karakteriseringsfaktorer for et hundreårsperspektiv, GWP-100, slik de er definert i klimapanelets til enhver tid siste hovedrapport, skal benyttes. Alle utslippsfaktorer som benyttes skal være livsløpsbaserte og skal inkludere infrastruktur.

	Uten Lokalisering	Med Lokalisering
Basis	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5). Materialer (7.4) skal inkludere innhold i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6). Materialer (7.4) skal inkludere innhold i bygningsdelsnummer 2 Bygning i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.
Avansert	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5) og inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår i lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.	Klimagassberegningen skal inkludere klimagassutslipp fra tomtebearbeiding (7.2), byggeplass (7.3), materialer (7.4), energi i drift (7.5), transport i drift (7.6) og inkludere materialer som inngår i bygningsdelsnummer 2 Bygning, 3 VVS-installasjon, 4 Elkraft, 6 Andre installasjoner, 7 Utendørs i henhold til NS 3451 samt materialer som inngår til lokalt energiproduksjonsutstyr som ikke er dekket av NS 3451.

Figur 2.4.2: Fire forhåndsdefinerte omfang for klimagassberegninger

Sammenhengen mellom den tematiske strukturen i standarden og de relevante modulene i livsløpet vist på figur 2.4.2 er angitt i listen under:

- 7.2 Konsekvenser av tomtebearbeidelse, deler av informasjonsmodul A5 og B1
- 7.3 Byggeplass – klargjøring av tomt og oppføring av bygning (evt. ombygging), deler av informasjonsmodul A4–A5 samt modul D
- 7.4 Materialer, produkter og byggevarer som inngår i konstruksjonen, inkludert vedlikehold, reparasjoner, utskiftning og riving/avhending og avfallshåndtering av bygningen, deler av informasjonsmodul A1–B5 og C1–C4 samt modul D
- 7.5 Energibruk i drift, av bygningen, modul B6 samt modul D
- 7.6 Transport i driftsfasen, modul B8
- 7.7 Helhetlig klimagassberegning, modul A1–C4 samt modul D

2.4.5 Helhetlig klimagassberegning

Oppdragets spesifikasjon definerer omfanget av en helhetlig klimagassberegning der det spesifiseres hvilke informasjonsmoduler som skal inkluderes. Figur 2.4.2 illustrerer fire forhåndsdefinerte omfang for helhetlige klimagassberegninger.

2.4.6 EPD- Environmental Product Declaration

Et kortfattet tredjeparts verifisert og registrert dokument med transparent og sammenlignbar informasjon om produktets miljøprestasjon gjennom hele livssyklusen. Både den bakenforliggende LCA og EPD er alltid basert på internasjonale standarder. Mer enn 2000 EPDer fra over 250 bedrifter er nå publisert og tilgjengelig hos EPD-Norge.

2.4.7 Programvare for klimagassberegning

Det foreligger egne verktøy for beregning av klimagassutslipp. Verktøyene krever normalt abonnement eller lisens. Verktøyene gir tilgang til EPD-informasjon for byggevarer, og flere av dem har interne databaser med generiske klimagassverdier for ulike produktgrupper. Eksempler på verktøy er One Click LCA, Reduzer, Holte Miljøkalk og ISY Calcus. One Click LCA baserer seg på den norske standarden NS-3720 som er en norsk standard for metode for klimagassberegninger for bygninger.

EPD datakvalitet er viktig for korrekt beregning av utslipp og andre målbare parameter og det stilles derfor krav til kvalitet. Dette blir delt inn i 2 nivåer. Nivå 1 stiller krav til at datasettet skal innholde en gyldig tredjeparts verifisert miljødeklarasjon iht. NS-EN 15804. Nivå 2 er betegnelsen for all annen data som ikke er kvalifisert for nivå 1 og kan beskrives som EPD-data som representerer en gruppe av produsenter av en produkttype og har en aldersbegrensing på 10 år. Aldersbegrensing eksisterer fordi det kan ha betydelig forskjell for utvikling og fremskritt innen teknologi og materialutnyttelse spesielt for betong som har utviklet seg mye i nyere tid.

2.4.8 Hvilke utslippsverdier kan benyttes?

Informasjon om klimautslipp fra byggevarer kan hentes fra ulike kilder som vist i figur 2.4.2.¹³

- For byggevarer med tredjeparts godkjent og standardisert dokumentasjon kan verdier hentes direkte fra EPD eller tilsvarende dokumentasjon. Det må kontrolleres at verdiene ikke inkluderer utslipp knyttet til innhold av biogent karbon. Dersom dokumentasjonen mangler noen av livsløpsmodulene som kreves i TEK17-regnskapet, må det gjøres egne beregninger for disse.
- Egne beregninger kan gjøres for modulene A4, A5, B2 og B4. Det kan ikke gjøres egne beregninger for produksjonsstadiet A1-A3. Egne beregninger kan være forenklete basert på sjablongverdier eller mer detaljerte beregninger.

¹³TEK17, 2017 [11]

- Verdier fra generiske databaser kan brukes for produksjons-stadiet A1-A3, men ikke for de øvrige modulene.

2.4.9 Utslipp for produksjonsmodulene A1-A3

- For byggevarer med EPD eller annen tilsvarende tredjeparts godkjent og standardisert dokumentasjon, kan klimagassverdier hentes direkte fra A1-A3. Dokumentasjonen kan være produktspesifikke, prosjektspesifikke eller bransjeutviklet
- For byggevarer uten tredjepartsgodkjent og standardisert dokumentasjon kan det benyttes:
 - Generiske verdier for modul A1-A3. Generiske verdier gis et påslag 25 %, med mindre påslag allerede er innbakt i verdiene i databasen
 - Utslippsverdier som er integrert i anerkjente verktøy for livsløpsanalyser

Det må påses at verdiene er representative for produktgruppen til den aktuelle byggevaren. For trebaserte produkter må det sikres at verdier for modul A1-A3 er uten biogent karbonopptak.

Dersom det benyttes ombruk av byggevarer, skal klimagassutslippene for disse byggevarene kun inkludere utslippene fra bearbeiding av produktene slik at de er egnet til ombruk. I tillegg inngår transportutslipp fra lager eller rivingsplass til byggeplass.

Nye byggevarer som er overskuddsvarer fra andre byggeplasser, kan betraktes på samme måte som ombruksvarer. Eksempel på slike overskuddsvarer er feilbestilte varer som blir utnyttet i et annet prosjekt. Det forutsettes at klimagassutslippene fra de feilbestilte varene er medregnet i klimagassregnskapet.

2.5 Miljøtiltak og konkurransefortrinn

For best oppnåelse av BREEAM-klassifisering, kan det hjelpe med å utnytte eksisterende bygningsmasse og konvertere samt inkludere dette i et nytt prosjekt. Gjenbruk kan både oppnås ved en direkte eller indirekte påvirkning på utslipp i prosjektet. Det er flere deler og materialer i et prosjekt som kan gi prosentpoeng i BREEAM-prosjektet i form av inventar eller innvendige konstruksjoner som lettvegger og gangdører. Alle deler og produkt som tas med fra eksisterende bygg til nybygget kan brukes i BREEAM-kalkulasjonen for blant annet miljøpåvirkning i form av CO_2 utslipp.

Det finnes mange miljøgevinster ved å gjennomføre gjenbruk eller ombruk av bygningsmaterialer slik at det gir en reduksjon i energiforbruk og miljøutslipp. En annen indirekte gevinst ved gjenbruk kan hindre at det ikke havner inn i avfallshierarkiet som kan i visse omstendigheter gi liten til ingen miljøgevinst. Det er lite krav til dokumentasjon på avfall levert inn til avfallsplasser. Dersom avfall har

blitt bestemt for ombruk i et nytt prosjekt, kan ny dokumentasjon være lite effektiv og kostnadsdrivende. Flere aktører som rådgivere og arkitekter har i nyere tid blitt mer interessert i prosjekter som har med slike kjernepunkt og kan resultere i mer kreative og visjonære prosjekter.

Prosentpoengene var ved første BREEAM-versjon i sin egen underkategori i manualen, men har i siste versjon (v6.0) blitt fjernet til fordel for å bli inkludert i kalkulatoren direkte. BREEAM-NOR pre assesment kalkulator kan en finne i kategorien Mat 06 for material effektivitet. Et første spørsmål handler om det skal gjenbrukes komponenter, og først da får du tilgang til de underliggende kategoriene: Kartlegging av ombruk og implementering, materialeffektivitet og gjenbruk av utvendige bygningsdeler.

Hver av punktene gir 1 poeng, med en mulig total på 3 poeng i material kategorier som har totalt 21 poeng. Direkte påvirkning ved å fullføre dette trinnet kan man score 1/7 av poengene i kategorien, kan også indirekte få en gevinst i form av reduksjon av CO_2 utslipp som ligger i kategorien Mat 01.

2.6 Materialer

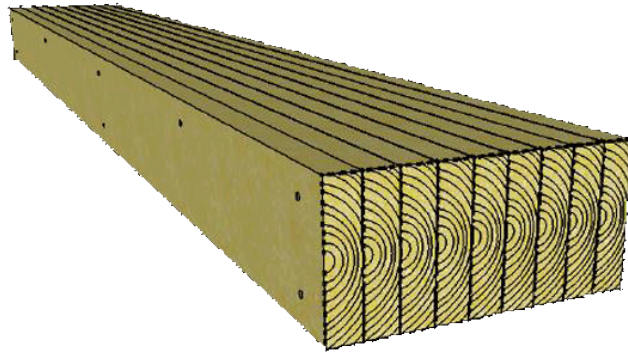
2.6.1 Massivtre

Massivtre eller KL-tre er et marked i vekst og har siste årene fått mer oppmerksomhet med sin nær utslippsfrie produksjon. Ulike limprodukt og sammensetting av treprodukt gir store ulikheter i egenskaper og bruksområde for massivtreelementer. KL-tre, som står for krysslimt, er planker satt sammen til solide elementer i flere sjikter. Festemiddelet kan enten være lim eller annet som skruer og treplugger, der sistnevnte ofte blir brukt for å skape et rent treprodukt. I Norge er det normalt brukt en av to typer trelim, MUF eller PUR.

MUF består av kunstharpikslim med egenskaper likt treverk og hovedingrediensen er trepulver. Den har en lengre herdetid som gjør at produksjon av elementer tar noe lengre tid. PUR-lim består av polyuretan som gir en mye raskere herde-, og produksjonstid, men er syntetisk produsert og gir en vannavstøtende effekt til materialet. Polyuretan er derfor brukt til elementer som er utsatt for høy fuktighet. En svakhet er at ved brann og høye temperaturer vil den avgi giftige gasser og kan forårsake brennende dråper. Det eksisterer flere varianter av massivtre og som både krysslagte-, kantstilte- og hulromselementer. De består kun av tre og lim, er fremstilt forskjellig.

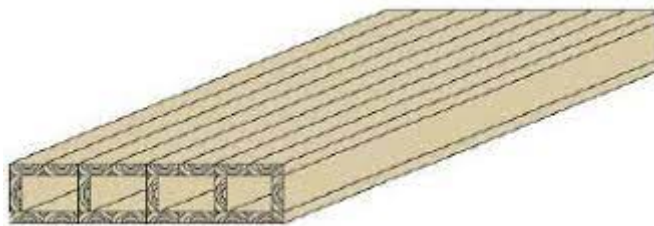
Kantstilte elementer produseres ved å plassere tresjiktene stående og feste disse sammen. Her er det mulig å bruke treplugger for å feste sjikt med hverandre. Kantstilt elementer. ¹⁴

¹⁴Norsk massivtre, 2023 [12]



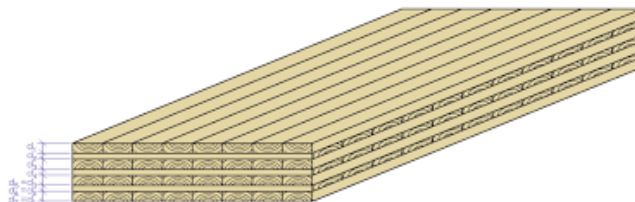
Figur 2.6.1: Kantstilt element

Hulromselementer er lik prefab-betong ved at det er hulrom i dekke og det ligner på H-bjelker som er stilt ved siden av hverandre for å få høy styrke, med lav egenvekt. Det er mulig å bruke hulrommet for kabelgjennomføring og andre tekniske installasjoner. Hulroms element. ¹⁵



Figur 2.6.2: Hulroms element

Krysslagte elementer er bygd opp av flere lag der lamellene blir plassert annenhver 90 grader i forhold til hverandre i 3 opptil 7 sjikt for å oppnå ønsket bæreevne og egenskaper. Massivtre har flere fordeler over konvensjonell etasjeskiller og vegger i tre, betong eller stål. Krysslagt element. ¹⁶



Figur 2.6.3: Krysslagt element

Massivtre gir fordeler som mer behagelig arbeidsmiljø og bedre innemiljø med akustiskdempende egenskaper. Andre egenskaper er naturlig varmeisolerende og fuktregulerende, samt en naturlig brannmotstand. Den naturlige brannmotstanden

¹⁵Treteknisk, 2006 [13]

¹⁶Treteknisk, 2006 [14]

oppstår ved at forkullingen av materialet kveler brannen.¹⁷ Gjenværende trevirke bak forkullingslaget i et element av massivtre opprettholder sine stivhets- og fasthetsegenskaper. Med bakgrunn i dette vil konstruksjoner av massivtre kunne oppnå både høy klassifisering for bæreevne (R) under brann, og brannskillende funksjon (EI). Dette gir massivtre en fordel over andre materialer som betong eller stål.

2.6.2 Limtre

Limtre er et produkt med kjente egenskaper, som har vært anerkjent både i det norske og verdensmarkedet i flere tiår. Det er likt massivtre ved at det blir produsert ved å lime sjikt sammen. I motsetning til massivtre blir limtre sammensatt med samme fiberretning. I Norge blir det brukt mest gran og furu i limtre. Disse har ulike egenskaper. Gran har sterk kjerneved, og blir svakere lengre ute i stammen. Furu er motsatt med svakere kjerne, med mer styrke lengre ute fra kjernen.

Limtre kan deles i to grupper, utendørs og innendørs bruk. Det skilles ved bruk av ulike typer lim og andre beskyttende stoffer. For utendørs eller andre prosjekt som krever motstand mot høy luftfuktighet, benyttes resorsinollim som impregnerer materialet og øker resistansen mot å trekke til seg fuktighet.¹⁸ I innendørs montering med lite og kontrollert luftfuktighet blir det brukt melaminurea lim, samme som blir brukt i massivtreelementer.¹⁹

Norsk limtre blir produsert i 45 mm tykke lammeler av enten gran eller furu med kun 2 unntak²⁰:

- For konstruksjoner som skal brukes i klimaklasse 3 benyttes det lameller med mindre tykkelse
- For krumme konstruksjonselementer vil lamelltykkelsen bli bestemt av radiusen til elementet og det enkelte prosjekt

Et standard limtrevrersnitt er bygget opp av lammeller i to forskjellige fasthetssklasser. De ytterste lammellene på hver sin side har høyere fasthet, mens de i tverrsnittets midtsone har noe lavere fasthet. Dette kan gjøres uten å betydelig påvirke sluttproduktets kvalitet. Det oppnås dermed høyere utnyttning av råvarer fra treet og et mer bærekraftig sluttprodukt.

2.6.3 Biogen karbonlagring

Biogen karbonlagring er en naturlig prosess der et biogent materiale, treet, trekker til seg karbon og binder dette i trevirket. Dette skjer med all plantevekst som lever av fotosyntesen og ved hugging av trevirket utgjør karbon omtrent halvparten av vekten til treet. Det eksisterer flere måter å beregne klimaeffekten fra opptak, lagring og utslipp for biogent materiale. Det blir ofte antatt at utslippet ved nedbrytning eller forbrenning er lik det som blir lagret under vekst. Ved konstruksjon

¹⁷Norsk Massivtre, Feb. 21, 2023 [15]

¹⁸Nesse, Feb. 22, 2023 [16]

¹⁹Tronstad, Feb. 21, 2023 [17]

²⁰Trefokus, Feb. 21, 2023 [18]

vil altså den biogene karbolagringen bli oppgitt i negative tall gitt at karbonet ligger lagret til levetiden til bygget har blitt brukt opp.²¹ Trevirket vil også få bundet CO_2 gjennom levetiden, men effekten avtar mot endt prosjektert levetid på rundt 60 år.

2.6.4 Stål

Stål er et sluttprodukt av jern og andre legeringsselementer som kan endre egenskaper til stålet signifikant selv i relative små mengder. For å kunne klassifisere metallet som stål må den inneholde mindre enn 2 vektprosent karbon.²² Mest brukt i norsk byggeindustri er karbonstål ettersom med høyt karbon innhold er en mer lettvinnt produksjonsprosess og deretter et billigere alternativ.

Ved produksjon av stål benyttes det en av to metoder; masovn og oksygenkonverter eller elektrisk lysbueovn. Masovn og oksygenkonverter brukes ved nyproduksjon av jernmalm og andre jernrike materialer. Denne metoden står for rundt 70 % av verdensproduksjonen.²³ De resterende 30 % av produksjonen benytter seg av en lysbueovn som gjenvinner allerede prosessert stål som har lav prosentpoeng av karbon. Lysbueovnen har kun behov for oppvarming av stålet for å omforme det. Dermed blir det i hovedsak kun benyttet strøm for dette.

I følge Norskstål ligger europeisk gjennomsnittets CO_2 utslipp på 1,4 tonn per tonn produsert stål, noe som er mindre enn verdensgjennomsnittet på 1,8. Det blir videre fortalt at dette minsker hvert år samtidig som det blir gjennomført prosjekt som blant annet CO_2 fangst på fabrikkene. Stål sitt høyeste utslipp skjer ved utgraving og når det blir smeltet og formet første gang, har som fordel at det kan gjenvinnnes uendelig. Det oppnås altså sirkulær økonomi.

Stål er et av de mest allsidige materialerene vi har og benyttes i alle byggeprosjekter, enten som bjelke, søyle eller fagverk. Materialet blir også benyttet til andre konstruksjoner som bruer, kaianlegg og annen infrastruktur. Stålbjelke er det produktet som blir benyttet mest og blir levert i flere forskjellige lengder og dimensjoner. De mest anvendte stålprofilene som blir brukt er IPE, HEA og HEB og kan komme i dimensjoner opp til 600mm for IPE og 1000mm for HEA og HEB.²⁴

Materialeegenskapene til stål er unike og kan lett endres ved å benytte seg av forskjellige tilsetningsstoffer og formgivningsprosesser. Med de ulike prosessene kan man endre på parameter som seighet, hardhet, styrke, slitasje, utmattingsmotstand og korrosjonsmotstand, samt tilføre materialet magnetiske egenskaper.

²¹NS, May 9, 2023 [19]

²²J. Kjetil, Feb. 21, 2023 [20]

²³Norsk stål, Feb. 21, 2023 [21]

²⁴Norsk stål, Feb. 21, 2023 [22]

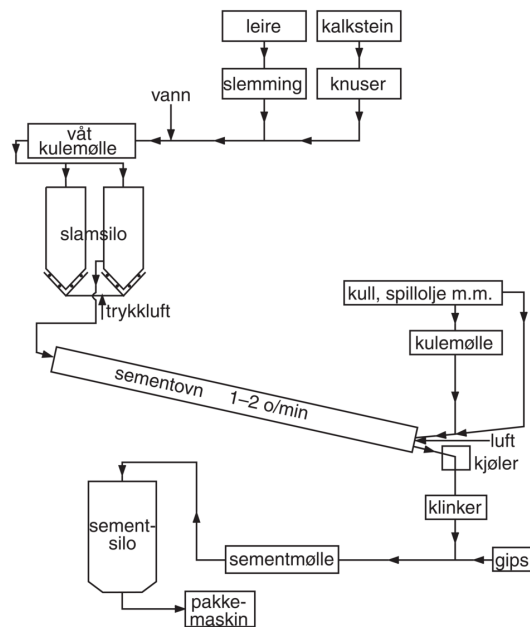
2.6.5 Betong

Betong er det materialet som blir brukt i størst omfang på både det norske og verdensbaserte markedet for bygg og andre store konstruksjoner. Dette er på grunn av den store styrken betong har i kompresjon ved høye belastninger. I bygg blir det brukt plastøpt betong og/eller prefabrikkert hulldekke.

Betong blir laget ved å blande sammen vann, sement, tilslag og eventuelle tilsetningsstoffer, avhengig av type konstruksjon og krav. Blandingsforholdene kan generaliseres til 6:2:2 med 60 % tilslag, 20 % sement og 20 % vann, men dette kan variere etter hvilke krav som blir stilt til betongen. Betongen kan videre augmentere etter behov ved å blande inn tilsetningsstoffer som plastiserende, akselerator, størkningsretarderende, luftinnførende og injeksjonsstoff.

Sement er den bestanddelen i betong som får den til å herdne i kontakt med vann (hydraulisk). Sement har som hovedingrediens kalkstein og noe kvarts, gips, kisavbrand, bauksitt og kromsalt. Dette blir finpulverisert, blandes godt og går deretter gjennom en roterende ovn som holder en temperatur på rundt 1500 grader celsius. I ovnen smelter blandingen og lager sementklink som blir pulverisert igjen og eventuelle tilsetninger som flyveaske tilsettes før det blir pakket.²⁵

En stor andel av CO_2 utslippet skjer under produksjon av sement ettersom det blir brukt gass eller olje til å fyre opp ovnen for smelting av sementen.



Figur 2.6.4: Sementproduksjon SNL

²⁵T. Årtun, May 3, 2023 [23]

Tilslag er en betegnelse for all stein og sand som blir tilført betongproduksjon. Tilslaget kan variere i størrelse fra 32 mm og ned til sandkorn på <1 mm diameter, men settes som $d_{max} < 1,5x$ lysåpning mellom armeringsstenger. Det settes også visse krav for overflaten på tilslaget. Dersom den er ru og har stor overflate kan det påvirke betongens kvalitet. Herdeprosessen blir ikke påvirket av størrelsen på tilslaget, som varierer etter egenskaper og størrelse på støpen. Dårlig prosessert stein kan føre til at forurensinger som humus, slam/leire eller kjemiske stoffer havner i betongen, dette kan påvirke betongens ulike egenskaper.

Betong er betegnet som ikke brennbar og er omtalt som det mest brannsikre materialet for konstruksjoner. I motsetning til stål som må forsterkes mot brann, kan eksponert betong stå imot høyere temperaturer enn stålet. Stålet mister 60 prosent fasthet ved 600° celsius og smelter komplett ved 900° celsius. Når armeringsstålet smelter vil materialet ekspandere og betongen vil eksplodere på grunn av det interne trykket. Det kan også oppstå eksplosiv avskalling i betong under høye temperaturer grunnet oppbygging av intern damptrykk fra fuktighet i betong. Ren betong vil miste fasthet rundt 1200° , avhenger av oppbygging og type tilslag.

De akustiske egenskapene til betong er svært dårlig som eksponert overflate der den gir lang etterklang og absorberer lite av lyder. Den har derimot høy egenvekt som tillater lite høyfrekvente svinginger, kan ofte overføre fotsteg som er lavfrekvente. Det er derfor ofte i betongkonstruksjoner brukt trinnlydsplate på gulv og nedsenkede himlinger for å bryte opp lyd resonansen. En 20 cm betongvegg vil gi en feltmålt lydreduksjon på 55 dB uten noen tiltak.

Miljøegenskaper for betong er betegnet som veldig gode ettersom det har en lang levetid og kan ved riving resirkuleres og gjenbrukes til f.eks. fylling når eventuell armering er fjernet. Det største utslippet skjer i produksjon av sement som står for rundt 70 % av totalt utslipp fra betongproduksjon. Det finnes flere klasser med betong der det både kan skilles i fasthetklasse og i karbonklasse. Betong blir klassifisert med tall mellom 25 og 90 som angir trykkfasthet i MPa og for karbonklasse blir den merket med standard, A, B, lavkarbon Pluss og lavkarbon Ekstrem. En B35 betong vil ha trykkfasthet på 35 N/mm^2 og bokstaven B er betegnelsen for dette etter NS-EN 206-1 standarden. Klassene er definert med grenseverdier for deklarete klimagassutslipp for fasthetsklasse B20-B65, slik disse er definert i NS-EN 1992-1-1:2004 + NA:2008 og NS-EN 206: 2013+A1:2016+NA:2017.²⁶

²⁶Unicon, May 4, 2023 [24]

Plasstøpt betong blir støpt direkte på byggeplass. Forskaling og armering klargjøres først. Deretter blir betongen pumpet ned i forskalingen og under støping blir en vibrator benyttet for å få ut eventuelle luftbobler og hulrom som kan oppstå mellom forskaling og armering. Forskalingen kan fjernes etter 24-48 timer avhengig av tykkelsen på betongen.

Herdeprosessen for betong starter 30 minutter etter støping. Komplet herding oppstår etter 28 døgn ved 20° Celsius. Under denne perioden er det viktig at betongen ikke tørker opp, men at støpen blir tildekt og eventuelt påført vann for å opprettholde fuktigheten. Ved kaldere temperaturer kan det være nødvendig å enten isolere eller tilføre varme slik at betongen ikke fryser under herdingen.

Prefabrikkert betong skiller seg fra plasstøpt ved at det er produsert på fabrikk og fraktes til byggeplass for montering. Denne har som fordel å bli konstruert i et kontrollert miljø innendørs. Modulene er ferdig nummerert og eventuelle utskjæringer er utført på fabrikk. Bygget kan bli reist raskere siden modulene blir levert og er klare for umiddelbar montering.

Hulldekke er et dekke som blir brukt som etasjeskiller. Disse kan oppnå lange spenn uten innvendige bæresystem. Med en lav egenvekt grunnet hulrom i elementet og forspent armering kan den spenne opptil 20 meter i lengde.²⁷ Den kan tilpasses ulike vinkler i hushjørner og har en standard bredde på 1,2 meter. Montering skjer ved kraning av elementer og sammenkobling med fuging og påstøp mellom elementene. De blir festet til bæresystem av stål under støpingen ved bruk av bolter og armering som fester og låser de to materialene sammen.



Figur 2.6.5: Hulldekke Spenncon

²⁷Spenncon, May 4, 2023 [25]

Metode og innsamling

3.1 Litteraturinnsamling

For å finne litteratur er online søking i hovedsak brukt, i tillegg til søking i standarder og veiledere som SINTEF byggforsk, TEK17, og Norske Standard. Artikler fra relevante kilder som Byggeindustrien og NHO er også tatt i bruk til innsamling. Kommersielle aktører og leverandører er brukt til å finne tilnærmede dimensjoner til de ulike løsningsforslagene. Annet enn nettbaserte søk, er andre tilsvarende tidligere bachelor oppgaver brukt til deler av teori og metode.

3.2 Klimagassberegning

3.2.1 Beregningsavgrensninger

Materialer og bygningsdeler er bare antatt i modelleringen siden prosjektet er i startfasen. Det medfører at EPDene som One Click LCA genererer er antatte og ikke nødvendigvis helt riktige for hvordan bygget blir. Kun bæresystemet er analysert, det forventes dermed at utslippene endres når alle bygningsdelere er på plass.

3.2.2 Beregning av klimagassutslipp

Oppdelingen av bygningsdelene i analysen er basert på forskjellene i utslipp. Resultatet viser dermed største tydelige forskjellene mellom scenarioene. One Click LCA produserer resultatet automatisk, så ingen manuell beregning er nødvendig.

3.2.3 Avgrensninger

Livsløpsfasene A1-A3 (produktfasene), A4(Transport), A5 (konstruksjon), C1 (dekonstruksjon/riving) og C2 (avfallshåndtering) er valgt de resterende fasene er ikke valgt, og dermed ikke inkludert i beregningen. Bruksarealet ligger på $3085m^2$ og

levetid er satt til 60 år i følge NS3720.¹

Formålet til beregningen er å illustrere endringene i klimagassutslipp for de forskjellige materialene brukt i bæresystemet. Eksisterende system blir også presentert for å få et helhetlig bilde av forskjellen. Kun bæresystemet analyseres for å skaffe et klart bilde av utslippet.

3.3 Bruk av Programvarer

3.3.1 One Click LCA

One Click LCA er nettbasert programvare produsert av det europeiske selskapet Bionova med base i Helsinki, Finland.² Programmet kan generere livssyklusanalyser for et byggeprosjekt. Denne løsningen integrerer data fra nesten samtlige tilgjengelige EPD-plattformer over hele verden som resulterer i over 150000 datapunkter.

Tidligere har det tatt lengre tid å skape livssyklusanalyser av byggeprosjekter, men ved hjelp av denne og lignende programvarer går dette vesentlig raskere. Den norske utgaven er tilpasset på oppdrag fra statsbygg og erstattet Klimagassregnskap.no i tillegg til å være tilgjengelig for allmennheten. Utgaven inneholder verktøy for karbonberegning som følger NS 3720, verktøy for norsk transportberegning, de aller siste EPDer fra Norge og andre europeiske land.

Programmet er brukt til å utføre klimaregnskapet under opprettelse av et prosjekt. Dette prosjektet bruker One Click LCA brukt som en plug-in i Revit.

Nesten all informasjonen som trengs til en livssyklusanalyse finnes allerede i Revit.³ Så lenge modellen inneholder informasjon om materialene og antallet, kan det lages en full livssyklusanalyse. Programvaren tillater automatisk importering av all nødvendig informasjon fra Revit-modellen til One click LCA, og kartlegger materialene til materialdatabasen som inkluderer over 8000 EPDer og generiske datasett.

Fra en LCA analyse får en ut disse resultatene i kg CO_2e :

- Klimagassutslipp fra livssyklusstadier A1-A5 og B1-B3 om nødvendig
- Klimagassutslipp kg CO_2e for klassifikasjoner, altså bygningsdeler. I dette tilfellet søyler, bjelker, dekker, og tak
- Klimagassutslipp for ressurstyper. Utslipp fra ressurser brukt til bygget, betong, stål og tre eksempelvis

¹TEK17, 2017 [11]

²Jenny Lee, 2022 [26]

³Jenny Lee, 2022 [26]

3.3.2 Revit

Revit er et 3D modelleringsprogram til bygg. Revit bruker parametrisk nøyaktighet til å tegne bygningsdeler, og en kan laste ned familier av bygningsdeler slik at man får dekt alle mulige komponenter.

I Revit samles samtlige rådgivere i samme BIM-modell som minimerer sjansen for feil i prosjektering av bygg. Revit brukes av alle fagområder fra arkitekter til rådgivende ingeniører.

I denne oppgaven er Revit brukt til å konstruere modellene av bæresystemene som skal tas klimagassberegninger på. Fire modeller er laget. Alle scenarioene er samme areal og utforming som det eksisterende bygget.

- Eksisterende bygg: Det eksisterende bæresystemet, bestående av vegger, bjelker, søyler og dekker i plasstøpt betong samt stålfagverk og TRP-plater i tak.
- Scenario 1: Store deler av eksisterende bæresystem gjenstår. Nytt fagverk for å tåle det nye snølastkravet, rive betongdekke til bruk som fyllmasse, nytt betongdekke og TRP-plater i taket.
- Scenario 2: Nytt bæresystem av limtre og massivtre. Bærende ytter- og innervegger i massivtre, massivtredekke som etasjeskiller, limtretragere og TRP-plater i tak og betong i underetasje.
- Scenario 3: Nytt bæresystem i betong og stål. Stålsøyler og bjelker, prefabrikerte hulldekker i betong som etasjeskillere, stålfagverk og TRP-plater i tak og betong i underetasje.

3.4 FEM-Design

FEM-Design er et konstruksjonsprogram som baserer seg på FEM-metoden. Denne metoden tar kompliserte systemer og deler dem opp til mindre elementer. Ved valg av geometri og materiell samt laster, vil FEM-Design fremstille resultater som: Nedbøying, utnyttelsesgrad og reaksjonskrefter.

Scenario 2 og 3 ble modellert i FEM-Design og påkjent krefter etter Eurokode. Byggesystemet ble deretter "auto-designet", en funksjon i FEM-Design der programmet prøver forskjellige dimensjoner for å oppnå kravene i Eurokode. Etter FEM-Design har valgt dimensjoner, blir disse lagt inn i Revit.

3.5 Norsk prisbok

Oppdatert prisdatabase som inneholder bred og mangfoldig informasjon vedrørende kostnader for et byggeprosjekt.⁴ Norsk prisbok følger prisutvikling i byggebransjen for å få best mulig estimat av kostnadene. Utgis i papirform en gang i året,

⁴Norconsult, May 3, 2023 [27]

og oppdateres kontinuerlig digitalt. Boken består av 1900 ferdigkalkulerte elementer, 5000 prisligner, tider, reseptmengder, livssyklus kostnader og carbon footprint verdier, samt erfaringspriser pr. kvadratmeter BTA for stadig økende antall bygningstyper i.h.t NS 3457.

Norsk prisbok blir brukt i denne oppgaven til å lage et overslag på pris for å kunne sammenligne på mer enn klimagassutslipp. Informasjonen om bygningens geometri hentes fra Revit, og brukes videre i prisbok til prisanslag. Prisbok er ikke BIM integrert, så arealet og volumet av bygget og bygningsdelene må tastes inn manuelt.

Prisene baseres på arealer av bygget:

- *BYA*- Bebygd areal er "fotavtrykket" til bygget, dvs. arealet som bygningen opptar av terrenget.
- *BTA*- Bruttoareal er summen av en bygningens bruttoareal for alle plan og skal inkludere plan både over og under terreng.
- *BTK*- Bruttovolum er hele bygningens areal målt til ytterveggens utside, ganger høyden av bygningen.
- *YUM*- Brutto ytter-veggareal under marknivå.
- *YOM*- Brutto ytterveggareal over marknivå. En differensiering mellom YUM og YOM gjør det enklere å holde kontroll på mengder og tilhørende konstruksjonsdeler.
- *INV*- Innervegger
- *UMA*- Utarbeidet mark oppmerket utendørsareal

Eksisterende bygg og nye scenarier

4.1 Generelt



Figur 4.1.1: Fasaden fra øst

Ørsta Kulturhus er et kulturbygg bestående av kino, bibliotek, skyteklubb, stor-sal forsamlinger og ungdomsklubb. Bygget trenger fornying og fylkeskommunen ønsker å utføre ombyggingen/nybyggingen på mest bærekraftig måte.

Denne rapporten tar for seg tre forskjellige scenarier for nybygget.

- Ombruk av materialer: Forslaget går ut på å gjenbruke eksisterende bygningsdeler. Kun bæresystemet er tatt i betraktning. Beste alternativ blir å beholde betongbæresystemet. Stålfagverket i taket må byttes grunnet økt snølast, TRP-platene kan brukes opp igjen andre steder i bygget. Dette er avhengig av tilstanden til platene.
- Nybygg i Massivtre og limtre: Rive hele det eksisterende bygget. Å bygge et helt nytt bæresystem i massivtre og limtre.

- Nybygg betong og stål: Rive eksisterende og bygge et nytt bæresystem i prefabrikkert betong (huldekke) og stål (søyler og bjelker).

Nybygget foreslått i denne oppgaven blir laget i samme areal som det eksisterende bygget, 2 etasjer på tilsammen $3085m^2$. Formål blir bestemt av arkitekt og fylkeskommunen. Den eksisterende betongen er av utførelsesklasse C og betongklasse B300 som tilsvarer dagens B20.

4.2 Eksisterende bæresystem

4.2.1 Fundament

Fundamentene er bestående av bankett- og punktfundament på $1500 \times 1500 \times 300$, og $1700 \times 1700 \times 300$. Bankettene er 500×300 mm.

4.2.2 Søyler

Dimensjon 300×300 mm, 500×500 mm i hjørner. Senteravstand c/c 3600 mm.

4.2.3 Bjelker

Bjolkene er av tverrsnitt 300×600 mm. c/c 3600 mm.

4.2.4 Dekker

Massivbetong-konstruksjon over tilfluktsrom, 400 mm. Etasjeskiller i resten av bygget er 150 mm. Dekke over grunn 200 mm uten radonsperre.

4.2.5 Takkonstruksjon

Fagverk med buet overgurt, TRP-plater.

4.3 Tilstand på eksisterende bygning

4.3.1 Vannskader



Figur 4.3.1: Vannskade vegg mot grunn

Etter befaring kommer det frem at det er flere vannskader i konstruksjonen. Dette gjør det mindre optimalt å bruke om igjen diverse bygningsdeler. Ingen synlige skader i bæresystemet i seg selv.

Gulv mot grunn mangler radonsperre under gulvet. Det må utføres måling og eventuell utbedring/utbygging. Det er også synlige vannskader i gulvbelegg, se figur 4.3.2.



Figur 4.3.2: Vannskade gulv mot grunn



Figur 4.3.3: Søyle og bjelke under bibliotek

Som nevnt ingen synlige skader funnet i bæresystemet under befaring.



Figur 4.3.4: Søyle og bjelke under storsal

4.4 Scenario 1: Ombruk

All ny betong er i lavkarbonklasse A med utslipp på 210 kg/m^3 .

4.4.1 Fundament

Nye punktfundamenter, $1000 \times 1000 \times 300 \text{ mm}$ for søyler i ny storsal.

4.4.2 Søyler

Rive søyler i storsal og betongtribunen i kino. $300 \times 300 \text{ mm}$ betong søyler, fra punktfundament til etasjeskiller i 1. etasje i nye storsal.

4.4.3 Bjelker

Rive eksisterende bjelker i storsal og kino. 3 stk nye betongbjelker, $300 \times 600 \text{ mm}$ for etasjeskiller i 1. etasje, senteravstand 3.6 m .

4.4.4 Dekker

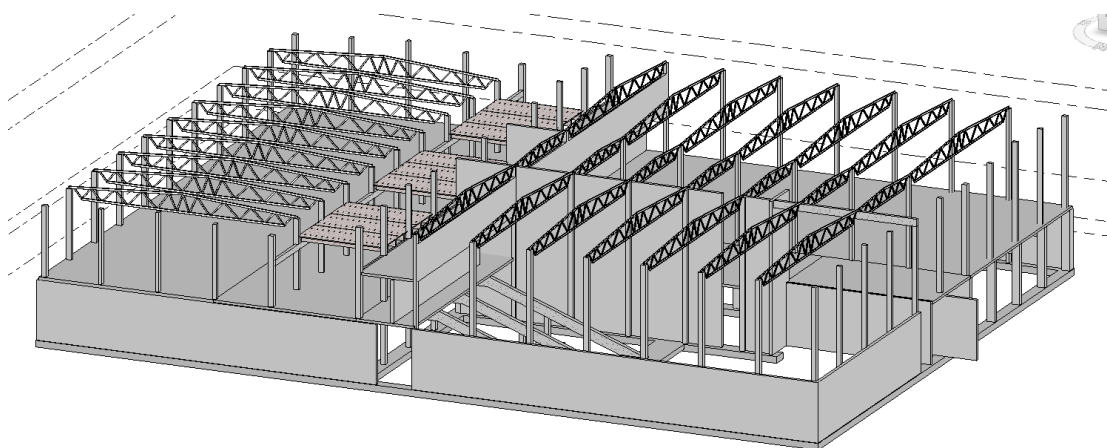
Forsiktig riving av eksisterende dekke storsal. Nytt betongdekke i nordlige sal. $t = 150 \text{ mm}$, lengste spenn $3,5 \text{ m}$ fra drager til yttervegg.

4.4.5 Takkonstruksjon

Bytte ut stålfagverk for revidert snølastkrav. Nytt TRP-tak med isolasjon.

4.4.6 Yttervegger

Planlagt ombruk av eksisterende fasadeplater med isolasjon.



Figur 4.4.1: Scenario 1: Ombruk i Revit

4.5 Scenario 2: Massiv- og limtre

All ny betong er i lavkarbonklasse A med utslipp på 210 kg/m^3 .

4.5.1 Fundament

Bankett- og punktfundament til søyler konstruert i betong.
Bankett 900x300mm. Punktfundament 1000x1000x300mm for søyler under etasjeskiller.

4.5.2 Søyler

Søyler i limtre 140x140mm i sørvendt sal.
Betongsøyler 200x200 for etasjeskillere.

4.5.3 Bjelker

Betongbjelker 200x350 i underetasje for etasjeskiller, som hviler på betongsøyler.

4.5.4 Dekker

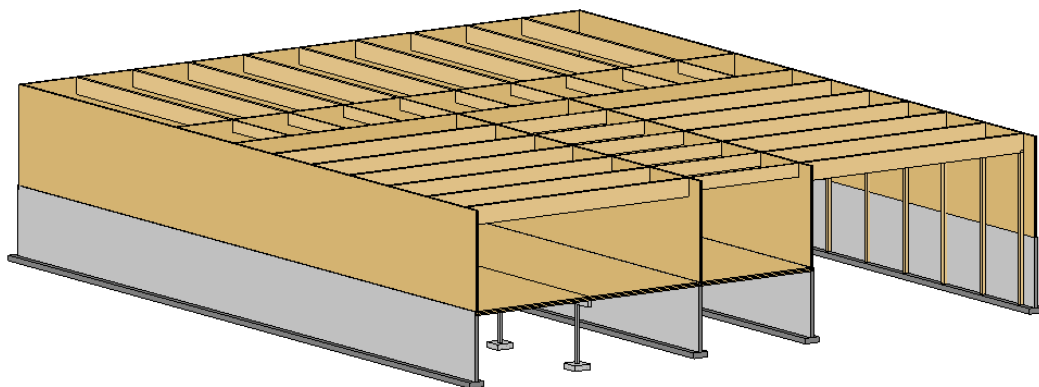
Dekker i massivtre 220mm med membran mot underliggende betongvegger og bjelker.

4.5.5 Takkonstruksjon

Limtredragere i taket 148x900 og 140x405. TRP-plater med isolasjon.

4.5.6 Yttervegger

Bærende betongvegger i underetasje med $t = 200\text{mm}$.
Veggelementer i massivtre 140mm i andre etasje som bærer limtre-dragere.



Figur 4.5.1: Scenario 2: Massiv/limtre i Revit

4.6 Scenario 3: Prefab, betong og stål

Fundamenter, søyler og hulldekke i lavkarbonklasse A med utslipp på $210 \text{ kg}/\text{m}^3$.

4.6.1 Fundament

Fundamenter i betong med dimensjoner $900 \times 300 \text{ mm}$.

4.6.2 Søyler

Betongsøyler til 1 etasje med dimensjon $300 \times 300 \text{ mm}$.

Stålsøyler til 2 etasje med dimensjonen $\text{HSS}203,2 \times 203,2 \times 4,8$.

4.6.3 Dekker

Prefabrikkert hulldekke av Spenncon, HD-400 med lengste spennvidde på $14,3 \text{ m}$. Vil teoretisk kunne ta nyttelast på $8 \text{ kN}/\text{m}^2$ ved satt spennvidde.

4.6.4 Takkonstruksjon

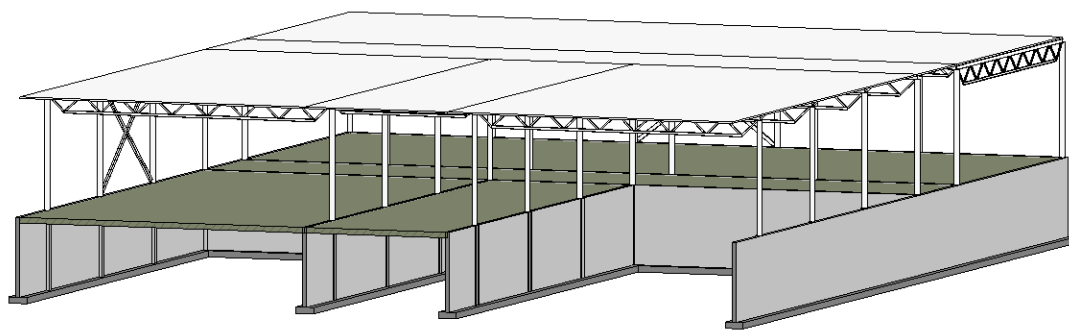
Buet undergurt stålfagverk med lengste spennvidde på $14,3 \text{ m}$.

TRP-plater med beslag på møne og isoleres enten i fagverk eller i himling.

4.6.5 Yttervegger

Bærende betongvegger i underetasje med $t = 200 \text{ mm}$.

Yttervegger over 1 etasje kan monteres på sandwichelement som er ferdigproduserte og monteres mellom søylene.



Figur 4.6.1: Scenario 3: Prefab stål og betong i Revit

4.6.6 Plasstøpt alternativ

Et annet alternativ er å skifte ut prefabrikkert med plasstøpt. Det er plassert inn punktfundament, søyler og bjelker likt Scenario 2: Massiv- og limtre for å støtte opp dekke. Tykkelsen til dekke er satt til 200 mm .

Kapittel 5

Resultater

5.1 Sammenligning av prosjektering

Element	Eksisterende	Ombruk\beholde	Massiv\limtre	betong\stål
<i>Fundament</i>	Betong	Betong	Betong	Betong
<i>Dekke kjeller</i>	Betong	Betong	Betong	Betong
<i>Etasjeskiller</i>	Plasstøpt betong	Plasstøpt	Massivtre	Hulldekker
<i>Bjelker</i>	Betong	Betong	Limtre	Stål
<i>Søylar</i>	Betong	Betong	Limtre	Stål
<i>Yttervegger</i>	Betong\tre	Betong\tre	Massivtre	Tre
<i>Innervegger</i>	Tre\stål	Tre\stål	Massivtre	Stål
<i>Tak</i>	Stålfagverk\trp	Ny dim stålfagverk	Massivtre\trp	Stålfagverk

Figur 5.1.1: Forslag til prosjektering

5.2 Klimagassberegning

Livssyklusfasene A1-A3 (Materialer), A4 (Transport), A5 (Konstruksjon), C1 (Deonstruksjon/riving), og C2 (avfallshåndtering) er tatt i bruk i alle analysene.

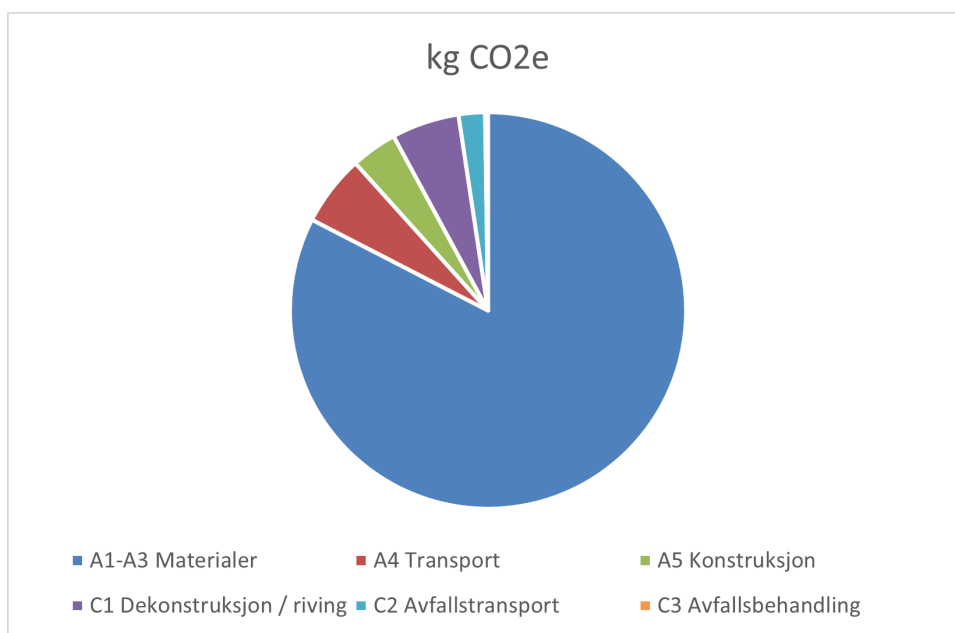
5.2.1 Eksisterende bygg

LCA av det eksisterende bygget ble tatt for å gi et resultat som viser utslippene om det samme bygget skulle bli bygget idag.

Det antas at ved faktisk byggeår at utslippene var noe høyere enn gitt ettersom det nå er strengere krav til produksjon og utvinning av material for betong. Det var også mer utstyr som var drevet av fossile brennstoff og som var mindre effektive enn dagens teknologi og utstyr.

Category	Kg CO_2e
A1-A3 Materialer	247484
A4 Transport	17245
A5 Konstruksjon	11298
C2 Avfallstransport	6456
C3 Avfallsbehandling	705

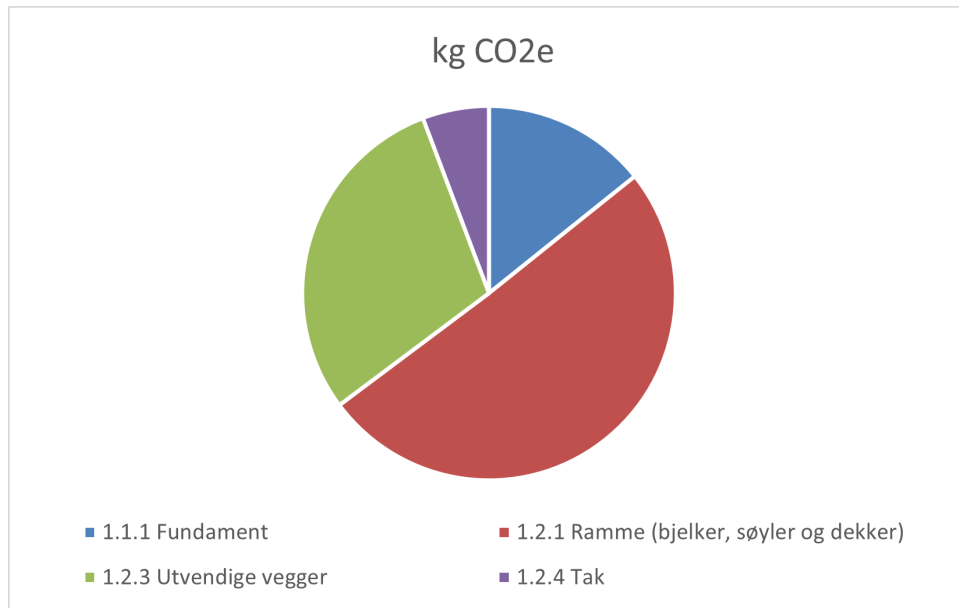
Tabell 5.2.1: Utslipp LCA stadier



Figur 5.2.1: Utslipp LCA-stadier

Category	kg CO_2e
1.1.1 Fundament	39641
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	140406
1.2.3 Utvendige vegger	81831
1.2.4 Tak	16012

Tabell 5.2.2: Utslipp eksisterende bygningsdeler



Figur 5.2.2: Bygningsdeler Utslipp eksisterende

5.2.1.1 Riving av eksisterende bygg

Riving av det eksisterende bygget blir lagt til i regnskapet til forslagene til nybygg. Dette er fase C1 i livssyklusanalysen vist i figur 2.4.1. Dette resultatet blir lagt til på summen av utslippene til scenarioene der riving av gammelt og nybygg gjelder.

Kategori	Kg CO ₂ e
C1 Riving	16535

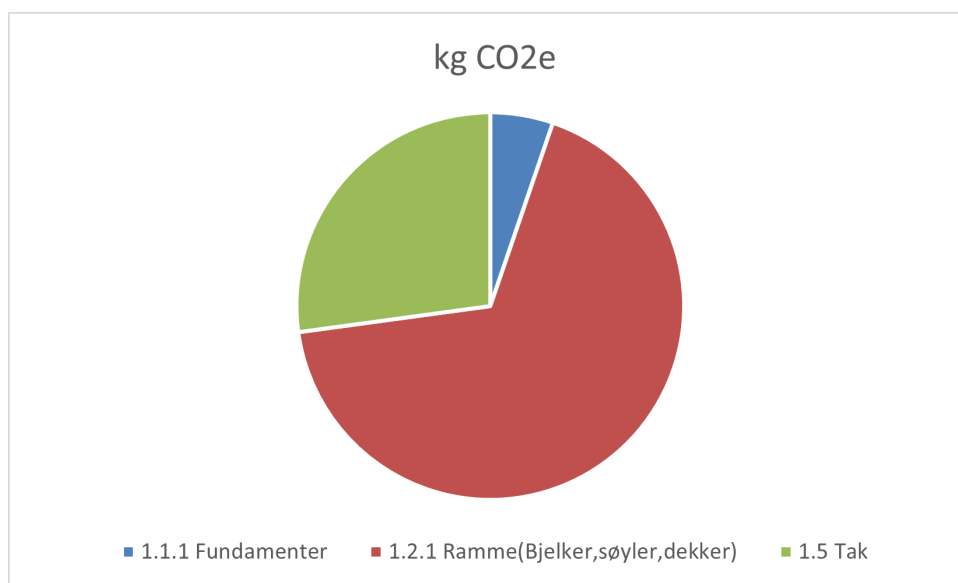
Tabell 5.2.3: Utslipp fra dekonstruering

5.2.2 Scenario 1: Ombruk

Beregningene er kun tatt for den nye takkonstruksjonen og riving og bygging av nytt dekke (med fundament, søyle, bjelke). Tabell 5.2.5 viser at rammen gir mest utslipp på 39 tonn CO_2e .

Kategori	kg CO ₂ e
1.1.1 Fundamenter	3091
1.2.1 Ramme(Bjelker,søyler,dekker)	39867
1.5.1 Tak	16012

Tabell 5.2.4: Utslipp bygningsdeler ombruk

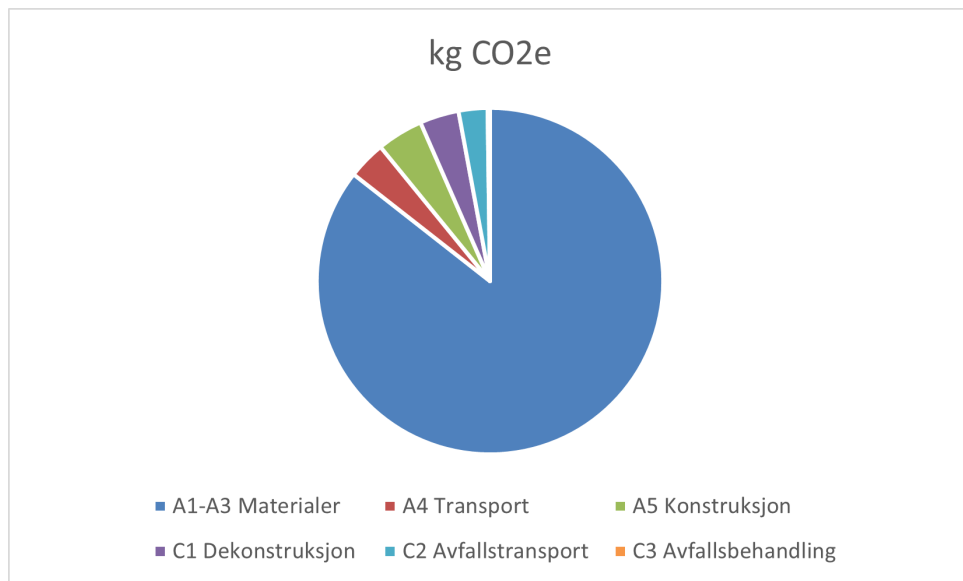


Figur 5.2.3: Utslipp bygningsdeler ombruk

Livsyklusutslippene inkluderer riving av eksisterende dekke i storsal, og konstruksjon av nytt dekke i kino med ny bæring under. Materialfasene slipper ut mest med 52 tonn CO_2e .

Category	kg CO ₂ e
A1-A3 Materialer	52376
A4 Transport	2164
A5 Konstruksjon	2642
C1 Dekonstruksjon	2235
C2 Avfallstransport	1653
C3 Avfallsbehandling	134

Tabell 5.2.5: Utslipp LCA faser ombruk



Figur 5.2.4: Utslipp LCA faser ombruk

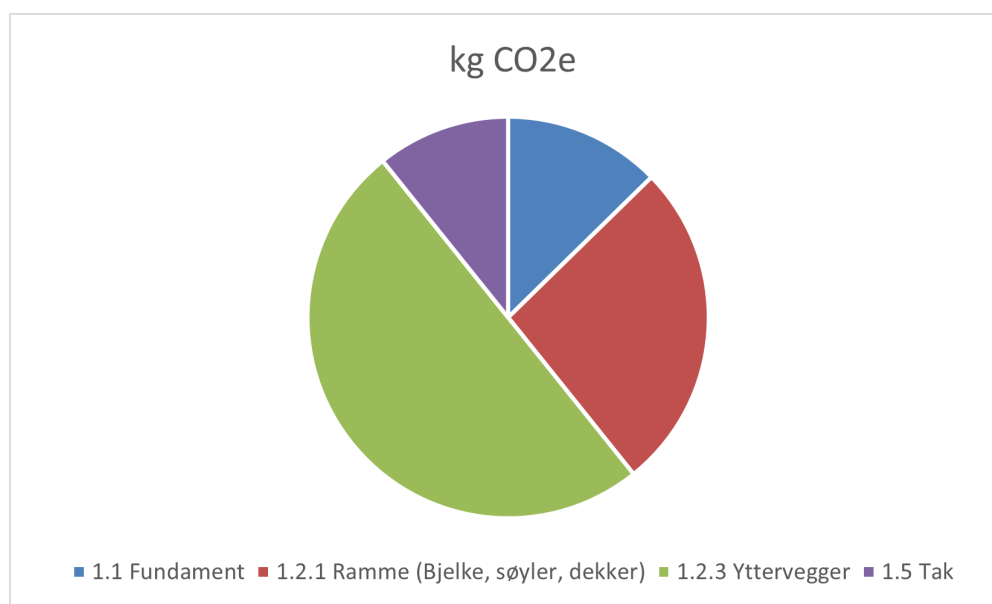
Figur 5.2.4 viser utslipp for LCA faser scenario 1.

5.2.3 Scenario 2: Massiv- og limtre

Massivtre og limtrealternativet har et totalt utslipp på 167 tonn CO_2e uten riving av det gamle bygget. Inkludert riving havner utslippet på 183 tonn CO_2e . Tabell 5.2.6 viser de enkelte utslippene for bygningsdeler og grupper, i dette tilfellet med massiv- og limtre er det ytterveggene som står for hoveddelen av utslippene med 128 tonn CO_2e . Tabell 5.2.7 viser utslippene for de ulike fasene i LCA-analysen.

Bygningsdel	kg CO_2e
1.1 Fundament	21201
1.2.1 Ramme (Bjelke, søyler, dekker)	44432
1.2.3 Yttervegger	83623
1.5 Tak	17992

Tabell 5.2.6: Utslipp bygningsdeler Massiv-limtre

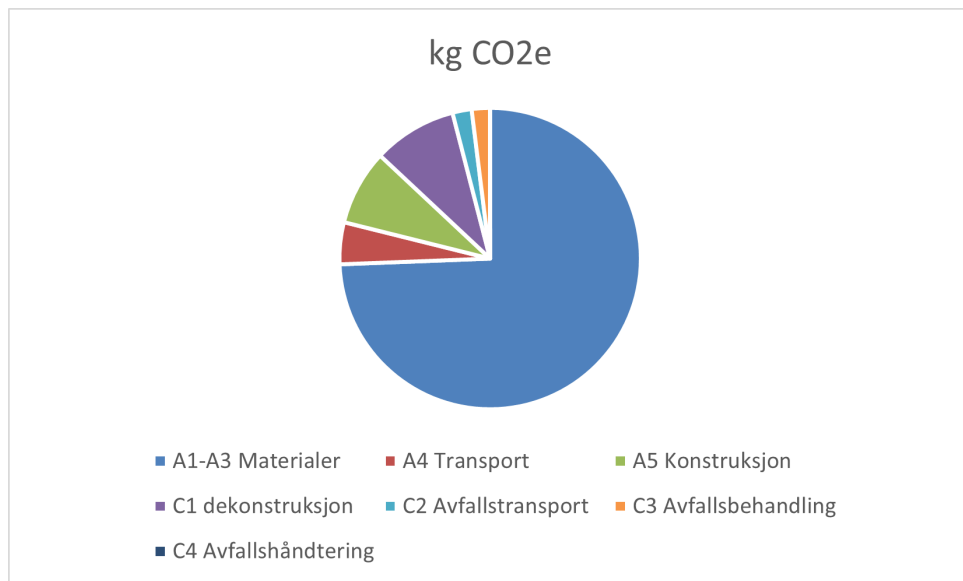


Figur 5.2.5: Utslipp bygningsdeler massivtre

Figur 5.2.6 viser at A1-A3 er de fasene som genererer mest utslipp, med 136 tonn CO_2e .

Kategori	kg CO_2e
A1-A3 Materialer	136668
A4 Transport	8263
A5 Konstruksjon	14864
C1 dekonstruksjon	16535
C2 Avfallstransport	3774
C3 Avfallsbehandling	3579
C4 Avfallshåndtering	36

Tabell 5.2.7: Utslipp LCA faser



Figur 5.2.6: Utslipp LCA faser

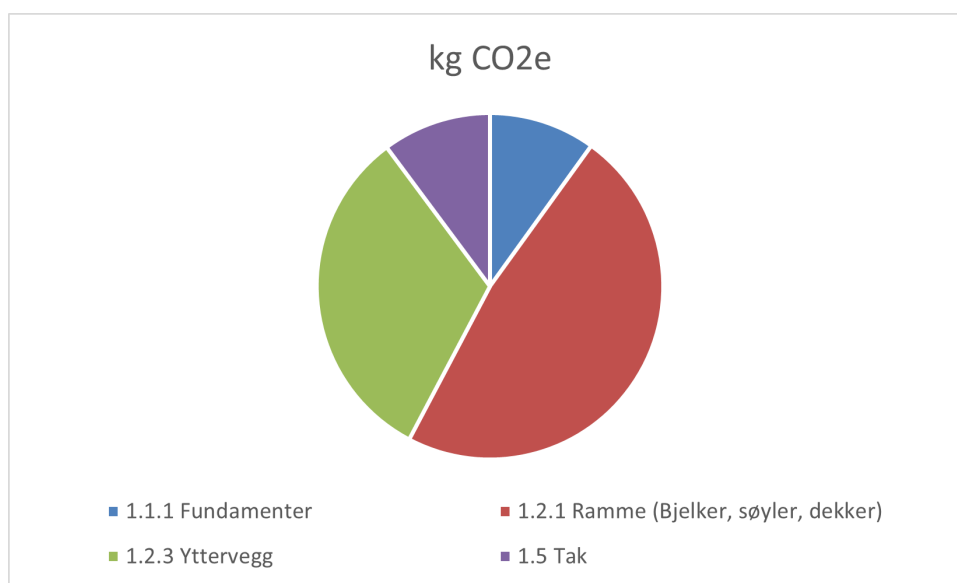
Figur 5.2.6 viser utslipp fra LCA fasene til massiv- og limtre.

5.2.4 Scenario 3: Prefab, betong og stål

Scenario 3 bestående av prefab-betong og stål har et totalt utslipp på 186 tonn CO_2e . Med riving havner resultatet på 202 tonn CO_2e . Tabell 5.2.8 viser utslipp fra bygningsdeler og grupper, rammen med mest utslipp med 93 tonn CO_2e .

Bygningsdel	kg CO ₂ e
1.1.1 Fundamenter	17587
1.2.1 Ramme (Bjelker, søyler, dekker)	93639
1.2.3 Yttervegg	56772
1.5 Tak	17991

Tabell 5.2.8: Utslipp bygningsdeler prefab og stål

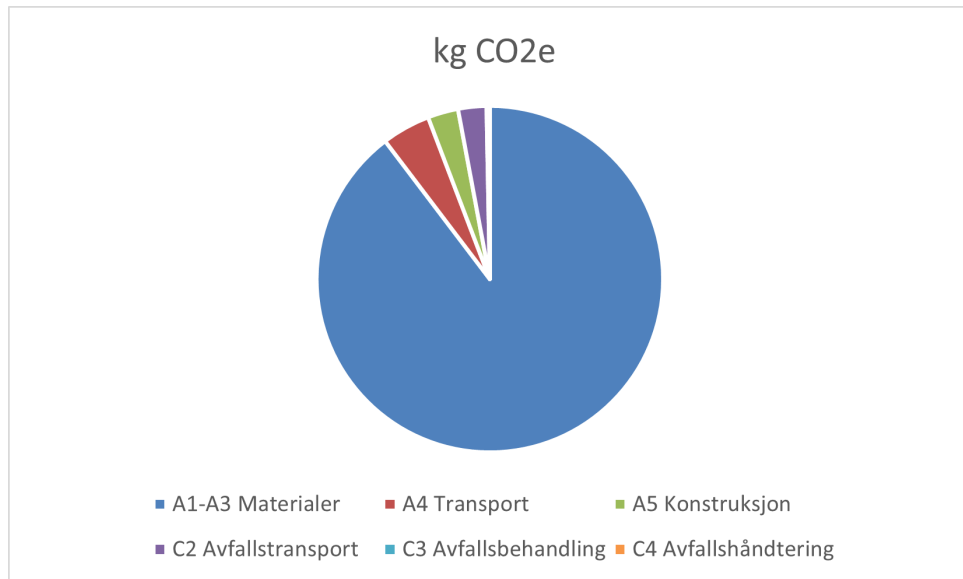


Figur 5.2.7: Utslipp bygningsdeler prefab og stål

Category	kg CO ₂ e
A1-A3 Materialer	166973
A4 Transport	8329
A5 Konstruksjon	5036
C2 Avfallstransport	4675
C3 Avfallsbehandling	480
C4 Avfallshåndtering	53

Tabell 5.2.9: Utslipp LCA faser

Tabell 5.2.9 viser utslippene fra fasene i livssyklusen, og presenterer at A1-A3 har størst utslipp på 167 tonn CO_2e .



Figur 5.2.8: Utslipp LCA faser

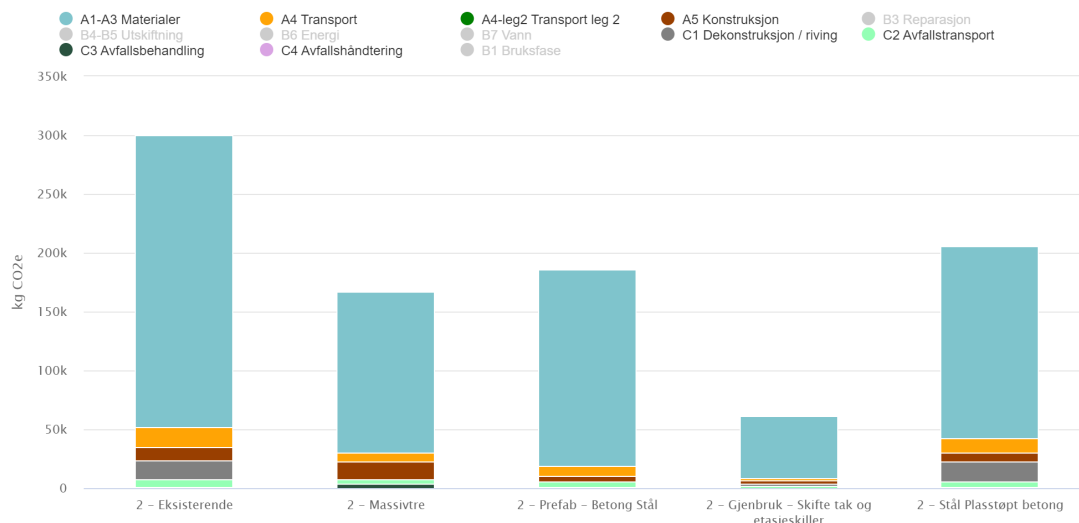
5.2.5 Plastøpt dekke

Et alternativ med plastøpt dekke i betong er tatt i betraktning på ønske fra rådgiver. Samme bæresystem som scenario 3, med kun dekket byttet ut. Lavkarbonklasse A, og lavest tilgjengelige utslipp for prefabrikert. Utslipper for rammen til bygget øker da fra 93 tonn CO_2e , til 97 tonn CO_2e . Dette tilsvarer en økning på 4 %.

5.3 Fasader scenario 2 og 3

Fasader er ikke lagt med i beregningene siden de gir så mye utslipp at resultatene endres mye. Beregningene er tatt med generiske valg av fasadekledning. For scenario 2 er utforing på utsiden med isolasjon og fasadeplater valgt, med utslipp på 19 tonn. Sandwich elementer er testet som kledning for scenario 3 med utslipp på 58 tonn.

5.4 Sammenligning utslipp



Figur 5.4.1: Sammenligning av resultatene

5.4.1 Utslipp LCA-faser

Figur 5.4.1 referer til de totale klimagassutslippet for livssyklusfasene som er inkludert i beregningen og viser alle alternativene samt eksisterende bygg. Av de nye scenariene er det scenario 3 som har høyest utslipp under eksisterende, scenario 2 har nest mest og scenario 1 har minst. Konstruksjonsfasen A5 har minst endringer i de forskjellige fasene. De neste tabellene viser detaljert sammenligning av utslippene opp mot det eksisterende bygget om det skulle blitt bygget idag.

Category	Eksisterende	Ombruk	% endring
A1-A3 Materialer	247484	52376	-79 %
A4 Transport	17245	2164	-87 %
A5 Konstruksjon	11298	2642	-77 %
C1 Dekonstruksjon	16535	2235	-86 %
C2 Avfallstransport	6456	1653	-74 %
C3 Avfallsbehandling	705	134	-81 %

Tabell 5.4.1: Scenario 1 sammenlignet med eksisterende i CO_2e

Tabell 5.4.1 viser utslippet fra eksisterende bygg og sammenligner med ombruk av bygningsdeler. Scenario 1 innebærer nytt tak, riving dekke og bygge nytt dekke. Fasene får en gjennomsnittlig endring på minus 80 %. Dette nye alternativet viser ikke et helt nytt bygg, men enkelte nye deler av bygget. Derfor er nedgangen så høy.

Category	Eksisterende	Massiv-limtrem	% endring
A1-A3 Materialer	247484	136668	-45 %
A4 Transport	17245	8263	-52 %
A5 Konstruksjon	11298	14864	31 %
C1 Dekonstruksjon	16535	16535	0 %
C2 Avfallstransport	6456	3774	-41 %
C3 Avfallsbehandling	705	3579	408 %

Tabell 5.4.2: Scenario 2 sammenlignet med eksisterende i CO_2e

Tabell 5.4.2 viser scenario 2 massiv- og limtrem sammenlignet med eksisterende. Fasene får en gjennomsnittlig utslippsreduksjon på 21 %. Dette inkluderer riving av bygget som ligger på 16535 kg CO_2e .

Category	Eksisterende	Prefab stål	% endring
A1-A3 Materialer	247484	166973	-33 %
A4 Transport	17245	8328	-52 %
A5 Konstruksjon	11298	5036	-55 %
C1 Dekonstruksjon	16535	16535	0 %
C2 Avfallstransport	6456	5048	-22 %
C3 Avfallsbehandling	705	525	-26 %

Tabell 5.4.3: Scenario 3 sammenlignet med eksisterende

Tabell 5.4.3 viser scenario 3 prefab stål sammenlignet med eksisterende. Gjennomsnittlig nedgang på 29 %. Riving er likt i begge alternativene.

5.5 Nybygg opp mot ombruk

Dette delkapitlet presenterer forskjellen i utslipp fra ombruk av bygningsdeler opp mot nye bærekonstruksjoner.

Category	Ombruk	Massiv limtre	% endring
A1-A3 Materialer	52376	136668	161 %
A4 Transport	2164	8263	282 %
A5 Konstruksjon	2642	14864	463 %
C1 Dekonstruksjon	2235	16535	640 %
C2 Avfallstransport	1653	3774	128 %
C3 Avfallsbehandling	134	3579	2561 %

Tabell 5.5.1: Ombruk mot Massiv- limtre

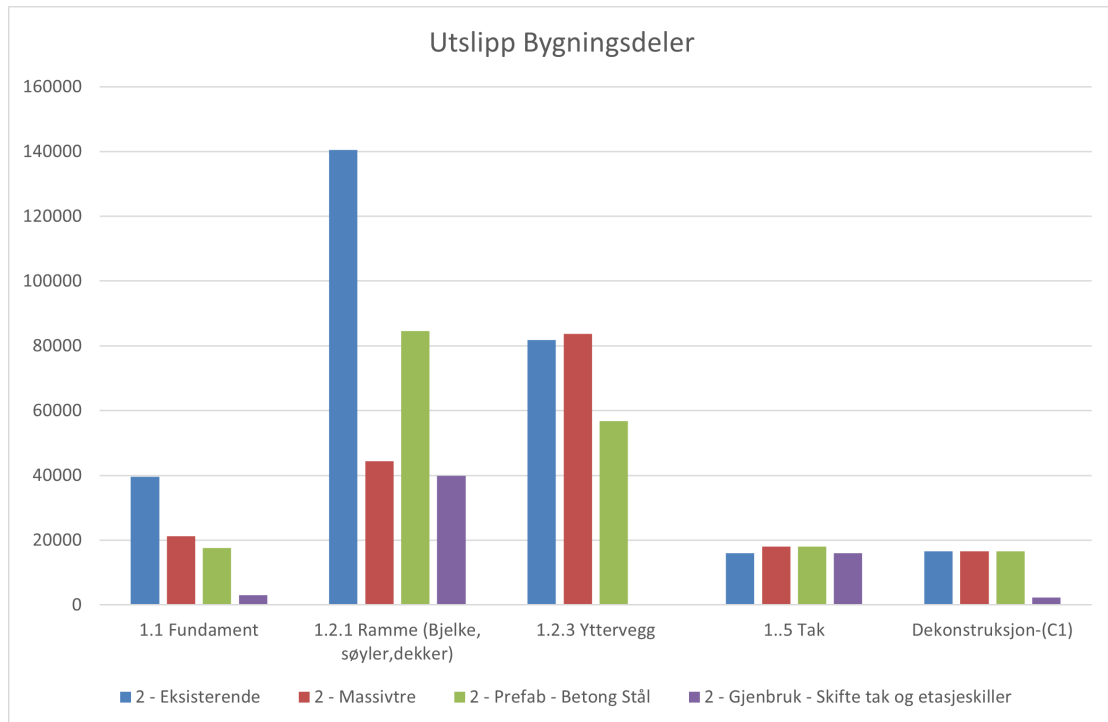
Tabell 5.5.1 viser klimagassutslippet fra ombruk sammenlignet med scenario 2 massiv- og limtre. Økningen er høy fra kun ombruk på 372 % i gjennomsnitt. A1-A3 materialer er mest relevant og har en økning på 161 %. A5 konstruksjon øker fra 2,6 tonn CO_2e til 14,8 tonn CO_2e 463 % økning.

Category	Ombruk	Prefab stål	% endring
A1-A3 Materialer	52376	158245	202 %
A4 Transport	2164	7986	269%
A5 Konstruksjon	2642	5036	91 %
C1 Dekonstruksjon	2235	16535	109 %
C2 Avfallstransport	1653	4675	-71 %
C3 Avfallsbehandling	134	480	257 %

Tabell 5.5.2: Ombruk mot prefab/stål

Tabell 5.5.2 viser ombruk mot prefab/stål. Gjennomsnittlig økning på 156 %. A4 transport med prosentvis økning 269 %. A5 konstruksjon øker med 91 %.

5.6 Bygningsdeler



Figur 5.6.1: Sammenligning utslipp bygningsdeler

Figur 5.6.1 viser sammenligningen av utslipp hvor hver av forslagene fordelt på bygningsdeler og viser bygningsdelene enkelt og i grupper: Fundament, Ramme (bjelke, søyler, dekker), Yttervegg, tak, og dekonstruksjon riving.

Fundamentene gir mest utslipp fra massivtre alternativet i forhold til eksisterende. Prefabrikert betong og stål gir mest utslipp fra ramme, nesten dobling fra massivtre, ombruk og massivtre relativt nære. Scenario 3 gir minst utslipp med yttervegg, ikke relevant for ombruk (samme som eksisterende). Massivtre gir mer utslipp enn eksisterende under yttervegg. Stålfagverket til prefab ligger under ramme, og gjelder kun trp platene på taket sitt.

Scenario 2 er det forslaget med minst utslipp over alle forslagene for helt nye bygg. Ombruk gir minst utslipp for fundamenter og riving siden kun tak og et dekke rives, men lavere enn massivtre på yttervegg og tak.

De neste tabellene 5.6.1, 5.6.2, og 5.6.3 viser detaljert sammenligning av bygningsdelene opp mot eksisterende.

Tabell 5.6.1 viser endringene utslipp om ombruk av bygningsdeler blir tatt i bruk. Modellen til ombruk er laget med de nye bygningsdelene så analysen presenterer dette. Store endringer på fundament, ramme og utvendige vegger, økning i utslipp på tak havner på 0 % siden taket er samme løsning. I gjennomsnitt et fall på 82 %.

Category	Eksisterende	Ombruk	% endring
1.1.1 Fundament	39461	3091	-92 %
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	140406	39867	-72 %
1.2.3 Utvendige vegger	81831	0	-100 %
1.2.4 Tak	16012	16012	0 %

Tabell 5.6.1: Scenario 1 opp mot eksisterende

Bygningsdel	Eksisterende	Massivtre	% endring
1.1.1 Fundament	39641	21201	-47 %
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	140406	44432	-68 %
1.2.3 Utvendige vegger	81831	83623	2 %
1.2.4 Tak	16012	17992	12 %

Tabell 5.6.2: Scenario 2 opp mot eksisterende

Tabell 5.6.2 viser scenario 2 opp mot eksisterende. Massivtre forslaget inkluderer et helt nytt bygg opp mot det eksisterende. For fundamenter minker utslippene med 18 440 kg CO_2e som tilsvarer reduksjon på 47 %. Rammen viser en reduksjon på 95 974 kg CO_2 ekvivalenter, en senkning på 68 %. Yttervegger viser en økning på 1 792 kg CO_2e som øker utslippene med 2 %. Taket viser en økning på 1 980 kg CO_2e som er 12 %.

Resultatene ender gjennomsnittlig på en 22 % reduksjon. Dette er lavere enn ombruk, men dette alternativet gjelder riving av gammelt og et helt nytt bygg i massiv- og limtre.

Bygningsdel	Eksisterende	Prefab/stål	% endring
1.1.1 Fundament	39641	17587	-56 %
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	140406	93639	-33 %
1.2.3 Utvendige vegger	81831	56772	-31 %
1.2.4 Tak	16012	17992	12 %

Tabell 5.6.3: Scenario 3 opp mot eksisterende

Tabell 5.6.3 viser prefab og stål sammenlignet med eksisterende. Fundament viser en reduksjon på 22 054 kg CO_2e som er en reduksjon på 56 %. Rammen minker med 46 767 kg CO_2e som er en reduksjon på 33 %. Yttervegger synker med 25 059 kg CO_2e som er en reduksjon på 31%. Taket viser en økning på 1 979 kg CO_2e som tilsvarer 12 % økning.

Gjennomsnittlig er dette en reduksjon i utslipp på 32 % som er en større reduksjon enn et nybygg i massiv- og limtre.

5.6.1 Ombruk mot nybygg

Category	Ombruk	Massiv/limtre	% endring
1.1.1 Fundament	3091	21201	85 %
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	39867	44432	10 %
1.2.3 Utvendige vegger	0	83623	81 %
1.2.4 Tak	16012	17992	11 %

Tabell 5.6.4: Ombruk bygningsdeler mot massiv/limtre

Tabell 5.6.4 viser en gjennomsnittlig økning på 46 %, hvorav fundament med mest økning på 85 %. Økning i utslipp for ramme og tak på 10 og 11 %.

Category	Ombruk	Prefab/stål	% endring
1.1.1 Fundament	3091	17587	82 %
1.2.1 Ramme (bjelker, søyler og dekker)	39867	936639	57 %
1.2.3 Utvendige vegger	0	56772	100 %
1.2.4 Tak	16012	17991	11%

Tabell 5.6.5: Ombruk bygningsdeler mot prefab/stål

Øker i gjennomsnitt med 70 %. Fundament med mest økning på 82 %, Ramme med 57 % økning. Taket er samme konsept, økning på 11 %.

5.7 Pris

Pris brukt i kalkulasjon av de ulike scenarioene har blitt hentet fra Norsk Prisbok. Prisene blir gitt for individuelle eller komplette jobber, det blir brukt mengder i enten lengde, areal, kubikk eller andre måleenheter som står oppgitt i tabellene. Mengder oppgitt er hentet fra Revit-modell.

5.7.1 Scenario 1: Ombruk

Nummer	Elementnavn	Mengde	Enhet	Enhetspris	Pris	Pris i million
Riving						
02.0.B.008	Riving av betongdekker	830,00	m2	745	618690,80	0,62
02.0.B.012	Riving av flate tak	1 556,00	m2	217	337304,60	0,34
02.0.B.005	Riving av bærekonstruksjoner	1 556,00	m2	66	103062,88	0,10
Total Riving					1059058,29	1,06
Nytt						
02.2.A.002	Søyle av betong, 300 x 300 mm	29,70	m	2 679	79565,87	0,08
02.2.A.010	Bjelke av betong, 200 x 500 mm	86,40	m	2 691	232487,95	0,23
02.1.F.006	Punktfundament, 0,3 x 1,2 x 1,2 m	6,00	stk	6 594	39562,65	0,04
02.5.C.003	HD-element, t = 265 mm	415,00	m2	1 493	619516,25	0,62
02.2.E.002	Gitterdrager for takkonstruksjoner	25,00	stk	70 426	1760640,63	1,76
Total Nytt					2731773,34	2,73
Totalt					3790831,62	3,79

Figur 5.7.1: Pris, gjenbruk

For riving av konstruksjoner ved ombruk blir en større mengde av arbeid utført, ettersom det skal rives med forsiktighet for å ikke skade bæresystem som skal bli gjenbrukt.

Pris for riving for ombruk estimert til 1,06 MNOK. Støping av ny etasjeskiller og nødvendige søyler og bjelker koster 0,97 MNOK. Nytt tak fagverk koster 1,76 MNOK og installeres på eksisterende søyler.

Totalt for ombruk vil kostnaden havne på 3,79 MNOK.

5.7.2 Scenario 2: Massiv- og limtre

Nummer	Elementnavn	Mengde	Enhet	Enhetspris	Pris	Pris i million
Riving						
02.0.B.004	Riving av fundamenter	177,00	m2	1 950	345186,95	0,35
02.0.B.005	Riving av bærekonstruksjoner	3 085,00	m2	66	204337,40	0,20
02.0.B.008	Riving av betongdekker	175,00	m2	745	130446,86	0,13
Total Riving					679971,21	0,68
Nytt						
02.2.A.001	Søyle av betong, 200 x 200 mm	25,06	m	1 624	40706,41	0,04
02.2.A.010	Bjelke av betong, 200 x 500 mm	64,80	m	2 691	174365,96	0,17
02.3.A.001	Betongyttervegg under mark, t = 200 mm	1 138,00	m2	2 977	3387718,91	3,39
02.1.F.006	Punktfundament, 0,3 x 1,2 x 1,2 m	7,00	stk	6 594	46156,42	0,05
02.1.F.005	Såle/bankett på løsmasser, 1,0 x 0,6 m.	298,80	m	6 029	1801572,29	1,80
02.6.A.1.018	Korrugert stålplatetak, H = 120 mm	1 750,00	m2	558	977223,15	0,98
02.5.C.032	Massive treelementer i dekker, bærende, t = 220 mm	1 335,00	m2	3 470	4633058,76	4,63
02.2.2.5.0500	Prefabrikerte limtresøyler for massivtrebygg	2,71	m3	31 312	84856,57	0,08
02.2.3.5.0500	Prefabrikerte limtrebjelker for massivtrebygg	77,11	m3	24 136	1861113,89	1,86
02.3.1.5.0130	Massive treelementer, yttervegg, t = 140 mm	1 138,00	m2	2 155	2452068,97	2,45
Total Nytt					15458841,33	15,45
Totalt					16138812,54	16,13

Figur 5.7.2: Pris, massiv- og limtre

Scenario 2 og 3 har like kostnader for riving ettersom begge scenarioer er nybygg og kostnaden blir 0,68 MNOK for riving av fundament, bærekonstruksjoner og dekke i plastøpt betong.

Scenario 2 bruker betong for fundament og yttervegg i underetasje og får en kostnad på 5,45 MNOK. Korrugert stålplatetak vil koste 0,98 MNOK og plassert på limtrebjelker. Massivtreelementene og limtreet vil totalt koste 9,02 MNOK og inneholder både bærende yttervegger og etasjeskillere.

5.7.3 Scenario 3: Prefab, betong og stål

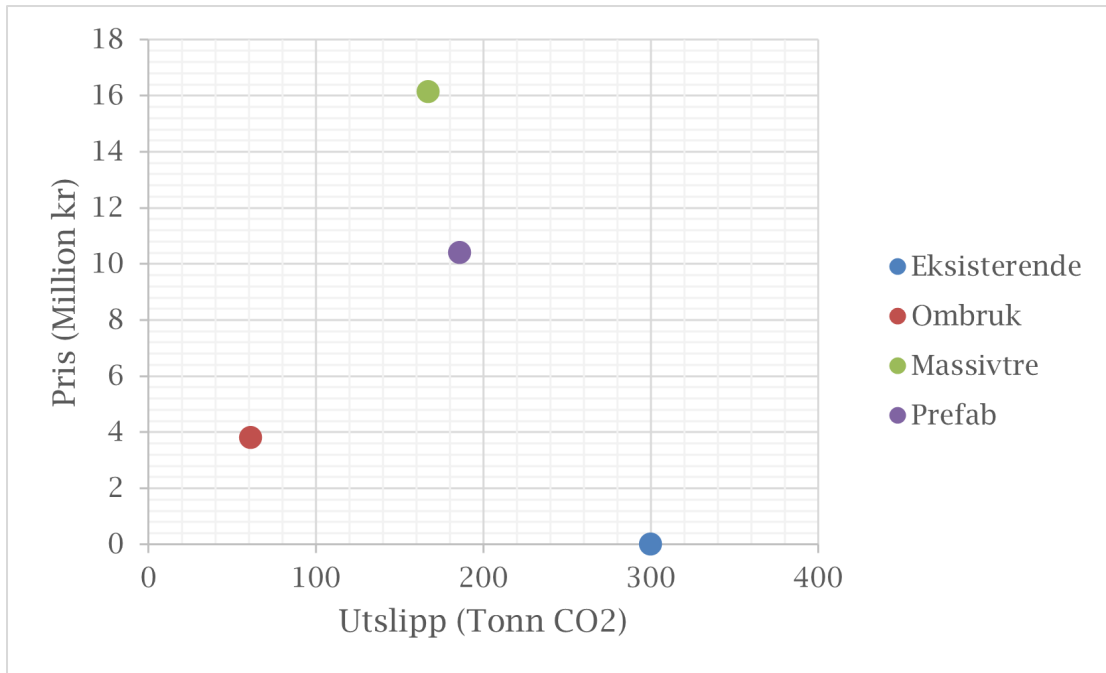
Nummer	Elementnavn	Mengde	Enhet	Enhetspris	Pris	Pris i million
Riving						
02.0.B.004	Riving av fundamenter	177,00	m2	1 950	345186,95	0,35
02.0.B.005	Riving av bærekonstruksjoner	3 085,00	m2	66	204337,40	0,20
02.0.B.008	Riving av betongdekker	175,00	m2	745	130446,86	0,13
Total Riving					679971,21	0,68
Nytt						
02.1.F.005	Såle/bankett på løsmasser, 1,0 x 0,6 m.	298,80	m	6 029	1801572,29	1,80
02.3.A.001	Betongyttervegg under mark, t = 200 mm	1 138,00	m2	2 977	3387718,91	3,39
02.2.A.002	Søyle av betong, 300 x 300 mm	60,80	m	2 679	162882,32	0,16
02.2.C.008	Stålsøyler, firkantformede hulprofiler	2 611,00	kg	64	167711,50	0,17
02.5.C.003	HD-element, t = 400 mm, med gysing og fuging, REI60	1 335,00	m2	1 678	2240130,00	2,24
02.2.E.002	Gitterdrager for lette takkonstruksjoner	14,00	stk	70 426	985958,75	0,99
02.6.A.1.018	Korrugert stålplatetak, H = 120 mm	1 750,00	m2	558	977223,15	0,98
Total Nytt					9723196,93	9,72
Total					10403168,14	10,40

Figur 5.7.3: Pris, prefab

Riving koster likt som scenario 2 med 0,68 MNOK for eksisterende betong elementer. Nykonstruksjon i plasstøpt betong for vegg under mark, punktfundament og såle får en kostnad på 5,35 MNOK.

Huldekke har en egenkostnad på 2,24 MNOK. Stålramme for HD-element og andre foremål har en kostnad på 0,17 MNOK. Takkonstruksjon med fagverk og korrugert stålplatetak har en kostnad på 1,97 MNOK.

5.8 Sammenligning mellom utslipp og pris



Figur 5.8.1: Sammenligning, utslipp og pris

Scenario	Utslipp (Tonn CO2)	Pris (Million kr)	Δ Utslipp per mill. kr
Eksisterende	300	0	0
Gjenbruk	61	3,79	63,05
Massivtre	167	16,13	8,25
Prefab	186	10,40	10,96

Figur 5.8.2: Utslipp, pris, Δ utslipp per mill. kr

Δ Utslipp per million krone er regnet ut fra eksisterende utslipp, se figur 5.8.3.

$$\frac{Utslipp_{Eksisterende} - Utslipp_{Scenario}}{Pris_{Scenario}}$$

Figur 5.8.3: Δ Utslipp per million krone

Category	Ombruk	Massiv limtre	Prefab stål
A1-A3 Materialer	52376	136668	158245
A4 Transport	2164	8263	7986
A5 Konstruksjon	2642	14864	5036
C1 Dekonstruksjon	2235	16535	16535
C2 Avfallstransport	1653	3774	480
C3 Avfallsbehandling	134	3579	5

Tabell 5.8.1: Sammenligning utslipp nye scenario

6.1 Klimagassberegningene

I dette kapittelet analyseres klimagassberegninger for de scenarioene som blir gjennomført i One Click LCA. Denne klimagass kalkulatoren baserer seg på NS3720 som er en norsk adaptasjon av den europeiske standarden EN15978 for beregning av klimagassutslipp.

6.1.1 Tolkning av resultatene

Resultatene tilsier at scenario 1-3 har alle lavere utslipp enn om det eksisterende bygget skulle blitt bygd idag. Scenario 1 ombruk har klart minst utslipp, mens av nybyggene er det scenario 2 massiv- og limtre som har minst klimagassutslipp.

Figur 5.8.1 viser at fasene A1-A3 har høyest utslipp i alle tilfellene. Disse fasene viser også mest variasjon mellom de ulike forslagene, dermed er muligheten for å endre utslippet i riktig retning under materialfasene. Transportfasen A4 er tydelig lavest i ombruk, og tilnærmet lik i 2 & 3. A5 konstruksjon er lavest i ombruk, og skilles med 9 tonn CO_2e mellom 2 & 3, 2 er høyest med 14 tonn. C1 dekonstruksjon er lik i scenario 2 og 3 siden hele eksisterende rives, og med 2 tonn utslipp i ombruk lavest. C2 avfallstransport og C3 avfallsbehandling har begge markante økninger fra ombruk, igjen siden det forslaget gjelder mindre deler av bygget. 2 og 3 skilles med 2,5 tonn i C2, prefab/stål høyest og C3 med 3 tonn, massiv- limtre høyest.

Figur 5.6.1 viser utslippet fra bygningsdelene. Fundamenter gir mest utslipp i scenario massivtre med 21 tonn, 4 tonn over scenario 3. Ytterveggene genererer mest utslipp i scenario 2 med 81 tonn mot 56 for prefab. Rammen gir mest utslipp fra prefab med 94 tonn mot 44 for scenario 2, og 40 tonn for ombruk.

Totalt utslipp kommer da på 61 tonn for ombruk, 183 tonn for massivtre, og 202 tonn for prefab.

6.2 Kostnadsberegningene

Kostnadsestimatene er gjort av modellene som er laget i Revit, og er et estimat som viser prisene for de ulike materialene brukt i bæresystemet.

6.2.1 Tolkning av resultatene

Resultatene presenterer kostnad for riving og oppbygging av nye bygg/bygningsdeler.

Riving av spesifikke deler av eksisterende er dyrere enn å rive hele bygget, med en forskjell på 55 %. Riving av hele bygget som gjelder for scenario 2 og 3 koster 679 971 kr.

Totalt for scenario 2 koster fundament 5,4 MNOK, mens for scenario 3 koster det 5,3 MNOK en reduksjon på 1,8 %. Fundament til ombruk gjelder kun 6 nye punktfundamenter som kommer til 39 562 kr.

Rammen for scenario 2 koster 10,8 MNOK. Denne rammen skiller seg fra 3, siden den gjelder ytter- og innervegger i massivtre, dekker i massivtre i tillegg til takbjelker med tilhørende søyler i limtre. Rammen for scenario 3 er mer oppdelt i prisoverslaget og er oppdelt på følgende måte: Stållrammen koster 167 711, sandwich element til yttervegg 2,4 MNOK HD-elementene koster 1,99 MNOK.

Takkonstruksjonen med stålfagverk består av gitterdragere til 985 958 kr, og korrugert stålplatetak til 977 223 kr, for scenario 2 (kun TRP plater) koster det 977 223 kr siden limtretragerne i taket er inkludert innenfor rammen.

6.2.2 Totalkostnad av forslagene

Tilsammen blir dette 3,79 mill for scenario 1, 16,13 mill for scenario 2, og 10,40 mill for scenario 3. Resultatene viser at ombruk er billigst totalt sett, og scenario 2 er dyrest av nybyggene. Massiv og limtre er 30 % dyrere enn prefab og stål.

6.3 Sammenligning pris og utslipp

Figur 5.8.1 viser utslipp og pris i samme diagram for å formidle hvilke forslag som har minst utslipp, og koster minst. Eksisterende er ikke vurdert for pris, så der-

for vises kun utslipp. Utslipp per million kr er beregnet i forhold til eksisterende utslipp.

I figur 5.8.2 kommer det frem Δ tonn CO_2e per million kroner, høyere verdi er bedre. Ombruk havner på 63,05 Δ tonn CO_2e per million kroner. Massiv- og limtre havner på 8,25 Δ tonn CO_2e per million kr. Prefab gir utslipp på 10,96 Δ tonn CO_2e per million.

6.4 Feilkilder

Mulige feilkilder kan være personfeil i One Click LCA, og norsk prisbok. One Click LCA krever at en legger inn nøyaktig materialtype, til tross for at programvaren henter parametere og dimensjoner fra Revit. Resultatene gjelder kun for bæresystemet og inkluderer ikke store deler av bygget som vil generere mer utslipp. Dette gjelder innervegger, vinduer, gulvavretting, himling, baderom, VVS, og møblering/innredning.

Norsk Prisbok er ikke nødvendigvis helt oppdatert på prisutviklingen i byggebransjen. Dagens situasjon viser at prisene på generell basis har steget. Prisboken har også kun et anslag på tiden det tar å utføre arbeidet, så eventuelle forsinkelser og problemer vil ikke reflekteres i prisene.

Dimensjoneringen og løsningen til bæringen er auto generert i FEM-design, og vil sannsynligvis ha større eller mindre dimensjoner, som endrer areal og volum noe som påvirker resultatene til alle forslagene.

Kapittel 7

Drøfting

7.1 Diskusjon av funn

Resultatene svarer på problemstillingen med å presentere klimagassutslippene for livssyklusfasene og bygningsdeler, i tillegg til prisen for materialer og konstruksjon. Funnene viser det mest gunstige alternativet for bæresystemet til bygget. Ombruk gir minst utslipp, men er ikke nødvendigvis det beste alternativet med tanke på tilstanden til bygget.

Funnene kan brukes til å sammenligne utslippene fra riving og nybygg, samt fra ombruk og renovering i fremtidige prosjekter. Resultatene beskriver at ombruk er gunstig klimamessig, men tilstanden av bygget må kontrolleres. Nybygg og riving gir også gode resultater ved valg av riktige materialer, men blir dyrere enn materialene som gir litt mer utslipp.

Resultatene kan tolkes slik at de beste og mest klimavennlige løsningene ikke nødvendigvis gir økonomiske gevinster. Derfor blir det valgt billigst med vesentlig mer utslipp i motsetning til de litt dyrere forslagene. Miljømessig er en kombinasjon av de ulike materialene sannsynligvis den beste løsningen for et klimavennlig bygg.

7.2 Diskusjon av metode

7.2.1 BREEAM

BREEAM-sertifisering av bygget var planen til forslagstiller i startfasen av prosjektet. Oppgaven gikk opprinnelig på å hente BREEAM-poeng til å få "Excellent" resultat. Etter møter med rådgivere ble det i prosjekteringsfasen bestemt av Fylkeskommunen at det ikke var mye å hente i form av poeng. Dette er fordi sertifiseringen skal være et styringsverktøy som går over hele livsløpet, og at valg av materialer og byggemåte ikke nødvendigvis veier opp resultatet. Deretter ble denne rapporten til å beregne klimagassresultat og pris for nye forslag til bygget.

Bæresystemet har også liten innvirkning på klassifiseringen av BREEAM. Som nevnt er det byggeprosessen og valg derunder som påvirker resultatene. Nyttien til oppgaven da er å finne hvilke materialvalg som egner seg best til lavt klimagassutslipp og lav pris.

7.2.2 Klimagassberegningene

Modellene består kun av bæresystemet til byggene. Forslagene er også i samme areal som det eksisterende bygget, og viser kun nybygg som er helt lik i utforming/størrelse, noe som ikke er sannsynlig for målet til Fylkeskommunen. Studiet viser dermed kun hvilke materialer som vil gi minst og mest utslipp, og hvilke som er billigst.

One Click LCA er programvaren brukt i oppgaven. Denne måtte læres siden gruppen og ekstern veileder manglet tidligere erfaring. Dette tok opp mer tid enn det som var nødvendig. One Click LCA har mange ulike valg for materialtyper, noe som gjorde det vanskelig å vite akkurat hvilken som stemte for bygningsdelen og som kan føre til feil i resultatene.

LCA verktøy er et relativt nytt verktøy i bransjen, som vil si at flere aktører mangler, eller har lite kunnskap/erfaringer med dette. Programvaren var for denne oppgaven tilgjengelig kun som studentutgave. Beregningene tas i nettleser, og ikke direkte i Revit. Prosessen blir mer brukervennlig og raskere.

7.2.3 Valg av miljøbetong

Lavkarbonbetong gir forskjellige reduksjoner i utslipp avhengig av hvilken klasse som blir brukt. Unicon presenterer reduksjon i utslipp referert fra bransjestandard B35. Ekstrem er den klassen med lavest utslipp, med 63 % mindre utslipp fra standard. Ulempen med ekstremklassen er at den ikke egner seg i frostutsatte forhold og har en mye lengre herdetid da den produserer lite varme under krystalliseringen av sementen. Plussklassen slipper ut 51 % mindre enn standard, men har et tregere herdeforløp siden sementinnholdet er lavt. Begge betongene har en fordel som er at det er lite riss dannelse i ferdig produktet da den har en lang herdetid.

Pluss og ekstrem krever spesielle bindemiddelsammensetninger som ikke er tilgjengelige overalt. Sammensetningene bør videreutvikles eller forandres til noe som har samme effekt. Resultatet av dette prosjektet ville blitt annerledes om all betongen var i pluss- eller ekstremklasse, men ekstra kostnader tilknyttet forskaling og andre tiltak gjør at det er lite økonomisk å gjennomføre det. Betong har utviklet seg mye i løpet av siste årene og det vil komme nye løsninger innen miljøbetong i årene fremover.

7.2.4 Fasader

Utslipp (Tonn CO ₂ e)	Massivtre	Prefab
Isolasjon	18	58
Fasade	1.07	-
Totalt ekstra	19.07	58
Ny Total	186.07	244
Ny Δ Utslipp per mill. kr	6,3	4,4

Figur 7.2.1: Eksempel på utslipp ved isolering og kledning utvendig.
Revidert Δ Utslipp per MNOK fra figur 5.8.2

Scenario 2 og 3 krever forskjellige mengder isolasjon i veggene i andre etasje. Disse krever også utvendig kledninger. I figur 7.2.1 er det et eksempel på valg av isolasjon og fasade som passer til hvert bæresystem. Ved massivtre er det valgt kontinuerlig isolasjon 100mm og trykkimpregnert kledning. Prefab har sandwichelement med yttersjikt av metallplater og kjerne av isolasjon.

7.2.5 Lydkrav massivtre

Oppnåelse av lydkravene med et dekke i massivtre er utfordrende. Siden bygget er et kulturhus krever dette spesiell akustisk regulering tilpasset funksjonen.¹ Dette vil da si at etasjeskillere i massivtre krever påstøp med gulvbelegg, trinnlydsplater, hulrom med isolasjon og dobbel gips i himlingen under.² Lydklasse C oppnås med disse løsningene som er minstekrav i NS8175. Utslippene vil øke samme som fasaden, siden dette kreves over hele dekket.

7.2.6 Transport av materialer

Livssyklusfasen A4 gjelder transport til byggeplass. Resultatene i tabell 5.8.1 viser rundt 8 tonn utslipp for nybyggene, og 2,5 tonn for ombruk. One Click LCA beregner dette ut fra mengden og volum av materialer, og ikke geografisk plassering av prosjektet og leverandører. Om dette var tatt i betraktning ville resultatet endret seg. Dette avhenger av hvor produsentene av bygningsdelene ligger i forhold til Ørsta kommune. Scenario 3 vil øke minst grunnet god tilgjengeligheten på hulldekke siden det er produsenter i samme fylke.

Massivtre er ikke like tilgjengelig som betong og kan ha en venteliste. Moelven benytter seg av norsk og svensk skog for sin produksjon i Innlandet. Dersom elementene ikke kan produseres der må elementene hentes fra utlandet og da vil transportkostnad og utslipp øke noe. Ved scenario 1: Ombruk vil det nye fagverket være vanskeligst tilgjengelig siden de fleste produsentene ligger i Sverige, men nærmeste i Norge ligger i Otta kommune.

¹Norsk Standard, 2019 [28]

²SINTEF Byggforsk, 2009 [29]

7.2.7 Konstruksjon

A5 gjelder konstruksjon av bygget. One Click LCA utfører beregningene på generell basis basert på mengde med enten volum, lengde eller areal. Deretter blir utslippet fra denne fasen bare et estimat vist i tabell 5.8.1. Programvaren tar ikke for seg mulige forsinkelser og problemer. Resultatene vil i så fall endres.

Tidsbruken for ombruk kan muligens øke, siden kun deler av bygget skal fornyes og resten beholdes. Dette gjør prosessen tidkrevende. For nybyggene er leveranse og eventuelle menneskelige feil de største faktorene for økt tidsbruk. Om noe er dimensjonert eller konstruert på feil måte, vil det ta tid å endre siden alle delene må passe riktig sammen.

7.2.8 Pris

Norsk Prisbok er et utbredt digitalt og analogt verktøy som brukes til å finne prisanslag til byggeprosesser. All informasjonen er samlet i verktøyet og bruk av verktøyet er enkelt. Innholdet består av konstruksjoner, pris, livssyklusanalyser, og karbonavtrykk.

Forarbeid og montering er inkludert i prisforslagene som blir oppgitt på nettsiden. For ombruk kan også andre uforutsette kostnader dukke opp når det skal rives forsiktig, samt om nykonstruksjonen må tilpasses utover det som har blitt beregnet. Det antas at nybygg har et mer nøyaktig prisforslag ettersom det er mindre usikkerhet og mindre uforutsette hendelser som kan oppstå enn ved renovasjon.

Utfordringen til Norsk Prisbok kan være at den ikke nødvendigvis følger prisutviklingen i byggebransjen. Deretter er resultatene bare anslag av hva det vil koste å bygge bæresystemet. Prisene gjelder kun det og ikke alle andre priser som spiller inn som: Elektrisk, VVS, innvendige vegger og himling, og vinduer samt andre elementer som ikke tilhører bæresystemet i seg selv.

7.3 Dimensjonering

Massivtre som material er veldig miljøgunstig, men i dette scenarioet der første etasje er av betong, og kun 1 etasje er av massivtre viser disse egenskapene seg lite. Med et like stort bygg i kun massivtre, foruten gulv på grunn ville klimagassutslippet blitt redusert drastisk og kommet mye bedre ut i denne sammenligningen. Prisen hadde derimot økt noe.

Hulldekke med tykkelse på 400 er overdimensjonert med tanke på prosjektert bruk og kan forandres til 320 noe som fortsatt opprettholder kravet til nyttelasten. Med en overdimensjonering av hulldekke blir det mulig å gjennomføre bruksendring uten endring av bæresystemet. Underetasjen under dekke er da helt åpen uten behov for innvendige støttelager som gir et stort åpent areal.

Plasstøpt er likt massivtre ved at spennvidden er lavere enn hulldekke. En annen mulighet er å ta i bruk etterspent armering i motsetning til tradisjonell slakkarmering. Etterspennt har fordelen ved å gi lengre spenn og mindre tverrsnitt uten behov for søyler eller bjelker, men er et dyrere alternativ og krever mer forarbeid før betongstøping. Spennarmering har ikke blitt vurdert i denne oppgaven, men det kunne vært et mulighet for å kvittet seg med innvendig bæring for dekke.

For bankett- og punktfundament er dimensjonene antatt og har ikke i den grad blitt kontrollert i lik grad som søyler, bjelker og dekke. Dimensjonene er noe usikker, men oppnår minstekrav. Kontroll bør utføres videre.

For dimensjoneringen i FEM-design var det inkludert både snø- og vindlast. Det er gjort en forenklet dimensjonering av bæresystemet ved å bare se på utnyttelsesgrad og nedbøyinger (kapittel 3.4). Det er dermed noe usikkerhet i denne beregningen.

7.3.1 Eksisterende takfagverk

Originalt fagverk er produsert av stål i ukjent kvalitet, dimensjon og tilstand. Det var i utgangspunkt dimensjonert etter kravet på 150 kg/m^2 , forbeholdt at taket måkes med betydelig snømengde. Dagens krav ligger på 350 kg/m^2 i Ørsta Kommune. Stålet har 3 følgende scenario for ombruk eller gjenbruk:

1. Fagverket kan demonteres og benyttes annen plass som har et lavere snølast krav. Eventuelt ha et lavere spenn, men da må modifikasjoner gjøres på undergurten.
2. Det kan forsterkes for å møte strengere krav for snølast, men med usikkerhet på dimensjon og tilstand på fagverket må dette undersøkes ved demontering av bygget.
3. Stålet kan sendes til smelteverk og bli ombrukt ettersom stål er et sirkulært materiale som kan nyttest i andre, nye konstruksjoner og deler.

7.3.2 Eksisterende plasstøpt betong

Den plasstøpte betongen har få muligheter for ombruk. Dette gjelder alle betongkonstruksjonene, både gulv på grunn, søyler, etasjeskiller og vegger. Med manglende fukt- og radonsperre samt manglende isolasjon i gulv på grunn er det liten utnytting du får av å gjenbruke dette. Betongen har armeringsjern og armeringsmatter av stål som må skilles, men man vil da kunne sende stålet til smelting og betongmassen kan brukes som fylling enten i det nye prosjektet, eller bli fraktet til annen landfylling.

7.3.3 Fordeler med bygg i stål og betong

Største fordelen til et bæresystem i stål og betong, er at det er en utbredt byggetode i Norge, og de fleste entreprenører har god erfaring med denne metoden. Dette gir god konkurranse om prisene (kapittel 5.7), noe som fører til økonomisk gevinst. Det eksisterer også mange preaksepterte løsninger for betong som gjør prosjekteringsprosessen kortere enn en prosjektering med ingen preaksepterte løsninger. Kapasitet og styrke er enn fordel som gir lange spennvidder og øker bruk sområdene til materialene. Stål er fornybart, siden det kan smeltes ned og brukes på nytt. Betong har god bestandighet mot fukt og brann.

Ulemper kan være at bygget blir veldig tungt i forhold til andre systemer. Stål leder godt varme, som kan føre til sprekker i betongen. Ståldelene må derfor isoleres for å oppnå brannkrav ettersom stål mister bæreevne ved høy varme. Betongen er som nevnt tung og hard, noe som hindrer muligheten til å endre på formen til bygget etter montering. Miljømessig er ikke betongen gunstig. Ombruk er vanskelig siden elementene ikke er laget for dette og armeringen gjør det vanskelig å rive for å bruke om igjen.

7.3.4 Fordeler med bygg i massiv- og limtre

Fordelen med et bygg i massiv- og limtre er miljøgevinsten, dette kommer frem i kapittel 5.4. Materialene er fornybare og krever mindre ressurser enn betong og stål. Massiv- og limtre er også lettere enn stål og betong med tilsvarende kapasitet og styrke. Store elementer i massivtre gir kortere byggeprosesser siden delene ankommer klare til montering på byggeplass. Materialene er behandlet slik at de blir robuste og holder lave drifts- og vedlikeholdskostnader gjennom sin prosjekterte levetid. Brannkrav til trevirke er bra og det trengs oftest liten til ingen brannhemmende materialer for denne type konstruksjon.

Ulemper kan være blant annet trematerialene er utsatt for råte. Byggeprosessen må sikre at elementene holder seg tørre under lagring, og at de monteres riktig for å sikre at fuktigheten i materialet forblir lavt. Massivtreelementer må plasseres med veldig høy presisjon (<5 mm) på byggeplass og kan ikke modifiseres på byggeplass uten kontroll av ingeniør for styrke og bæreevne. Massivtre som bygningsmetode er også relativt nytt i bransjen, som vil si at erfaring er mindre enn tradisjonelle byggemetoder som kan føre til menneskelige feil. Tilgjengelighet i Norge kan også være et problem, noe som kan øke transportkostnader og miljøpåvirkning.

Massivtre har mindre kapasitet enn hulldekke og er i tillegg vanskelig å tilrettelegg til annet bruk senere ettersom den krever mer innvendige søyler og bjelker for å oppnå langt nok spenn. Eventuell endringer av utskjæringer og laster må godkjennes av en ingeniør for å sikre kapasitet.

7.3.5 Fordeler med prefabrikkerte elementer

Et fellestrekk for å velge enten massivtre eller prefab er redusert byggetid sammenlignet med standard plasstøpt betong. Fabrikproduserte elementer er klar for umiddelbar montering ved ankomst til byggeplass. Med forhåndslagde koblinger kan elementene enkelt og rask monteres sammen. Med ferdig element er det heller ikke behov for kapping, det er derfor svært lite svinn med elementer. Elementene kan demonteres i forbindelse med fremtidig vedlikehold, utbytting eller dekonstruksjon. Med slik allsidighet er det også mulig å flytte og omplassere bygget dersom dette er ønsket eller å ombruke deler av bygget til andre nye bygg. Krever derimot høy presisjon ved plassering av festeordning og dimensjon på element da det er krevende, eller ikke mulig å endre dimensjonen til elementene.

7.4 Miljøgevinst

Grønn byggallianse mener at fem tiltak må til for å halvere klimautslippene³:

- Rive mindre
- Mer ombruk
- Utslippsfrie byggeplasser
- Energieffektivisere eksisterende bygg

I denne rapporten er ombruk og mindre riving vurdert. Resultatene presenterer at utslippene er lave, men praktisk og logisk sett er det ikke den beste løsningen. For at ombruk/gjenbruk skal kunne fungere og gi mindre utslipp, må det eksisterende bygget også være i god stand. Dette tilfellet viser et gammelt bygg som er i enden av sitt livsløp, som vil være tilfellet for mange bygg om ombruk skal intensiveres videre. Samtidig må det også etableres nye metoder for bevaring og utbedring av de eksisterende byggene. Ombruk og mindre riving er positivt for miljøet, men det må utføres og planlegges på riktig måte både praktisk, miljømessig og økonomisk.

Byggalliansen nevner også at de vil ha utslippsfrie byggeplasser. Dette gjelder fossilfrie maskiner og biler. På samme måte som ombruk kan ikke dette hastes. Maskinene og verktøyene må være så utviklet at de kan brukes på samme måte som de nåværende maskinene.

³Grønn Byggallianse, Mar. 7, 2020 [7]

7.4.1 Bygge nytt

Med nye klimamål for å redusere utslipp og miljøpåvirkninger for byggeindustrien er det bevist at å renovere har et mindre avtrykk enn å bygge nytt.⁴ Ifølge artikkelen til Sintef kan et nybygg ha et klimautslipp på ca 6,3 kg CO_2e per m^2 hvert år mens et rehabiliterings prosjekt havner rundt 2,3 kg CO_2e per m^2 hvert år til sammenligning. En stor forskjell med levetid i hovedfokus etter konstruksjon. Nybygg kan også konstrueres med fokus på ombruk når forventet levealder eller bruket endrer seg over tid. Det kan da være mulighet å demontere bygget for så å bruke elementene i andre prosjekt eller å flytte bygget uten å måtte gjenbruke materialet og produsere nytt.

7.4.2 Levetid

Det kan differensieres med levetid om den er enten teknisk, funksjonell, estetisk eller økonomisk. Scenarioene produsert i denne oppgaven har en forventet levetid på 60 år som er minsteverdi for beregning av LCA for analyse av CO_2 belastning etter NS3720. Det er mulig å velge en lengre levetid som 100 eller 200 år og da vil CO_2 per år minske drastisk, men da faller en del av funksjonell levetid bort da det er vanskelig at forventet bruk holder seg likt fremover i tid. Ved en forventet levetid på 100 år vil CO_2 utslipp per år gå ned med omtrent 66 % i sammenligning med 60 år forventet. Det kan og dukke opp grunner i ettertid hvor forventet levetid kan minske til for eksempel 40 eller 50 år som vil øke utslipp per år.

NS 3454 er standard for LCC beregninger som skal vise konsekvensene av investering i form av forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling over et gitt tidsrom og er omtalt som "Livssykluskostnader for byggverk".⁵

LCC tar for seg restverdi i byggematerialer og inventar som er vurdert til en verdi av 0 i LCA etter levetiden er over og her kan man ved sirkulær økonomi få stor påvirkning på bygget og videre bruk av materialet. Dersom scenarioet med hulldekke blir valgt, er det mulig at hulldekke kan bli gjenbrukt i et annet prosjekt. Altså vil CO_2 utslippet bli redusert i neste prosjekt. Det er også mulig å gjenbruke material som massivtre, men med noe mer usikkerhet om hvilken suksess dette vil få.

7.4.3 Gjenbruk ved endt livsløp

Massivtreelementene er lite gunstig å gjenbruke grunnet den lave prisen på nytt trevirke og den høye prisen for demontering og transport. I de fleste tilfeller blir massivtreelementene energigjenvunnet. Dette er en prosess der elementene blir brent og varmen utnyttes i form av strøm eller oppvarming.

Hulldekkene i scenario 3 kan gjenbrukes, med forbehold om at det tilrettelegges for dette. Etasjeskillere i bygg står for mye av utslippene og det vil derfor spares

⁴Sintef, May 4, 2023 [30]

⁵S. Bjørberg, May 9, 2023 [31]

store mengder utslipp ved gjenbruk av hulledekkene. Dimensjonering for alternative laster må tas i betraktning for å sikre at de kan gjenbrukes i andre bygg.

De resterende delene i stål og betong blir resirkulert. Stålet smeltes og blir reprodusert som forskjellige stålprodukter. Den plasstøpte betongen kvernes opp og brukes som tilslag i ny betong eller som fylling.

7.5 Videre klimagassberegning og pris

Utforming og bruksområdet til bygget må tas i betraktning når man velger bæresystemet. Krav som inneklime, akustikk og utseende vil påvirke hvert alternativ forskjellig. Prefab-scenariot vil gå opp i utslipp og pris når innvendig kledning, isolasjon og fasade skal inkluderes i beregningene. Massivtrebygninger ferdigstilles som regel uten noen ekstra kledning innvendig og trenger da kun utvendig isolasjon og fasade. Massivtre kan også leveres ferdig isolert, og trenger kun da fasade. Grundig planlegging og prosjektering kan med gode valg spare både miljø og økonomi.

7.6 Videre prosjektering

Prosjekteringsprosessen videre bør bestå av å ta resultatene herfra i betraktning for å etablere hvilke muligheter som finnes for prosjektet. Deretter skal utslippene og prisen brukes som en eventuell mal for å bestemme materialvalgene til nybyggene. Løsninger for resterende deler annet enn bæresystemet må også bestemmes siden denne rapporten omhandler kun bæresystemet. Funnene her vil gi et godt grunnlag for miljøpåvirkningene som bidrar positivt til prosjekteringen.

Kapittel 8

Konklusjon

Klimagassregnskapet og kostnadsrammene til tre forskjellige scenarier er vurdert i denne oppgaven. Bygget er Ørsta kulturhus, som skal renoveres eller rives for å bygge nytt. Scenarioene består av tre forslag: ombruk av mulige materialer for å beholde hoveddelen av bygget og to forslag som foreslår riving, for å bygge nytt i massiv- og limtre eller i prefabrikkert-betong og stål. Resultatet for klimagasutslipp er sammenlignet opp mot hverandre, og med det eksisterende bygget som en referanse. One Click LCA er brukt til å foreta klimagassberegningene. Pris er beregnet ut fra vekt, m^2 og m^3 , programvaren brukt er Norsk prisbok. Modelene er laget i samme størrelse som eksisterende med forskjellige materialer. Kun bæresystemet er vurdert.

Resultatene viser at ombruk har mindre utslipp enn de to nye forslagene. Av de to nye forslagene gir scenario 2 massiv- og limtre minst utslipp inkludert riving av det eksisterende. Prefabrikkert hulldekke genererer 4 % mindre utslipp enn plaststøpt, så dermed er prefab mest miljøgunstig med liten margin. Prisene viser at ombruk koster minst. Prefab og stål er billigere enn massiv-limtre, med ca 6 millioner kroner.

Ombruk gir lavest utslipp og koster minst, men er ikke det beste alternativet. Tilstanden av det eksisterende bygget gjør at ombruk ikke er tilstrekkelig. Vannskader, og mangler i konstruksjonen hindrer dette. Det eksisterende bæresystemet er tilstrekkelig for ombruk, realistisk må så mye utbedres at det ikke er logisk å gå for dette.

Prefab og stål gir mer utslipp enn massivtre, men er mer økonomisk gjennomførbart og et lavt utslipp fra transport dersom det blir levert fra lokalprodusenten Spenncon. Etterarbeid for denne løsningen er mer omfattende enn massivtre, og vil derfor ta mer tid og ressurser. Prefab er beregnet med lavkarbonklasse A i utslippene, men ikke i prisen. Lavkarbonklasser er normalt 10 % dyrere enn standard betong. Stål trenger brannisolering for å bli akseptert til lengre brantilløp. Hulldekke har som fordel å ha lange åpne spenn uten behov for innvendig bæresystem som gir stor fleksibilitet til hva bygget vil bli brukt til. For de riktige

bygningene er dette et økonomisk gunstig alternativ, som har til fordel at betonelementene og stålet kan demonteres og bli gjenbrukt i andre prosjekt.

Massivtre gir mindre utslipp enn prefab med 19 tonn forskjell, derimot er det også nesten 6 millioner kroner dyrere. Det kan og forekomme en ekstra miljøkostnad i form av frakt av elementene ettersom det finnes få leverandører i Norge eller Norden som har stor kapasitet for produksjon av elementer. Fordelen er at ytterveggene og etasjeskillere kommer i hele elementer, som minimerer tidsbruken for å få bygget tett og starte innvendig arbeid. Det er derimot vanskeligere å gjøre endringer på plan av etasjene ettersom det foreligger bærende innervegger. Oppnåelse av lydkrav krever også mye arbeid som vil øke pris og utslipp. Ytterveggene krever kun utforing for fasadeplater og isolasjon på utsiden. Dette gjør at alle massivtreelementene havner på innsiden av klimaskallet, men som trevirke er det fortsatt utsatt for råte- og fuktskader.

Videre forskning på temaet kan bestå av å utføre detaljprosjektering av prosjektet. For å få det endelige totale utslippet, vil også samtlige andre deler av bygget påvirke utslippet. Dette gjelder vinduer, inventar i form av møbler, innervegger, himling, andre større utsparinger og yttervegger med isolasjon. Utslippene vil påvirke alle resultatene, og muligens endre utfallet eller forsterke resultatene presentert her.

Det konkluderes at scenario 2: Massiv- og limtre er det beste alternativet når resterende arbeid tas i betraktning.

Bibliography

- [1] Regjeringen. *Green Deal*. Feb. 7, 2020. URL: <https://www.regjeringen.no/no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/feb/green-deal/id2689681/>.
- [2] Grønn Byggallianse. *Sirkulær økonomi og nye avfallsdirektiver*. Mar. 7, 2023. URL: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Faktaark-Sirkul%C3%A6r-%C3%B8konomi.pdf>.
- [3] Miljødirektoratet. *Grønn giv fra EU (Green Deal)*. Mar. 2, 2023. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/internasjonalt/gronn-giv/>.
- [4] NHO. *Taksonomiens handlingsplan for bærekraft*. 2023. URL: <https://www.nho.no/tema/energi-miljo-og-klima/artikler/eus-taksonomi-og-handlingsplan-for-barekraftig-finans/b>.
- [5] Cederqvist Johnsen E.Egerberg. *Hva betyr taksonomien for bygg og eiendomssektoren?* Apr. 27, 2021. URL: <https://www.bygg.no/innlegg-hva-betyr-taksonomien-for-bygg-og-eiendomssektoren/1465523!/>.
- [6] Grønn Byggallianse. *BREEAM-Manual*. 2022. URL: <https://byggalliansen.no/sertifisering/om-breeam/manual-verktoy-og-hjelp/breeam-nor-manual-og-verktoy/#1608714201754-a01ff2a3-5d07>.
- [7] Grønn Byggallianse. *Klimakur for bygg og eiendom*. Mar. 7, 2020. URL: <https://byggalliansen.no/kunnskapscenter/publikasjoner/infopakkeklimakjempen/#1610543297137-52626392-aa00>.
- [8] Grønn Byggallianse Asplan Viak. *BREEAM-NOR v6.0 Pre-analyseverktøy v1.5*. Nov. 22, 2022. URL: byggalliansen.no.
- [9] Tekna. *krav til passivhus*. May 4, 2018. URL: <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/krav-til-passivhus/>.
- [10] SINTEF Byggforsk. *Generelt om passivhus, valg og konsekvenser*. 2022. URL: https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser.
- [11] TEK17. *TEK17 Veileder for klimagassregnskap*. 2017. URL: <https://dibk.no/byggtekniske-omrader/veileder-om-klimagassregnskap>.

- [12] Norsk massivtre. *Kantstilte element*. 2023. URL: <https://norskmassivtre.no/elementer/>.
- [13] Treteknisk. *Treteknisk håndbok*. 2006. URL: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/a-bygge-med-tre/massivtreelementer>.
- [14] Treteknisk. *Krysslagt element*. 2006. URL: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-3-Dimensjonering.pdf>.
- [15] Norsk Massivtre. *Brannegenskap massivtre*. Feb. 21, 2023. URL: <https://norskmassivtre.no/elementer/>.
- [16] Norvald Nesse. *resorsinollim*. Feb. 22, 2023. URL: <https://snl.no/resorsinollim/>.
- [17] Sverre Tronstad. *Limtre*. Feb. 21, 2023. URL: <https://snl.no/limtre/>.
- [18] Trefokus. *trefokus*. Feb. 21, 2023. URL: <http://www.trefokus.no/proff/artikler/materialer/limtre/>.
- [19] NS. *Biogent karbonlagring*. May 9, 2023. URL: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=698761>.
- [20] A. Almar-Ness J. Kjetil N. Christensen. *Stål*. Feb. 21, 2023. URL: <https://snl.no/st%C3%A5l/>.
- [21] Norsk stål. *Stålproduksjon*. Feb. 21, 2023. URL: <https://www.norskstaal.no/om-oss/miljoe-og-baerekraft/staalproduksjon-i-dag/>.
- [22] Norsk stål. *bjelke dimensjon*. Feb. 21, 2023. URL: <https://www.norskstaal.no/produkter/bjelker-og-formstaal/>.
- [23] I.Eide T. Årtun N. Nesse. *Sement*. May 3, 2023. URL: <https://snl.no/semment>.
- [24] Unicon. *Lavkarbonbetong*. May 4, 2023. URL: <https://www.unicon.no/produkter-tjenester/lavkarbonbetong/>.
- [25] Spenncon. *hulldekke*. May 4, 2023. URL: <https://spenncon.no/produkter/hulldekk/>.
- [26] Victoria Nørve Jenny Lee. *Massivtre og limtre kontra stål og betong: En sammenligningstudie av materialer i et bygg med henhold til klimagassregnskap og pris. Trondheim: NTNU*. 2022. URL: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2779547>.
- [27] Norconsult. *Om norsk prisbok*. May 3, 2023. URL: <https://www.norskprisbok.no/WhatIsNP.aspx>.
- [28] Norsk Standard. *Lydforhold i bygninger Lydklasser for ulike bygningstyper*. 2019. URL: [/16379110457002MainPdfns81752019no005.pdf](https://www.norskstandard.no/16379110457002MainPdfns81752019no005.pdf).
- [29] SINTEF Byggforsk. *522.891 Etasjeskillere i massivtre*. 2009. URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere\\$_i_\\$massivtre#i23](https://www.byggforsk.no/dokument/3367/etasjeskillere$_i_$massivtre#i23).
- [30] Sintef. *Norge bør satse på rehabilitering framfor nybygg*. May 4, 2023. URL: <https://www.sintef.no/siste-nytt/2020/norge-bor-satse-pa-rehabilitering-framfor-nybygg/>.

- [31] A. T. Salaj S. Bjørberg R. Sæterøy. *Total levetid på bygg*. May 9, 2023. URL: <https://www.bygg.no/innlegg-total-levetid-pa-bygg-har-stor-betydning-for-sirkulaer-okonomi-og-for-maloppnaelse/1525446/>.

Vedlegg

- **Excel fil:** Resultater One click
- **Excel fil:** Resultater Norsk Prisbok
- **Mappe:** Eksisterende plantegninger
- **Revit fil:** Modellene av scenario 1-3

