

Klimagassregnskap og energieffektivitet – hvor går grensen for lønnsomhet

Greenhouse gas accounting and energy
efficiency – where is the profitable limit

Emil Godtland Røe

Sigurd Hagerup Kristensen

Intern veileder:

Bozena D. Hrynyszyn

Ekstern veileder:

Snorre Bjørkum v/ Norgeshus AS

Prosjektnr.:

2022 - 14

Rapporten er ÅPEN

Trondheim Mai 2022

Prosjektbeskrivelse og resultatmål

Dagens prosjektering har stort fokus på energieffektivitet, tilgjengelighet og pris, mens det i mindre grad settes søkelys på klimagassutslipp. En analyse for klimagassutslipp har tidligere vært svært tidkrevende og omfattende. De siste årene har det derimot vært stor utvikling på denne fronten. Tidligere har en EPD (Environmental product declaration) blitt sett på som en kvalitetssikring av et produkt, men ikke vært benyttet til prosjektering i særlig grad. Når man i dag regner på et klimaregnskap blir det i stor grad benyttet EPD som datagrunnlag for analysen. Per i dag har bransjen en utfordring knyttet til maskinlesbarhet av EPD-dataene, men det er også utvikling på denne fronten.

Oppgaven tar utgangspunkt i et ferdig prosjektert kataloghus fra Norgeshus AS. Det skal utarbeides en oppgave som ser på variasjoner i klimagassutslipp ved forskjellige prosjekteringsgrunnlag. Som prosjektutvikler er det mange aspekter som skal vurderes sammen med valg av løsninger og materialer. Dagens metoder for klimagassberegning sentrerer i stor grad rundt beregning av klimagassutslipp, men det finnes ikke programvare som vurderer eksempelvis klima og energi mot hverandre. Klimagassutslipp må sees i sammenheng med andre faktorer for at man skal kunne sammenligne ulike materialer og byggemetoder på likt grunnlag.

Resultatmål:

- Omprosjektering av en standard enebolig til mer energieffektive løsninger.
- Beregne klimagassregnskap og se på energibruk ved ulik prosjektering ved hjelp av ulike verktøy som Reduzer og SIMIEN.
- Veie ulike løsninger opp mot klimautslipp og energibruk.
- Sammenligne resultatene og optimalisere prosjektering og utregning med fokus på klimagassutslipp.

| Stikkord | Keywords |
|----------------------|---------------------------|
| Klimagassregnskap | Greenhouse gas accounting |
| Energieffektivitet | Energy efficiency |
| Livskostnadsanalyser | Life cost analysis |
| Massivtrehus | Solid wood house |
| Passivhus | Passiv house |

Forord

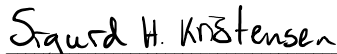
Denne bacheloroppgaven er skrevet våren 2022 ved Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk- naturvitenskaplige universitet. Bacheloren er den avsluttende oppgaven på den treårige utdanningen Bygg og miljø i Trondheim. Oppgaven utgjør 20 studiepoeng.

Studiet ved NTNU legger stor vekt på klima-, miljøvennlige og energieffektive løsninger. Utdanningen gir også grunnleggende innføring i økonomiske forhold rundt disse, både i et investerings- og livsløpsperspektiv. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Norgeshus og ser på hvordan faktorer som klimagassregnskap, energieffektivitet og økonomi påvirker hverandre.

Vi vil takke vår veileder Bozena D. Hrynyszyn for svært god støtte og veiledning gjennom arbeidet. Bozena har bidratt med kunnskap og engasjement, og vært en god støttespiller gjennom hele oppgaven. I tillegg rettes en stor takk til vår eksterne veileder Snorre Bjørkum fra Norgeshus AS. Han har bidratt med god faglig innsikt innenfor byggetekniske løsninger og gitt forståelse for hva bransjen etterspør. Vi ønsker også å rette en takk til Eirik Resch ved Reduzer. Eirik har bidratt med kompetanse om livsløpsanalyser og tolking av resultatene. Eirik har utviklet en programvare for beregning av klimagassutslipp, som vi har fått tilgang på i oppgaven. Vi vil også takke klassekamerater Sigrid R. Hogstad og Maja K. Rygge for at de har latt oss bruke noen av deres resultater.

Til slutt benyttes muligheten til å takke hverandre for godt samarbeid gjennom både studietiden og bacheloroppgaven.


Emil Godtland Røe


Sigurd Hagerup Kristensen

Sammendrag

Sommeren 2021 gikk Direktoratet for byggkvalitet, ut med et høringsforslag, som blant annet endringer i TEK17. En av endringene som foreslås, er at det skal komme krav om dokumentasjon av klimagassutslipp for noen prosjekter. På bakgrunn av dette, fremmet Norgeshus et ønske om å ligge i forkant av dette forslaget.

I denne oppgaven blir det utført klimagassregnskap, energisimuleringer og livskostnadsanalyser for tre bygg. Byggene baserer seg på et kataloghus fra Norgeshus, Dråpen Moderne. Referanseprosjektet er prosjektert for å oppfylle minstekravene i TEK17. Videre blir bygget omprosjektert til både massivtre- og passivhus. Byggenes resultater blir så sammenlignet og veiet opp mot hverandre. For å beregne klimagassregnskap benyttet gruppen seg av programvaren Reduzer. Dette er i skrivende stund ikke sluppet kommersielt, og gruppen har underveis i prosjektet tatt del i utvikling og utprøving av programmet. Energiberegningene for standard- og massivtrehuset ble gjennomført i SIMIEN, mens energisimuleringer for passivhuset ble utført parallelt i en annen bacheloroppgave (1). Kostnader over en periode på 60 år ble analysert gjennom livssyklus kostnader for alle bygg.

Massivtrehuset viste seg å ha det laveste klimagassutslippet gjennom byggets levetid. Dette er på grunn av færre produkter og synlige overflater. Passivhuset fikk noe høyere utslipp enn standardhuset, selv om utslippene knyttet til ekstra tekniske installasjoner på passivhuset ikke ble medregnet. I et livsløpsperspektiv kom standardhuset best ut økonomisk. Det var forventet at passivhuset skulle komme best ut på grunn av kostnadsbesparelsen av energi over 60 år sammenlignet med de andre byggene. Det viste seg at ekstrakostnadene knyttet til de tekniske anleggene for passivhuset utgjorde en større sum enn besparelsen av energi.

Basert på resultatene vil standardhuset være den best investeringen, dersom livsløpskostnader veier tyngst. Hvis klimagassutslipp og innemiljø veier tyngst, er massivtre det beste alternativet.

Abstract

Early summer 2021, the Norwegian Directorate of building quality presented a proposal of potential changes to “Byggteknisk forskrift”. One of the proposed changes is that there will be requirements for documentation of greenhouse gas emission for some projects. Norgeshus AS desired to be ahead of this proposal.

In this thesis, greenhouse gas accounting, energy simulations and life cycle cost analysis will be performed on three different buildings. These three buildings are based on a catalog house from Norgeshus. The catalogue house is designed to meet the requirements of TEK17. Furthermore, the building was redesigned to both solid wood and passive houses. The buildings’ results were then analyzed and compared to each other.

To calculate greenhouse gas emissions, the group decided to try the new software, Reduzer. As of May 2022, the software has not yet been released commercially. The group has therefore taken part in pilot testing and developing of the software. The energy calculations for the standard- and solid wood house were conducted in SIMIEN, while the passive house simulations were done by another bachelor group simultaneously (1). Total costs over a period of 60 years were analyzed through life cycle costs analysis for all the buildings.

The solid wood house turned out to have the lowest GHG emissions throughout the lifetime of the buildings. This is because of fewer products and visible surfaces. The passive house received slightly higher emissions than the standard house, even though emissions from technical installations were left out. From a lifecycle perspective, the standard house came out as the best option over 60 years, financially. It turned out that the extra costs from the technical installations in the passive house amounted to a larger sum than it saved from energy consumption.

Based on these results, the standard house designed to meet the requirements of TEK17 will be the best investment. If your choice is based on a climatical view, the solid wood will be the best option.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----|
| Forord | I |
| Sammendrag..... | II |
| Abstract..... | III |
| Figur- og tabell-liste | VII |
| Forkortelser og definisjoner | IX |
| 1 Introduksjon..... | 1 |
| 1.1 Bakgrunn for tema | 1 |
| 1.2 Oppgaven..... | 3 |
| 1.3 Programvare | 3 |
| 1.3.1 Simien 6..... | 3 |
| 1.3.2 Reduzer | 3 |
| 1.3.3 Holte SmartKalk | 4 |
| 1.4 Dråpen | 4 |
| 2 Teori..... | 5 |
| 2.1 Energi og miljø | 5 |
| 2.1.1 Klimaendringer..... | 5 |
| 2.1.1 Klimapåvirkning av byggebransjen | 6 |
| 2.2 Livsløpsanalyse..... | 7 |
| 2.2.1 EPD..... | 7 |
| 2.3 Foreslåtte endringer i TEK17 og SAK10..... | 9 |
| 2.3.1 Endringer i TEK17..... | 9 |
| 2.3.2 Endringer i SAK10..... | 11 |
| 2.4 Byggemetoder..... | 12 |
| 2.4.1 Bindingsverkshus | 13 |
| 2.4.2 Massivtre | 13 |
| 2.4.4 Alternativer til dagens bindingsverk..... | 14 |

| | | |
|-------|---|----|
| 2.5 | Passivhusstandarden | 16 |
| 2.6 | Bygningsfysikk | 17 |
| 2.6.1 | U-Verdi | 17 |
| 2.6.2 | Kuldebroer | 18 |
| 2.6.3 | Fukt i bygg | 19 |
| 2.6.4 | Lekkasjetall | 20 |
| 2.7 | Økonomi | 21 |
| 2.7.1 | Livssyklus kostnader | 22 |
| 3 | Metode | 24 |
| 3.1 | Litteratursøk | 24 |
| 3.2 | Avgrensninger | 24 |
| 3.3 | Fremgangsmåte | 26 |
| 3.4 | Prosjekteringsgrunnlag | 27 |
| 3.4.1 | Dråpen moderne prosjektert etter minimumskravene i TEK 17. | 27 |
| 3.4.2 | Dråpen moderne prosjektert som massivtrehus | 29 |
| 3.4.3 | Dråpen moderne prosjektert som passivhus | 31 |
| 4 | Resultat | 33 |
| 4.1 | Klimagassregnskap | 33 |
| 4.1.1 | Dråpen moderne | 34 |
| 4.1.2 | Massivtre | 35 |
| 4.1.3 | Passivhus | 36 |
| 4.2 | Energisimuleringer | 37 |
| 4.2.1 | Dråpen moderne | 37 |
| 4.2.2 | Massivtre | 39 |
| 4.2.3 | Passivhus | 41 |
| 4.3 | Livssyklus kostnader | 42 |
| 4.3.1 | Dråpen Moderne | 43 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.2 | Dråpen Massivtre..... | 43 |
| 4.3.3 | Dråpen Passivhus..... | 43 |
| 4.4 | Materialvalg..... | 45 |
| 4.4.1 | Fasadekledning..... | 45 |
| 4.4.2 | Isolasjonsmaterialer..... | 47 |
| 5 | Diskusjon..... | 50 |
| 5.1 | Resultater..... | 50 |
| 5.1.1 | Standard utforming..... | 50 |
| 5.1.2 | Massivtre..... | 50 |
| 5.1.3 | Passivhus..... | 51 |
| 5.2 | Sammenligning av resultatene..... | 52 |
| 5.3 | Klimagassregnskap..... | 55 |
| 5.4 | Energisimuleringer..... | 57 |
| 5.5 | Livssyklus kostnader..... | 58 |
| 5.6 | Materialvalg..... | 59 |
| 5.7 | Programvarer..... | 61 |
| 5.8 | Diskusjon av metode..... | 62 |
| 5.9 | Feilkilder..... | 63 |
| 6 | Forskning og utvikling av teknologi..... | 65 |
| 7 | Konklusjon..... | 66 |
| 8 | Videre arbeid..... | 67 |
| | Referanser..... | 69 |
| | Vedlegg..... | 72 |

Figur- og tabell-liste

| | |
|--|----|
| Figur 1: Tankekart rundt valg av tema produsert av gruppen..... | 1 |
| Figur 2: Illustrasjon av hypotesen utviklet av gruppen..... | 2 |
| Figur 3: Dråpen moderne (4) Illustrasjon: Norgeshus. | 4 |
| Figur 4: Endringer i global gjennomsnittstemperatur. Av Rasmus Benestad, meteorologisk institutt. Lisens: CC BY NC SA 3.0 (8) | 6 |
| Figur 5: Eksempel på bindingsverk. | 13 |
| Figur 6: Eksempel massivtreelement..... | 14 |
| Figur 7 Mollier diagram (29) | 20 |
| Figur 8 Effekten av redusert lekkasjetall (30) | 21 |
| Figur 9: Oppbygning av yttervegg ved standard utforming..... | 28 |
| Figur 10: Yttervegg i massivtre. | 30 |
| Figur 11: Oppbygning av kompakttak i massivtre..... | 31 |
| Figur 12: Klimagassregnskap for Dråpen standard..... | 34 |
| Figur 13: Klimagassutslipp for Dråpen massivtre. | 35 |
| Figur 14: Klimagassregnskap for Dråpen passivhus..... | 36 |
| Figur 15: Investeringskostnader for de ulike byggene..... | 43 |
| Figur 16: Nåverdien av alle byggene..... | 44 |
| Figur 17: Totalt utslipp av CO ₂ e fra de ulike fasadeproduktene..... | 45 |
| Figur 18: LCC-analyse av ulike typer kledning. | 46 |
| Figur 19: Utslipp for 1m ² av ulike isolasjonsmaterialer når R=5,0..... | 48 |
| Figur 20: Priser på isolasjon inkludert montering..... | 48 |
| Figur 21: Samlede resultater..... | 52 |
| Figur 22: Sammenligning av de totale klimagassutslippene..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Tabell 1: Standardoppsett for de ulike stadiene i en EPD. Basert på figur 4 i NS3720:2018. (18). | 8 |
| Tabell 2: Bygningsdeler som skal dokumenteres (2). | 10 |
| Tabell 3: Minimumskrav til energieffektivitet (19). | 12 |
| Tabell 4: Krav til passivhus (24)..... | 16 |
| Tabell 5: Bokstavsymboler benyttet i kalkulasjonsmetodikken basert på NS 3454:2013 (31). | 23 |
| Tabell 6: Inngangsverdier standardhuset. | 37 |
| Tabell 7 Evaluering av Dråpen Moderne mot minstekrav gitt i TEK17. Foto: Skjermdump. | 38 |
| Tabell 8 Evaluering av Dråpen Moderne mot Energiramme gitt i TEK17. Foto: Skjermdump. | 38 |
| Tabell 9: Inngangsverdier massivtrehus. | 39 |
| Tabell 10: Evaluering mot minstekrav i TEK17. Foto: Skjermdump..... | 40 |
| Tabell 11: Evaluering av Dråpen Massivtre mot Energiramme gitt i TEK17. Foto: Skjermdump. | 40 |
| Tabell 12: Inngangsverdier passivhus. | 41 |
| Tabell 13: Tykkelser og egenskaper for isolasjonstyper i analysen. | 47 |
| Tabell 14: %-vis endring sammenlignet mot referanseprosjektet | 53 |

Forkortelser og definisjoner

| | |
|-------------------|---|
| BRA | Bruksareal, summen av arealet i alle måleverdige rom. |
| BTA | Bruttoareal, summen av alt areal ink. yttervegger. |
| CO ₂ e | CO ₂ ekvivalenter. Et felles mål for klimagassutslipp. |
| DiBK | Direktoratet for byggkvalitet. |
| EPD | Environmental product declaration. Dokument på klimagassutslipp for et produkt. |
| FDV | Forvaltning, drift og vedlikehold. |
| GWP | Global warming potential. Lik betydning som CO ₂ e. |
| K-verdi | Sum av varmetap for alle kuldebroer delt på BRA. Normalisert kuldebroverdi. |
| LCA | Livssyklusanalyser. |
| LCC | Livskostnadsanalyse. |
| Nåverdi | Dagens verdi av et fremtidig pengebeløp. |
| PHPP | Passiv House Planning Package |
| Realrente | Nominell rente justert for usikkerhet og risiko. |
| TEK | Byggeteknisk forskrift. |
| U-verdi | Et mål på hvor mye varme som slippes gjennom et material. |
| Årskostnad | Summen av alle nåverdier fordelt over hele analyseperioden. |

1 Introduksjon

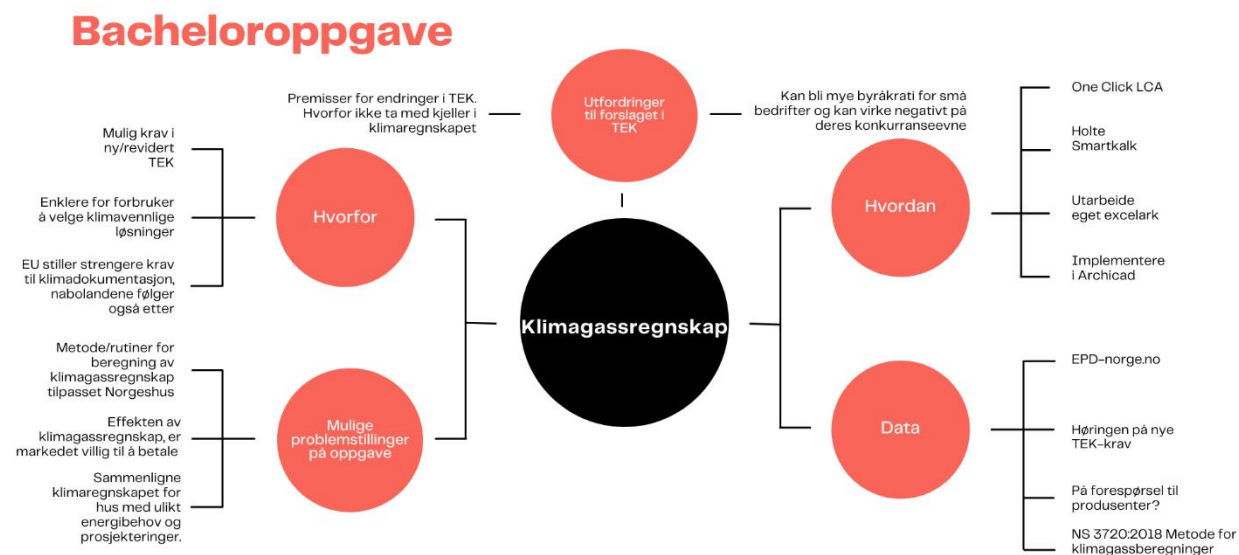
1.1 Bakgrunn for tema

DiBk har på oppdrag fra regjeringen publisert et forslag til endringer i TEK17. Disse endringene er nå ute på høring, og inneholder nye krav knyttet til energi og klima. Et utdrag fra høringsnotatet lyder som følger:

Kapittel 14 er foreslått supplert med krav til dokumentasjon av klimagassutslipp fra materialer (klimagassregnskap) for boligblokk og yrkesbygg. Erfaringene fra slik dokumentasjon vil legge til rette for at det i fremtiden kan utformes krav til utslippsnivået for disse byggene og at krav om klimagassregnskap også kan utvides til å omfatte flere bygningskategorier, som småhus (2).

Med grunnlag i høringen fremmet Norgeshus et ønske om å ligge i forkant. De ønsket også å utforske hvilke muligheter som finnes når det kommer til beregning av klimagassregnskap.

I veien frem mot tema produserte gruppen et tankekart, hvor problemstillinger, utfordringer og løsninger ble presentert og reflektert.

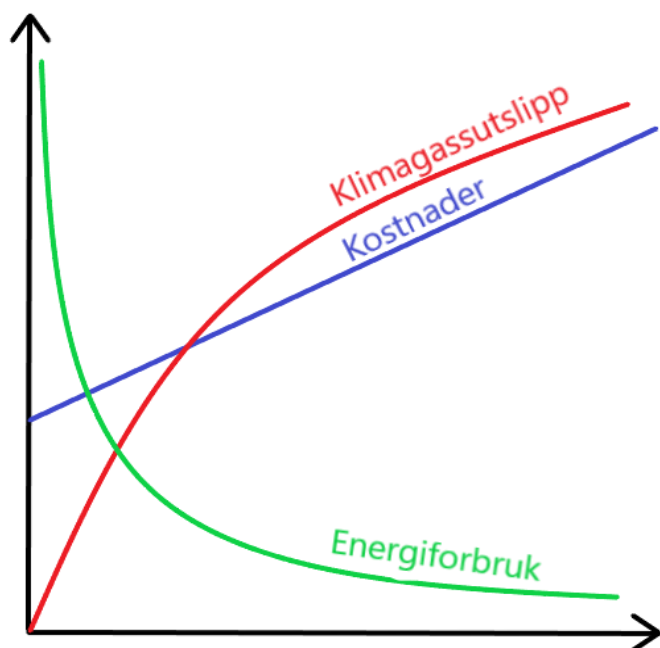


Sigurd Kristensen og Emil Røe skal våren 2022 skrive bacheloroppgave for Norgeshus. Temaet for oppgaven er klimagassregnskap. Over presenteres ulike momenter knyttet til dette temaet.

Tankekartet er utarbeidet før skrivingen av oppgaven og er ment som et hjelpemiddel for å samle ulike ideer og problemstillinger vi ser knyttet til temaet for oppgaven.

Figur 1: Tankekart rundt valg av tema produsert av gruppen.

Ekstern veileder kom så med et forslag, hvor man ser på endringene i klimagassutslipp ved forskjellig prosjektering. Gruppen kom da med en teori om at det finnes et område med løsninger hvor man tar hensyn til klimagassutslipp, kostnader og energieffektivitet. Teorien og sammenhenger rundt dette er forsøkt forklart i figuren under.



Sammenheng mellom klimagassutslipp, kostnader og energiforbruk for et bygg

Figur 2: Illustrasjon av hypotesen utviklet av gruppen.

Helt til venstre på den horisontale aksen har man et enkelt uisolert bygg. Dette bygget vil være rimeligere å bygge og ha et lavere klimagassutslipp ved bygging. Bygget kreve mye energi til oppvarming. Dersom man isolerer bygget bedre, eller installerer tekniske installasjoner for lavere oppvarmingsbehov og energibruk, vil kostnadene og klimagassutslippet øke.

Klima og miljø vil med stor sannsynlighet få et enda større fokus i byggebransjen i årene fremover. Gjennom prosjektarbeidet ønsker gruppen å lære mer om hvordan en kan prosjektere gode bygg med tanke på pris, energieffektivitet og lavt klimaavtrykk.

1.2 Oppgaven

Målet med oppgaven er å se hvordan klimagassutslipp, kostnader og energieffektivitet ved ulike prosjekteringer påvirkes når det prosjekteres mer energieffektive bygg. Et standard kataloghus fra Norgeshus omprosjekteres til ett massivtre- og passivhus. Gjennom beregning av klimagassutslipp, energieffektivitet og kostnadsanalyser, undersøkes omfanget av hvordan de ulike byggemetodene påvirker klimaet, og om det lønner seg over lengere tid. Simuleringer og beregninger utføres blant annet ved hjelp av SIMIEN, Smartkalk, Excel, og den nyutviklede programvaren Reduzer.

Oppgaven tar for seg relevant bakgrunnsteori, metode for gjennomføring og oppbygning av de ulike scenarioene. Videre framlegges resultatene fra beregningene og simuleringene. Resultatene sammenlignes, og det presenteres anbefalinger rundt valg av byggemethode.

1.3 Programvare

1.3.1 Simien 6

Simien er et digitalt verktøy som brukes til å blant annet utføre energisimuleringer av bygninger. Det er utformet etter kravene som stilles i byggt teknisk forskrift, og beregningene er basert på NS3031:2014 (3). Programvaren brukes til å blant annet beregne energimerking, årlig energibehov og sjekke bygg opp mot krav i TEK17 eller NS3700/3701. Programmet er utviklet i Norge av Programbyggerne AS, som i 2019 skiftet navn til Simenergi AS (3). Gruppen har valgt denne programvaren da den er ledende innenfor segmentet. Samtidig har gruppen kjennskap til programvaren fra tidligere emner.

1.3.2 Reduzer

Reduzer er en programvare for beregning av klimagassutslipp, utviklet av Eirik Resch. Eirik har skrevet en doktorgrad rundt utvikling og pålitelighet av metoder for beregning av klimagassutslipp fra materialer. Programvaren lar brukeren se klimagassutslippet basert på material- og komponentvalg. Brukeren kan bygge opp egne komponenter bestående av produkter og materialer som hentes fra en egen database med digitaliserte EPD'er. Reduzer er per mai 2022 ikke sluppet for kommersiell bruk.

1.3.3 Holte SmartKalk

Holte SmartKalk er et kalkyleverktøy som lar deg beregne kalkyler for alle typer bygg. Kalkyleverktøyet er basert på NS3420, med oppbygning av bygningselementer, poster og ressurser. Programvaren er bygd opp ved at elementer legges inn i aktuelle bygningsdeler. Hvert element består av ulike poster. I hver post legges produkter og ressurser. Ressurser kan bestå av produkter, arbeidstimer og andre kostnader. Holte henter priser fra eksterne leverandører og tilbyr en stor database som oppdateres jevnlig. Brukere har mulighet til å bygge opp egne elementer, bestående av poster og ressurser.

1.4 Dråpen

Dråpen er et kataloghus fra Norgeshus AS tegnet av arkitekt Jon Birger Grytdal (4). Huset har et bruksareal på 139,9 m² over to plan. Det er prosjektert i tre forskjellige uttrykk; Original, Moderne og Tradisjon. Dråpen Moderne, som er grunnlaget i denne oppgaven, er utformet i funkis-stil, med flatt tak, store vindusflater og en stor veranda i 2. etasje.

Grunn og fundamenteringen består av ringmur med plate på mark. Ytterveggene består av isolert bindingsverk med platekledning på innsiden og stående panel på utsiden, mens yttertaket er bygd som et flatt rettventd kompakttak. I kapittel 3.4.1 beskrives mer detaljert oppbygning av bygningselementene.



Figur 3: Dråpen moderne (4) Illustrasjon: Norgeshus.

2 Teori

I dette kapitlet presenteres teori som legges til grunn for utredningen av oppgaven.

Teoridelen presenterer kunnskap som vil øke forståelsen hos leseren rundt arbeidet som er gjort og resultatene som blir presentert.

2.1 Energi og miljø

Energi og miljø blir ofte omtalt sammen. På nettsiden for studieprogrammet Energi og Miljø ved NTNU beskrives sammenhengen slik; «Klimautfordring er vår tids kanskje største utfordring, og den er nært knyttet til vår bruk av energi» (5). Dette utsagnet forklarer hvordan energi og miljø henger sammen.

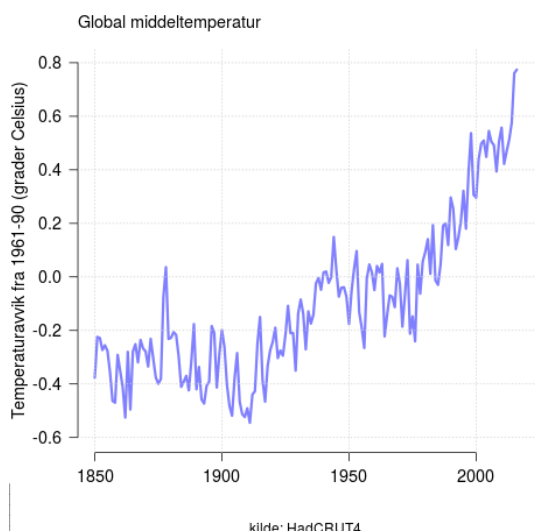
Miljø defineres av Store Norske Leksikon som «omgivelser eller ytre livsvilkår» (6). Miljø kan ha ulik betydning avhengig av hvilken sammenheng det ses i.

Ofte kan en høre utsagn som; «Byggebransjen bidrar til store klimagassutslipp som påvirker det globale miljøet.», «I nybygg er det viktig å velge gode materialer og gode løsninger for utskifting av luft, slik at innemiljøet blir behagelig.» Begge disse utsagnene omhandler miljø, men siden konteksten er forskjellig, vil de også beskrive to forskjellige problemstillinger. Felles for begge er at omgivelsene er den faktoren som påvirkes.

Energi blir ofte definert som det som får ting til å skje, i denne oppgaven er energi primært knyttet til strøm og andre varmekilder. Energiforbruket vårt påvirker miljøet ved at økt energibruk fører til økt klimagassutslipp.

2.1.1 Klimaendringer

Klimaendringer er endringer i hvor ofte ulike væertyper oppstår. Endringer i middelverdier av temperatur, nedbør og vind er eksempler på klimaendringer. Klimaendringer kan også sees på gjennom hyppigheten av ekstremvær. På 1750-tallet begynte mennesker å utføre temperaturmålinger med termometer. Siden den gang har den globale middeltemperaturen økt med omkring 1,1°C, ifølge den sjette klimarapporten fra FN (7). Mesteparten av denne økningen har funnet sted etter 1950 og skyldes blant annet økt innhold av drivhusgasser i jordens atmosfære. Økningen er knyttet til menneskelig aktivitet (8).



Figur 4: Endringer i global gjennomsnittstemperatur. Av Rasmus Benestad, meteorologisk institutt. Lisens: CC BY NC SA 3.0 (8)

Klimaet har så lenge mennesket har eksistert, variert, og det kan ofte forekomme store forskjeller i gjennomsnittstemperatur i to påfølgende år. Dette kalles for klimavariasjoner. Klimavariasjoner og klimaendringer beskriver hvordan klimaet er ulikt fra periode til periode. Ofte er det mer relevant å se på klimaendringer i et lengre perspektiv og klimavariasjoner i et kortere perspektiv som fra år til år (8).

2.1.1 Klimapåvirkning av byggebransjen

På verdensbasis står bygg- og anleggssektoren for om lag 40 % av verdens klimagassutslipp. I Norge står bygg- og anleggsbransjen for om lag 15,3% av klimagassutslippene. Det finnes i Norge lover og forskrifter som byggebransjen må følge ved oppføring av nye bygg. Minimumskravene til energieffektivitet gjør at de er relativt energieffektive, og energibruk utgjør kun 11% av bransjens klimagassutslipp (9, 10).

Norge har gjennom klimaloven et mål om å bli klimanøytralt innen 2030, og om å bli et lavutslippssamfunn innen 2050. I tillegg har Norge forpliktet seg til å redusere utslippene med minst 50% til 55% innen 2030, sammenlignet med utslippene på 90-tallet (11).

For å etterkomme disse målene må byggenæringen bidra til å redusere sitt klimagassutslipp. Ett steg i riktig retning vil være at man tidlig i prosjekteringsfasen får en oversikt over hvor mye utslipp prosjektet vil medføre, og hvor man kan gjøre besparelser. I tillegg vil tilrettelegging for, og gjenbruk av materialer og komponenter bidra til mindre produksjon, og motivere til å bruke mer klimavennlige materialer.

2.2 Livsløpsanalyse

En livsløpsanalyse, eller en LCA (Life cycle assessment) omfatter systematiske analyser av menneskers eller produkters livsløp. Et livsløp kan omfatte flere livssykluser. Når materialer og produkter gjenvinnes og brukes etter endt levetid, starter de på en ny livssyklus. For byggenæringen er det naturlig å se på produkters livsløp når en beregner klimagassregnskap. Analyser av produkters livsløp gjennomføres ved å se på miljømessige konsekvenser knyttet til produktet, produksystemet eller en aktivitet. Dette gjøres ved å identifisere og beskrive energi- og materialforbruket, avfall og forurensning til miljøet, samt analysere konsekvensene av disse faktorene (12).

Analysene ser på hele livsløpet til produktet. Ofte brukes begrepet «cradle to grave», på norsk, «krybbe til grav». Dette inkluderer uttak av råvarer, produksjon, distribusjon, bruk, gjenbruk, vedlikehold, resirkulering og til slutt kassering av produktet.

Metoden for livsløpsanalyser er internasjonalt standardisert gjennom ISO 14040/14044. Miljøpåvirkningene summeres opp og oppgis per enhet produkt eller per enhet tjeneste. Innen byggenæringen kan slike enheter eller produkter defineres som funksjonelle enheter. Eksempler på slike enheter kan være alt fra byggevarematerialer, ulike konstruksjonstyper til hele bygninger. Det er viktig at den funksjonelle enhetene er klart definert og målbar (13). LCA dekker ikke alle typer miljøpåvirkninger og innebærer flere forenklinger og usikkerheter (14).

For byggebransjen har byggforsk utarbeidet et datablad om livsløpsvurdering, 470.101 «Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper». Dette databladet er fra september 2014 og utarbeidet med hensyn til kravene i TEK10. For byggenæringen deles metoden for livsløpsvurdering i fire faser; fastsetting av hensikt og omfang, livsløpsregnskapsfase, livsløpseffektvurderingsfase og tolkningsfasen (13).

2.2.1 EPD

En EPD er et dokument som verifiserer et produkts miljøpåvirkning gjennom dets livsløp. En miljødeklarasjon (EPD) bygger på en LCA. Næringslivets stiftelse for Miljødeklarasjoner (EPD-Norge) ivaretar EPD-ordningen og er programoperatør for miljødeklarasjonene i Norge (15). En EPD er et dokument som oppsummerer miljøprofilen til et produkt, en tjeneste eller en komponent på en standardisert og objektiv måte.

Forkortelsen EPD brukes både i Norge og internasjonalt, og står for *Environmental Product Declaration*. Kravene til hvordan en EPD skal lages og utformes er spesifisert i ISO standarden 14025. En EPD lages på grunnlag av en livsløpsanalyse. Standardiserte metoder sikrer at miljøinformasjon innen samme produktkategori lar deg sammenligne produkter fra ulike leverandører, uavhengig av land. Hensikten er at brukere og konsumenter skal kunne sammenligne miljøprofil og at miljødeklarasjonen skal hjelpe kunden med å ta et valg (16). Per 28.03.22 finnes det 1872 EPD-er tilgjengelig på EPD-Norge sine hjemmesider. Foruten byggevarer finnes det også EPD'er på møbler, energi, emballasje og kjemikalier.

EPD-er deles opp i to hovedtyper; spesifikke produkt-EPD'er og gjennomsnitts-EPD'er. De spesifikke produkt EPD'ene kan igjen deles opp i to typer; EPD for et produkt og prosjekt EPD. Disse skiller ved at spesifikke produkt EPD'er lages for et spesifikt produkt fra en produsent, med et eller flere scenarioer for representativ transport. Gjennomsnitts EPD'er lages ved å se på snittet av flere lignende produkter. Det kan for eksempel være ulike tykkelser av samme produkt. Produktene trenger ikke nødvendigvis å være fra samme produsent for at EPD'en skal være gyldig, men variasjonsbredden i miljøutslippene kan ikke variere mer en +/-10%. Det er likevel et unntak til denne regelen; dersom det er en gjennomsnitts-EPD hvor flere produsenter går sammen om å deklare samme type produkt. I dette tilfellet er det god praksis å oppgi variasjonsbredden (17).

I likhet med livsløpsanalyser deles også EPD'er opp i faser og underfaser. Tabellen under viser en oversikt over de ulike stadiene og underfasene som er standard for en EPD.

Tabell 1: Standardoppsett for de ulike stadiene i en EPD. Basert på figur 4 i NS3720:2018. (18).

| Produktstadiet | | | Gjennomføringsstadie | | | Bruksstadiet | | | | | Livsløpets sluttstadium | | | |
|----------------|-----------|-------------|----------------------|------------------------------|------|--------------|------------|------------|------------|-------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|--|
| | | | | | | | | | | | | | | |
| Råmaterialer | Transport | Tilvirkning | Transport | Konstruksjon og installasjon | Bruk | Vedlikehold | Reparasjon | Utskifting | Renovering | Demontering | Transport | Avfallsbehandling | Avfall til sluttbehandling | |
| A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | C1 | C2 | C3 | C4 | |

2.3 Foreslåtte endringer i TEK17 og SAK10

Høringsforslaget fra 2021 foreslår i korte trekk å gjøre endringer i TEK 17 – kapittel 9 og 14, samt endringer i SAK10 - kapittel 5, 8 og 12. Endringene i TEK17 innebærer en supplering til eksisterende krav, som bidrar til reduserte klimagassutslipp og bedre ressursutnyttelse.

Høringsforslaget omhandler også en presisering av bestemmelsen om energifleksible varmesystemer. Det foreslås også et krav til dokumentasjon av klimagassutslipp for boligblokk og yrkesbygg, med mulighet til å utvide til mindre boliger senere. I tillegg er det foreslått å fjerne kravet om skorstein i eneboliger som ikke er tilknyttet vannbåren varme.(2)

Endringsforslagene i SAK10 er en direkte konsekvens av endringene i kapittel 9 i TEK17. De omhandler krav til dokumentasjon, ansvar og ferdigattester.

2.3.1 Endringer i TEK17

Et utvalg av foreslåtte, relevante endringer i TEK17 er presentert under (2):

- Kapittel 14 skal omdefineres til «Energi og klimagassutslipp»
 - o Det foreslås et krav til dokumentasjon av klimagassregnskap for trinnene som bidrar med mest i løpet av levetiden for større bygg. Det inkluderes også et frivillig alternativ for å oppfylle energikravene. Dette alternativet vil redusere klimagassutslipp fra materialer i bygg.
- Ny § 14-1 skal hete: Generelle krav.
 - o Endringer: Bygninger skal prosjekteres og utføres med tilretteleggelse for forsvarlig energibruk og lavt klimagassutslipp. Forslaget inkluderer et alternativ med å redusere klimagassutslipp fra materialer, og et obligatorisk krav til dokumentasjon av klimagassregnskap for boligblokker og yrkesbygg.
- § 14-4 fjerde ledd fjernes.
 - o Forslag om å fjerne krav om skorstein for boliger uten tilknytning til vannbåren varme. Dette medfører mindre materialbruk til skorstein og færre kuldebroer.
- Forslag til ny § 14-6: «Klimagassutslipp fra materialer».
 - o Det skal gjøres et klimagassregnskap basert på NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger for boligblokker og yrkesbygg. Klimagassregnskapet skal minimum inneholde modulene A1-A3 og B4-B5 for bygningselementene angitt i tabellen under.

Kjelleretasjer kan utelates i klimagassregnskapet. I første omgang vil det kun gjelde yrkesbygg og boligblokker, men legger til rette for at også andre bygningstyper som småhus også skal kunne dokumenteres i fremtiden. Under vises en oversikt over hvilke bygningsdeler som er foreslått med i klimagassregnskapet.

| Bygningsdel*) | Bygningselement | Bygningsdel*) | Bygningselement |
|----------------------|------------------------|----------------------|---|
| 22 | <i>Bæresystemer</i> | 222 | <i>Søyler</i> |
| | | 223 | <i>Bjelker</i> |
| 23 | <i>Yttervegger</i> | 231 | <i>Bærende yttervegger</i> |
| | | 234 | <i>Vinduer, dører, porter</i> |
| | | 235 | <i>Utvendig kledning og overflate</i> |
| 24 | <i>Innervegger</i> | 241 | <i>Bærende innervegger</i> |
| | | 243 | <i>Systemvegger, glassfelt</i> |
| | | 244 | <i>Vinduer, dører, foldevegger</i> |
| 25 | <i>Dekker</i> | 251 | <i>Frittstående dekker</i> |
| | | 252 | <i>Gulv på grunn</i> |
| | | 255 | <i>Gulvoverflate</i> |
| | | 256 | <i>Faste himlinger og overflatebehandling</i> |
| 26 | <i>Yttertak</i> | 261 | <i>Primærkonstruksjon</i> |
| | | 262 | <i>Taktekking</i> |

^{*)} Tallene refererer til norsk standard NS 3451:2009+A1:2019 Bygningsdelstabell

Tabell 2: Bygningsdeler som skal dokumenteres (2).

- Det foreslås også en grense på 6 kg CO₂e/m² BTA/år for boligblokker og en grense på 4,5 kg CO₂ e/m² BTA/år for yrkesbygg. Dersom denne grensen innfris, kan bygget avvike fra minstekravene.

2.3.2 Endringer i SAK10

Endringene foreslått i SAK10 kommer som en direkte konsekvens av endringene i kapittel 9 i TEK17. Endringene er som følger(2):

- § 5-5. Dokumentasjon som skal foreligge i tiltaket
 - o Under punkt h) skal det i tillegg til dokumentasjon på deponering av avfall og avfallsplan vedlegges en miljøkartleggingsrapport, jf. Byggteknisk forskrift § 9-6, 9-7 og 9-9.
 - o I tillegg foreslås det å opprette et punkt i) dokumentasjon av klimagassregnskap. Jf. Byggteknisk forskrift §14-6
- § 8-1. Ferdigstillelse og tiltak
 - o Der det kreves avfallsplan eller miljøkartleggingsrapport, skal sluttrapport som dokumenterer faktisk deponering av avfall vedlegges søknad om ferdigattest.
- §12. Ansvarlig søkers ansvar
 - o §12-2
 - n) påse at det blir utarbeidet klimagassregnskap over faktisk bruk av byggematerialer jf. Byggteknisk forskrift §14-6 første ledd.
 - o §12-3 Ansvarlig prosjekterende ansvar
 - K) at det blir utarbeidet nødvendig for utarbeidelse av klimagassregnskap.
 - o §12-4 Ansvarlig utførenes ansvar
 - Utarbeide et klimagassregnskap som dokumenterer faktisk medgått bruk av byggematerialer.

Det foreslås altså at det legges til punkter som omhandler krav til miljøkartleggingsrapport og klimagassregnskap med tilhørende ansvar.

2.4 Byggemetoder

I Norge har hus med steinmur som fundament, laftet tømmerkasse og torvtak blitt datert så langt tilbake i tid som i 1166 (19). I moderne tid har steinmurene blitt erstattet med fundamenter i betong, veggene er erstattet med isolert bindingsverk, og torvtaket erstattet med takstoler dekket med både pustende membraner, lufttette sjikt og to-trinns tetning.

Det har i nyere tid kommet flere måter å sette opp bygninger på, basert på ønsker, utforming og behov. Bygningsdelene må likevel tilfredsstille minstekravene gitt i TEK 17. Minstekravene i byggeteknisk forskrift sier noe om hvor lav u-verdi hver bygningsdel kan ha, og hvor mye luft som tillates å lekke fra bygget ved en bestemt trykkforskjell. I tillegg til å oppnå minstekravene må også bygget bestå enten krav til energiramme, omfordeling energiltak eller energiltaksmetoden. Kravene er nærmere beskrevet i kapittel 14-2 i TEK17 (20).

Minstekravene til U-verdier er presentert i tabellen under.

Tabell 3: Minimumskrav til energieffektivitet (19).

| U-verdi yttervegg (W/m ² K) | U-verdi tak (W/m ² K) | U-verdi gulv på grunn og mot det fri (W/m ² K) | U-verdi vinduer og dører inkl. karm/ramme (W/m ² K) | Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftvekslinger per time) |
|--|----------------------------------|---|--|---|
| ≤ 0,22 | ≤ 0,18 | ≤ 0,18 | ≤ 1,2 | ≤ 1,5 |

Det finnes også andre standarder som er strengere på energieffektivitet, lekkasjetall og varmekonduktivitet. Et eksempel er passivhusstandarden. Det er en type standard utformet på en slik måte at bygget har et lavt energibehov og har et godt inn klima. Kriteriene for passivhus er gitt i NS 3700 og NS 3701. Denne standarden blir presentert i kapittel 2.5.

2.4.1 Bindingsverkshus

Bindingsverk er en betegnelse på en type konstruksjon hvor man setter sammen deler av treverk som stendere, bjelker, sviller og losholter, til et rammeverk. Byggemetoden stammer fra middelalderen, og det er funnet bindingsverk som stammer fra ca. 1640 (21). Hulrommene i bindingsverkene ble tradisjonelt fylt med leire. Fra 1941 ble nåtidens mest brukte byggemetode godkjent i Norge; bindingsverk med 48x98mm stendere og en senteravstand på 600mm. Da ble også mineralull og sagflis brukt som isolasjon i vegger og tak. I dag er bindingsverk mest brukt til oppføring av vegger, tak og etasjeskillere, spesielt i mindre lavblokker og bolighus. Under vises et eksempel av et moderne bindingsverk.



Figur 5: Eksempel på bindingsverk.

Illustrasjon: Røe, E.G.

2.4.2 Massivtre

Massivtre har i de siste årene tatt over en større markedsandel i byggenæringen. Byggemetoden er spesielt utbredt blant skoler, næringsbygg og boligblokker. Massivtre er en type konstruksjon som består av krysslimte trebord, også kalt lameller, som limes vinkelrett på hverandre. Elementene kan brukes både som gulv, vegger og tak, og de har bedre holdbarhet under brann enn vanlig trevirke. I tillegg fungerer massivtre som et damptett sjikt, slik at man kan slippe å legge dampsperre ved bruk i yttervegger og tak. Massivtre er også miljøvennlig, da treverk binder CO₂ naturlig.

Elementene kan produseres i store størrelser, og tilpasses etter mål, noe som gjør monteringen raskt. Massivtre og har mye de samme bruksområdene som betong, og er dermed et lett og miljøvennlig alternativ til bærekonstruksjoner. En annen fordel ved dette byggematerialet er evnen til å ta opp fukt, noe som bidrar positivt på innemiljø. Dette kan likevel være en utfordring ved høy fuktighet under montering.



Figur 6: Eksempel massivtrelement.

Illustrasjon: Røe, E.G.

2.4.4 Alternativer til dagens bindingsverk

Noen av utfordringene til dagens bindingsverksystem, er at man ofte får gjennomgående kuldebroer gjennom stenderne. Dette fenomenet kan observeres om man er ute en kald vinterdag og ser på kledningen på et bygg. Da kan en observere at isen på kledningen tiner fortere der hvor man har gjennomgående treverk, med stendere og lekter. Også hodet på skruer og spiker kan tine når de gjennomtrenger flere sjikt. For å bekjempe energitapet kuldebroene medfører, har det kommet produkter med kuldebrobrytere og produkter som reduser kuldebro. Disse produktene inneholder materialer med tynnere sjikt, eller sjikt med materialer som har lavere varmekonduktivitet. Disse produktene har gode egenskaper og er ofte dyrere enn justert trelast.

I tillegg til vanlig konstruksjonsvirke finnes også stendere med I profil. De har en tynnere kjerne enn tradisjonelt justert skurlast, og bidrar til reduserte kuldebroer. En annen fordel er at de inneholder mindre treverk i kjernen og vil derfor holde seg rettere og er mindre utsatt for krymp enn vanlig heltreverk. Den kan i tillegg leveres i lengre lengder. Profilen til en I-stender består av to lekter i topp og bunn med en flens i kryssfiner, OSB eller spon mellom disse.

I likhet med I-profil stenderen vil også skumisolert stender bidra til å redusere kuldebroer. En skumisolert stender har samme tverrsnitt som vanlig trevirke, men det er montert et kuldebrobrytende sjikt midt i stenderen.

En av fordelene med denne, er at den er ganske lik dagens tradisjonelle løsning, noe som gjør den brukervennlig for håndverkere. Moelven leverer en skumisolert stender, som de kaller iso3. På hjemmesiden deres skriver de at CO₂-utslippet fra en slik stender oppveies mer enn innsparingen i varmetap, når man sammenligner mot en konvensjonell vegg. Bidraget til lavere varmetap gir både innsparing på strømrregningen og lavere CO₂-utslipp (22).

Det finnes også todelte stenderverk. En todelt stenderverkløsning består av to isolerte stenderverk, med et homogent isolert sjikt mellom. En slik løsning vil i likhet med de to foregående bidra til å redusere kuldebroverdien, og bedre lydegenskapene. Denne løsningen er den som er nærmest å konkurrere på pris mot tradisjonelt bindingsverk. En ulempe ved denne er at den er mer tidkrevende. En vil heller ikke oppnå like gode bæreevne sammenlignet med bindingsverk av skurlast. Løsningen er oftest brukt i innvendige vegger i næringsbygg, der hvor det er lydkrav, eller som en brannvegg mellom bo-enheter. Prinsippet kan overføres til yttervegger i eneboliger.

2.5 Passivhusstandarden

Passivhus-konseptet ble utviklet i Tyskland, og bygget i Norge for første gang i 2007 (23). I 2013 kom en egen, norsk standard, NS 3700: Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, Boligbygninger. Den omhandler kravene som stilles til en bolig for å oppnå passivhus-standard i Norge. Et passivhus er et meget energieffektivt bygg, med et påfølgende godt inneklima. For å opprettholde passivhusstandarden i henhold til NS3700, må bygget tilfredsstillende en rekke minimumskrav, gitt i tabellen under.

Krav til passivhus i henhold til NS 3700 og NS 3701

| Maksimumskrav | |
|---|---|
| Netto energibehov til oppvarming av rom og ventilasjonsluft | Grenseverdiene avhenger av bygningskategori, areal og lokalt klima. ¹⁾ |
| Netto energibehov til kjøling | |
| Varmetap fra bygningens klimaskjerm | |
| Energiforsyning | |
| Minstekrav til enkeltverdier | |
| U-verdi for dører og vinduer | $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Normalisert kuldebroverdi for hele bygningen | $\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner | $\geq 80 \%$ |
| SFP-faktor (vifteeffekt) for ventilasjonsanlegg | $\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ |
| Lekkasjetall ved 50 Pa | $\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$ |
| Energibehov og behovsstyring for belysning (kun yrkesbygninger) | Avhengig av bygningskategori |

¹⁾ Se Byggetal [473.015](#).

Tabell 4: Krav til passivhus (24)

Ved å bruke passivhusstandarden får man et lavere energibehov, gode kvalitetssikrede løsninger samt bedre inneklima og komfort. Dette kan sette begrensninger rundt valgfrihet av bygningsform, plassering av- og antall vinduer.

2.6 Bygningsfysikk

For at et bygg skal være behagelig å oppholde seg i, er man avhengig av et godt innemiljø og god bygningsfysikk. For å sikre et godt innemiljø er det mange faktorer som må medregnes og tas hensyn til, både under prosjektering og ved bygging. Dette kapittelet vil beskrive noen av faktorene som er relevante for denne oppgaven.

2.6.1 U-Verdi

U-verdi er et mål tall hvor mye varme som strømmer gjennom et areal på 1m^2 per tidsenhet og per grad temperaturforskjell mellom omgivelsene på hver side av bygningsdelen (25). En lav U-verdi innebærer dermed en lav varmegjennomstrømming. Varmestrøm per tidsenhet måles i watt (W) og temperaturforskjellen måles i kelvin (K) (25). U-verdi beregnes etter NS-EN ISO 6946, og baserer seg på tykkelsen til et materialsjikt og materialsjiktets varmekonduktivitet. Denne metoden egner seg blant annet til bindingsverk i tre, men kan ikke benyttes på bygningsdeler med gjennomgående profiler av metall. Tallet man får ved å regne ut u-verdien for en bygningsdel forteller varmetapet bygningsdelen har. Formel for utregning av u-verdi er vist under:

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + \Delta U \quad (W/m^2K)$$

R_{tot} er total varmemotstand

ΔU er et korreksjonstillegg som tar hensyn til eventuelle luftspalter, mekanisk festemiddel som går gjennom isolasjon og nedbør på omvendte tak.

U-verdien skal avrundes til to gjeldende siffer.

Total varmemotstand R_{tot} brukes om samlet varmemotstand for alle delene av et materialsjikt i en bygningsdel, inkludert varmeovergangsmotstanden på begge sider. Det er ulike regler for beregning av homogene og inhomogene materialsjikt. Varmemotstanden for et enkelt sjikt har betegnelse R. Varmemotstanden for et enkelt homogent sjikt er gitt ved formelen.

$$R = \frac{d}{\lambda_d}$$

d er tykkelsen av materialsjiktet

λ_d er materialets dimensjonerende varmekonduktivitet

Dersom bygningsdelen består av inhomogene sjikt, for eksempel isolert bindingsverk, må det regnes en øvre og nedre grenseverdi for R_{tot} . Denne deles på to. Dette er nærmere beskrevet i byggforskblad 471.008 (25).

2.6.2 Kuldebroer

En kuldebro er et område med økt varmetap i tilslutning mellom bygningsdeler, hvor minst en av bygningsdelene inngår i klimaskjermen og skiller bygningens innvendige klima mot utvendig klima. Det finnes to hovedtyper kuldebroer; lineære kuldebroer (ψ) og punktkuldebroer (χ). Kuldebroer beregnes i henhold til NS-EN ISO 14683 eller NS-EN ISO 10211. Varmetapet gjennom en kuldebro avhenger av tilslutningens utforming og hvilke materialer som inngår. Disse bidragene kalles gjerne geometriske -og materialbidrag. Det samlede varmetapet gjennom alle kuldebroene i en bygning, dividert med BRA har symbolet ψ'' (26).

Energiltaksmetoden i TEK17 stiller krav til at normalisert kuldebroverdi må være mindre enn eller lik 0,05 for småhus og 0,07 for boligblokker (27). Beregning av normalisert kuldebro gjøres ved hjelp av følgende formel:

$$\psi'' = \frac{\sum_k \psi_k * l_k + \sum_j X_j}{A_{fl}}$$

ψ_k er verdien for en lineær kuldebro

l_k er lengden av en lineær kuldebro

X_j er kuldebroverdien til en punktkuldebro

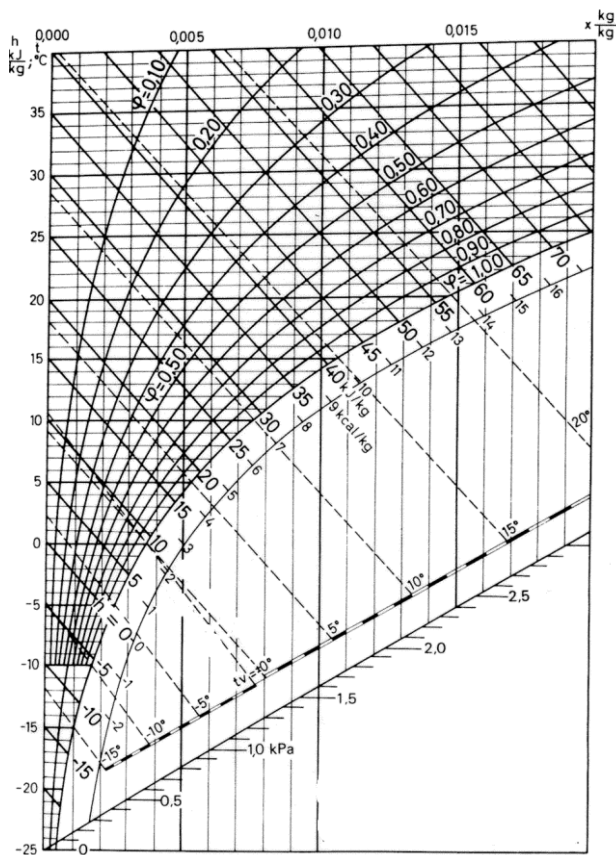
A_{fl} er samlet del av oppvarmet BRA

2.6.3 Fukt i bygg

Fuktberegninger gjøres for å finne ut om det er risiko for fukt i bygningsdelen. Om lag 75% av skader i bygg har enten sammenheng med, eller kommer som et resultat av fukt. Fuktighet er en medvirkende årsak til korrosjon, råte, muggsopp, frostsprengning, telehiv, svinn, svelling og saltvandring i materialer og konstruksjoner. Det finnes seks hovedårsaker til fukt i bygg (28).

- Byggfukt (overskuddsfukt i materialer)
- Nedbør
- Luftfuktighet
- Fukt i grunnen
- Bruksvann fra våt- og vaskerom
- Lekkasjevann fra VVS-installasjoner

Under prosjekteringen av et bygg er det viktig å forstå hvordan fukten transporteres, for å unngå fuktskader. Det er flere definisjoner som beskriver fuktinnhold i luft og materialer. Absolutt fuktinnhold er per definisjon et mål på hvor mye vann et materiale inneholder, i vekt eller volumprosent av materialets vekt eller volum i helt tørr tilstand. Det er for eksempel vanlig å oppgi dette på trelast og betong. Relativ luftfuktighet (RF) er vanndampmengden en luftmengde inneholder ved en gitt temperatur. RF angis i prosent, hvor 100% er den maksimale mengden vanndamp luft kan ha ved en gitt temperatur. Dersom temperaturen synker når luften har en vanndampmengde på 100% vil noe av vanndampen gå over til væske, dugg. RF kan leses av på et Mollier-diagram, da trenger en å vite temperatur og vanndampinnholdet i vekt.



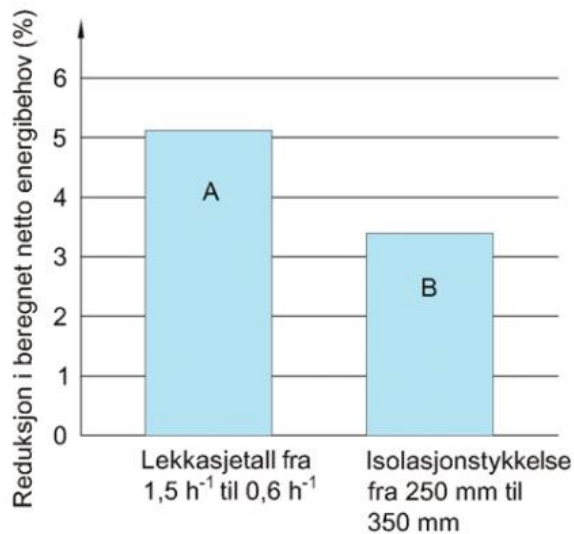
Figur 7 Mollier diagram (29)

For å beregne risiko for fukt i bygningsdeler og komponenter finnes det flere metoder. Det er også utviklet programvarer hvor man legger inn alle sjikt i en bygningsdel og får direkte ut om det er risiko for fukt. Her kan en legge inn flere mulige oppbygninger og sammenligne resultater med og uten dampsperre. Et eksempel på et slikt verktøy er WUFI. Disse beregningene kan også gjøres manuelt. Da kan en for eksempel benytte seg av Glaser-metoden. Med Glaser-metoden beregner man damptrykkfall (P_v) mellom hvert sjikt, for så å kontrollere om utvendig metningspunkt for damptrykk (P_{sat}) er mindre enn damptrykkfallet mellom hvert sjikt innvendig. Dersom $P_v < P_{sat}$ er det ikke risiko for fukt.

2.6.4 Lekkasjetall

Lekkasjetall er et mål på lufttettheten til et bygg. Ulike standarder stiller ulike krav til maksimalt lekkasjetall. Dersom man benytter seg av energiltaksmetoden i TEK17 gitt i §14-2, er kravet for småhus og boligblokk et lekkasjetall $\leq 0,6 \text{ Pa}$ ved en trykkforskjell på 50Pa (20). Det er vanlig å gjøre en trykktest ved tett bygg for å kontrollere dette tallet. Et lavt lekkasjetall bidrar til en mer stabil innetemperatur og reduserer netto energibehov.

Dette kan ses av figuren under:



Figur 8 Effekten av redusert lekkasjetall (30)

I tillegg til å bidra med å redusere energibehovet, vil et redusert lekkasjetall også forbedre inne-komforten i bygningen. Luftlekkasjer gjennom klimaskjermen bidrar til redusert komfort ved trekk og lave overflatetemperaturer. Dette kan ofte føles som kalde randsoner i gulvet og trekk rundt vinduer.

Luftlekkasjer kan også i noen tilfeller føre til fuktproblemer. Det skjer ved at varm, fuktig inneluft trekker gjennom sperresjiktene og kondenserer inne i konstruksjonen når den møter kald uteluft og temperaturen synker. I underetasjer kan det oppstå motsatt effekt, da det vanligvis er undertrykk. Dersom det er luftlekkasjer i kjellerkonstruksjonene, kan vann og fukt trekke inn. Dersom boligen er plassert i områder med dårlig luftkvalitet kan også luftlekkasjer føre til dårligere inneluft ved at luft trekker inn ufiltrert gjennom klimaskjermen (30).

2.7 Økonomi

For at man skal kunne sammenligne ulike bygg og byggemetoder mot hverandre, er kostnaden en avgjørende faktor. For å sammenligne kostnader ved bygg, byggemetoder og material/produktvalg opp mot hverandre økonomisk, utføres det en livssyklus kostandsanalyse. I en livssyklus kostnads-analyse ser man på produktet i et tidsperspektiv som er relevant for investeringen.

Dersom et bygg skal prosjekteres, er det naturlig at man bruker byggets levetid som tidsreferanse for analysen. Det er også andre økonomiske faktorer som veier ved en investering, eksempelvis kapital og renter.

2.7.1 Livssyklus kostnader

I beregninger for livssyklus kostnader (heretter kalt LCC), ser en på alle kostnadene og inntektene knyttet til et prosjekt gjennom hele byggets levetid. Man bestemmer seg for en kalkulasjonsrente som representerer avkastningskravet for prosjektet, justert for inflasjon. Kalkulasjonsrenten skal gjenspeile usikkerheten og risikoen ved investeringen. Deretter summeres alle inntekter og utgifter fra investeringen og diskonteres til nåverdi. Summen av verdier av kostnader som ikke kommer i basisåret må diskonteres til nåverdi i basisåret. Det gjøres ved hjelp av denne formelen:

$$NV_T = \sum_{t=0}^T K_t * d_t$$

Hvor NV_T = Nåverdi, K_t er kostnaden og d_t er diskonteringsfaktoren.

Diskonteringsfaktoren d_t beregnes slik:

$$d_t = \frac{1}{(1+r)^t} = (1+r)^{-t}$$

Faste kostnader i jevne intervaller beregnes slik:

$$NV = K_t * \frac{(1+r)^T - 1}{(1+r)^T * r}$$

I tabellen under forklares tegn og symboler som brukes ved en analyse av livssykluskostnader.

Tabell 5: Bokstavsymboler benyttet i kalkulasjonsmetodikken basert på NS 3454:2013 (31).

| Bokstavsymbol | Begrep/forklaring |
|-----------------------|---|
| t₀ | Basisår for kalkylen |
| t | Et gitt år (antall år regnet fra basisåret) |
| T | Analyseperiode |
| r | Kalkulasjonsrente |
| d_t | Diskonteringsfaktor for et gitt år t |
| a | Annuitetsfaktor |
| K_t | En kostnad i et gitt år |
| NV | Nåverdi av en fremtidig kostnad |
| NV_t | Nåverdi av kostnadene i analyseperioden |
| ÅK | Årskostnad |

En kan også beregne årskostnadene til et prosjekt. Det gjøres ved hjelp av annuitetsfaktor som gir kostnadene fordelt over en periode.

$$a = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-T}}$$

Årskostnaden regnes da ut slik:

$$\text{ÅK} = \text{NV}_T * a$$

Årskostnaden er summen av alle kostnader knyttet til bygget. Dette inkluderer kostnader ved fremtidige utgifter som forvaltning, drift og vedlikehold over hele byggets levetid, fordelt på hvert år av byggets levetid (31).

3 Metode

I dette kapitlet beskrives metoder brukt for litteratursøk og innhenting av nødvendig informasjon til oppgaven. Videre er oppgavens avgrensninger, fremgangsmåter og bygningskomponentene til de ulike byggene beskrevet.

3.1 Litteratursøk

For å skaffe et godt teoretisk grunnlag er det tatt i bruk nettsider som Sintef Byggforsk-, Direktoratet for bygningskvalitet- og Standard Norge sine nettsider i tillegg til ordinære nettsøk. Gjennom epostkorrespondanse og digitale møter med Norgeshus har gruppen tilegnet seg informasjon om det aktuelle bygget. Det er forsøkt innhentet informasjon fra objektive kilder. Der kommersielle aktører er benyttet som kilde er det foretatt en vurdering opp mot andre, uavhengige kilder for validering.

3.2 Avgrensninger

Dersom de tre byggene skal kunne sammenlignes på lik basis, er det nødvendig å fastsette verdier og forutsetninger for alle bygg. Prosjektgruppen bruker de samme løsningene, der hvor det er mulig.

I klimagassregnskapene vil enkelte komponenter utelates på grunn av for lite, for dårlig eller ikke-eksisterende miljødeklarasjoner på produktene. Listen med alle utelatte komponenter finnes i vedlegg 3. Gruppen tar utgangspunkt i mengder gitt av Norgeshus, og bruker tilsvarende EPD'er for produkter som ikke har en miljødeklarasjon. For festemidler av stål, metall og aluminium er vekt av festemidlene beregnet, og lagt inn som rene metaller. NS3454 stiller krav til at totalt materiell som utelates fra klimagassregnskapet, ikke skal være større enn 5 vektpoeng. Klimagassregnskapet utføres med hensyn på kravene som er gitt i NS3454:2018. Klimagassregnskapet vil ikke kunne klassifiseres som et helhetlig klimagassregnskap, da det ikke inneholder klimadata for energi i drift, punkt 7.5 i NS3454:2018 (31).

Under energiberegningene vil alle scenarioene baseres på klimadata for Oslo. Ved simuleringer opp mot byggeteknisk forskrift baserer SIMIEN seg på klimadata fra Oslo. Under alle simuleringer og beregninger forutsettes det moderat skjermet område og mer enn en vindutsatt fasade. Husene plasseres med lengderetning øst-vest. Det vil ikke bli beregnet verdier for kuldebroer, men standard verdier benyttes. Det forutsettes at damp- og vindsperrer, vinduer og dører monteres og tettes forskriftsmessig.

Ved beregning av livssyklus kostnader kalkuleres byggekostnaden i Holte SmartKalk. Der hvor det ikke finnes priser på komponenter eller bygningsdeler, brukes tilsvarende produkter og priser. Noen priser er også oppgitt på forespørsel fra eksterne leverandører.

De ulike prosjekteringsmetodene går ikke ut over bygningenes arkitektur eller funksjoner. Balkonger, terrasser, overheng, vinduer og dører endres altså ikke, med unntak for passivhus, hvor noen vinduer fjernes og flyttes for å imøtekomme gjeldende krav. Alle bygg forutsettes bygd på flat mark med gode grunnforhold. Det forutsettes normale radonmålinger. Det utføres ikke detaljprosjektering ved oppbygning av våtrom på omprosjekteringen til massivtre.

Inventar, elektriske komponenter, VVS og tekniske installasjoner forblir uendret for massivtre og standard utførelse, for passivhus legges det til solfangere og vannbåren varme som kobles til luft-til-vann varmepumpen. Ekstra installasjoner i forbindelse med krav til passivhus medregnes i energibehov og kalkyle for passivhuset. Tekniske installasjoner blir ikke medregnet i klimagassregnskapet, da det ikke finnes god nok miljødata på disse produktene. Innvendig trapp anses som spesialleveranse og utelates derfor fra alle beregninger.

3.3 Fremgangsmåte

Oppgaven bygger på resultater fra tidligere arbeid, resultater fra arbeid som pågår parallelt og egne resultater. Norgeshus leverte filer fra referanseprosjektet som prosjekteringsgrunnlag. Gruppen har også utvekslet resultater med en annen bachelorgruppe som omprosjekterte Dråpen Moderne til passivhus. For å undersøke sammenhengen mellom klimagassutslipp, energiforbruk og kostnader for de tre ulike løsningene, ble det beregnet klimagassregnskap, energiregnskap og beregnet livssyklus-kostnader for alle byggene.

Med utgangspunkt i prosjekteringsdokumentene og annen tilgjengelig informasjon ble det først utført et klimagassregnskap for Dråpen moderne. I klimagassregnskapet ble materiallisten brukt for å kontrollere mengdene. Produkter uten EPD ble utelatt, med mindre det fantes tilsvarende produkter. Samme prosedyre ble fulgt for de to andre byggene. For denne oppgaven ble beregningsregler gitt i NS3720 for beregning av klimagassutslipp brukt.

Energisimuleringer i SIMIEN ble deretter utført for å se på byggenes energibehov, samtidig ble massivtre-bygget og referansebygget sjekket mot forskriftene i TEK17. For å utføre energisimuleringene på samme grunnlag, ble det brukt samme inngangsverdier for både vinduer og dører, ventilasjon, beliggenhet, solforhold og internlaster. Passivhuset prosjekteres av en annen bachelorgruppe etter kravene fra Passivhaus Institutt i Tyskland.

Det ble deretter utført kalkyler av alle bygg for å kartlegge byggekostnadene. Dette ble utført i programvaren Holte SmartKalk. Norgeshus bruker kalkyleverktøyet, og delte sin ferdigkalkulerte fil. De endrede bygningsdelenes verdier ble endret etter materialistene og prosjektgrunnlagene. Med kalkylene som grunnlag, utførte gruppen en livssyklus-kostnadsanalyse (LCC) av alle tre prosjektene. Kostnader knyttet til investering, drift og vedlikehold av byggene over en periode på 60 år ble analysert. Utgifter for periodisk vedlikehold ble satt til å forekomme hvert 10. år. Etter 30 år vil byggene ha behov utskiftning av komponenter med levetid 30 år.

I tillegg ble det analysert ulike materialer og sammenlignet utslipp og kostander knyttet til disse.

3.4 Prosjekteringsgrunnlag

Med grunnlag i avgrensningene fra kapittel 3.2, presenteres oppbyggingen av byggene. Bygningsdelene er delt inn i henhold til NS3451:2022 (32). Alle byggene leveres med balansert ventilasjon.

3.4.1 Dråpen moderne prosjektert etter minimumskravene i TEK 17.

Den første prosjekteringen tar for seg Dråpen Moderne, og er prosjektert av Norgeshus. Det er prosjektert slik at det oppfyller minstekravene i TEK17.

21 Grunn og fundamenter

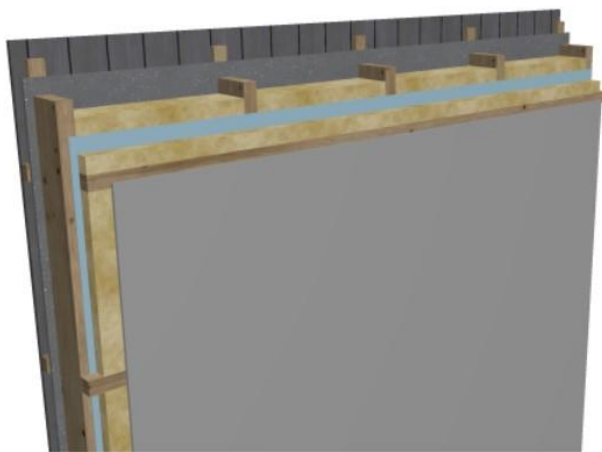
- Fundamentet består av en ringmur med støpt plate på mark. Platen er isolert på undersiden med 350mm trykkfast isolasjon. Det er i tillegg montert radonsikring etter gjeldende forskrifter.

22 Bæresystem

- Bæresystemet består av reisverk forankret i ringmuren og bjelkelag av I-bjelker på 300mm. De bærende ytterveggene består av 48x148mm K-virke, mens de bærende innerveggene er av dimensjonene 48x148 og 48x98. Stålbjelker, limtredragere- og søyler sørger for god estetikk og ytterligere bæreevne.

23 Yttervegger

- Ytterveggene er utformet slik illustrasjonen i figur 9 viser. Fra utsiden består de av stående kledning, vertikal og horisontal utlekting. Utvendige gipsplater med teipede skjøter fungerer som det vindtette sjiktet og avstivning, isolert bindingsverk, dampspærre, 48mm isolert utlekting og ett lag gipsplater. Innvendig utlekting er lagt horisontalt for å minimere kuldebroer. Der hvor baderom grenser til yttervegg utelates dampspærren. Dampspærren utelates da baderomsplatene fungerer som damptett sjikt. Gipsplaten erstattes med 18mm underpanel på alle vegger i baderommet. Veggene kles med baderomsplater på innsiden.



Figur 9: Oppbygning av yttervegg ved standard utforming.

Illustrasjon E.G. Røe

24 Innervegger

- Innerveggene i bygget er av isolert bindingsverk, med stenderdimensjoner 48x98mm, 48x148mm og 48x198mm for tekniske gjennomføringer. Alle innervegger bortsett fra baderom er kledd med ett lag gips på hver side og er isolert med mineralull. På baderom brukes 18mm underpanel som både spikerslag og underlag for baderomsplatene.

25 Dekker

- Etasjeskilleren består av et bjelkelag av I-bjelker. Det er halvt isolert med mineralull for demping av trinnlyd. Under bjelkelaget er himlingen nedforet for tekniske gjennomføringer før det legges gips. På oversiden av bjelkelaget legges det sponplater, trinnlydsplater, parkettunderlag og til slutt parkett.

26 Yttertak

- Yttertaket er oppbygd som et rettvendt kompaktak. Med rettvendt menes det at det legges en dampsperre mellom platen og isolasjonen som et tettesjikt. Taket består av følgende sjikt fra innsiden: standard gipsplater, I-bjelker, taktro av sponplater, dampsperre, ubrennbar isolasjon med fall og sveiset takmembran. I-bjelkene isoleres i randsonene. Parapetene utformes på samme måte som ytterveggene, men med mindre isolasjon. Toppen av parapetene tekkes med blekk.

28 Trapper og balkonger

- Utvendig terrasse på bakkeplan består av kobberimpregnert konstruksjonsvirke og terrassebord. Balkongen i 2. etasje er bygd på tilfarere som hviler på taket på utbygget i 1. etasje. I tillegg hviler bjelkelaget på en limtrebjelke som er forankret i yttervegg og bæres av en limtresøyle.

3.4.2 Dråpen moderne prosjektert som massivtrehus.

Prosjekteringen av Dråpen som massivtre ble utført av gruppen. Bygget består av en kombinasjon av massivtre og limtre bjelker/søylar for å ta opp vertikale laster. Gruppen har tilstrebet at byggeelementene i massivtrehuset skal ha samme eller lik u-verdi som referanseprosjektet. Dette for å få et best mulig sammenligningsgrunnlag. Byggetekniske løsninger er utført med bakgrunn i preaksepterte løsninger gitt av byggforsk. Dimensjonering av konstruksjoner er basert på tabeller hentet fra leverandører.

21 Grunn og fundamenter

- Det finnes ikke gode løsninger for massivtre mot grunn. Derfor benyttes samme oppbygning som i referanseprosjektet.

22 Bæresystem

- Bæresystemet består av limtrebjelker- og søylar for å ta opp de horisontale og vertikale lastene bygget utsettes for. Stålbjelkene i referanseprosjektet erstattes med limtre. Bærekonstruksjon i kontakt med uteluft er utført i impregnert konstruksjonsvirke.

23 Yttervegger

- Ytterveggene består av massivtre-elementer med en tykkelse på 100mm. For å oppnå en u-verdi som er mest mulig lik referanseprosjektet, brukes det 150mm Rockwool red air systemisolasjon på utsiden av elementene. Dette gir en u-verdi på 0,21 W/m²K (33).



Figur 10: Yttervegg i massivtre.

Illustrasjon: Røe, E.G.

24 Innervegger

- Samme som for referanseprosjektet.

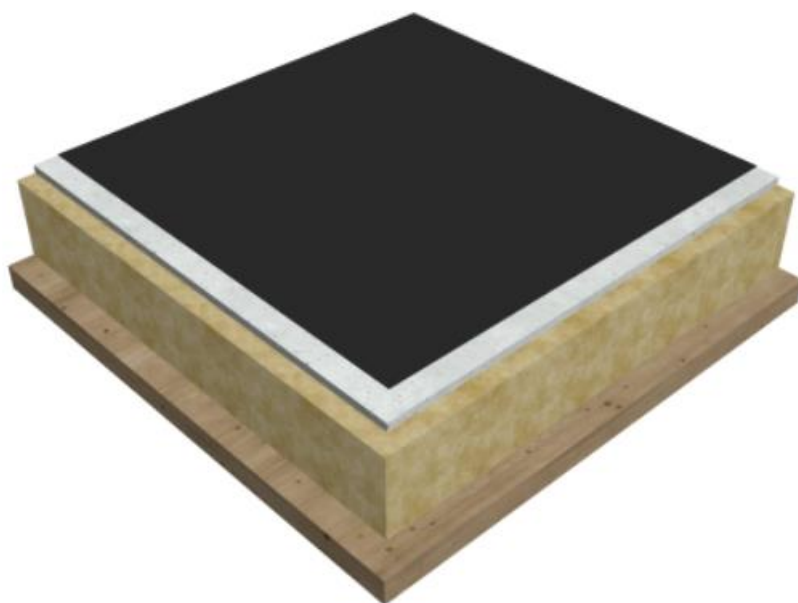
25 Dekker

- Etasjeskilleren mellom første og andre etasje prosjekteres i massivtre med en tykkelse på 120 mm. Dette dekket vil også fungere som en stiv plate for å ta opp horisontale krefter. Himlingen i første etasje blir synlig massivtre. På oversiden av dekket legges det robustgips for tyngde, trinnlydsplater for trinnlyd og parkett.

26 Yttertak

- Yttertaket er utformet som et rettvendt kompakttak i massivtre. Massivtreelement har en tykkelse på 120mm. Dekketykkelse på 120mm tillater maks total spennvidde på 5,2m ved snølast lik 4,5 kN (34). Dråpen er prosjektert med maks spennvidde lik 3m. Over dekket legges Glava Robust lamell isolasjon, trykkfordelingsplate og takteking. Med en gjennomsnittlig isolasjonstykkelse på 320mm og 50mm Robust lamell over, vil man oppnå en U-verdi på 0,09. Beregning av U-verdi er vedlagt i vedlegg 4.

Oppbygning av kompaktaket vises i figuren under.



Figur 11: Oppbygning av kompaktak i massivtre.

Illustrasjon: Røe, E. G

28 Trapper balkonger m.m.

- Trapper vil være likt som referanseprosjektet. I første plan utføres terrassen som referanseprosjekt. I andre plan erstattes bjelkelaget over oppvarmet rom med massivtre-elementer.

3.4.3 Dråpen moderne prosjektert som passivhus.

Prosjekteringsgrunnlaget er utarbeidet av Bachelorgruppe 2022-20 ved Sigrid Hogstad og Maja Rygge. Passivhuset er prosjektert etter kravene gitt av Passivhaus instituttet i Darmstadt, Tyskland, og ikke etter NS3700:2010. For å oppnå kravene gitt der, har de valgt å installere solfangere og vannbåren varme i bygget. For nærmere beskrivelse av valgene og arbeidet som er gjort rundt passivhuset, refereres det til deres oppgave (1).

21 Grunn og fundamenter

- Grunn og fundamenter er prosjektert likt som standardbygget, men øverste isolasjonssjikt er byttet fra Jackopor 80 50mm EPS til Kingspan Therma TF70 50mm. Dette for å oppnå en høyere u-verdi.

22 Bæresystem

- Det gjøres ingen endringer i bæresystemet.

23 Yttervegger

- I yttervegger er det er lagt til 50mm Glava veggplate 31 på utsiden av stenderverket. Vindsperreren plasseres på utsiden av isolasjonen. Ellers lik oppbygning. Dette sjiktet er plassert for å minske kuldebroer og bedre varmetapet. Det er også valgt å fjerne tre vinduer for å redusere varmetapet. Det er fjernet to vinduer fra nord-fasaden i 1.etg og et på vest-fasaden. I tillegg er et vindu flyttet fra nord-fasaden til vest-fasaden.

24 Innervegger

- Samme som i referanseprosjekt.

25 Dekker

- Samme som i referanseprosjekt.

26 Yttertak

- Isolasjonen over sperrekonstruksjonen er erstattet med Kingspan Therma TR26 og Therma TT46 1:60 med varmekonduktivitet $0,022 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en snittykkelse på 300mm. Dette gir takkonstruksjonen en U-verdi på $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$.

28 Trapper, balkonger m.m.

- Prosjektert på samme måte som i referanseprosjektet.

6 Andre installasjoner

- Dråpen Passivhus er prosjektert med solfangere og luft-til-vann varmepumpe, kombinert med vannbåren varme i gulv.

4 Resultat

Dette kapitlet inneholder resultater fra de ulike simuleringene som er gjort i forbindelse med oppgaven. Her presenteres klimagassregnskap, energisimulering og LCC for de ulike prosjekteringene.

4.1 Klimagassregnskap

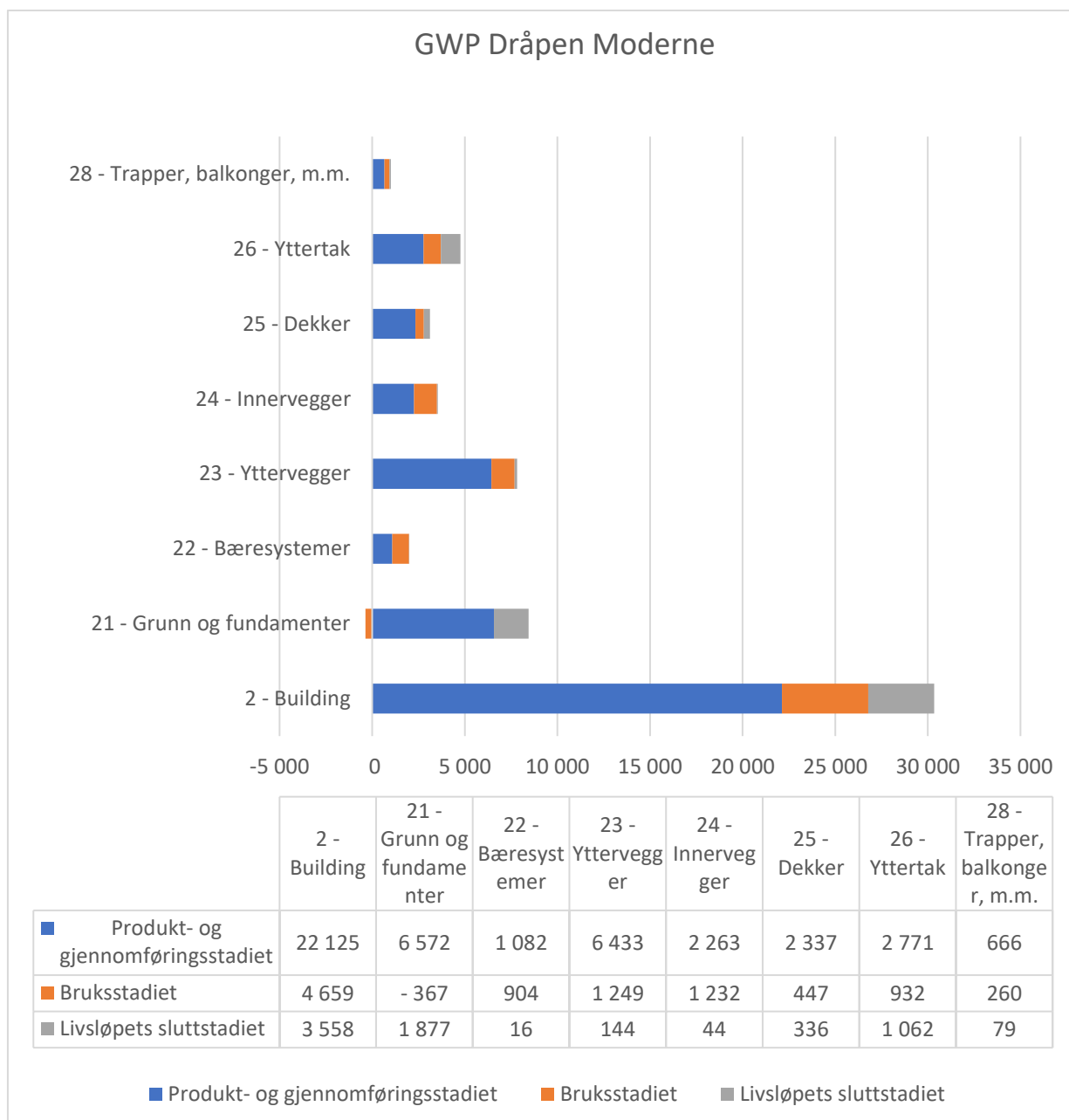
Ett av hovedmålene med denne oppgaven er å beregne klimagassregnskap for de forskjellige byggene. Under utførelsen er det tatt utgangspunkt i tidligere nevnte materialister fra Norgeshus. Klimadataene presentert i dette kapitlet inneholder utslipp fra fase A (Construction), B (Operation) og C (End of life).

Beregning av frakt i klimagassregnskap baserer seg på at materialer kjøres med lastebil med totalvekt på 16-32 tonn. Fraktdistanser er fra fabrikk og til Norgeshus sine lokaler på Melhus. For noen produkter er det lagt inn standard distanser og ikke spesifikke distanser på frakt. Grunnen til dette er at det tidvis har tatt lang tid å legge inn endringer i Reduzer.

Fullstendige resultater for klimagassregnskapene er vedlagt, og kan sees i vedlegg 5.

4.1.1 Dråpen moderne

Nedenfor presenteres et utdrag fra klimagassregnskapet som viser det totale utslippet fordelt på bygningsdeler. I Figuren under ser man at postene 21 – grunn og fundamenter og 23 – yttervegger står for mest utslipp. Totalt utslipp for hele bygget i fase A, B og C er som vist i figuren under. For nærmere beskrivelse av fasene, se kapittel 2.2.1. Bygget har et utslipp på 22 125 kg CO₂e i fase A, 4 659 kg CO₂e i fase B og 3 558 kg CO₂e i fase C. Totalt ble byggets utslipp på 30 342 kg CO₂e. Verdier i grafen under er oppgitt i kg CO₂e.



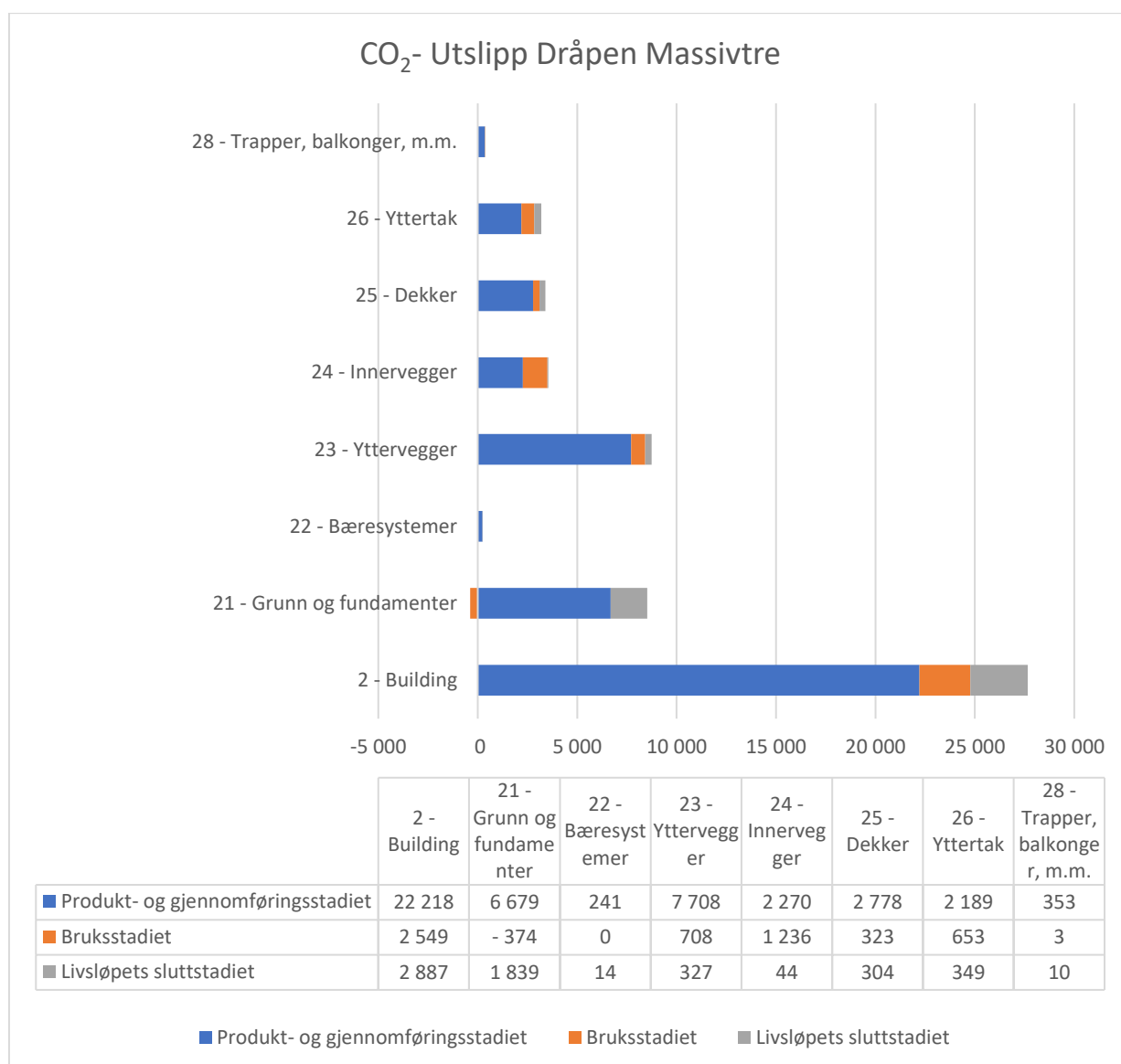
Figur 12: Klimagassregnskap for Dråpen standard.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

4.1.2 Massivtre

For beregning av klimagassutslipp for huset i massivtre, er det valgt å benytte samme grunnlag som for regnskapet til standardboligen. Endringene er i hovedsak gjort i bygningsdelene bæresystem, yttervegger, innervegger, dekker og yttertak. Alt av isolert bindingsverk og bjelkelag erstattes med isolerte massivtre-elementer. Utlekking og kledning forblir den samme. Under vises et utdrag fra klimagassregnskapet.

Bygget fikk et utslipp på 22 218 kg CO₂e i fase A, 2 549 kg CO₂e i fase B og 2 887 i fase C. Totalt utslipp ble 27 654 kg CO₂e. Verdier i grafen under er oppgitt i kg CO₂e

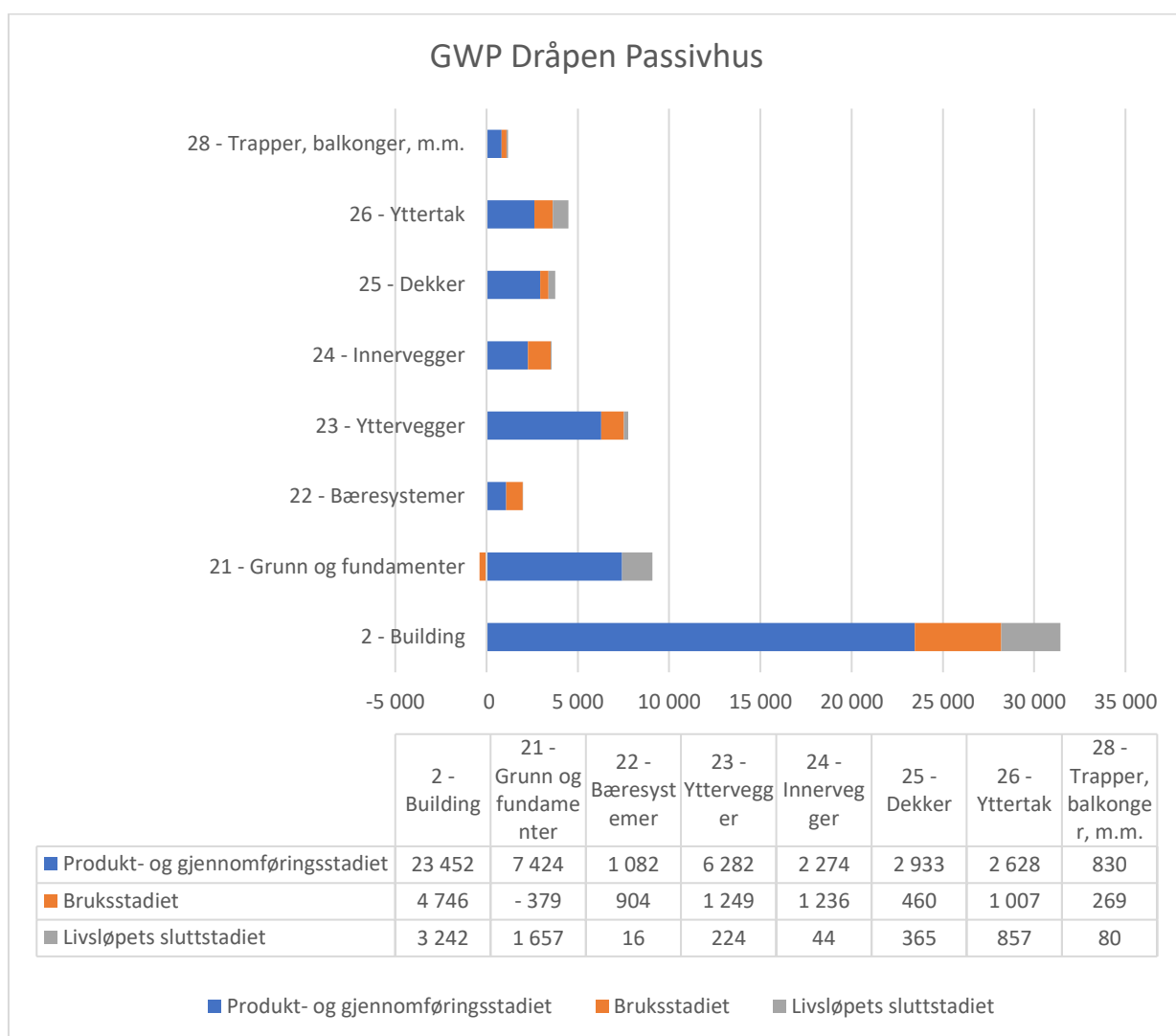


Figur 13: Klimagassutslipp for Dråpen massivtre.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

4.1.3 Passivhus

For passivhuset ble også det samme klimagassregnskapet brukt som utgangspunkt. Forskjellen mellom passiv- og standardhuset, er isolasjonstypen og tykkelsen som brukes i vegger, gulv og tak. I tillegg kom utslipp fra tekniske installasjoner. Disse verdiene er noe mangelfulle, da gruppen ikke lyktes i å finne utslippsverdier for hverken solfangere eller ventilasjonsaggregater. Huset fikk et utslipp på 23 452 kg CO₂e i fase A, 4 746 kg CO₂e i fase B og 3 242 kg CO₂e i fase C. Totalt utslipp kom på 31 440 kg CO₂e. Verdier i grafen under er oppgitt i kg CO₂e



Figur 14: Klimagassregnskap for Dråpen passivhus.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

4.2 Energisimuleringer

For å kunne kartlegge de årlige energibehovene og om byggene tilfredsstiller kravene i TEK17, ble det utført energisimuleringer i programvaren SIMIEN. For å forenkle prosessen ble det valgt å ta utgangspunkt i beregninger utført av Norgeshus AS. I tabell 7,8, 10 og 11 tilsvarer grønn farge at kravene som er satt innfris. For alle bygg forutsettes det et lekkasjetall på 0,6. Fullstendige resultater for energisimuleringene for standard- og massivtrehuset er vedlagt, og kan sees i vedlegg 6 og 7. For energiberegninger av passivhuset, vises det til bacheloroppgaven «Systemanalyse og utbedring av en katalogbolig for å oppnå høyere energieffektivitet»(1).

4.2.1 Dråpen moderne

Tabell 6: Inngangsverdier standardhuset.

| Beskrivelse | Enhet | Verdi |
|-----------------------------|--|-------|
| Grunnflate | m ² | 77,5 |
| Oppvarmet BRA | m ² | 139,9 |
| Oppvarmet luftvolum | m ³ | 336 |
| Areal yttervegger | m ² | 194 |
| Areal tak | m ² | 72,5 |
| Areal vinduer og ytterdører | m ² | 54 |
| U-verdi gulv på grunn | W/m ² K | 0,09 |
| U-verdi yttervegger | W/m ² K | 0,198 |
| U-verdi tak | W/m ² K | 0,11 |
| U-verdi vinduer og dører | W/m ² K | 0,8 |
| Normalisert kuldebroverdi | | 0,05 |
| Lekkasjetall | 10 ² * m ³ luftlekkasje pr time ved 50pa overtrykk | 0,6 |
| Varmegjennvinningsgrad | % | 90 |

Under vises utdrag av resultatene fra energisimuleringen i SIMIEN.

Tabell 7 Evaluering av Dråpen Moderne mot minstekrav gitt i TEK17. Foto: Skjermdump.

| Minstekrav (§14-3) | | |
|--|-------|------|
| Beskrivelse | Verdi | Krav |
| U-verdi yttervegger [W/m ² K] | 0,20 | 0,22 |
| U-verdi tak [W/m ² K] | 0,11 | 0,18 |
| U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K] | 0,08 | 0,18 |
| U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K] | 0,8 | 1,2 |
| Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time] | 0,6 | 1,5 |

Tabell 8 Evaluering av Dråpen Moderne mot Energiramme gitt i TEK17. Foto: Skjermdump.

| Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov) | | Verdi |
|--|--|--------------------------|
| Beskrivelse | | |
| 1a Beregnet energibehov romoppvarming | | 44,9 kWh/m ² |
| 1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier) | | 0,0 kWh/m ² |
| 2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann) | | 29,8 kWh/m ² |
| 3a Beregnet energibehov vifter | | 4,4 kWh/m ² |
| 3b Beregnet energibehov pumper | | 0,0 kWh/m ² |
| 4 Beregnet energibehov belysning | | 11,4 kWh/m ² |
| 5 Beregnet energibehov teknisk utstyr | | 17,5 kWh/m ² |
| 6a Beregnet energibehov romkjøling | | 0,0 kWh/m ² |
| 6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier) | | 0,0 kWh/m ² |
| Totalt beregnet energibehov | | 108,0 kWh/m ² |
| Forskriftskrav netto energibehov | | 111,4 kWh/m ² |

Evaluering mot forskrifter i TEK17 viser at bygget har et årlig energibehov på 108.0 kWh.

Kravet for godkjent energiramme er for bolighus på $100 + \frac{1600}{m^2 \text{ oppvarmet BRA}}$ kWh. Med BRA lik 139,9 m² gir dette et krav om maksimum energibehov på 111,4kWh. I tillegg til energirammen er minstekravene i TEK17 også godkjent, og dermed er bygget innenfor kravene.

4.2.2 Massivtre

Energiberegningene for massivtrehuset ble gjort på samme måte som for standardhuset. Forskjellene kommer frem i inngangsverdiene, da bygningsdelene med massivtre har litt andre u-verdier enn referanseprosjektet.

Inngangsverdiene er presentert i tabellen under.

Tabell 9: Inngangsverdier massivtrehus.

| Beskrivelse | Enhet | Verdi |
|-----------------------------|--|-------|
| Grunnflate | m ² | 77,5 |
| Oppvarmet BRA | m ² | 139,9 |
| Oppvarmet luftvolum | m ³ | 336 |
| Areal yttervegger | m ² | 194 |
| Areal tak | m ² | 72,5 |
| Areal vinduer og ytterdører | m ² | 54 |
| U-verdi gulv på grunn | W/m ² K | 0,09 |
| U-verdi yttervegger | W/m ² K | 0,21 |
| U-verdi tak | W/m ² K | 0,09 |
| U-verdi vinduer og dører | W/m ² K | 0,8 |
| Normalisert kuldebroverdi | | 0,05 |
| Lekkasjetall | 10 ² * m ³ luftlekkasje pr time ved 50pa overtrykk | 0,6 |
| Varmegjennvinningsgrad | % | 90 |

Tabell 10: Evaluering mot minstekrav i TEK17. Foto: Skjermdump.

| Minstekrav (§14-3) | | |
|--|-------|------|
| Beskrivelse | Verdi | Krav |
| U-verdi yttervegger [W/m ² K] | 0,21 | 0,22 |
| U-verdi tak [W/m ² K] | 0,10 | 0,18 |
| U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K] | 0,08 | 0,18 |
| U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K] | 0,8 | 1,2 |
| Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time] | 0,6 | 1,5 |

Bygget tilfredsstillter som vist i tabellen over minstekravene i TEK17.

Tabell 11: Evaluering av Dråpen Massivtre mot Energiramme gitt i TEK17. Foto: Skjermdump.

| Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov) | | Verdi |
|--|--|--------------------------|
| Beskrivelse | | |
| 1a Beregnet energibehov romoppvarming | | 42,8 kWh/m ² |
| 1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier) | | 0,0 kWh/m ² |
| 2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann) | | 29,8 kWh/m ² |
| 3a Beregnet energibehov vifter | | 4,4 kWh/m ² |
| 3b Beregnet energibehov pumper | | 0,0 kWh/m ² |
| 4 Beregnet energibehov belysning | | 11,4 kWh/m ² |
| 5 Beregnet energibehov teknisk utstyr | | 17,5 kWh/m ² |
| 6a Beregnet energibehov romkjøling | | 0,0 kWh/m ² |
| 6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier) | | 0,0 kWh/m ² |
| Totalt beregnet energibehov | | 105,9 kWh/m ² |
| Forskriftskrav netto energibehov | | 111,4 kWh/m ² |

Evaluering mot forskrifter i TEK17 viser at bygget har et totalt årlig energibehov på 105,9 kWh. Kravet for godkjent energiramme er for bolighus på $100 + \frac{1600}{m^2 \text{ oppvarmet BRA}}$ kWh. Med BRA lik 139,9 gir dette et krav på maksimum 111,4 kWh. Minstekravene er også oppfylt, og dermed tilfredsstillter bygget kravene i TEK17.

4.2.3 Passivhus

Inndata og resultater for energisimuleringene utført etter den tyske passivhusstandarden er hentet fra bacheloroppgaven «Systemanalyse og utbedring av en katalogbolig for å oppnå høyere energieffektivitet»(1). I tabellen under presenteres inngangsverdiene.

Tabell 12: Inngangsverdier passivhus.

| Beskrivelse | Enhet | Verdi |
|-----------------------------|--|-------|
| Grunnflate | m ² | 77,5 |
| Oppvarmet BRA | m ² | 139,9 |
| Oppvarmet luftvolum | m ³ | 336 |
| Areal yttervegger | m ² | 194 |
| Areal tak | m ² | 72,5 |
| Areal vinduer og ytterdører | m ² | 49,7 |
| U-verdi gulv på grunn | W/m ² K | 0,10 |
| U-verdi yttervegger | W/m ² K | 0,15 |
| U-verdi tak | W/m ² K | 0,07 |
| U-verdi vinduer og dører | W/m ² K | 0,08 |
| Normalisert kuldebroverdi | | 0,03 |
| Lekkasjetall | 10 ² * m ³ luftlekkasje pr time ved 50pa overtrykk | 0,6 |
| Varmegjennvinningsgrad | % | 90 |

Resultatet ga huset et oppvarmingsbehov på 21,2 kWh/m² BRA. Dette tilsvarer rundt 2966 kWh/år. I tillegg kommer energi til oppvarming av varmtvann, vifter, belysning og teknisk utstyr. Totalt fikk bygget et spesifikt energibehov på 70,68 kWh/m².

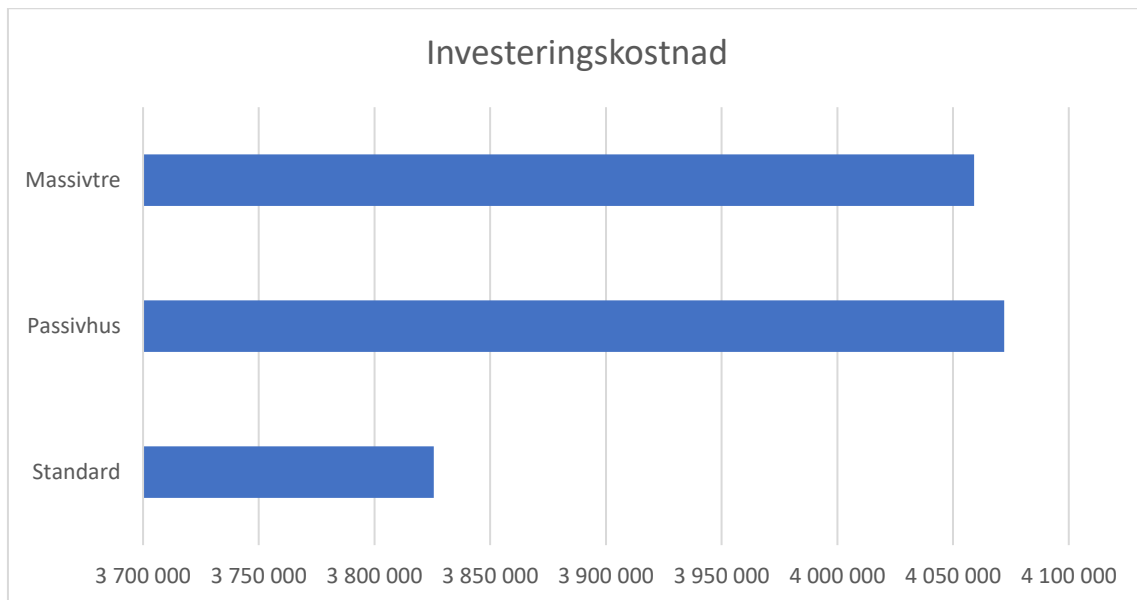
4.3 Livssyklus kostnader

Kostnadsberegningene er utført ved hjelp av SmartKalk og Excel. Byggekostnadene ble beregnet med utgangspunkt i en kalkyle-fil fra Norgeshus. Priser for byggekostnadene ble hentet fra Smartkalk og direkte fra leverandører. Kalkulasjonsrenten ble satt til 3,0 % for analyseperioden 60 år. Disse tallene ble hentet fra R-106 og brukes som beregningsgrunnlag for statlige investeringer for å sammenligne nytte- og kostnadsvirkninger. Realrenten er justert for risiko (35). Kostnader knyttet til forvaltning, drift og vedlikehold (heretter kalt FDV) er fastsatt ut fra en gjennomsnittlig beregning basert på data fra Statistisk sentralbyrå, i tillegg til utgifter for energiforbruk (36). Fullstendige kostnadsberegninger er vedlagt i vedlegg 8.

For beregning av kostnader knyttet til energibruk, er det benyttet en på strømpris på 1,37 kr/kWh og 0,79 kr/kWh for biobrensel. Strømprisen er hentet fra SSB og representerer gjennomsnittlig strømpris for alle husstander i Norge (37). Prisen inkluderer kraft, nettleie inkl. avgifter og er fratrukket strømstøtte. Strømsituasjonen er pr. i dag (April 2022) svært uforutsigbar og uoversiktlig. Prisen på biobrensel er hentet fra Enøk og forutsetter en moderne vedovn med 70% virkningsgrad og ved handlet fra kommersielt utsalg (38).

FDV inkluderer årlige faste utgifter knyttet til boligene. Kommunale avgifter, strøm, og jevnt vedlikehold. Priser for disse utgiftene er basert på gjennomsnittstall i Norge (36) og beregninger fra SIMIEN med gjeldende strømpriser.

Under kostnader for utskiftning av komponenter, ble det anslått en sum på 15% av byggekostnadene for boligene. Denne summen baseres på erfaringer prosjektgruppen har gjort seg opp fra tidligere arbeider. Byggene er sammensatt av mange forskjellige produkter og levetider. Basert på det grunnlaget er utbedringsintervallet anslått til 30 år.



Figur 15: Investeringskostnader for de ulike byggene.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

4.3.1 Dråpen Moderne

Byggekostnadene ble kalkulert til 3 825 636 kr. Bygget har et årlig energibehov på 17625 kWh. Dette tilsvarer en sum på 18 497 kr per år. Periodisk vedlikehold hvert 30. år er satt til 15% av byggekostnaden. Utgifter til FDV for bygget er kalkulert til å ligge på 33 683 kr per år. Livssyklusanalysen gir en total kostnad over 60 år lik 5 049 225 kr, eller en årskostnad på 182 443 kr.

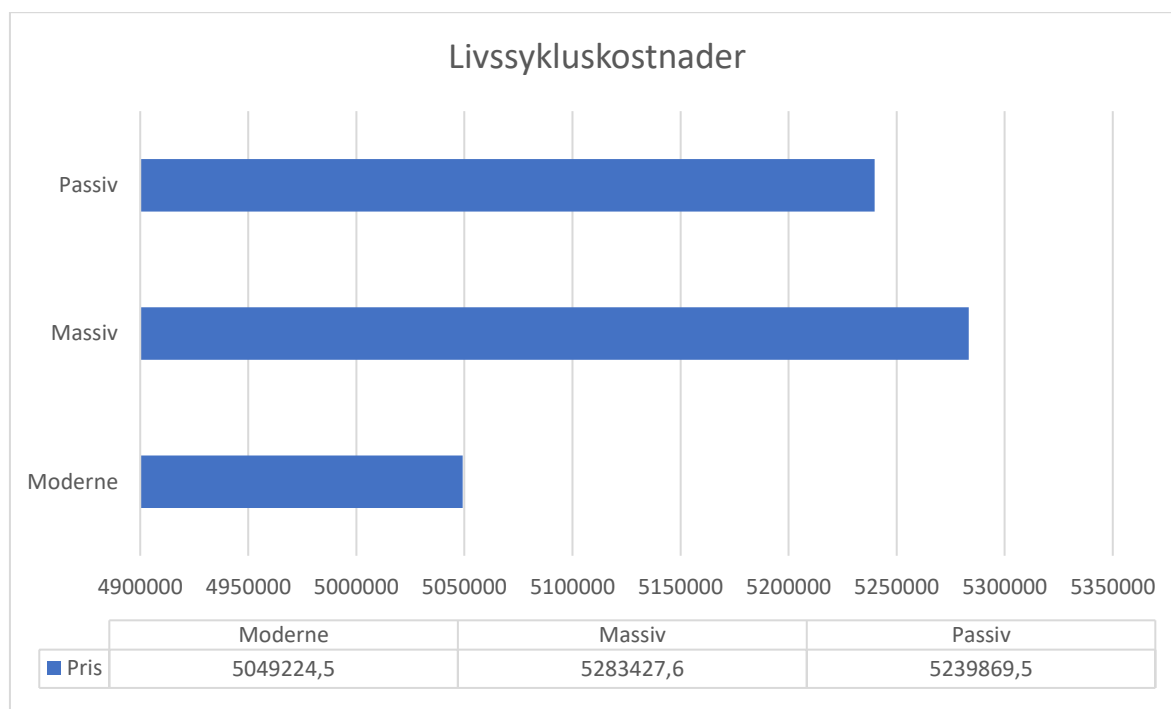
4.3.2 Dråpen Massivtre

Byggekostnadene ble kalkulert til 4 059 046 kr. Bygget har et årlig energibehov på 16994 kWh. Dette tilsvarer en sum på 18 005 kr per år. Periodisk vedlikehold hvert 30. år er satt til 15% av byggekostnaden. Utgifter til FDV for bygget er kalkulert til å ligge på 33 191 kr per år. Livssyklusanalysen gir en total kostnad over 60 år lik 5 283 428 kr, eller en årskostnad på 190 906 kr.

4.3.3 Dråpen Passivhus

Byggekostnadene ble kalkulert til 4 072 087 kr. Bygget har et årlig energibehov på 9889 kWh. Dette utgjør en sum på 13 584 kr per år. Periodisk vedlikehold hvert 30. år er satt til 15% av byggekostnaden. Utgifter til FDV av bygget er kalkulert til å ligge på 28 734 kr per år. Livssyklusanalysen gir en total kostnad over 60 år lik 5 239 870 kr, eller en årskostnad på 189 332 kr.

Diagrammet nedenfor viser nåverdien av alle livssyklus kostnadene.



Figur 16: Nåverdien av alle byggene.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

4.4 Materialvalg

Under beregningene av klimagassutslipp, var det i tillegg ønskelig å se hvilken påvirkning materialvalg har. Det ble først sett på utslipp og kostnader knyttet til ulike materialer.

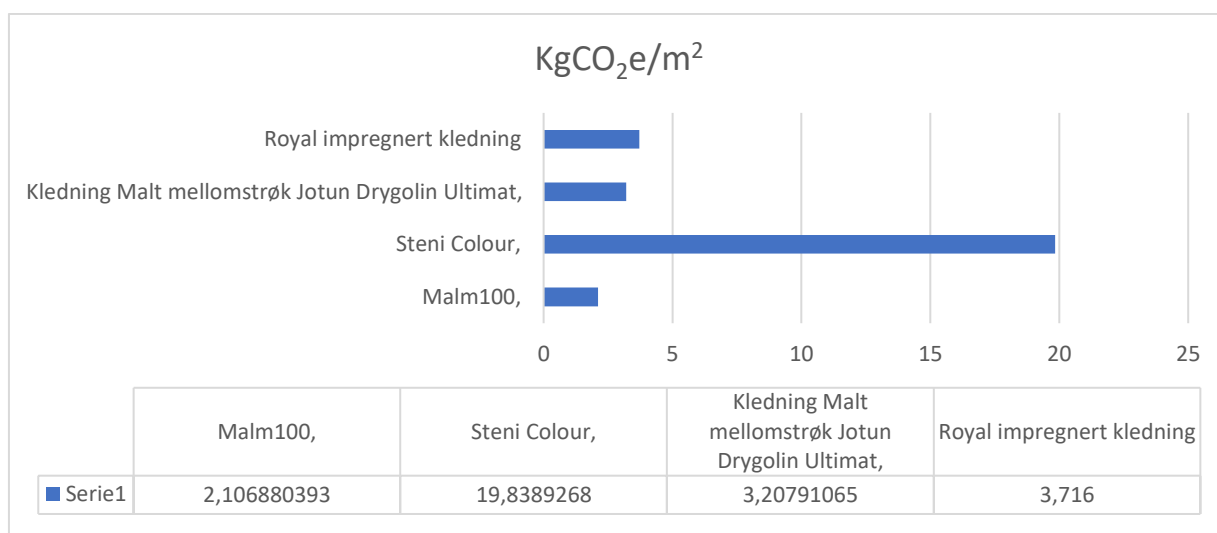
Deretter ble de sammenlignet mot hverandre. I kapitlene under sammenlignes klimagassutslipp og kostnadsanalyser for fasadekledning og isolasjonsmaterialer. Analyser ser på utslipp av CO₂e gjennom hele produksjonsstadiet, A1-A3. Priser er hentet fra diverse leverandører på nettet. Pris på arbeid er satt til kr 700,- per time. Tidsbruk er hentet fra SmartKalk. Frakt fra fabrikk til byggeplass er ikke medregnet i disse analysene. Komplette analyse finnes i vedlegg 9.

4.4.1 Fasadekledning

Dette underkapittelet inneholder en kostnads- og klimagassutslippsanalyse for et utvalg fasadekledningsprodukter. Alle produktene i analysen kan brukes som kledning på Dråpen Moderne. De analyserte kledningstypene er: Steni Colour fasadeplater, Malmfuru kledning fra Moelven, royalimpregnert kledning fra Alvdal Skurlag og malt kledning fra Moelven. EPD for sistnevnte kledning er for øvrig benyttet ved beregning av klimagassutslipp for Dråpen.

Klimagassutslipp

Klimadata fra produktene er hentet fra programvaren Reduzer, som igjen henter sine data fra nasjonale og internasjonale EPD'er. Alle produktene har en referanselevetid på 60 år.



Figur 17: Totalt utslipp av CO₂e fra de ulike fasadeproduktene.

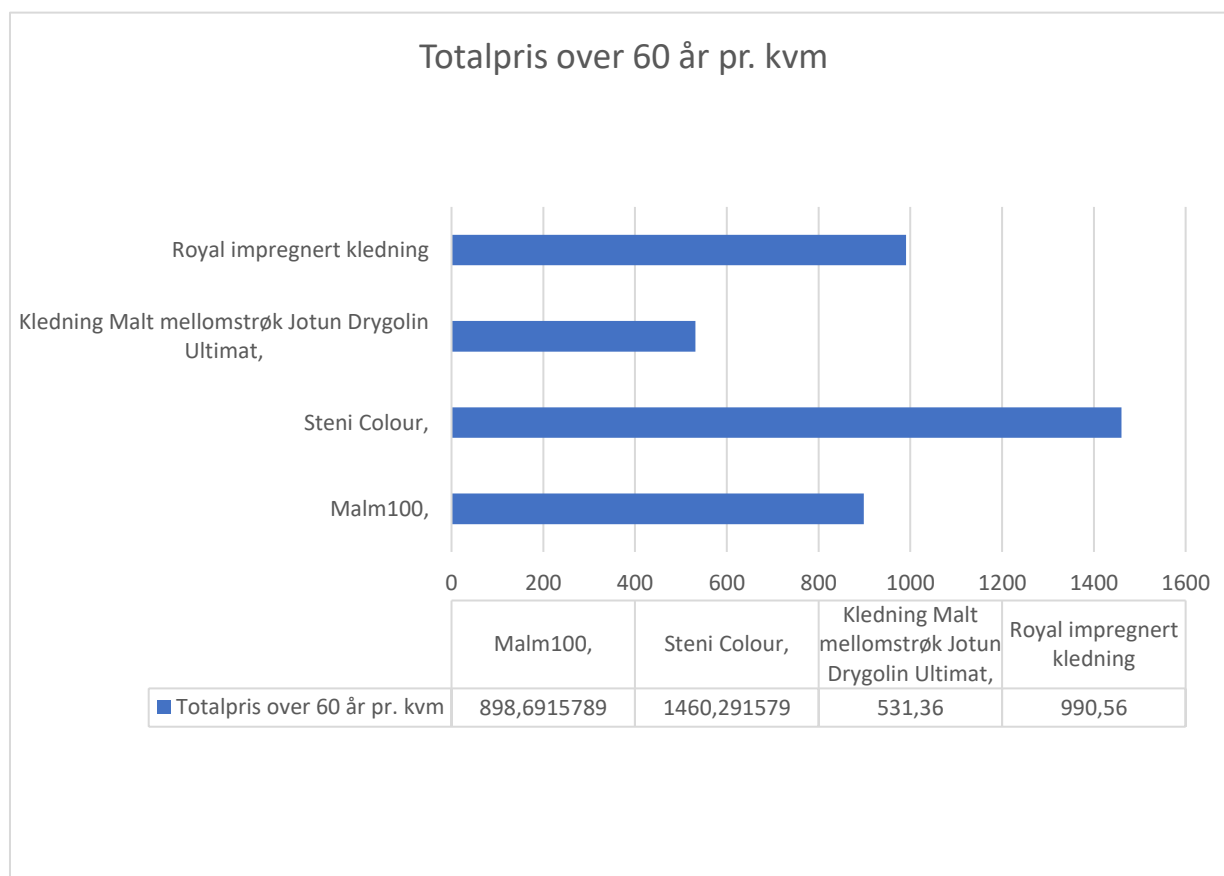
Illustrasjon: Sigurd H.K.

Figur 18 er produsert i Excel, med tall fra Reduzer. Figuren viser at kledningen av malmfuru har det laveste utslippet under produksjon. Tett etter kommer malt kledning og royalimpregnert kledning. Disse er alle tre-baserte produkter som er ubehandlet eller behandlet med maling- eller oljebaserte produkter. Fasadekledningen fra Steni skiller seg ut med et meget høyt utslipp sammenlignet med de andre produktene. Dette skyldes at produktet i stor grad er basert på steinkompositt, noe som medfører et betydelig større utslipp ved produksjon enn tre-baserte produkter. Steinkompositt består av glassfiber-armert, knust stein.

LCC-analyse

I denne analysen ses det på livsløpskostnadene til de samme kledningstypene over en periode på 60 år. Steni-platene og Malm100 krever minimalt med vedlikehold. Av den grunn er vedlikeholdskostnader satt til null ved beregninger for disse produktene.

Investeringskostnaden inneholder også priser på festemidler og utlekting. For royalkledning og malt kledning er prisen for vedlikehold over 60 år anslått til en nåverdi på 100kr/kvm. Resultatet fra analysen er presentert i figuren under.



Figur 18: LCC-analyse av ulike typer kledning.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

Også her uthever fasadeplatene fra Steni seg. Over 60 år viser de seg og være det dyreste valget. Bak de kommer malm- og royalkledning. Best ut kommer den malte kledningen fra Moelven. Selv med mer vedlikeholdskostnader kommer de rimeligst ut over 60 år. Resultatene viser at selv om de dyre materialene krever lite vedlikehold, vil ikke innsparingen dekke de økte investeringskostnadene.

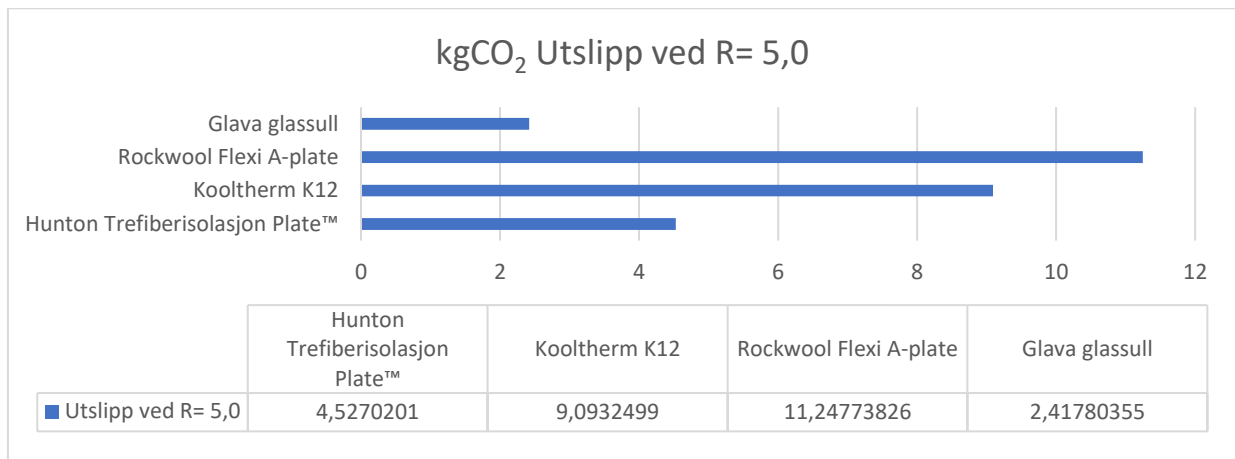
4.4.2 Isolasjonsmaterialer

I dette kapittelet presenteres resultater fra kostnads- og klimagassutslippsanalyser for ulike typer isolasjonsmaterialer. Under prosjekteringene tidligere i oppgaven ble det benyttet både glassull fra Glava, mineralull fra Rockwool og isolasjon fra Kingspan. Denne analysen ser nærmere på disse tre produktene i tillegg til trefiberisolasjon. Produktene i analysen brukes som isolasjon i vegg, etasjeskillere og takkonstruksjoner. I denne sammenligningen analyseres materialer med lik varmemotstand R på 5,0 og lik mengde 1 m². Denne omgjøringen beregnes ved hjelp av følgende formel:

$$R = \frac{d}{\lambda} \rightarrow d = 5,0 * \lambda$$

Tabell 13: Tykkelser og egenskaper for isolasjonstyper i analysen.

| Produkt | Varmekonduktivitet λ | Tykkelse | Varmemotstand R |
|----------------------------------|------------------------------|----------|-----------------|
| Glava proff 34 | 0,034 | 170 | 5,0 |
| Hunton Nativo Trefiber-isolasjon | 0,038 | 190 | 5,0 |
| Rockwool Flexi-a-plate | 0,037 | 185 | 5,0 |
| Kingspan Kooltherm K12 | 0,020 | 100 | 5,0 |



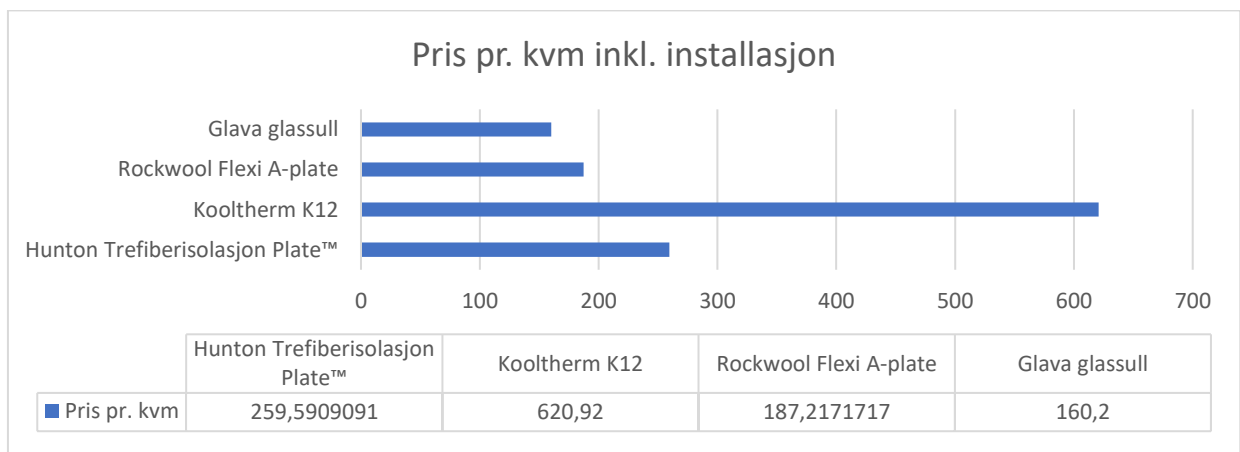
Figur 19: Utslipp for 1m² av ulike isolasjonsmaterialer når R=5,0.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

Figuren viser at Glava mineralull har minst utslipp i forhold til varmemotstand. Rockwool har det høyeste. Ved valg av isolasjon er også tykkelsen essensiell, og her kommer Kingspan K12 best ut, etterfulgt av Glava. Levetiden er oppgitt til 60 år for alle produktene.

LCC-analyse

For montering er det beregnet 0,08t montering pr kvm isolasjon. Det antas at isolasjonen ikke trenger vedlikehold i løpet av levetiden, og vil derfor ikke medføre ekstra kostnader etter installasjon. For tykkelser er det benyttet pris på nærmeste dimensjon, videre er denne prisen allokert slik at den samsvarer med tykkelsen i tabellen. Alle priser er hentet fra kommersielle aktører den 02.05.2022.



Figur 20: Priser på isolasjon inkludert montering.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

Fra grafen i figur 20, ser man at glassull-, steinull- og trefiber-isolasjon ender med forholdsvis lik pris, mens Kooltherm er noe høyere. Kingspan har sine produksjonslokaler i Nederland, dette medfører øke kostnader og klimagassutslipp knyttet til frakt.

5 Diskusjon

5.1 Resultater

5.1.1 Standard utforming

Bygget fikk et høyere klimagassutslipp sammenlignet med massivtrehuset, men lavere enn passivhuset. Om en går nærmere inn på resultatene, ser man at de største utslippene kommer fra postene grunn og fundamenter, yttervegger og yttertak. Disse bygningsdelene er mest omfattende og inneholder flest komponenter. Produktene i bygget produseres på forskjellige steder, og frakten til og fra fabrikk vil påvirke utslippene. Bygget ligger mellom massivtre og passivhuset i utslipp både for sluttstadiet og bruksfasen, men har det minste utslippet under produksjon og transport til byggeplass.

Om en ser på det totale energibehovet, krever dette huset mest energi. Dette skyldes et varmetapstall over det beregnede kravet, og et noe høyt areal av vinduer og dører delt på bruksareal. De var forventet at huset skulle scoret lavest på energieffektivitet.

Huset har den laveste investeringskostnaden. Materialene og byggemetoden er godt utprøvd, og det gjør at både materialer og arbeider blir billigere. Over tid, vil bygget kreve en del energi til oppvarming. Tappevann og tekniske installasjoner krever mest strøm ifølge evalueringene, og selv med dagens energipriser vil bygget være det billigste over en periode på 60 år. Det krever også minst vedlikehold og utskiftninger.

5.1.2 Massivtre

Dette bygget endte opp med det laveste klimagassutslippet. Treverkets evne til å lagre CO₂ gjør utslag på klimagassregnskapet. Produksjon og transport av massivtre-elementene utgjør mesteparten av de utslippene. Videre vil besparelsen av stålbjelker senke utslippene ved at de erstattes av et mer miljøvennlig produkt, tre. Overflatene på elementene vil være synlig innendørs, og man sparer derfor inn en del utslipp ved at både utlekting, isolering, kledning, maling og sparkling utelates. Bygget har lavere energibehov enn standardbygget. Det er likevel ikke snakk om mye; 3 kWh/m² mindre. Dette skyldes et noe bedre varmetapstall, og lavere u-verdi på kompakttaket.

Massivtre krever størst investeringskostnad og høyest kostnad gjennom levetid. Massivtre-elementer er dyre i produksjon, og transporten fra fabrikk og ut til byggeplassen er heller ikke rimelig. Selv om huset bygges på kortere tid, vil ikke denne besparelsen være stor nok til å gjøre dette huset mer lønnsomt med tanke på økonomi.

5.1.3 Passivhus

Passivhuset endte på mest klimagassutslipp. Med nesten 6 tonn mer CO₂e enn standardhuset. Tykkere isolasjon medfører en økning i klimagassregnskapet. I tillegg må deler av den fraktes fra fabrikk i Nederland. Passivhuset prosjekteres med færre vinduer, dette reduserer klimagassutslipp, men ikke nok til å dekke opp for økningen i isolasjon. Tekniske anlegg ble utelatt fra klimagassregnskapet da gruppen ikke lyktes i å finne gode nok data på produktene. Klimagassregnskapet for dette bygget ville nok vært høyere dersom en hadde inkludert solfangere og vannbåren varme. Klimagassregnskapet for passivhuset kan derfor være noe misvisende.

Når en ser på netto energibehov, vil passivhuset få et betydelig lavere oppvarmingsbehov sammenlignet med de to andre byggene. Mindre vinduer, lavere varmetapstall, mindre energi til oppvarming av tappevann og oppvarmingsbehov er alle faktorer som virker positivt på det totale energibehovet. Mindre vinduer gjør at det er mindre arealer eksponert for varmetap. Det er valgt standard vinduer med en total u-verdi på 0,8 W/m²K. En kunne ha redusert varmetapet gjennom vinduene, ved å bruke vinduer med lavere u-verdi. Siden passivhuset kommer innenfor kravene i den tyske passivhusstandarden ved å redusere vindusarealene, var det ikke behov for det. Det totale varmetapstallet påvirkes av u-verdiene til bygningskomponentene og lekkasjetallet. Passivhusstandarden stiller strengere krav til utførelse ved tettesjikt, og får, ved korrekt montering, ofte et noe lavere lekkasjetall enn for eksempel et hus som prosjekteres etter TEK 17.

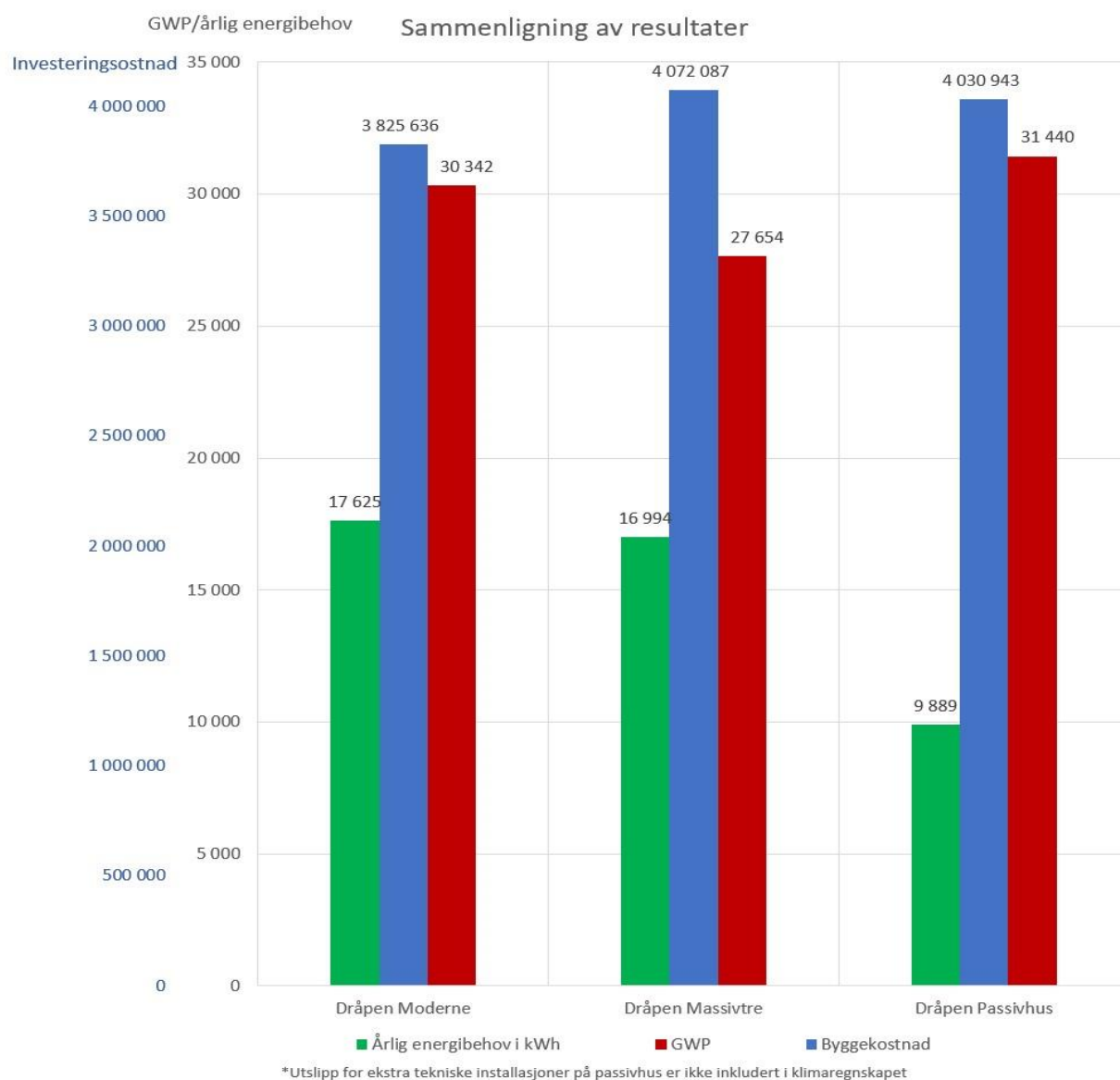
Solfangerne gjør at det kreves opptil 61,7 % mindre energi til oppvarming av tappevann(1). Det meste av oppvarmingsbehovet dekkes av en luft til vann-varmepumpe, kombinert med et vannbårent varmesystem.

Passivhuset krever en investeringskostnad på 4,07 millioner kroner. Det ligger da tett opptil massivtrehuset når det gjelder investeringskostnad. Det ble på forhånd antatt at passivhuset kom til å være det rimeligste over 60 år, da det krever mye mindre energi.

Det var dermed noe overraskende at huset totalt endte med en årskostnad på 187 853 kr, noe som er over 4000 kr mer i året enn standardhuset. Dette skyldes de store investerings- og vedlikeholdskostnadene de ekstra tekniske anleggene medfører.

5.2 Sammenligning av resultatene

I dette delen sammenlignes og drøftes resultatene. Resultatet fra sammenligningene er presentert i grafen under.



Figur 21: Samlede resultater.

Illustrasjon: Sigurd H.K.

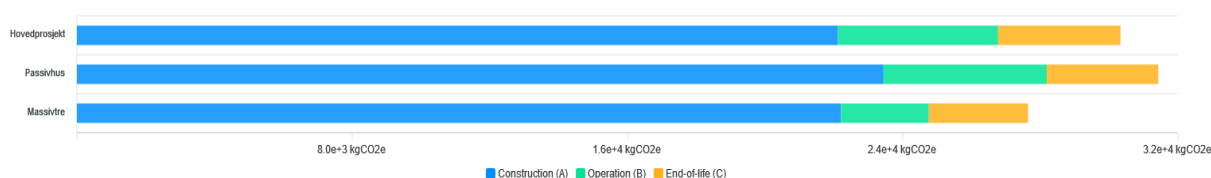
Stolpediagrammet har to forskjellige y-akser. Aksen som er merket blått korresponderer med byggekostnaden. Akse merket med svart korresponderer med årlig energibehov og totalt klimagassutslipp.

Tabellen under viser prosentvis endring mellom byggene, hvor referanseprosjektet brukes som sammenligning og er 100% for alle verdier.

Tabell 14: %-vis endring sammenlignet mot referanseprosjektet

| | % endring i GWP | % endring i energibehov | % endring i byggekostnad |
|----------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|
| Massivtrehuset | 91,14 | 96,42 | 106,10 |
| Passivhuset | 103,62 | 56,11 | 106,44 |

Grafen under viser at massivtre-bygget har en del lavere GWP i bruksfasen. Dette skyldes at massivtreet består av færre komponenter med lengre levetid. Stålprofiler som er brukt i passivhuset og referanseprosjektet har en levetid på 50 år, disse medfører også et utslipp i bruksstadiet, når de må byttes. Dette, kombinert med blant annet ekstra utslipp i forbindelse med maling av innervegger hvert 15 år, gjør at passivhuset og referanseprosjektet presterer dårligere i bruksstadiet.



Figur 22: Sammenligning av de totale klimagassutslippene.

Illustrasjon: Grafikk fra Reduzer.

Det var på forhånd forventet at massivtrehuset ville ende på størst investeringskostnad. Elementene er dyrere og tyngre enn vanlig bindingsverk. Monteringen av komplette yttervegger i massivtre går opptil 40% raskere enn yttervegger i bindingsverk, og det ble antatt at denne besparelsen ville ha større effekt enn den hadde. Når en sammenligner klimagassutslippene til byggene, kommer massivtrehuset best ut. Dette var som forventet, da treverk naturlig lagrer CO₂. For innklimaet vil bruken av massivtre utgjøre en stor forskjell.

Trevirke er et «levende» materiale, og har den egenskapen at det tar opp og lagrer fuktighet dersom inneklimate er fuktig.

Motsatt, slipper det ut igjen fuktighet dersom inneklimate er for tørt. Trevirket i veggene bidrar dermed både til lagring av CO₂ og fuktighet. Dette er to gode egenskaper de andre byggene ikke har. Massivtre er egnet for gjenbruk ved at de kan skrus fra hverandre og brukes på nytt.

Det var relativt små forskjeller i resultatene fra livssyklus kostnadene. Passivhuset var forventet å komme best ut. Det ble antatt at forskjellen i kostnader knyttet til energibruk over 60 år var større enn differansen i investeringskostnad. De utførte livssyklus kostnadene har noen svakheter. Den tar blant annet ikke hensyn til endringer i strømprisene. Økt strømpris vil gjøre positivt utslag for passivhuset over 60 år, da de andre byggene vil få større økning i de månedlige kostnadene. Investeringskostnaden for solfangere og vann til luft-varmepumpe kombinert med vannbåren varme var så stor at det overgikk besparelsen i energiutgifter. Basert på forutsetningene, var det forventet at passivhuset fikk størst klimagassutslipp. Med mer og tykkere isolasjon i ytterveggene, grunn og tak vil naturligvis utslippene også øke. Det at det ble fjernet tre vinduer fra passivhuset utgjorde en forskjell på utslippene. Det vil naturligvis også utgjøre en forskjell på inneklimate ved at lysinnslipp også reduseres. Dette er noe som må tas med i vurderingen ved valg av løsning.

5.3 Klimagassregnskap

I forslaget til endring i TEK17, ønsket DIBK å stille et krav om klimagassregnskap for prosjekter. Lengre frem i tid er tanken og inkludere småhus også. Dette er et skritt i riktig retning, da det er nødvendig at hele byggebransjen søker klimavennlige løsninger på sine prosjekter. Det bør stilles krav til andre aktører, spesielt produsenter av byggevarer, slik at byggebransjen kan holde tritt med etterspørselen av data. Det foreligger per i dag ingen krav til dokumentasjon av klimagassutslipp for produkter. Gruppen erfarte under arbeidene med oppgaven at det finnes for lite miljødata på spesifikke produktgrupper, og at det føles mindre hensiktsmessig å regne et fullstendig klimagassregnskap når det ikke stilles krav til EPD på nye produkter. Det er i dag opp til produsentene selv om de vil lage EPD'er på sine produkter eller ikke.

Det finnes for eksempel ikke et godt nok miljødatagrunnlag til å kunne ha med tekniske installasjoner i klimagassregnskapene. Derfor utelates disse i klimagassregnskapet i de fleste standarder. De tekniske installasjonene utgjør en betydelig del av klimagassutslippene til et bygg, og at det bør arbeides med å dokumentere utslippene til slike komponenter da de høyst sannsynlig bidrar til høyere utslipp.

Ulike standarder har ulike krav til hvilke deler som skal ivaretas i et klimagassregnskap. Det nye forslaget til TEK17 har eksempelvis krav om å inneholde utvalgte bygningsdeler innenfor A1-A3 og B4-B5. Vår analyse inneholder alle bidrag i hele levetiden til bygget. Regnskapet vil da vise et høyere og mer komplett utslipp enn det samme bygget regnet etter endringsforslagene til TEK17.

Det er også ulike metoder for å beregne klimagassutslipp. Våre resultater baserer seg på beregningsmetodikken gitt av NS3720. I tillegg til NS3720 kan en også bruke Futurebuilt Zero. Futurebuilt sin beregningsmetode er basert på NS3720, men inkluderer også faktorer for endringer i fremtiden. I NS3720 vektet fremtidige oppgraderinger et klimagassutslipp basert på dagens nivåer. Futurebuilt benytter seg av tidsveking, teknologiveking og utslippsfaktor for energibruk ved beregning av fremtidige utslipp. Dette kan gi et mer realistisk klimagassregnskap, men baserer seg også på matematiske antagelser på hvordan teknologien og utslippene vil utvikle seg i fremtiden. I tillegg beregnes en reduksjon ved opptak av biogent karbon. Kort oppsummert vil det totale beregnede klimagassutslippet bli mindre dersom man benytter seg av beregningsmetoden til Futurebuilt Zero. I Reduzer har man mulighet for å velge beregningsmetodikk.

For at klimagassregnskapet skal kunne klassifiseres som et «helhetlig klimagassregnskap-basisberegning med lokalisering», i henhold til NS3720 tabell 1 (18). Vil det, i tillegg til våre beregninger og resultater, være nødvendig å legge inn utslipp fra energiforbruk i drift. Det ble valgt å utelukke denne beregningen, da Reduzer per nå ikke har en funksjon for beregning av dette. Dette er planlagt implementert når programvaren slippes kommersielt. Norge forsynes i hovedsak av energikilder med lave CO₂ utslipp som vann- og vindkraft. Det vil derfor ha større betydning å inkludere dette i land som benytter seg av mindre miljøvennlige energikilder.

Ved å systematisk arbeide med beregning av klimagassregnskap har gruppen opparbeidet seg erfaringer over hva det er som mangler i dag. Digitalisering og utarbeiding av EPD'er er et område som har stort potensial for forbedring. EPD'er har ikke tidligere vært maskinlesbare, men EPD-Norge er midt i en digitaliseringsprosess og gjør EPD'ene digitale fortløpende. Gruppen har vært i kontakt med EPD-Norge som er programoperatør for Norges nasjonale EPD ordning. 30 mars 2022 var det om lag 500 EPD'er som ikke var digitalisert. Det er også en stor mengde byggevarer, som mangler eller har utgåtte EPD'er. NS3720 tillater at materialer kan utelates, dersom de ikke opptar mer enn 5 vektprosent av byggets totale vekt (18). Det vil derfor være akseptabelt at mindre byggevarer som skruer, spiker, festemidler ikke legges inn i klimagassregnskap.

I forslaget til DIBK inkluderes også frakt ut til byggeplass som et av kriteriene klimagassregnskapet skal inneholde. En stor andel av fabrikkene som har EPD for sine produkter befinner seg i byer, hvor mesteparten er lokalisert sør i landet. Tallfestede krav til klimagassutslipp vil dermed kunne føre til at det er lettere å oppnå disse i byene enn i distriktene.

5.4 Energisimuleringer

Energisimuleringene for massivtre-bygget og standardbygget ble utført i SIMIEN. For passivhuset ble energisimuleringene utført av en annen bachelorgruppe i PHPP. Det at energisimuleringene er utført i forskjellige programvarer påvirker resultatene. Ulike programvarer har forskjellige inngangsdata og måleverdier, dette fører til at sammenligningsgrunnlaget mellom resultatene blir dårligere. Gruppen har i denne oppgaven ikke hatt anledning til å kvalitetssikre resultatene fra energisimuleringen i PHPP.

Energisimuleringer utføres etter nasjonale og internasjonale standarder. En studie utført av Norconsult, publisert på bygningsfysikk.no, viser at det reelle forbruket for en skole var langt høyere enn beregnet (39). Rapporten viser at reelt forbruk var over dobbelt så høyt sammenlignet med det beregnede forbruket etter NS3701. Det kan være flere feilkilder til gapet mellom faktisk og beregnet energibruk. Det kan skyldes feil i inngangsverdier, at det brukes standardverdier eller at inngangsdataene tilpasses slik man får ønsket resultat. Små endringer og valg i inngangsdata kan gi store variasjoner for resultatet på energiberegningene. Det er samtidig vanskelig for en tredjepart å kontrollere dette.

5.5 Livssyklus kostnader

Metoden gruppen tok i bruk for beregning av livssyklus kostnader baserer seg på NS3454:2013 «Livssyklus kostnader for byggverk»(31).

Beregninger knyttet frem i tid medfører alltid usikkerhet. Fremtidig usikkerhet skal gjenspeiles gjennom kalkulasjonsrenta. Kalkulasjonsrenta gjenspeiler nominell rente, og skal være justert for inflasjon, den kan også justeres for usikkerhet. Størrelsen på kostnadene i livssyklus analysen påvirkes av kalkulasjonsrenta. Høyere rente gjør fremtidige investeringer rimeligere i forhold til nåverdien. Lavere rente gjør investeringene dyrere. En kan ikke forutse alle ytre faktorer som kan ha innvirkning på kostnadene. Drastiske endringer i verdensbildet, globale matkriser, krig, naturkatastrofer og pandemier er alle faktorer som har potensiale til å utgjøre store forandringer i økonomien. Strøm-, olje- og gassprisene per mai 2022 er et eksempel. Unormalt høye kostnader fører til større usikkerhet.

Det er usikkerheter til investeringskostnaden på passivhuset, da det var nødvendig med både solfangere, vannbåren varme og luft til vann-varmepumpe for å få det godkjent som passivhus. Priser på disse tekniske anleggene var vanskelige å anslå, da gruppen ikke lyktes i å innhente priser fra leverandører. Prisene for analysen er basert på priser fra kommersielle leverandører funnet ved nettsøk.

Utgiftene for FDV hvert 30. år er satt til 15 % av byggekostnadene, basert på gruppens erfaringer, kombinert med informasjon hentet fra ulike nettsider. Utskiftninger av tekniske anlegg og mer drastiske tiltak som baderom, rør og utvendig kledning ble anslått ved hjelp av kostnadene på komponentene i SmartKalk, kombinert med gruppens erfaringer. Lettere vedlikehold hvert 10. år er også et anslag. Ulike komponenter og materialer har ulik levetid og krever ulike vedlikeholdsintervaller. Selv om gruppen innehar faglig kompetanse på byggetekniske løsninger, knyttes det likevel usikkerhet til kostnader ved utskiftning av tekniske anlegg. Bruken av byggene har også mye å si for utskiftningsintervallene.

5.6 Materialvalg

Dette kapitlet tar for seg resultatene presentert i analysen over materialvalg i 4.4. Den første analysen tar for seg ulike utvendige kledninger. Analysen består av fire forskjellige typer kledning, ett steinkompositt produkt og tre tre-produkter. Analysen viser at produktet av steinkompositt, Steni Colour, kommer dårligst ut både med tanke på pris og utslipp. Steinkompositten er et «dødt» produkt, og vil dermed være mindre utsatt for påvirkning fra omgivelsene. I motsetning til tre-kledninger vil ikke Steni-platene være like utsatt for oppsprekking og svelling/krymping som følge av sol og værforhold. Produktet gir også et estetisk preg og benyttes ofte for å bryte opp fasader på eneboliger. For næringsbygg og større blokker blir dette produktet ofte brukt, da det medfører minimalt vedlikehold.

Tre-kledningene kom relativt likt ut med tanke på klimagassutslipp. Standard-kledning, malt med mellomstrøk kom likevel best ut i begge analyser. Basert på kriterier i analysen vil dette produktet være det beste valget. Valget av tre-kledning kan vurderes videre da det er flere aspekter ved sammenligningen. Dersom kunden ønsker en kledning med minst mulig vedlikehold, og en «levende» fasade som endrer uttrykk over tid, vil kledning av malm-furu innfri disse kriteriene. Den medfører likevel en større investeringskostnad. Royal-impregnert kledning medfører noe større vedlikehold enn kledning av malmfuru, den krever imidlertid mindre vedlikehold enn standard kledningen. Denne type kledning medfører også et særegent estetisk uttrykk, som kan passe for noen kundegrupper.

Analysen for isolasjonsmaterialer tar for også for seg fire forskjellige produkter. I denne analysen kommer Glava glassull best ut, både med tanke på pris og utslipp. Miljødata for Rockwool er hentet fra deres fabrikker, hvorav to er i Danmark, og en er i Trondheim. Miljødata for strømforbruk fra 2020, viser at strøm fra Danmark medfører 6.7 ganger mer klimagassutslipp sammenlignet med klimagassutslipp for strøm fra Midt-Norge (40). Dette kan forklare det høye utslippet Rockwool medfører. Kingspan isolasjon produseres i Nederland. Dette vil også påvirke klimagassutslipp for denne isolasjonen, da Nederland har over 14 ganger så mye utslipp knyttet til strømforbruk sammenlignet med Midt-Norge (40). Hunton trefiberisolasjon produseres i Norge på Gjøvik.

For at de ulike isolasjonsproduktene skal kunne sammenlignes på likest mulig grunnlag ble det valgt å justere tykkelser, slik at produktene får like gode varmetapsegenskaper. Isolasjonen fra Kingspan er dyrest og har også nest høyest utslipp.

Noe av dette kan skyldes plassering av fabrikken. Dersom det er begrenset med plass til isolasjonen, eller at man ønsker å utnytte mest mulig av arealet, vil en isolasjon fra Kingspan bidra til bedre varmetapsegenskaper enn de andre typene. De tre resterende produktene har relativt like varmetapsegenskaper, likevel kommer Glava sitt produkt best ut her også.

Analysen av klimagassutslipp tar kun for seg utslippet knyttet til produksjon av disse produktene. Trefiber-isolasjonen vil i en komplett livsløpsanalyse komme bedre ut. Trefiber-isolasjon lagrer karbon gjennom hele livsløpet, og bidrar dermed til et lavere klimagassutslipp (41). Trefiberisolasjon har også hygroskopiske egenskaper, det vil si at produktet, siden det består av tre, vil ha mulighet til å avgi og ta opp fukt avhengig av luftens relative fuktighet (41).

Alle produktene har en levetid på 60 år eller mer. Det betyr at i en livssyklus kostnadsanalyse, vil det ikke være behov for kostnader knyttet til vedlikehold. I praksis vil da analysen kun bestå av investeringskostnader og pris for montering. Prisene på Glava, Rockwool og Hunton trefiber varierer fra 160 kr per kvadratmeter til 260 kr per kvadratmeter. Hunton er dyrest, Glava er rimeligst. Prisen på Kooltherm er derimot 620 kr, og er dermed en del høyere enn konkurrentene.

5.7 Programvarer

Det er benyttet velkjente og utprøvde programvarer og systemer som brukes av bransjen i dag. Beregning av klimagassregnskap er noe som er relativt fersk i byggebransjen, og det finnes derfor kun en håndfull programmer som tilbyr tjenester innen dette området.

For å beregne klimagassutslippene, ble det kartlagt hvilke programvarer som var tilgjengelige. I den forbindelse kom gruppen tidlig i kontakt med utvikleren av Reduzer. Selv om programmet var under utvikling, var det fordeler ved å ta del i brukstesting og samarbeid med utvikleren. Eirik Resch har god kunnskap rundt livsløpsanalyser og klimagassregnskap og sa seg villig til å hjelpe oss med spørsmål knyttet til disse temaene. I gjengjeld ønsket han tilbakemeldinger rundt bruk og utvikling av programvaren.

Gjennom systematisk arbeid med uthenting av data fra EPD'er, har gruppen tilegnet seg en bredere kunnskap om hva de ulike verdiene i en EPD forteller. Mengde, volum, densitet og vekt har mye å si for klimagassutslippene. Det at Reduzer fortsatt var under utvikling, ba på en rekke utfordringer underveis i prosessen. Enkelte funksjoner som lang opplastningstid og feil og mangler i programvaren bidro til at prosessen ikke ble like enkel. Lang innlastningstid i prosjektet gjorde prosessene svært tidkrevende. Likevel sitter gruppen igjen med mer kunnskap om inngangsdata og beregningsmetoder, og et større innblikk i et tema som gruppen mest sannsynlig vil komme over i fremtiden.

Kalkylene er beregnet i programvaren Holte SmartKalk. Dette er en programvare gruppen hadde noe kjennskap til gjennom tidligere emner. Likevel ble det en del prøving og feiling, men også god læring. Programvaren ble valgt, da dette er Norgeshus sitt primære kalkulasjonsverktøy. De kunne tilby ferdigkalkulert mal-fil til standardbygget. I tillegg er programvaren en ledende leverandør innen kalkyleberegninger.

5.8 Diskusjon av metode

Omfanget av oppgaven førte til at deler av oppgaven ble basert på tidligere resultater. Når en ser tilbake på det, kunne det vært fordelaktig å utarbeide prosjektgrunnlaget for passivhuset selv. Gruppen så det lite hensiktsmessig å prosjektere passivhuset selv, da en annen bachelorgruppe jobbet med dette parallelt. Dersom en hadde prosjektert bygget selv, ville løsningene i større grad rettet mot våre målepunkter, og mindre på tekniske løsninger.

Under livskostnadsanalysene kunne gruppen med fordel ha innhentet priser for tekniske anlegg til passivhuset. I oppgaven ble et anslag brukt. Om denne summen reflekterer det en ville ha måttet betale i det åpne markedet er uvisst.

Under beregningen av massivtre og passivhus, burde eksterne aktører blitt kontaktet tidligere for hjelp med dimensjonering. Gruppen burde ha forutsett at kontakt med eksterne leverandører av massivtre og isolasjonsmateriale kom til å ta tid, og innser at en burde ha tatt kontakt før.

Gruppen har beregnet klimagassutslipp etter kravene i NS3720. Denne standarden medregner ikke opptak av biogent karbon i bruksfasen. Ved beregning gjennom Futurebuilt Zero medregnes dette. NS3720 ble valgt da dette er metodikken i den nasjonale standarden. Massivtrehuset inneholder mer treverk enn resten av byggene. Enkelt forklart medregner Futurebuilt at et nytt tre vil bli plantet etter at man har hogget et annet. Opptak av karbon fra dette nye plantede treet vil dermed medregnes i klimagassregnskapet for bygget i bruksfasen. Dette forutsetter bærekraftig skogforvaltning. Dersom beregningsreglene i Futurebuilt Zero hadde vært benyttet, ville dette redusert utslippet til massivtrehuset.

5.9 Feilkilder

Uansett hvor godt man beregner, simulerer og analyserer prosjekter, vil resultatene alltid være en tilnærming til virkeligheten. Målet med prosjektering er å få denne tilnærmingen så nær en virkelig løsning som mulig. En sentral del av å bli bedre på dette vil være å analysere eget arbeid, og lete etter feilkilder. I dette kapitlet gjøres nettopp det.

For å få prosjekteringen til å tilnærme seg virkeligheten er man avhengig av å ha et godt datagrunnlag. En del av datagrunnlaget i våre analyser er hentet fra Reduzer, som igjen henter mye av sine data fra EPD'er. Noen av EPD'ene blir kontrollert og lagt inn av brukere. Reduzer har i startfasen valgt å la utvalgte brukere få mulighet til å legge inn data fra EPD'er i deres database. Det har ikke vært en mulighet å kvalitetssikre alle EPD'ene. Det er derfor mulig at noen brukere har tolket datagrunnlaget for EPD'er feil og at det dermed kan blitt lagt inn feil data i Reduzer, noe som igjen kan ha forplantet seg til vårt klimagassregnskap.

Programvaren for klimagassberegning er under utvikling, og har per mai 2022 ingen funksjon for beregning av klimagassutslipp som følge av energibruk. Dette ville ha påvirket utslippene, og i stor grad utslippene til passivhuset. Passivhuset bruker mye mindre energi enn de andre byggene. NS3454 stiller krav til at et helhetlig klimagassregnskap skal inneholde utslipp knyttet til energibruk i bruksstadiet.

Prosjekteringen av Dråpen Moderne er utført av Norgeshus. Prosjektet er detaljprosjektert, og løsningene er nøye gjennomtenkt. I tillegg har arbeidet pågått over flere år.

Prosjekteringsgrunnlaget for både massivtre- og passivhuset er basert på forenklinger og anslag, og vil derfor ikke være av like høy kvalitet som referanseprosjektet. Badet på massivtrehuset er eksempelvis ikke detaljprosjektert. Her vil det være nødvendig med nedsenket gulv etter kravene gitt i våtromsnormen. Slike detaljer kan påvirke resultatene i oppgaven.

Valgene som er gjort på passivhuset er tidligere nevnt prosjektert av en annen gruppe. Vårt fokus med oppgaven er å se på byggene ut fra et økonomisk, energieffektivitets- og klimagassregnskaps perspektiv. Vår samarbeidsgruppe kan ha prosjektert passivhuset ut ifra andre kriterier enn våre. En annen svakhet med passivhuset er at energisimuleringene er kontrollert opp mot den tyske passivhusstandarden og ikke NS3700:2013.

NS stiller strengere krav til eksempelvis varmetapstall for klassifisering av passivhuset, og det ble ikke gjort beregninger for å kontrollere om bygget består disse. Både massivtre og standardutgaven er prosjektert etter de norske kravene i TEK17 og har dermed et bedre sammenligningsgrunnlag.

Ved bearbeiding av store datamengder utgjør også taste- og avlesningsfeil en risiko, både i Reduzer og ellers i simuleringene.

6 Forskning og utvikling av teknologi

Gjennom denne bacheloroppgaven har gruppen tatt del i utprøvingen av programvaren Reduzer. Reduzer har som mål å konkurrere om å være markedsledende innen programvarer for beregning av klimagassregnskap. Utvidelse av produktbiblioteket, samt testing av systemet er noen av arbeidsoppgavene denne rapporten har medført. Ved å ta del i dette prosjektet føler gruppen at de har bidratt til innovasjon og utvikling i en del av bransjen som blir mer aktuell i tiden fremover. Hvis klimamålene skal nås, må bransjen fortsette å være fremoverlent.

Programmet har stort potensiale, og det kan vise seg å bli svært viktig i et ettertraktet felt innen bygg- og anleggsbransjen. Klima og miljø vil utgjøre en større del av prosjektene i fremtiden. Hittil har problemet vært at det ikke finnes gode nok løsninger og krav til blant annet dokumentasjon av klimagassutslipp, og at mange av de ikke er maskinlesbare. I tillegg er informasjonen som kan hentes ut fra blant annet filformatet .IFC for dårlig til at man kan stole på at riktige og korrekte materialer, komponenter, mengder og verdier blir tatt med. Dette skyldes at folk tegner modeller med ulik detaljeringsgrad og på ulike måter, modellene blir dermed ikke detaljerte nok til å kunne hente ut data direkte. Når utviklingen av denne teknologien kommer ett steg videre, vil klimagassregnskap kunne gjøres utrolig mye mer effektivt enn i dag.

En funksjon som hadde gjort valg av ny bolig enklere, er å gå inn på en nettside, legge inn informasjon fra klimagassregnskap, energiforbruk, størrelse og kostnad, for så å få resultater for boligen. I tillegg vil man kunne sammenligne resultatet med gjennomsnittlige verdier for liknende bolig. På denne måten vil kunden kunne se fordeler og ulemper med tanke på pris, materialvalg og klimagassutslipp.

7 Konklusjon

Denne oppgaven har vist at det er mange aspekter som kan vurderes ved valg av byggemetoder. Noen av resultatene presentert i oppgaven kom uforventet. I delkapittelet 5.10 presenteres feilkilder knyttet til resultatene. Noen av disse feilkildene kan være årsaken til at resultatet ikke ble som forventet. Det var forventet at livssyklus kostnadene for passivhus skulle være lavere enn for referanseprosjektet. Prisen på de tekniske installasjonene og vedlikehold av disse driver opp kostnadene til passivhuset. Det diskuteres også om valgene gjort i den andre bacheloroppgaven kan være basert på andre faktorer enn de som er lagt til grunn i denne rapporten. Ut ifra resultatene finnes det få gode argumenter for å velge passivhus, likevel er det noen forbehold som må tas, og nærmere analyser bør gjøres før konklusjon. Store usikkerheter i strømpriser og andre valg av energikilder kan føre til at passivhus blir et rimeligere valg i en annen livssyklusanalyse, selv med resultatene fra denne oppgaven.

Med bakgrunn i resultatene er det gode argumenter for å velge både massivtre og referanseprosjektet. Dersom kunden ønsker et rimeligere bygg, med gode løsninger, og akseptabelt energiforbruk, vil Dråpen Moderne være et godt valg. Bygget presterer på et akseptabelt nivå innenfor alle kriteriene i oppgaven. Byggemetoder, tekniske detaljer og materialer er i større grad utbredt og benyttet over lengre tid, noe som vil gjøre bygget til et sikkert valg for kunden. Massivtre har mange egenskaper som flere kundegrupper vil sette pris på. Bygg i massivtre reduserer byggetiden betraktelig og bidrar til godt inneklima. Det er også et estetisk aspekt ved massivtre, dette har blitt mer populært de senere årene, og flere synes at dette ser bra ut. Denne byggemetoden er ikke per nå spesielt utbredt blant småhus. Massivtre vil også være praktisk ved innfesting av inventar og vegghengte løsninger, da man vil kunne feste produkter direkte på veggen uten å montere spikerslag. I tillegg vil man ved å velge massivtre bidra til å redusere utslipp av klimagasser.

Gruppen analyserte ulike prosjekteringsmetoder ut ifra teorien i figur 1. Et av målene var å sammenligne byggene, for så å plassere dem i en felles graf, ut ifra de resultatene i ulike parameterne. Figur 1 gir et bilde på hvordan de ulike faktorene påvirker hverandre, men disse forholdene er ikke alltid lineære. Stolpediagrammet presentert i figur 22, representerer en bedre modell av vår teori, og er en enklere metode for å sammenligne flere bygg.

8 Videre arbeid

I dette kapitlet presenteres forslag til videre arbeid som kan gjøres basert på vår oppgave. Oppgaven har sammenlignet resultater basert på tre forskjellige faktorer ved flere bygg. Prosjekteringsgraden på Dråpen Moderne er bedre utarbeidet enn for de to andre byggene. For å gjøre resultatene av denne oppgaven bedre, bør det jobbes mer med å få grunnlaget for massivtre og passivhuset mer detaljert for et bedre analysegrunnlag.

I kapittel 6 presenteres et forslag til et system for hvordan man i fremtiden kan sammenligne ulike bygg, med bakgrunn i de tre faktorene valgt i denne oppgaven. Figur 22 i delkapittel 5.3 illustrerer en måte ulike bygg kan sammenlignes på, grafisk. Videre kan det jobbes med å legge inn data for flere bygg, slik at sammenligningsgrunnlaget blir større, og det vil bli enklere for sluttkunden å gjøre et valg, basert på deres ønsker. Det vil da også være mulig å legge til enda flere faktorer, slik at sammenligningen blir bedre. Eksempler på faktorer som kan inkluderes er luftkvalitet, tekniske installasjoner eller verdi på plassering.

Klimagassregnskap er i byggenæringen relativt nytt, og den Norske standarden for dette ble først utarbeidet i 2018. Folk flest vet ikke hvor mye klimagassutslipp et hus har, og det blir dermed vanskelig å si om et utslipp er høyt eller lavt. Det bør med fordel lages opplysningskampanjer rundt bygningers klimagassutslipp, og at materialvalg har en direkte innvirkning på dette. Ett sammenligningsgrunnlag for flere bygg, kan bidra til bedre forståelse av tallene som blir presentert i et klimagassregnskap. Det bør også opplyses hva som inngår i klimagassregnskapet. Dette kan for eksempel presenteres med en tabell hvor de ulike stadiene og bygningsdelene som er inkludert er haket av. Alternativt kan det tilordnes standard verdier som legges til eller trekkes fra dersom et klimagassregnskap ikke er klassifisert som helhetlig klimagassregnskap i NS3720 tabell 1. Tidligere studier har vist at det kan forekomme store avvik i beregnet og faktisk energiforbruk (39).

Et krav for å sikre at klimagassregnskap og energiforbruk blir mer tilnærmet virkeligheten, vil da være å utføre måling av faktisk strømforbruk i et år. Disse verdiene kan igjen brukes for å oppdatere klimagassregnskapet.

Et krav til klimagassregnskap gjennom byggt teknisk forskrift er noe som absolutt burde innføres, men DiBK sine forslag om å utelate bygningselement 21- grunn og fundamenter er i gruppens øyne uheldig. Selv om grunnforhold varierer fra prosjekt til prosjekt vil kjelleretasjer, grunn og fundamentering stå for en stor andel av byggets totale klimagassutslipp. I tillegg burde det stilles rammekrav til maksimalt tillate klimagassutslipp i CO₂e /m²BTA.

Referanser

1. Sigrid R. Hogstad, Maja K. Rygge. Systemanalyse og utbedring av en katalogbolig for å oppnå høyere energieffektivitet. Trondheim: NTNU; 2022 mai.
2. Klimabaserte energikrav til bygg [Internett]. 1. Juli 2021 [Sisert 3. april 2022]. Tilgjengelig på: <https://dibk.no/klimabaserte-energikrav-til-bygg>
3. Simien | Simenergi [Internett]. [sisert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://simenergi.no/simien/>
4. HK. Dråpen Moderne [Internett]. [sisert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://norgeshus.no/no/bygge+hus/funkishus/drapen+moderne.html>
5. Energi og miljø (Sivilingeniør/Master, 5 år) - NTNU [Internett]. [sisert 21. april 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.ntnu.no/studier/mtenerg>
6. Tjernshaugen A. miljø. I: Store norske leksikon [Internett]. 2020 [sisert 21. april 2022]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/milj%C3%B8>
7. FNs klimarapport: En alarm for menneskeheten [Internett]. [sisert 5. mai 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.fn.no/nyheter/fns-klimarapport-en-alarm-for-menneskeheten>
8. Benestad R, Mamen J, Harstveit K, Fuglestedt JS. klimaendringer. I: Store norske leksikon [Internett]. 2022 [sisert 27. januar 2022]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/klimaendringer>
9. Bygger bedre kunnskap for en mer bærekraftig byggebransje [Internett]. [sisert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.forskningsradet.no/sok-om-finansiering/hvem-kan-soke-om-finansiering/naringsliv/prosjekter-naringslivet/bygger-bedre-kunnskap-for-en-mer-barekraftig-byggebransje/>
10. Nersund Larsen H. Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp [Internett]. 2019 mai [sisert 29. mars 2022]. Report No.: 621256–01. Tilgjengelig på: https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf
11. Miljødepartementet. Klimaendringer og norsk klimapolitikk [Internett]. Regjeringen.no. regjeringen.no; 2021 [sisert 16. mai 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/innsiktsartikler-klima-miljo/klimaendringer-og-norsk-klimapolitikk/id2636812/>
12. Nestaas I, Grønmo S. livsløpsanalyse. I: Store norske leksikon [Internett]. 2020 [sisert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/livsl%C3%B8psanalyse>
13. 470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper - Byggforskserien [Internett]. [sisert 27. januar 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsløpsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper
14. Livsløpsanalyser (LCA) [Internett]. Nibio. [sisert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.nibio.no/tema/miljo/livsløpsanalyser-lca>
15. 470.103 Miljødeklarasjoner (EPD) av byggevarer - Byggforskserien [Internett]. [sisert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/3006/miljoedeklarasjoner_epd_av_byggevarer

16. Hva er en EPD? [Internett]. EPD Norge. 2015 [sitert 28. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.epd-norge.no/hva-er-en-epd/>
17. Hvilke typer EPDer finner og hvordan er de forskjellige korr181121.pdf [Internett]. [sitert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.epd-norge.no/getfile.php/1321663-1637233134/Dokumenter/Hvilke%20typer%20EPDer%20finner%20og%20hvordan%20er%20de%20forskjellige%20korr181121.pdf>
18. Norsk Standard NS3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger. I Standard Norge; 2018.
19. Endresen LT. Stålekleivloftet er 848 år gammelt [Internett]. NRK. 2015 [sitert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.nrk.no/vestfoldogtelemark/stalekleivloftet-er-848-ar-gammelt-1.12664693>
20. Direktoratet for byggkvalitet §14-2 [Internett]. [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>
21. Gunnarsjaa A, Rygh P. bindingsverk. I: Store norske leksikon [Internett]. 2022 [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/bindingsverk>
22. Produktoversikt og fordeler [Internett]. Moelven. [sitert 21. april 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.moelven.com/no/produkter-og-tjenester/byggtre-og-konstruksjonsvirke/iso3-skumisolert-trestender/produktoversikt-og-fordeler/>
23. Rygh P. passivhus. I: Store norske leksikon [Internett]. 2021 [sitert 5. mai 2022]. Tilgjengelig på: <http://snl.no/passivhus>
24. 473.010 Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser - Byggforskserien [Internett]. [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser
25. 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 - Byggforskserien [Internett]. [sitert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946#
26. 472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi - Byggforskserien [Internett]. [sitert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi
27. Direktoratet for byggkvalitet §14-3 [Internett]. [sitert 29. mars 2022]. Tilgjengelig på: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-3/>
28. 421.132 Fukt i bygninger. Teorigrunnlag - Byggforskserien [Internett]. [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/184/fukt_i_bygninger_teorigrunnlag
29. Moist Air - the Mollier Diagram [Internett]. [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html
30. 520.401 Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall - Byggforskserien [Internett]. [sitert 4. april 2022]. Tilgjengelig på: https://www.byggforsk.no/dokument/4110/lufttetting_av_bygninger_framgangsmaate_for_aa_oppnaa_lavt_lekkasjetall

31. Norsk standard NS 3454:2013 Livssyklus kostnader for byggverk Prinsipper og klassifikasjon. I Standard Norge; 2013. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/nettbutikk/produktkatalogen/produktpresentasjon/?ProductID=626300>
32. Norsk Standard 3451:2022 Bygningsdelstabellen. I Standard Norge; [sitert 4. mai 2022]. Tilgjengelig på:
<https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=1411592>
33. Isolasjon for ventilerte fasader - REDAir Flex [Internett]. [sitert 21. april 2022]. Tilgjengelig på:
<https://www.rockwool.com/no/produkter-og-konstruksjoner/isolering-av-yttervegger/fasade-ventileret/redair-flex/>
34. Flate tak [Internett]. Norsk Massivtre AS. [sitert 21. april 2022]. Tilgjengelig på:
<https://norskmassivtre.no/flate-tak/>
35. Regjeringen. Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser. I [sitert 1. april 2022]. s. 9. Tilgjengelig på:
https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2021.pdf
36. Pedersen R. Kommunale avgifter [Internett]. Smarte Penger. 2019 [sitert 28. april 2022]. Tilgjengelig på: https://www.smartepenger.no/skatt/1116-kommunale_avgifter
37. 09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og kvartal. Statistikkbanken [Internett]. SSB. [sitert 27. april 2022]. Tilgjengelig på:
<https://www.ssb.no/system/>
38. Er ved egentlig billigst? [Internett]. [sitert 27. april 2022]. Tilgjengelig på:
https://www.enok.no/vis_nyhet2224.html?id=0
39. Kaln S. Er overordnede krav til passivhus fornuftige og miljøvennlige? [Internett]. 2018 nov 13 [sitert 13. mai 2022]. Tilgjengelig på:
http://bygningfysikk.no/NorskBygningfysikkdag2018/05_Ulimoen_Kalnaes_Overordnede_krav_til_passivhus.pdf
40. Live-data: Strøm og CO2 [Internett]. 2022 [sitert 16. mai 2022]. Tilgjengelig på:
<https://energiogklima.no/klimavakten/live-data-strom-og-co2/>
41. Mange grunner til å velge trefiber-isolasjon [Internett]. Hunton Fiber. 2020 [sitert 16. mai 2022]. Tilgjengelig på: <https://www.hunton.no/alle-gode-ting-er-tre/mange-grunner-til-a-velge-trefiberisolasjon/>

Vedlegg

Vedlegg 1: Artikkel

Vedlegg 2: Poster

Vedlegg 3: Utelatte komponenter fra klimagassregnskapet

Vedlegg 4: U-verdiberegning av kompakttak i massivtre

Vedlegg 5: Klimagassregnskap

Vedlegg 6: Energisimuleringer Dråpen moderne

Vedlegg 7: Energisimuleringer Dråpen massivtre

Vedlegg 8: Livssykluskostnader

Vedlegg 9: Analyse av materialvalg

Vedlegg 10: Sammenligning av resultatene

Vedlegg 11: Materialliste Dråpen massivtre

Vedlegg 12: Materialliste Dråpen standard

Vedlegg 13: Materialliste Dråpen passivhus

Vedlegg 14: Epostkorrespondanser