

Arati Jegatheeswaran  
Tyri Røset Finnes

# Bærekraftig oppgradering av forsvarssektorens bygningsmasse

Masteroppgave i Helse, miljø og sikkerhet  
Veileder: Magnus Sparrevik  
Juni 2022



Arati Jegatheeswaran  
Tyri Røset Finnes

# **Bærekraftig oppgradering av forsvarssektorens bygningsmasse**

Masteroppgave i Helse, miljø og sikkerhet  
Veileder: Magnus Sparrevik  
Juni 2022

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for økonomi  
Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse



## Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende utdanning ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Vi leverer denne oppgaven som en avslutning på den 2-årige sivilingeniørutdanningen innenfor Helse, miljø og sikkerhet ved Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse (IØT). Oppgaven er skrevet i emnet TIØ4925 Helse, miljø og sikkerhet, masteroppgave, i perioden januar-juni 2022, og tar for seg miljøaspektet ved studieløpet.

Temaet i oppgaven er valgt for å belyse klima- og miljøproblematikken i verden sett opp mot byggebransjen, og er skrevet i samarbeid med Forsvarsbygg. Vi ble først introdusert til Forsvarsbygg gjennom faget TIØ4195 Miljøledelse og bedriftsstrategi høsten 2020, da vi skrev en oppgave om Forsvarsbygg og muligheten for miljøsertifisering av bedriften. Dette vekket interessen for å lære mer om Forsvarsbygg og hvordan de arbeider med klima- og miljøproblematikken som en aktør i byggebransjen. Vi ønsker å rette en stor takk til veilederen vår Magnus Sparrevik for gode tilbakemeldinger og tips i prosessen. Videre ønsker vi også å takke for de to samlingene med fagstaben for prosjektstudenter på ytre miljø. Her kom Ottar Michelsen, Christofer Skaar og andre studenter med gode spørsmål og tilbakemeldinger.



Arati Jegatheeswaran



Tyri Røset Finnes

Gløshaugen, Trondheim

11. juni 2022



## Sammendrag

Denne masteroppgaven er skrevet for å få et innblikk i hvordan klimagassutslippet påvirkes av ulike scenario ved behov for oppgradering av forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse. Oppgaven tar utgangspunkt i tre ulike design, som sammenlignes basert på evalueringskriteriene energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet. Hensikten er å forslå et bærekraftig alternativ ved endrede bruksbehov til Forsvarsbygg. Oppgaven baserer seg på et prosjekt i Bardufoss leir som er gitt fra Forsvarsbygg, kalt kaserne B. I dag brukes bygget som forlegning, men det skal bygges om til kontorbygning. Problemstillingen «Hvordan oppnår man fremtidsrettede bærekraftige løsninger ved behov for oppgradering av forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse?» brukes for å belyse temaet fremtidens bygg med utgangspunkt i prosjektet til Forsvarsbygg. I tillegg brytes oppgaven ned til noen forskningsspørsmål for å belyse flere faktorer.

For å besvare forskningsspørsmålet «Hvilke scenario er relevante ved endring av et byggs bruksområde, og hvordan utarbeides disse etter dagens lovverk?» blir det sett på tre ulike scenarioer. Scenarioene er miljøbygg med solceller, brakkeløsning og renoveringsprosjekt. Disse scenarioene designes og prosjekteres for å videre kunne benyttes til å besvare spørsmålet «Hvor mye klimagassutslipp vil de ulike designene gi?». Dette forskningsspørsmålet besvares ved bruk av klimagassregnskap utført i One Click LCA. Videre blir funnene benyttet til å se på det siste forskningsspørsmålet som er «Hvilket design vil være mest aktuell når man ser på evalueringskriteriene energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet?». Til slutt vil de ulike designene og funnene diskuteres opp mot hverandre for å finne en optimal løsning for Forsvarsbygg og Bardufoss leir.

Med bakgrunn i resultatet som er de ulike designene og klimagassregnskapet ble de ulike evalueringskriteriene vurdert. Dersom man prosjekterer for en bærekraftig løsning vil et nybygg komme best ut, da dette tilpasses de endrede behovene, samtidig som det fokuseres på reduserte utslipp. Basert på evalueringskriteriene vil en anbefaling for kaserne B være miljøbygget med solceller grunnet prosjektets tidsperspektiv på 60 år. Dette kommer i hovedsak av lavt energibruk i drift, miljøvennlige materialer og økt arealeffektivitet. Ved bruk av norsk energimiks og mindre vekt på energiforbruket vil renoveringsprosjektet være en løsning. Spesielt dersom som man finner alternativ bruk for områder med lav arealeffektivitet, og vektlegger reduserte materialutslipp. Når det gjelder brakkeløsningen har denne høyest utslipp grunnet kortere levetid på brakken, og høyt energibruk i det eksisterende bygget. Likevel vil dette være et skalerbart og fleksibelt alternativ i kostnadseffektiv sammenheng.

## Abstract

This master thesis is written to look into how greenhouse gas emissions are affected by different scenarios in need to upgrade an existing building at Bardufoss camp. The assignment is based on three different designs, which are later evaluated on energy consumption, material use and area efficiency. The building is currently being used as military housing but in the future the building will be converted into an office building. The main research question, "How can sustainable and future oriented solutions be achieved when there is a need to upgrade the defense sector's existing building mass?", is used to identify the recommended solution for The Norwegian Defense Estates Agency. Further, this thesis was written taking few other key research questions into consideration.

Three different scenarios were used to answer the research question "Which scenarios are relevant when changing a building's area of use, and how are these prepared in accordance with current legislation?". In this case the scenarios are environmental building with solar cells, using the existing building with annex and a renovation project. These scenarios are designed to further answer the research question, "How much greenhouse gas emissions will these designs give?". To answer this, One Click LCA will be used. These findings will then be used to discuss the last research question, which is, "How do the developed designs meet the evaluation criteria energy consumption, material use and area efficiency?". The designs and findings will be discussed to recommend a solution for Bardufoss camp.

Based on the results, which are the designs, and the greenhouse gas accounts, the evaluation criteria were assessed. The designs show that in order to achieve a sustainable and future oriented solution, a new building will be the best option. This is because the building is both adapted to the changing needs and it result in an overall reduction in emissions. Based on the evaluation criteria a recommendation for Bardufoss camp will be the environmental building with solar cells. This is because of the time perspective of 60 years. This result is found essentially because of low energy consumption, environmentally friendly materials and increased area efficiency. By using the Norwegian energy mix and focus less on the energy consumption, the renovation project will be a solution. Especially if you find alternative use for areas with low area efficiency, and emphasize reduced material emissions. When it comes to the solution with the annex this has the highest emissions due to shorter lifetime for the annex, this will still be a scalable and flexible alternative in a cost-effective context.



# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>V</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VIII</b>
<b>FIGURER</b> .....	<b>11</b>
<b>TABELLER</b> .....	<b>12</b>
<b>BEGREPSLISTE</b> .....	<b>13</b>
<b>1. INTRODUKSJON</b> .....	<b>14</b>
1.1 BAKGRUNN FOR OPPGAVEN .....	14
1.2 OPPGAVEBESKRIVELSE .....	15
1.3 MÅLET MED OPPGAVEN .....	15
1.4 AVGRENSNINGER.....	16
1.5 MASTEROPPGAVENS OPPBYGGING .....	17
<b>2. TEORI</b> .....	<b>18</b>
2.1 BÆREKRAFTIG UTVIKLING .....	18
2.2 REGELVERK .....	18
2.3 LIVSLØPSVURDERING OG LEVETID .....	18
2.4 ENERGIBRUK I BYGGEBRANSJEN .....	19
2.4.1 Energieffektive bygg .....	19
2.4.2 Bygningsfysikk .....	20
2.4.3 Etterisolering og solenergi .....	21
2.5 MATERIALBRUK OG OMBRUK.....	21
2.5.1 Byggematerialer .....	22
2.5.2 Materialer og klimagassutslipp .....	22
2.6 AREALEFFEKTIVITET .....	23
<b>3. METODE</b> .....	<b>25</b>
3.1 BESKRIVELSE AV CASESTUDIEN .....	26
3.1.1 Konsept.....	26
3.1.2 Utvikling av scenarioer .....	27
3.1.3 Evalueringskriterier.....	27
3.2 BAKGRUNNSPROSJEKT .....	28
3.2.1 Bardufoss leir.....	28
3.2.2 Kaserne B.....	29
3.3 FORSKNINGSDESIGN .....	30
3.3.1 Metodevalg .....	30
3.3.2 Forutsetninger for oppgaven .....	31
3.4 DATAINNSAMLING .....	31
3.4.1 Designparametere og konstruksjonsforslag .....	31
3.4.2 Data fra eksisterende bygg .....	32
3.4.3 Bruk av Carbon Designer i One Click LCA.....	33
3.4.4 Energiberegninger i One Click LCA .....	33
3.4.5 Fremgangsmåte i Carbon Designer .....	34

3.5 VURDERING AV METODEN .....	37
3.5.1 Metodeusikkerhet .....	37
3.5.2 Usikkerhet i datagrunnlaget .....	38
3.5.3 BEREGNINGSMETODE .....	38
<b>4. RESULTAT .....</b>	<b>40</b>
4.1 MILJØBYGG MED SOLCELLER .....	40
4.1.1 Energi .....	41
4.1.2 Materialbruk .....	43
4.1.3 Arealeffektivitet .....	43
4.1.4 Klimagassregnskap .....	45
4.2 BRAKKELOSNING .....	46
4.2.1 Energi .....	48
4.2.2 Materialbruk .....	49
4.2.3 Arealeffektivitet .....	49
4.2.4 Klimagassregnskap .....	51
4.3 RENOVERINGSPROSJEKT .....	52
4.3.1 Energi .....	54
4.3.2 Materialbruk .....	55
4.3.3 Arealeffektivitet .....	55
4.3.4 Klimagassregnskap .....	57
4.4 EVALUERINGSKRITERIENE .....	57
4.4.1 Klimagassutslipp for designene .....	58
4.4.2 Sammenligning av arealeffektivitet .....	58
4.4.3 Total poengsum basert på evalueringskriteriene .....	59
<b>5. DISKUSJON .....</b>	<b>60</b>
5.1 TOTALUTSLIPP .....	60
5.2 ENERGIFORBRUK .....	63
5.2.1 Energieffektivitet .....	63
5.2.2 Bygningsfysikkens påvirkning på energibruken .....	64
5.2.3 Egenprodusert solenergi .....	65
5.3 MATERIALBRUK .....	66
5.3.1 Utslipp fra ulike typer materialer .....	66
5.3.2 Bruk av ombruksmaterialer .....	66
5.3.3 Tilgjengelighet .....	67
5.4 AREALEFFEKTIVITET .....	68
5.4.1 Fleksibilitet og arealutnyttelse .....	68
5.4.2 Arealeffektiv planløsning .....	69
<b>6. KONKLUSJON .....</b>	<b>70</b>
6.1 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID .....	70
<b>7. REFERANSELISTE .....</b>	<b>71</b>
<b>8. VEDLEGGSLISTE .....</b>	<b>78</b>

## Figurer

<b>Figur 2.1:</b> Sammenligning av utslipp ved bruk av ulike materialer. ....	23
<b>Figur 3.1:</b> Oppgavens kontekst og struktur.....	25
<b>Figur 3.2:</b> Fremgangsmåte. ....	26
<b>Figur 3.3:</b> Kaserne B som skal bygges om til kontorbygg. ....	29
<b>Figur 3.4:</b> Kaserne B. ....	29
<b>Figur 3.5:</b> Skjermdump fra designfasen til miljøbygget. ....	32
<b>Figur 3.6:</b> Fremgangsmåte design 1. ....	34
<b>Figur 3.7:</b> Fremgangsmåte design 2A. ....	35
<b>Figur 3.8:</b> Fremgangsmåte design 2B. ....	36
<b>Figur 3.9:</b> Fremgangsmåte design 2. ....	36
<b>Figur 3.10:</b> Fremgangsmåte design 3. ....	37
<b>Figur 4.1:</b> Modell av nybygget.....	41
<b>Figur 4.2:</b> Design 1, 1. etasje. ....	44
<b>Figur 4.3:</b> Design 1, 2. etasje. ....	45
<b>Figur 4.4:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 1.1. ....	45
<b>Figur 4.5:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 1.2. ....	46
<b>Figur 4.6:</b> Modell av det eksisterende bygget.....	47
<b>Figur 4.7:</b> Modellen av brakken.....	48
<b>Figur 4.8:</b> Design 2A, kjeller.....	50
<b>Figur 4.9:</b> Design 2A, 1. etasje. ....	50
<b>Figur 4.10:</b> Design 2A, 2. etasje. ....	50
<b>Figur 4.11:</b> Design 2B, 1. etasje. ....	51
<b>Figur 4.12:</b> Design 2B, 2. etasje. ....	51
<b>Figur 4.13:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 2.1. ....	52
<b>Figur 4.14:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 2.2. ....	52
<b>Figur 4.15:</b> Modell av renoveringsprosjektet.....	53
<b>Figur 4.16:</b> Utvendig etterisolering av nyere type bindingsvegg. ....	54
<b>Figur 4.17:</b> Design 3, kjeller.....	56
<b>Figur 4.18:</b> Design 3, 1. etasje. ....	56
<b>Figur 4.19:</b> Design 3, 2. etasje. ....	56
<b>Figur 4.20:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 3.1. ....	57
<b>Figur 4.21:</b> Utslippsfordeling i CO <sub>2e</sub> og prosent for design 3.2. ....	57
<b>Figur 5.1:</b> Totalutslipp for norsk og europeisk energimiks.....	60
<b>Figur 5.2:</b> Totallutslipp per kvadratmeter for norsk og europeisk miks. ....	61
<b>Figur 5.3:</b> Utvikling av utslipp i 60 år ved bruk av norsk energimiks. ....	62
<b>Figur 5.4:</b> Utvikling av utslipp i 60 år ved bruk av europeisk energimiks. ....	62

## Tabeller

<b>Tabell 3.1:</b> De tre ulike scenarioene og tilhørende kriterier.....	27
<b>Tabell 3.2:</b> Arealfordeling i eksisterende bygg. ....	30
<b>Tabell 4.1:</b> Beskrivelse av design 1.....	40
<b>Tabell 4.2:</b> Passivhuskrav. ....	42
<b>Tabell 4.3:</b> Energiforsyning til design 1. ....	43
<b>Tabell 4.4:</b> Beskrivelse av design 2. ....	47
<b>Tabell 4.5:</b> Energiforsyning for det eksisterende bygget. ....	49
<b>Tabell 4.6:</b> Energiforsyning for brakken. ....	49
<b>Tabell 4.7:</b> Beskrivelse av design 3. ....	53
<b>Tabell 4.8:</b> Energiforsyning for design 3.....	54
<b>Tabell 4.9:</b> Materialer som ekskluderes fra klimagassregnskapet.....	55
<b>Tabell 4.10:</b> Oversikt over utslippene for designene med norsk miks.....	58
<b>Tabell 4.11:</b> Oversikt over utslippene for design med europeisk miks. ....	58
<b>Tabell 4.12:</b> Sammenligning av arealbruken i designene.....	58
<b>Tabell 4.13:</b> Verdier for energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet .....	59
<b>Tabell 4.14:</b> Normalisering fra 0-1 .....	59
<b>Tabell 4.15:</b> Total poengsum for designene.....	59

## Begrepsliste

Følgende begrep er definert slik i oppgaven:

<b>BIM-modell:</b>	Bygningsinformasjonsmodellering, en digital modell av et bygg eller en konstruksjon.
<b>Bruksareal (BRA):</b>	Arealet som brukes i bygget, altså hele arealet minus yttervegg. Innervegger er altså medregnet.
<b>Bruttoareal (BTA):</b>	Hele arealet av bygget medregnet yttervegg
<b>Energieffektivitet:</b>	Brukes som et mål på hvor effektivt energi brukes til et nærmere angitt formål, for eksempel ett bygg.
<b>Fleksibel:</b>	Brukes om noe som lett lar seg tilpasse, omgjøre eller brukes på ulike måter.
<b>Kaserne/forlegning:</b>	I militær betydning brukes det om en bygning som tjener til innkvartering av personell i tilknytting til et militært anlegg.
<b>Klimagasser:</b>	Gasser som påvirker klimaet ved å virke inn på jordens og atmosfærens strålingsbalanse.
<b>Klimagassregnskap:</b>	En sammenstilling av byggets indirekte og direkte utslipp av gasser som fører til en økt drivhuseffekt.
<b>Klimagassutslipp:</b>	Utslipp av klimagasser til luften, det er gasser som påvirker atmosfærens evne til å holde på varmen.
<b>Klimaskjerm:</b>	De delene av et bygg som påvirkes av være og vind.
<b>Passivhus:</b>	Et bygg med lavere energibehov enn vanlige hus grunnet passive tiltak.
<b>Renovering:</b>	Å sette i stand en bygning eller å modernisere det til nyere standard. Rehabilitering og oppussing brukes også.
<b>Tilbygg:</b>	Brakker og moduler som plasseres utenfor bygget for å gi større areal.

## 1. Introduksjon

Dette kapittelet omfatter en introduksjon av masteroppgaven, og inneholder bakgrunn for oppgaven som presenterer temaet og problematikken arbeidet baserer seg på. Videre beskrives oppgaven med problemstilling, formål og avgrensninger. Avslutningsvis presenteres et oppsett av oppgavens oppbygging.

### 1.1 Bakgrunn for oppgaven

I 2015 knyttet alle FNs medlemsland seg til Parisavtalen for å begrense trusselen av klimaendringene (Klima- og miljødepartementet, 2021). For å oppnå Parisavtalen er man avhengig av at de globale klimagassutslippene reduseres ved ambisiøse mål. Klimagassutslipp betegnes som utslipp til luft av klimagasser som karbondioksid, metan og lystgass (United Nations Environment Programme, 2021). For å kunne sammenligne utslippet fra de ulike gassene har det blitt opprettet et mål kalt CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e). Med denne måleenheten kan alle utslipp sammenlignes til tross for at gassene har ulik oppvarmingseffekt. En av grunnene til at det ble valgt å se på klimagassregnskap i denne oppgaven er at dette kan bli mer aktuelt i fremtiden. Fra 1. juli 2022 skal det innføres krav om klimagassregnskap for boligblokker og yrkesbygg (Kommunal- og distriktsdepartementet, 2022). Derfor er dette et dagsaktuelt tema, og det bør fokuseres mer på klimagassutslipp i byggeprosjekter for å sette høyere krav til byggenæringen for å nå nødvendige klima- og miljømål.

For å redusere klimagassutslippet samtidig som naturressursene ivaretas og produkter utnyttes er det gunstig å etablere et kretsløp hvor minst mulig ressurser går tapt (Miljødirektoratet, 2022). Dette betegnes som sirkulær økonomi og kan anses som et industrielt system som kan gjenopprettes eller regenereres gjennom intensjon og design (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Sirkulær økonomi innebærer at produkter optimaliseres for å kunne demonteres og gjenbrukes slik at de inngår i et system hvor avfall ikke produseres. Implementering av sirkulær økonomi i byggebransjen krever gjenbruk og dekomponering av bygningsmaterialer slik at de kan benyttes igjen i andre prosjekter (Hopkinson *et al.*, 2019; Benachio, Freitas og Tavares, 2020). Slik vil materialene i kretsløpet beholdes også etter byggets levetid (Benachio, Freitas og Tavares, 2020). Andre tiltak som vil gi lavere klimagassutslipp er materialgjenvinning og reduksjon av avfallsmengde og energiforbruk. Ved reduksjon av energiforbruk i bygninger vil energistandarden de er bygd etter ha en innvirkning. Eksisterende bygningsmasse har generelt et høyere energiforbruk enn nybygg og er ofte mindre arealeffektive (Grønn Byggallianse, 2019; Fufa, Flyen og Venås, 2020). Faktorer som energieffektivitet og arealeffektivitet må dermed også vurderes i sammenheng med klimagassutslipp.

Bygg- og anleggsbransjen er en sentral del av samfunnet, og har dermed et ansvar om å være bevisst på sine klima- og miljøbidrag (Asplan Viak, 2019). Historisk sett har energibruken og klimagassutslippet fra bransjen vært et viktig fokusområde. I 2018 sto bygg- og anleggssektoren 39 % av totalutslippene (Fufa, Flyen og Venås, 2020). Samtidig som bransjen også står for omtrent 40 % av energibruken i industriland (Mattoni *et al.*, 2018). Norge er i en situasjon hvor vannkraft er den dominerende energiressursen, i motsetning til andre land (Asplan Viak, 2019). Dette har gjort at mye av energien som brukes til oppvarming av bygg allerede er ren, samtidig som klimagassutslippet fra energibruk i bygg er relativt lavt sammenlignet med andre nasjoner. Det er derfor naturlig å se på andre faktorer som også påvirker et byggs totale klimagassutslipp, derfor er det et økende fokus på materialutslipp i Norge.

## 1.2 Oppgavebeskrivelse

I årene som kommer vil det være nødvendige endringer som gjøres i forsvarssektoren ettersom trusselbildet er i stadig forandring. Dette krever et Forsvar som er fleksible med bruksområdene, siden situasjonen kan endre seg raskt, noe som krever både skalering opp og ned i kapasitet. For Forsvaret vil dette også innebære endrede bruksområder i den eksisterende bygningsmassen. Forsvarssektoren har en eksisterende bygningsmasse som kan tas vare på i Bardufoss. Byggene er derimot ikke tilpasset dagens behov grunnet en begrenset fleksibilitet. I takt med de stadig endrede behovene hos Forsvaret er det derfor nødvendig med oppgradering. Dette må gjøres på en rask og kostnadseffektiv måte, slik som det stilles krav til. Oppgraderingen må også fokusere på Forsvarsbyggs egne krav til reduserte klimaavtrykk av virksomheten, effektivisering og standardisering.

Denne masteroppgaven omhandler utvikling av fremtidens bærekraftige bygg for Forsvarsbygg med utgangspunkt i klimagassutslipp og arealeffektivitet i byggebransjen. Oppgavens problemstilling er «Hvordan oppnår man fremtidsrettede bærekraftige løsninger ved behov for oppgradering av forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse?». Arbeidet baseres på en utfordring Forsvarsbygg står ovenfor. Denne casestudien tar utgangspunkt i oppgradering av ett bygg i Bardufoss leir, med fokus på å finne løsninger som gir mulighet for redusert energiforbruk, mindre materialbruk og økt arealeffektivitet. Oppgavens tidsperspektiv er satt til 60 år frem i tid og levetiden er i tråd med tidsperspektivet som brukes i livsløpsvurderinger av bygninger. I casen benyttes kaserne B til å se på ulike løsninger og konsept for et fremtidsrettet bygg. Formålet med oppgaven er å finne en løsning som bidrar til å redusere klimagassutslippet fra byggebransjen samtidig som Forsvarsbygg får anbefalt en løsning etter sine skiftende bruksbehov. Videre brytes oppgaven ned i følgende forskningsspørsmål:

- Hvilke scenario er relevante ved endring av et byggs bruksområde, og hvordan utarbeides disse etter dagens lovverk?
- Hvor mye klimagassutslipp vil de ulike designene gi?
- Hvilket design vil være mest aktuell når man ser på evalueringskriteriene energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet?

For å besvare problemløsningen blir det sett på tre ulike scenarioer som representerer ulike måter å oppgradere et bygg på. Disse er miljøbygg med solceller, brakkeløsning og renoveringsprosjekt. Scenarioene vil videre bli presentert i metodekapittelet.

## 1.3 Målet med oppgaven

For å svare på disse forskningsspørsmålene vil en viktig del av oppgaven være design av de ulike scenarioene. Dermed vil oppgaven hovedsakelig fokusere på design av tre relevante scenarioer som videre analyseres med utgangspunkt i evalueringskriteriene. Disse scenarioene vil sammen med resultatet si noe om hvordan fremtidens bygg kan se ut. Formålet med oppgaven er å lære mer om ulike måter å oppgradere et bygg på, sett i sammenheng med klimagassutslipp og i et arealeffektivitetsperspektiv. I arbeidet vektlegges løsninger som tar hensyn til både lavt klimagassutslipp og høy arealeffektivitet, samtidig som at det skal være noe både lovverket og markedet utvikler seg mot. Behovet for fleksibilitet vektlegges også i denne oppgaven fordi kapasitetsbehovet i Forsvaret kan endre seg raskere enn den tekniske levetiden til bygget på 60 år. Det vil bli sett på kostnadseffektive løsninger som bruk av brakke som tilbygg, og en renovering med ombruksmaterialer hvor mye av eksisterende infrastruktur bevares. Disse løsningene blir sett opp mot et nybygg med solceller for å finne den mest aktuelle løsningen, slik at denne kan foreslås til Forsvarsbygg. Det vil bli utført klimagassberegninger i One Click LCA for

alle designene, slik at disse kan sammenlignes. Det utvikles også en parameter for å kunne sammenligne arealeffektiviteten i de ulike scenarioene.

#### **1.4 Avgrensninger**

Oppgaven avgrenses til å sammenligne tre ulike måter å oppgradere eksisterende bygningsmasse på i et 60-årsperspektiv. Dette er en avgrensning i omfang og størrelse, men også i representativitet ettersom det finnes flere oppgraderingsalternativer som kunne ha blitt undersøkt. Det blir også kun sett på overgang fra kaserne til kontorbygg for kaserne B i Bardufoss leir. Videre blir det gjort noen forenklinger som er med på å avgrense oppgavens omfang. I oppgaven brukes Carbon Designer i One Click LCA som har estimerte verdier og ikke eksakte materialmengder. I dette ligger også noen forenklinger av prinsippløsningenes tekniske installasjoner. I tillegg har brannkrav og lydkrav blitt sett bort i fra ved utformingen av designene. For å avgrense oppgaven ytterligere blir det ikke gjort noen kostnadsberegninger. Denne avgrensningen er satt for å kun fokusere på klimagassutslippene og arealeffektiviteten til de ulike løsningene. På denne måten kan oppgavens konklusjon benyttes som en anbefaling for hva man bør gjøre for å ta hensyn til klima- og miljøproblematikken og arealutnyttelse. I et bærekraftperspektiv tas det kun utgangspunkt i klima- og miljøaspektet av begrepet.



## 1.5 Masteroppgavens oppbygging

---

<b>Kapittel 1</b> Introduksjon	Kapittelet presenterer masteroppgaven og kriteriene som ligger til grunn for valgt tema. Her beskrives problemstillingen og tilhørende forskningsspørsmål. Videre avgrenses oppgavens omfang.
<b>Kapittel 2</b> Teori	Dette kapittelet presenterer teori for valgt problemstilling og tematikk. Kapittelet omfatter relevant teori og bakgrunnsinformasjon som brukes som utgangspunkt videre i oppgaven når det tas avgjørelser i sammenheng med problemstillingen.
<b>Kapittel 3</b> Metode	Metodekapittelet beskriver casestudien, bakgrunnsprosjektet, forskningsdesignet og datainnsamlingen. Til slutt gjøres en vurdering av den valgte metoden hvor usikkerheten rundt studien presenteres.
<b>Kapittel 4</b> Resultat	I dette kapittelet presenteres resultatene tilknyttet problemstillingen. Det innebærer konseptene og valgene som tas rundt de ulike designene og resultatene fra beregningene. Her presenteres klimagassregnskapet for de tre ulike designene, samt arealeffektivitetsparameteren.
<b>Kapittel 5</b> Diskusjon	Diskusjonskapittelet brukes til å diskutere resultatene. I dette kapittelet sammenlignes de ulike designene for å finne en anbefaling til Forsvarsbygg med bakgrunn i evalueringskriteriene.
<b>Kapittel 6</b> Konklusjon	Kapittelet omfatter en sammenfatning av resultater og funn. Her presenteres også slutninger som trekkes fra oppgaven, samt en anbefalt løsning til Forsvarsbygg.

---

## 2. Teori

Teorikapittelet presenterer relevant teori tilknyttet klima- og miljøproblematikken som byggebransjen står ovenfor i dag. Dette brukes videre som grunnlag til å ta valg i de ulike designene og til diskusjonen. Her presenteres temaer rundt energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet i bygg som påvirkes av denne problematikken.

### 2.1 Bærekraftig utvikling

I sammenheng med klima- og miljøproblematikken benyttes ofte begrepet bærekraft og bærekraftig utvikling. Definisjonen på bærekraftig utvikling er «En utvikling som imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal få dekket sine behov.» (FN-sambandet, 2021, avsnitt 2). Begrepet har tre grunnleggende aspekter, disse er klima og miljø, økonomi og sosiale forhold (FN-sambandet, 2021). Disse tre aspektene henger sammen, og en kombinasjon vil bidra til å oppnå bærekraftighet. For å bevare kloden må man derfor finne løsninger som balanserer belastningen på miljøet med økonomien og forbruket. Dette må gjøres ved å finne måter å fordele ressursene på, slik at det blir bærekraftig for miljø og mennesker.

### 2.2 Regelverk

Regelverket som brukes i byggebransjen er i hovedsak Plan- og bygningsloven (Pbl), Byggesaksforskriften (SAK10), Byggteknisk forskrift (TEK17) og Forskrift om dokumentasjon av byggevarer (DOK) (Direktoratet for byggkvalitet, 2022b). Plan- og bygningsloven skal fremme bærekraftig utvikling for den enkelte, samfunnet og fremtidige generasjoner. Byggteknisk forskrift har tekniske krav til byggverk og minimumskrav til egenskaper byggverk må ha for å oppføres lovlig i Norge (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Byggesaksforskriften utfyller Plan- og bygningslovens regler i sammenheng med byggesaksbehandling, kontroll, kvalitetssikring, tilsyn, ansvarsrett og reaksjoner der reglene ikke følges (Direktoratet for byggkvalitet, 2011). Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (Arbeidsmiljøloven) skal sikre et arbeidsmiljø som er trygt, helsefremmende, meningsfylt og inkluderende (Arbeidsmiljøloven, 2005).

### 2.3 Livsløpsvurdering og levetid

Livsløpsvurdering (LCA) er en metodikk som brukes til å definere potensielle miljøpåvirkninger gjennom livsløpet (SINTEF Byggforsk, 2014b). Metoden kan brukes til både enkeltprodukter, men også et helt bygg. Ved livsløpsvurderinger kan man vurdere potensiell miljøpåvirkning fra materialuttak, produksjon, bygging, drift, avfallsbehandling og slutten på levetiden (Petrovic *et al.*, 2019). For å nå EU-kommisjonens mål om å redusere CO<sub>2</sub>-utslippet til byggesektoren med 90 % frem mot 2050, vil livsløpsvurdering være et nødvendig verktøy. Dersom man ser på LCA i et bærekraftperspektiv bidrar det positivt i miljømessige, sosiale og økonomiske forhold. Når det gjelder miljø er det fordeler ved at man kan sammenligne produkter opp mot hverandre. Sosiale fordeler kommer ved utnyttelse av livsløpsvurdering som kan bidra til myndighetsreguleringer. Økonomiske fordeler innebærer promotering av produkter med lavere utslipp og reduserte miljøpåvirkninger. Når man benytter seg av livsløpsvurdering er det viktig å definere mål og avgrensninger, slik at vurderingen har nytte og er effektiv (SINTEF Byggforsk, 2015a). Det kan være tidkrevende å foreta detaljerte livsløpsvurderinger for hele bygget i forbindelse med valg av blant annet materialer. Dermed kan det være gunstig å kun ta for seg delene med de største påvirkningene, hvor besparelsene kan være store. For eksempel vil det være gunstig å sammenligne ulike energiforsyningsalternativer.

Levetid for bygg og bygningsdeler kan defineres som: «den tiden det tar før bygget eller dets deler ikke lenger tilfredsstillende minimumskrav» (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009, p. 6). Mens brukstiden er den totale levetid for bygget, frem til større ombygging eller riving blir utført (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009). Videre skiller det også mellom tekniske, funksjonell, estetisk og økonomisk levetid. Den tekniske levetiden er knyttet til vedlikehold, hvor målet er å oppnå en fornuftig levetid med bruk av korrekt vedlikehold, og ikke maksimal levetid. Funksjonell levetid omfatter tiden frem til opprinnelig funksjon eller krav ikke lengre tilfredsstillende, selv om bygningsdelen fortsatt fungerer teknisk. Økonomisk levetid er den perioden frem til utskifting er nødvendig, og tilsvarer den reelle levetiden før den tekniske levetiden utgår. Ved beregning av byggets livsløp er det nå vanlig å sette levetiden til 60 år, ettersom det ikke finnes noen standard (SINTEF Byggforsk, 2015a).

## 2.4 Energibruk i byggebransjen

I velutviklede industriland står byggesektoren for omtrent 40 % av den totale energibruken (Mattoni *et al.*, 2018). Basert på dette er energieffektivitet i bygninger et hovedmål. Innen 2030 er det et politisk mål om 10 TWh reduksjon i levert energi til eksisterende bygningsmasse i Norge (Stub og Brenna, 2017). For reduksjonen av energiforbruket i 2030 skal tallet sammenlignes med tall fra 2016 og målet gjelder samlet energibruk i eksisterende bygningsmasse. Tiltak som bidrar til redusert kjøp av energi regnes som energieffektivisering, for eksempel bruk av egenprodusert solenergi. I Norge har energiforbruk i bygninger gått fra fossil energiforbruk til fjernvarme og varmepumper (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2021). I dag er strøm den dominerende energivaren i Norge, og varmepumper har bidratt til at strømmen brukes mer energieffektivt. Når det gjelder yrkesbygg er fjernvarme en viktig kilde til oppvarming.

Målet om 10 TWh reduksjon vil også være fordelaktig for Norge (Stub og Brenna, 2017). For å nå dette målet er det derfor viktig med energieffektive bygg som reduserer utslippet i drift. Dette gjelder både i næringsbygg og privatboliger. Det totale årlige energiforbruket i norske bygningsmasser er omtrent 83 TWh, noe som tilsvarer omtrent to tredjedeler av norsk vannkraftproduksjon. For å oppnå energieffektive bygg og målet om 10 TWh reduksjon har Zero Emission Resource Organisation (ZERO) kommet med noen anbefalinger (Stub og Brenna, 2017). Disse omhandler rehabilitering av eksisterende bygninger, krav til U-verdi for vinduer, kompetanseheving, krav til plussstandard og forbedret energimerkeordning. Når det gjelder næringsbygg anbefales et krav om energirevisjon av alle bygg med høyt energiforbruk.

### 2.4.1 Energieffektive bygg

Som en løsning på klima- og miljøproblematikken vil energieffektive bygg være viktige (Stub og Brenna, 2017). I følge Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) som er FNs klimapanel er energieffektivisering et tiltak som vil gi store og raske klimagassreduksjoner (Dokka, Hauge, *et al.*, 2009). International Energy Agency (IEA) som er det internasjonale energibyrådet, antar i sitt scenario at 54 % av klimagassreduksjonene må skje innen energieffektivisering frem mot 2030. For å få ned klimagassutslippet er man dermed avhengig av energieffektive bygg. I dag bygges og planlegges det mange ulike typer energieffektive bygninger (SINTEF Byggforsk, 2015b). En viktig driver i denne utviklingen er det europeiske bygningsenergidirektivet, som hadde et mål om at alle nye bygninger fra og med 2020 skulle være nesten nullenergibygninger. For at bygg skal energieffektiviseres innebærer det at de kan varmes opp ved bruk av redusert mengde energi. I tillegg er det viktig at energien som brukes er fornybar. Det

samlede energibehovet til bygget inkluderer energien i materialene til bygget, energien til byggeprosessen, driften og nedrivingen av bygget.

Det finnes flere typer energieffektive bygg, blant annet passivhus, nullenergibygget og plusshus (SINTEF Byggforsk, 2015b). Passivhus er et begrep som benyttes for bygg med passive tiltak som reduserer energibehovet (SINTEF Byggforsk, 2013b). Med passive tiltak menes godt isolerte yttervegger, gulv, tak og vinduer, samt få luftlekkasjer grunnet god tetthet. I passivhus er det også nødvendig med varmegjenvinning gjennom ventilasjonssystemet for å oppnå ønsket luftkvalitet og inneklime (Dokka, Klinski, *et al.*, 2009). Konstruksjonen er også fri for kuldebroer samtidig som utnyttelse av sollys benyttes som energisparingstiltak. Passivhus vil trolig bli normen for fremtidig husbygging i Norge, da dette vil bidra til å nå klimagassutslippsmål både nasjonalt og internasjonalt ved at standarden reduserer energibruken i drift. Krav til at et bygg skal ha passivhusstandard kan settes av tiltakshaver, og må da bli inkludert allerede i prosjekteringen (SINTEF Byggforsk, 2013b). Ved passivhusstandard er det viktig at ulike fag inkluderes tidlig, spesielt med tanke på byggets utforming som bør være kompakt, med liten overflate og med enkel geometri. Dette fører til mindre varmetap, grunnet færre løpemeter for kuldebro og mindre risiko for luftlekkasjer. I tillegg til passivhus finnes også lavenergibygget for både boliger og yrkesbygg, samt plusshus.

Når man planlegger å bygge lavenergibygget og passivhus blir begrepet «Kyoto-pyramiden» introdusert i sammenheng med passivt energidesign (Edwardsen, 2009). Pyramiden har fem trinn og metoden kan benyttes i bygge- og ombyggingsprosjekt. Ut ifra denne pyramiden ser man at den mest klima- og miljøvennlige energien er den som ikke blir brukt. Rekkefølgen er viktig, og det første steget skal prioriteres. Pyramiden er som følger (Edwardsen, 2009):

1. Det første steget er å redusere varmetapet. Dette innebærer kompakt bygningsform, arealeffektivitet, isolert klimaskjerm, isolerte vinduer, balansert ventilasjon og lufttett klimaskjerm.
2. Steg to er å redusere elektrisitetsforbruket, ved blant annet energieffektivt utstyr og belysning.
3. Steg tre går ut på å benytte seg av gratis solvarme ved å utnytte byggets utforming, plassering og orientering av fasader og vinduer.
4. Steg fire går ut på å velge et system som gir bruken av bygget en enkel og forståelig tilbakemelding på energiforbruk og bruksmønster. Det innebærer gode systemer for behovsstyring av oppvarming, belysning, ventilasjon og utstyr.
5. Det siste steget handler om å velge riktig energikilde og oppvarmingssystem. Denne energikilden bør velges fra eksisterende infrastruktur og lokal tilgjengelighet.

#### 2.4.2 Bygningsfysikk

Bygningsfysikk er prosessene som påvirker en bygning ut ifra indre og ytre klimapåkjenninger som varmetransport og lufttransport (RIF, 2015). Varmetransport omfatter varmetap, kuldebroer, U-verdier og temperaturproblematikk. Lufttransport omhandler lufttetthet, trekk og infiltrasjon, mens fukttransport er fuktsikring og tetting av bygget slik at man forhindrer fukt og uttørking. Begrepet U-verdi er en varmegjennomgangskoeffisient og beskriver hvor lett en bygningskomponent slipper varme gjennom (SINTEF Byggforsk, 2020). Disse faktorene påvirkes av bygningsfysikken og dermed vil lavere U-verdi være bedre for energibruken. For å beskrive termiske egenskaper benytter man seg av begrepene varmemotstand og varmekonduktivitet.

Varmemotstand brukes som et mål på hvor godt et materiale isolerer mot varmegjennomgang, mens varmekonduktivitet brukes som et mål på hvilken evne et materiale har til å lede varme. Det vil si at et materiale har god varmeledningsevne hvis varmemotstanden er høy eller dersom varmekonduktiviteten er lav. Når det gjelder isolasjonsevne til en bygningskomponent er det ulike forhold som blant annet valg av isolasjonsmateriale, fukt og lufttetting som påvirker.

Betegnelsen kuldebro brukes om et område med økt varmetap i tilslutninger mellom to eller flere bygningsdeler (SINTEF Byggforsk, 2019). Kuldebroer fører til en rekke konsekvenser, som økt varmetap og energibehov, lav overflatetemperatur, kondensering, kaldras, redusert termisk komfort og temperaturspenninger. I tillegg til dette vil også geometri og materialvalg gi bidrag til kuldebroverdien. Geometrisk bidrag oppstår av forskjeller i overflatearealene for utvendig og innvendig flate. Det innebærer endringer i tykkelse eller vinkel i ytterkonstruksjonen. Når det gjelder materialbidrag avhenger det av hvilke materialer og komponenter som er brukt i tilslutninger og plasseringen av disse. Materialer, komponenter og bygningsdeler som har høy varmeledningsevne gir økt varmetap gjennom kuldebroen.

#### 2.4.3 Etterisolering og solenergi

Ved rehabilitering kan energistandarden på et bygg heves ved å etterisolere (SINTEF Byggforsk, 2004). Når man etterisolere ytterveggen skiller det mellom utvendig og innvendig etterisolering. Utvendig etterisolering for yttervegg i tre gir lavere varmetap, samtidig som at god fuktsikkerhet oppnås. Innvendig etterisolering fører til at bruksarealet i bygget reduseres, men er aktuelt i tilfeller hvor den utvendige veggen er i god tilstand eller bør bevares. Ved etterisolering av tak vil plasseringen av isolasjonen være sentral på grunn av endring i takets temperaturforhold (SINTEF Byggforsk, 2005). Etterisolering av tak kan gjøres i bjelkelaget eller i taksperren.

I dag benyttes solenergi i større grad i bygninger, dette er fordi solenergi er en fornybar energikilde (Bunkholt *et al.*, 2021). Energien er innstrålt lys og varme fra solen. Vanligvis monteres solcelleanlegg på bygninger, men integrering av solceller i bygningselementer kan gi flere fordeler. Bygningsintegreerte solceller (BIPV) produserer elektrisitet samtidig som de vil erstatte andre bygningsmaterialer eller bygningskomponenter. Dette gir fordeler som redusert materialbruk, men også flere arkitektoniske muligheter. BIPV kan brukes i rekkverk, taktekning, fasadekledning og vinduer. Økt bruk av bygningsintegreerte solceller kan redusere materialbruken og kostnader, noe som er store fordeler. Å produsere for egen bruk er mer lønnsomt enn å produsere for salg, og solcelleanlegget bør tilpasses energibehovet i bygningen (SINTEF Byggforsk, 2021).

## 2.5 Materialbruk og ombruk

Dette kapitlet omfatter ulike typer byggematerialer som betong og massivtre som benyttes i byggebransjen. Kapitlet tar også for seg problematikken rundt materialutslipp. Byggesektoren står for 30 % av utvinningen av naturressurser og 25 % av det faste avfallet i verden (Benachio, Freitas og Tavares, 2020). For å redusere materialutslippet bør man derfor benytte seg av miljøvennlige byggematerialer og ombruksmaterialer.

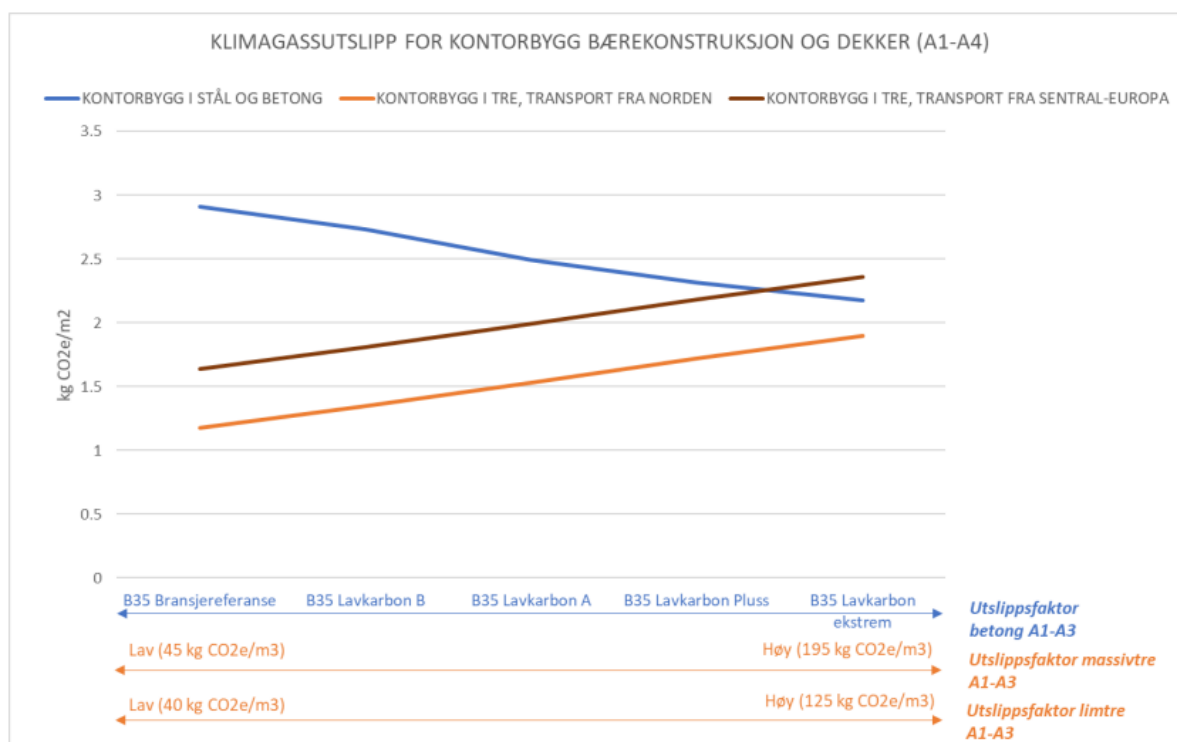
### 2.5.1 Byggematerialer

Det mest brukte byggematerialet i dag er betong, og forbruket er på omtrent 1 tonn per år per levende menneske (Nazari, 2016). Siden betong brukes i så stor grad vil dermed en liten reduksjon i betongforbruket redusere klimagassutslippet og gi en stor global innvirkning. Det som bidrar til mest klimagassutslipp er sement, og sementindustrien alene er ansvarlig for 5 % av det globale menneskeskapte CO<sub>2</sub>-utslippet i verden (Nazari, 2016). I dag produseres lavkarbonbetong i fire nivåer for å redusere klimagassutslippet til betong (Norsk Betongforening, 2020).

Bruken av tre som byggemateriale har pågått i lang tid (Norsk Treteknisk Institutt, 2006). Materialet har lav egenvekt, høy styrke, god varmelagringskapasitet og god isoleringsevne. I tillegg er materialet enkelt å bearbeide og lett tilgjengelig. Bruk av massivtre i bæresystemer blir i dag sett på som en ny konstruksjonsløsning (Aarstad, Glasø og Bunkholt, 2011). Massivtre er et materiale som består av sammenkoblede lag av treplanker og har stor styrke og kan derfor benyttes i bærendeelementer (Trefokus, 2022). Når det gjelder utnyttelse av massivtreelementer som byggemetode gir det stor fleksibilitet, kort byggetid, godt arbeidsmiljø, gode miljøegenskaper og materialet har god råstoffutnyttelse (Aarstad, Glasø og Bunkholt, 2011). Massivtreelementer kan brukes både som bærende og ikke-bærende elementer, og kan benyttes i alle typer bygg. Det er også mulig å benytte seg av massivtre i hele bæresystemet eller kombinere det med andre materialer. Byggematerialet har høy kvalitet og en positiv påvirkning på CO<sub>2</sub>-utslipp, og det lagrer CO<sub>2</sub> gjennom hele livsløpet (Direktoratet for byggkvalitet, 2018a).

### 2.5.2 Materialer og klimagassutslipp

Bygg- og anleggsbransjen forbruker omtrent 40 % av materialressursene globalt (Fufa, Flyen og Venås, 2020). En viktig faktor for å redusere materialbruken er implementering av sirkulær økonomi. World Green Building Council har et mål om at nye bygninger, infrastruktur og rehabiliteringsprosjekter skal ha 40 % reduksjon i materialutslipp (Wiik *et al.*, 2020). For å kunne se på material- og løsningsvalg som gir lave klimagassutslipp må man se det i kontekst av bygget som helhet (Fuglseth *et al.*, 2020). Dette er fordi materialer som har lavere utslipp per enhet kan ha andre forhold og tekniske egenskaper som påvirker den totale materialbruken. Noe som kan ha betydning for byggets totale klimafotavtrykk ettersom man trenger ulik mengde av ulike type materialer. I forbindelse med materialer er det vanlig å sammenligne bruken av stål og betong opp mot tre (Fuglseth *et al.*, 2020). Som figur 2.1 viser er det 60 % lavere utslipp ved bruk av massivtre som er transportert fra Norden sammenlignet med stål og betong for et standard kontorbygg. Ut ifra figur 2.1 kan man også se at dersom betong skal gi lavest utslipp må den være lavere enn Lavkarbon Pluss og at massivtreet som benyttes må fraktes langt og ha høye enhetsutslipp (Fuglseth *et al.*, 2020).



**Figur 2.1:** Sammenligning av utslipp ved bruk av ulike materialer (Fuglseth *et al.*, 2020).

Ombruk av byggematerialer er et viktig punkt for å kunne redusere ressursbruken i byggebransjen (Direktoratet for byggkvalitet, 2018b). Materialgjenvinning er tilbakeføring av materialer i en industriell prosess, mens ombruk benyttes om ny utnyttelse av et produkt i opprinnelige form (Sørnes *et al.*, 2014). For å kunne ombruke materialer er det noen kvalitetskrav som må oppfylles (Direktoratet for byggkvalitet, 2018b). Det kreves blant annet at materialene har de samme kvalitetskravene som nye materialer. Det vil hindre bruk av nye ressurser og avfall til deponi. Man vil få størst effekt ved ombruk av materialer med høye klimagassutslipp i produksjonsfasen, som for eksempel betong, stål og glass (Grønn Byggallianse, 2022). For at produkter skal egne seg til ombruk må de kunne demonteres, repareres, renses, oppgraderes og dokumenteres i henhold til Forskrift om dokumentasjon av byggevarer. I tillegg må produktene tilfredsstillende nødvendige krav til egenskaper i Byggteknisk forskrift. Et viktig punkt for økt ombruk av byggematerialer er at det krever planlegging. Det vil si at bygg som bygges må tilrettelegges til å kunne tas fra hverandre fremfor normal riving i fremtiden.

## 2.6 Arealeffektivitet

Fleksibiliteten og arealeffektiviteten i et bygg påvirkes blant annet av planløsningen. I eiendomssektoren blir ofte produktivitet i bygninger definert som arealeffektivitet (Arge, De Paoli, og Norges byggforskningsinstitutt, 2001). Det er altså antall kvadratmeter eller bygningskostander per ansatt som avgjør arealeffektiviteten, og lavere tall er bedre. For å oppnå lavt totalbruk av energi i drift vil effektiv arealutnyttelse være en forutsetning (Edvardsen, 2009). Dersom man legger vekt på arealeffektivitet i prosjekteringen vil det også føre til at bygget blir energivennlig (Kirkhus, 2009). Dette er fordi en stor del av energibehovet er tilknyttet antall kvadratmeter gulvflate, noe som dermed gjør at et arealeffektivt bygg blir sett på som et energieffektivt bygg. Tomteforhold, dagslysforhold, kjøling, oppvarming, behov for utsyn og valg av kontorløsning påvirker arealeffektiviteten (Arge og Landstad, 2002). Andre faktorer som påvirker arealeffektiviteten er

utbyggingsmønster, oppdeling av bygget, bygningsbredde, spennvidde, søyleplassering, plassering av tekniske installasjoner og antall etasjer. I tillegg påvirkes fleksibiliteten av byggets etasjehøyde, og ved lavere etasjehøyde reduseres fleksibiliteten.

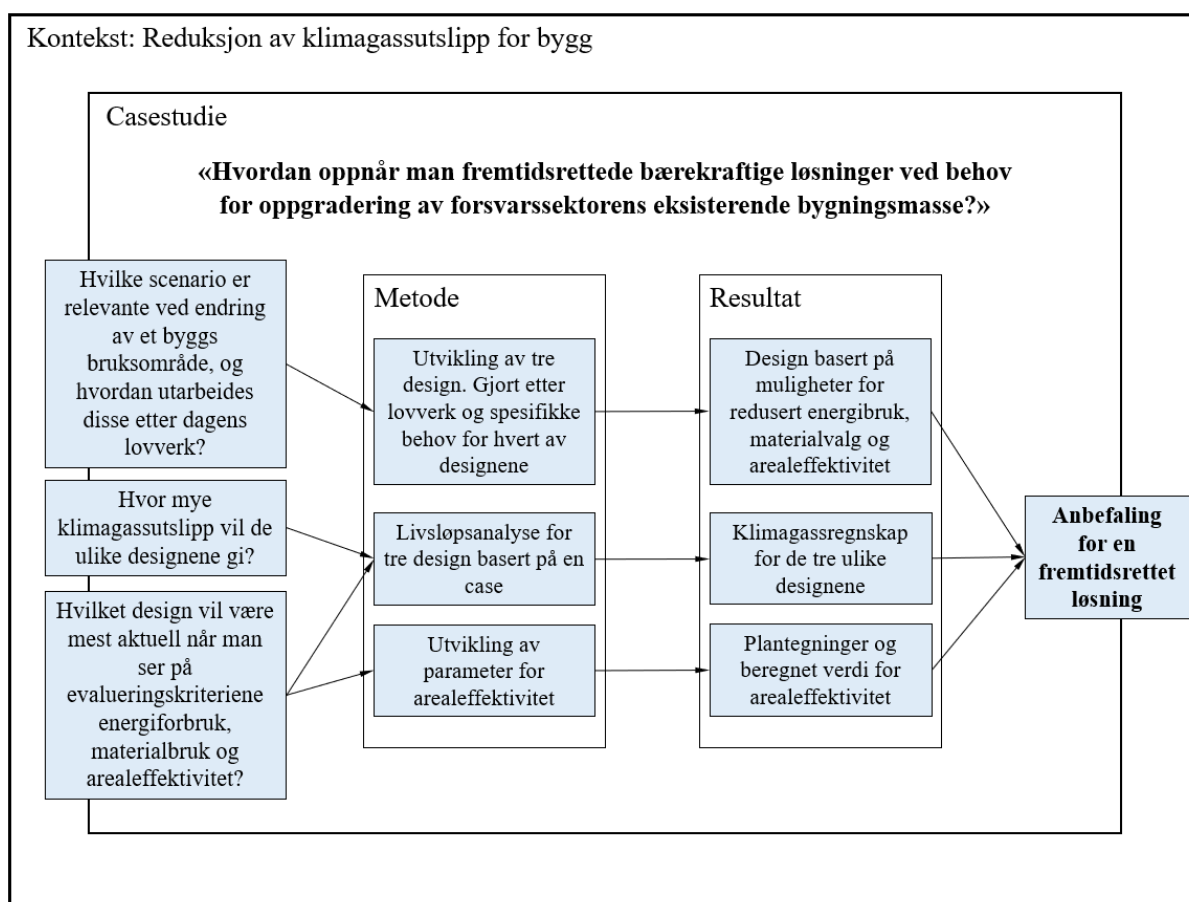
På slutten av 80-tallet ble det et økt fokus på kostnader og effektivitet i kontorbygninger (Arge og Landstad, 2002). Da krevdes det at byggene skulle bidra til produktivitet og være kostnadseffektive i bruk. Dette førte til nye kontorløsninger og høyere arealeffektivitet. Areal effektivitet fokuseres enda på i dag, og det er en del av det første steget i «Kyoto-pyramiden» mot et mer bærekraftig samfunn (Edvardsen, 2009). Åpne kontorløsninger er ofte mer arealeffektive enn de tradisjonelle cellekontorløsningene (Arge og Landstad, 2002). Dette handler om at den enkeltes arbeidsplass normalt er mindre enn i et cellekontor. I tillegg anbefales det å etablere faste elementer i midtsonen der lysforholdene er dårlige, for å bidra til økt fleksibilitet i innredningen.

Det er viktig at utforming og arealbruk tilpasses aktivitetene i bygningen slik at energibruken hensyntas (Arge og Landstad, 2002). I dagens kontorbygg varierer det mellom 50 m<sup>2</sup>/person til 20 m<sup>2</sup>/person, hvor mindre areal per person er bedre (Edvardsen, 2009). For å nå energimålene som er satt på nasjonalt nivå er det avgjørende at arealeffektivitet vektlegges (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2010). I dag fokuseres det på kWh/m<sup>2</sup> som ikke tar hensyn til arealeffektiviteten. Å finne en parameter på energieffektivitet som inkluderer arealeffektiviteten er krevende, blant annet fordi persontettheten i noen tilfeller kan variere over tid. Flyttbare vegger bidrar til økt fleksibilitet (Arge og Landstad, 2002). Slike vegger bidrar til frihet i innredningen uten fysiske spor. Når det gjelder klima- og miljøkonsekvenser er slike vegger en fordel i sammenheng med ressursforbruket dersom det er et stort behov for flytting av vegger.



### 3. Metode

Dette metodekapittelet beskriver og presenterer forskningsmetoden som er brukt. Masteroppgaven tar utgangspunkt i prosjektet til Forsvarsbygg, hvor det blir sett på ett bygg i Bardufoss leir. For å løse problemstillingen er oppgaven basert på tre ulike scenarier som tar utgangspunkt i problemstillingen «Hvordan oppnår man fremtidsrettede bærekraftige løsninger ved behov for oppgradering av forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse?». En illustrasjon av oppgavens forskningsmodell fremstilles i figur 3.1, her vises konteksten og strukturen i oppgavens oppbygging.



**Figur 3.1:** Oppgavens kontekst og struktur.

I oppgaven designes de tre scenarioene, før det blir utført klimagassregnskap og designene blir vurdert basert på evalueringskriteriene for å besvare forskningsspørsmålene. Den største delen av masteroppgaven er design av de tre scenarioene. Deretter kommer klimagassregnskapet som også er en stor del. Fordelt på arbeidsmengde er omtrent 50 % design, 40 % klimagassregnskap og 10 % på litteraturgjennomgang. Videre blir bakgrunnsprosjektet, metodevalg, fremgangsmåten og de ulike verktøyene også presentert. Til slutt vil det også være en vurdering av valgt forskningsmetode.

### 3.1 Beskrivelse av casestudien

I dette kapitlet presenteres casestudiet. For å studere hva som er fremtidsrettede bærekraftige løsninger ble det utformet tre ulike scenarier som belyser påvirkning på energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet i et 60-årsperspektiv. Disse scenarioene brukes videre til å prosjektere ulike design og til klimagassberegninger. Scenariene baserer seg på ombygging fra forlegning til kontorbygg. Ved bestemmelsene som er gjort for hvert av scenarioene er det sett på hva som er innenfor lovverkets rammer, og forslag fra Byggforskserien har blitt benyttet praktisk gjennomføring. Alle scenarioene er designet ved bruk av programvaren Archicad, og følgende lovverk ble benyttet: Plan og bygningsloven, Byggteknisk forskrift og Arbeidsmiljøloven. Oppgavens fremgangsmåte presenteres i figur 3.2.



**Figur 3.2:** Fremgangsmåte.

#### 3.1.1 Konsept

Opgaven tar utgangspunkt i tre ulike scenarier for bygget som har blitt diskutert sammen med Forsvarsbygg. Disse scenarioene ble valgt for å se på et bredt spekter og scenarioene er derfor forsøkt å være motpoler for å se på større forskjeller. Scenariene casestudien tar utgangspunkt i er følgende:

- Miljøbygg med solceller: Rive det eksisterende bygget og bygge et nybygg, dette krever byggesøknad (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a). Standarden heves til passivhusstandard med bygningsintegreerte solceller. Dette bygget vil dermed være et miljøbygg med solceller.
- Brakkeløsning: Beholde det eksisterende bygget og plassere brakker på utsiden. Brakken skal nå krav i henhold til TEK17, være i massivtre og ha solceller. Dette vil da være en brakkeløsning for å få større plass. Grunnet tilbyggets størrelse og brukstid kreves byggesøknad i henhold til SAK10 (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a).
- Renoveringsprosjekt: Delvis renovering av kaserne B. Innebærer et renoveringsprosjekt med bruk av ombruksmaterialer og fokus på forbedret energieffektivitet. Bygget skal oppnå krav i TEK17, men hoveddelen av de tekniske systemene bevares. Grunnet byggets størrelse krever dette byggesøknad (Direktoratet for byggkvalitet, 2022a).

Miljøbygget ble bestemt for å se på klimapåvirkningen til nybygg. Videre ble brakkeløsningen valgt siden dette er en løsning som er populær hos Forsvarsbygg i dag. Renoveringsprosjektet ble valgt for å se på påvirkningen tilknyttet oppussing og rehabilitering av bygg. For å finne sammenligningsgrunnlag mellom de ulike scenarioene har det blitt benyttet noen verktøy. Først er designene utformet og tegnet i programmet Archicad. For utføring av klimagassregnskap har One Click LCA og mengdeberegninger i Excel ved bruk av plantegninger blitt benyttet. For å vurdere arealeffektiviteten blir det tatt utgangspunkt i et forholdstall. Datainnsamlingen blir videre forklart i kapittel 3.4.

### 3.1.2 Utvikling av scenarier

Scenario 1 tar utgangspunkt i passivhusstandard og nye materialer. Et slikt scenario vil dermed ta utgangspunkt i en forbedret standard med tanke på energiforbruk i drift, sammenlignet med dagens krav. Scenario 2 vil omhandle det eksisterende bygget og et tilbygg. I dette scenarioet beholdes det eksisterende bygget med opprinnelig standard. Tilbygget vil være på dagens standard. Scenario 3 tar derimot utgangspunkt i renovering av det eksisterende bygget, og en oppgradering til TEK17 standard med ombruksmaterialer. Målet er å se på hvilken forskjell disse scenarioene har i sammenheng med fremtidsrettede bærekraftige løsninger. I tillegg brukes de til å se hvilken innvirkning de ulike valgene har på byggets klimagassutslipp og hvor i livsløpet disse utslippene er. For å kunne gjøre dette vil de ulike scenarioene i første omgang bli designet. Tabell 3.1 ble utformet i prosessen for å utvikle disse scenarioene. Disse kriteriene blir videre benyttet til å designe og vurdere en anbefaling.

**Tabell 3.1:** De tre ulike scenarioene og tilhørende kriterier.

	<b>Scenario 1</b>	<b>Scenario 2</b>	<b>Scenario 3</b>
Konsept	Rive det eksisterende bygget og bygge et miljøbygg med solceller.	Beholde det eksisterende bygget og benytte brakker på utsiden av bygget.	Delvis renovering. Innebærer å bytte ut noen bygningsdeler og materialer.
Levetid	60 år	30 år, resultatene må ganges med 2 for å kunne sammenlignes.	60 år
Energi	Bygget skal oppnå passivhusstandard. Bygningsintegreerte solceller på veggen.	Modulen som bygges på skal oppnå krav i TEK17. Eksisterende bygg tilsvarer TEK85.	Bygget renoveres til å oppnå krav i TEK17.
Materialbruk	Nye materialer med fokus på lavt klimagassutslipp.	Modulen vil ha fokus på lavt klimagassutslipp.	Fokus på ombruksmaterialer.
Arealeffektivitet	Fokus på fleksibilitet og nye bruksbehov i fremtiden.	Modulen vil gi økt kapasitet.	Renoveringen vil bidra til mer fleksibilitet i bygget.

### 3.1.3 Evalueringsskriterier

I dette kapitlet presenteres fremgangsmåten rundt de tre evalueringsskriteriene energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet som byggene rangeres etter. Siden Forsvarsbygg hadde et ønske om redusert utslipp og økt arealeffektivitet ble det utformet tre evalueringsskriterier. Evalueringsskriteriene vil senere i oppgaven brukes som sammenligningsgrunnlag for å finne det mest aktuelle alternativet. Det er også disse punktene resultatet i oppgaven diskuteres etter.. Energikriteriet tar utgangspunkt i energiforbruk i drift og vurderes gjennom modul B6 i One Click LCA. I denne delen vil bygningsfysikken spille en rolle, noe som er tatt hensyn til ved bruk av løsninger i

Byggforskserien. Videre vil også materialbruket og utslipp tilknyttet dette synliggjøres gjennom modul A1-A3, A4, A5 og B4-B5 i livsløpsvurderingen. Når det gjelder arealeffektivitet vil det bli sett på antall kontorplasser per kvadratmeter i de ulike designene for å kunne sammenligne. Den utviklede arealeffektivitetsparameteren representerer effektivitet ved høyest mulig arealutnyttelse, altså lavest verdi. Dette ble valgt siden det samsvarer med Edvardsen (2009).

For å kunne vurdere designene med evalueringskriteriene ble det utformet et poengsystem, for å få en kvantitativ rangering. Det blir gitt en poengsum til hvert design i hvert kriterium. Til slutt vil verdiene legges sammen, og designet med høyest poengsum vil være den anbefalte løsningen basert på kriteriene. Ettersom det ikke er noen preferanse for evalueringskriteriene har de lik vektning i utregningen av totalsum. Det vil si at hvert kriterie multipliseres med 0,33, slik at de utgjør 1/3 av totalsummen. For å kunne summere tallene for arealeffektivitet [ $\text{m}^2/\text{kontorplass}$ ] og utslipp for energiforbruk og materialforbruk [ $\text{CO}_2\text{e}$ ] må disse normaliseres på en skala fra 0-1. Her er 1 den beste verdien, og gis derfor til verdien med lavest verdi i hvert evalueringskriterium. Under viser prinsippet for utregningen som er benyttet.

Har at  $a$  er den laveste verdien og normalisert verdi av  $a$  er 1 (rangert høyest)

For å finne normalisert verdi for  $b$  benyttes (reell) verdi av  $a$  og  $b$  som forholdstall

$$1 - \frac{b - a}{b} = \frac{a}{b} = \text{normalisert verdi for } b$$

Etter utregning av normalisert verdi legges verdien for hvert av designene sammen. Her blir det tatt hensyn til vektallet på 0,33 ettersom evalueringskriteriene vektes likt. Dette gir en ny utregning som vist under, hvor  $E$  er normalisert verdi av evalueringskriteriene.

$$\text{Design } X = E1_x \cdot 0,33 + E2_x \cdot 0,33 + E3_x \cdot 0,33 = \text{Poengsum for design } X$$

### 3.2 Bakgrunnsprosjekt

Prosjekt som er gitt av Forsvarsbygg presenteres videre i dette kapittelet. Bakgrunnsprosjektet tar utgangspunkt i et innovasjonsprosjekt som Forsvarsbygg tidligere har arbeidet med. I dette kapittelet presenteres først Bardufoss leir hvor prosjektet hører til og deretter det spesifikke bygget som er kaserne B.

#### 3.2.1 Bardufoss leir

Bardufoss består av tre områder kalt Bardufoss Nord, Rusta leir og Heggelia. Området har avdelinger fra både Luftforsvaret, Hæren og Forsvarets logistikkorganisasjon. Frem mot 2028 forventes det en økning i personell som vil føre til en underkapasitet i nåværende bebyggelse. Per i dag er det overkapasitet på mannskapsforlegninger og mye av bygningsmassen er gammel og ikke i tråd med ny standard. Til tross for at det i dag er overkapasitet vil den bli redusert med nytt personell. Som følge av personelløkning vil det dermed tilføre tre nye utfordringer. Disse er:

- Gamle mannskapsforlegninger som kun har vært i sporadisk bruk og må settes i stand og tjene som fast forlegning for norske vernepliktige mannskaper.
- Gamle mannskapsforlegninger må bygges om til kontorer.
- Nye løsninger for forlegning av allierte styrker på besøk for trening og øving må anskaffes. Behovet for denne typen eiendom, bygg og anlegg vil være variabelt og ikke gjelde gjennom hele året.

Forsvarsbygg har et ønske om å bygge om kaserne B fra forlegning til kontorer, og det er dermed dette som blir caseprosjektet for denne masteroppgaven, se figur 3.3 (Forsvarsbygg, 2021). Bygget skal gjøres om til kontorbygg, samtidig som at det skal ha en fleksibel løsning, slik at man kan endre bruksområdet ved behov.



**Figur 3.3:** Kaserne B som skal bygges om til kontorbygg (Forsvarsbygg, 2021).

### 3.2.2 Kaserne B

Bygget som skal oppgraderes er kaserne B. Det er antatt at kasernen ble oppført på 80-tallet og det blir derfor tatt utgangspunkt i at det eksisterende byggverket følger Byggeforskrift 1985, heretter kalt TEK85 (Direktoratet for byggkvalitet, 1985). Basert på plantegninger og bilder av bygget ser man at det består av kjeller, første etasje, andre etasje og kaldt loft. Kjellerveggen er utført i betong, mens resterende vegger antas å være bindingsverk. Utover dette antas det at både dekke, etasjeskillere og tak er i betong. Basert på målsatte plantegninger og tegneprogrammet Archicad har det blitt utarbeidet en BIM-modell for bygget som viser arealene i de ulike etasjene. Figur 3.4 viser bilde av kaserne B (Forsvarsbygg, 2022). Tabell 3.2 viser omtrent arealfordelingen per etasje.



**Figur 3.4:** Kaserne B (Forsvarsbygg, 2022).

**Tabell 3.2:** Arealfordeling i eksisterende bygg.

<b>Etasje</b>	<b>Areal</b>
Kjeller	835 kvm bruttoareal
Første	835 kvm bruttoareal
Andre	660 kvm bruttoareal
Loft	231 kvm bruttoareal
<b>Total</b>	<b>2561 kvm bruttoareal</b>

### 3.3 Forskningsdesign

Forskningsdesignet representerer planen man har for hvordan forskningen skal besvare problemstillingen og forskningsspørsmål (Johannesen et al 2004). For å besvare denne masteroppgaven er det benyttet en kvantitativ forskningsmetode. Kvantitative studier omfatter innsamling og analyse av kvantitative data. Målet med forskningen er å bringe frem troverdig og gyldig kunnskap som representerer virkeligheten. En slik studie inneholder mange enheter, men baserer seg på begrenset mengde data om hver enhet. Dette designet er valgt for å få et overordnet blikk over ulike måter å endre bruksbehovet på ved å se på tre mulige løsninger. Kvantitative metoder brukes dersom man vil utvikle representativ oversikt over generelle forhold og til å teste ulike hypoteser og teorier. I dette studiet vil det være å få en oversikt over klimagassutslipp og arealeffektivitet i de ulike designene.

#### 3.3.1 Metodevalg

Masteroppgaven er en casestudie som brytes ned til en problemstilling og tre forskningsspørsmål. Spørsmålene blir besvart av ulike metoder slik som forskningsmodellen viser, se figur 3.1. De ulike metodene som brukes til å besvare forskningsspørsmålene vil gi et resultat og en konklusjon som samlet svarer på oppgavens problemstilling. Svaret på problemstillingen vil videre benyttes til å gi en anbefaling til Forsvarsbygg og kaserne B. Forskningsspørsmålet «Hvilke scenario er relevante ved endring av et byggs bruksområde, og hvordan utarbeides disse etter dagens lovverk?» blir besvart ved at det designes tre løsninger i programvaren Archicad. Disse designene blir utformet etter dagens lovverk. Spørsmålet «Hvor mye klimagassutslipp vil de ulike designene gi?» besvares gjennom klimagassregnskap i One Click LCA. Her vil fokuset ligge på energieffektivitet og materialbruk. Det siste forskningsspørsmålet som er «Hvilket design vil være mest aktuell når man ser på evalueringkriteriene energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet?» vil bli besvart gjennom en vurdering av kriteriene. Disse spørsmålene vil gi et svar på hvordan fremtidens bygg vil se ut. Til slutt vil alle spørsmålene si noe om hvordan man oppnår reduksjon av klimagassutslipp i fremtidens bygg som en konklusjon. Dermed vil metoden i denne oppgaven være en kvantitativ casestudie. Metoden ble valg som en måte å se på et konkret tilfelle av omformingen av bruksområdet til et bygg, slik at det var mulig å gå i dybden for å finne en løsning (Jacobsen, 2015).

### 3.3.2 Forutsetninger for oppgaven

For å besvare oppgaven settes noen forutsetninger for arbeidet som utføres. Disse forutsetningene innebærer de opprinnelige plantegningene og valgene som er tatt. Det er antatt at bygget er fra rundt 80-tallet og det er tatt en forutsetning om at bygget følger TEK85. Likevel vil trolig bygget ha fått noen oppgraderinger i løpet av levetiden som har bedret energisituasjonen, men i denne oppgaven settes det til TEK85 standard ettersom energiforbruket er ukjent. Siden materialvalg og størrelser ikke fremkommer av plantegningen blir det satt en forutsetning om at etasjehøyden er 2,7 meter. Videre forutsettes det at kjelleren er utført i betong og at det resterende bygget er utført i bindingsverk med trekledning. Planløsningen i renoveringsprosjektet benyttes som dimensjonerende kapasitet for antall kontorplasser og det forutsettes at det ikke utføres noen endringer i kjeller og loft. Denne forutsetningen ble satt ettersom kjelleren ikke kunne omformes til kontorlokaler grunnet vindusareal, og man endte dermed på 130 kontorplasser. Eventuelle endringer i kjelleren vil trolig være en kostnad som ikke er lønnsom for arealeffektiviteten, det samme gjelder loftet. Det forutsettes også at kjelleren er oppvarmet og brukes i design 2 og 3 til toaletter og teknisk rom. Videre er det forutsatt at alle materialer er enkle å få tak i, det blir altså ikke tatt hensyn til at noen materialer ikke er tilgjengelige grunnet beliggenhet.

Det forutsettes at levetiden på bygget er 60 år fra nåtid. I det eksisterende bygget utføres det ingen renoveringsarbeider og det er antatt at alt nødvendig vedlikehold har blitt gjort, slik at bygget kan stå i 30 år til. Når det har gått 30 år trenger man en ny løsning på det eksisterende bygget for å kunne oppfylle 60 år. Man må da benytte et annet eksisterende bygg de siste 30 årene av levetiden. I tillegg forventes det en levetid på 30 år for de brakkeene som benyttes, man trenger derfor to brakker. For å oppnå 60 år totalt kreves dermed to eksisterende bygg og to brakker.

## 3.4 Datainnsamling

I denne oppgaven er det benyttet ulike former for datainnsamling, noe som er i samsvar med Jacobsen (2015) som poengterer at ulike former for datainnsamling er viktig for validiteten og reliabiliteten. Dette er viktig for å få riktige resultater som igjen vil gi en god konklusjon, og i dette tilfellet en realistisk og optimal anbefaling til Forsvarsbygg. I kvantitative metoder baserer datainnsamlingen seg på strukturert registrering av informasjon (Jacobsen, 2015). I denne oppgaven brukes Byggforskserien til å designe forslag til de ulike scenarioene. Utover det brukes fysiske data fra det eksisterende bygget som tegningsgrunnlag og mengdeforhold. Til slutt brukes One Click LCA til klimagassregnskap av de tre designene. I tillegg ble noe informasjon innhentet direkte fra kjente kilder for å se på løsninger i markedet.

### 3.4.1 Designparametere og konstruksjonsforslag

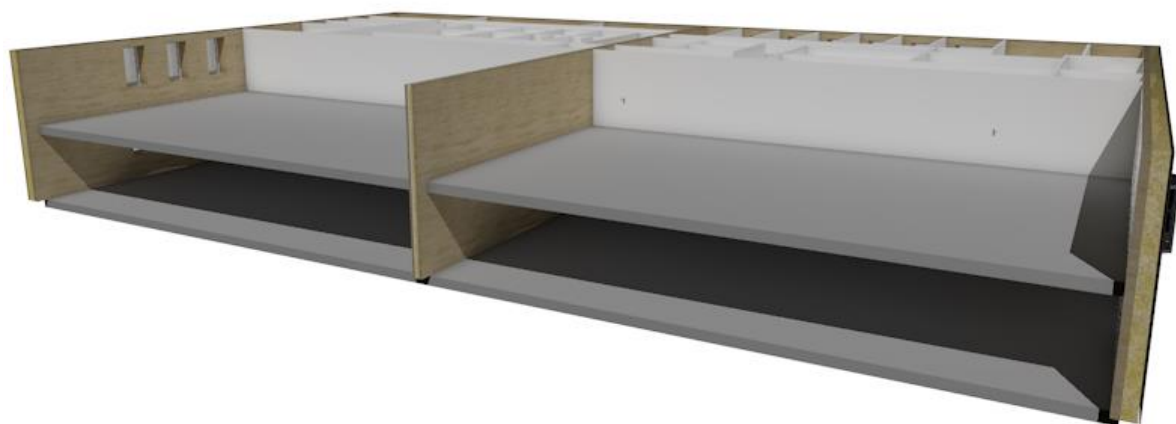
Ved informasjonsinnhenting for utviklingen av designene har Byggforskserien til SINTEF Byggforsk blitt benyttet som en form for litteraturgjennomgang. Byggforskserien ble brukt til å utforme de ulike designene. Dette er en nettside som gir dokumenterte løsninger og anbefalinger for prosjektering (SINTEF Byggforsk, 2022). Serien er basert på SINTEFs kunnskap og utvikling, samt anbefales den av DiBK. I denne oppgaven brukes Byggforskserien i hovedsak grunnet anbefalinger og løsninger som oppfyller krav i TEK17. Når det gjelder byggtekniske valg som går ut på byggets bygningsfysikk er valgene også tatt basert på løsninger fra SINTEF Byggforsk. Dermed brukes Byggforskserien i denne oppgaven i hovedsak som prosjekteringsgrunnlag. Videre ble det benyttet noen kjente kilder direkte for å få et innblikk i bransjen og markedet. Dette bidro til å designe

realistiske og praktiske design. Når de ulike designene blir tegnet i Archicad blir Plan- og bygningsloven, Byggteknisk forskrift og Arbeidsmiljøloven benyttet. Både Pbl og TEK17 blir hensyntatt i Byggforskerien. Når det gjelder Arbeidsmiljøloven blir denne gjennomgått og kontorarealene er tegnet i henhold til denne.

For å prosjektere etter Arbeidsmiljøloven blir data fra Arbeidstilsynet og Kommunal- og moderniseringsdepartementet benyttet. Det skilles mellom cellekontor, delekontor og åpent kontorlandskap (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2014). Cellekontor er tiltenkt en person og er en individuell, tradisjonell og historisk kontorform. Delekontor har derimot plass til en liten gruppe. Åpne kontorlandskap er en betegnelse hvor flere sitter i samme rom eller romsone, uten å være skilt av vegger og dører. Arbeidsmiljøloven stiller krav til det fysiske arbeidsmiljøet (Arbeidsmiljøloven, 2005). I Arbeidsplassforskriften stilles krav til utformingen av arbeidsplasser og arbeidslokaler. Når det gjelder krav til arbeidsplass sier arbeidstilsynet at hver arbeidsplass skal ha et gulvareal på minst 6 kvm (Arbeidstilsynet, 2022a). Dette kravet gjelder både cellekontor, felleskontor og åpent kontorlandskap. Det stilles krav til at alle arbeidsplasser på ha dagslys og utsyn (Arbeidstilsynet, 2022b). Dette kravet kan komme i konflikt med reduksjon av energiforbruket og varmetap i bygget, men må uansett følges for nybygg og ved ombygging. Alle arbeidsplassene i lokalet må derfor være i nærheten av vindu. Arbeidstilsynet stiller ikke krav til vindu i møterom som er plassert sentralt i bygningen (SINTEF Byggforsk, 2014a). Disse kravene blir dermed oppnådd ved prosjektering av designene.

#### 3.4.2 Data fra eksisterende bygg

For å kunne designe de ulike byggene ble det eksisterende bygget benyttet som et grunnlag. Dette er gjort gjennom uthenting av fysiske data fra tegninger som er gitt. For å hente ut informasjon fra det eksisterende bygget ble det tegnet inn i programvaren Archicad 25. Dette er et program som benyttes til å designe og visualisere bygg (Graphisoft, 2022). Deretter ble også de tre nye designene tegnet i programmet med utgangspunkt i det eksisterende bygget som grunnlag. I dette programmet tegnes de tre kontorbyggene med utgangspunkt i valgt standard og i henhold til regelverk. For å optimalisere designene ble byggene tegnet i flere omganger og med fokus på kriteriene som ble bestemt. Figur 3.5 viser en skjermdump fra designfasen til miljøbygget. Disse tegningene ble videre benyttet til å hente ut mengdeberegninger til klimagassregnskapet.



**Figur 3.5:** Skjermdump fra designfasen til miljøbygget.



### 3.4.3 Bruk av Carbon Designer i One Click LCA

Til klimagassberegninger blir One Click LCA benyttet til å se på utslippet til de ulike designene. Her blir Norsk Standard for klimagassberegninger for bygninger NS 3720 «Metode for klimagassberegninger for bygninger» fulgt for å få klimagassutslipp for hele byggets livsløp (Standard Norge, 2018). I programmet One Click LCA deles livsløpet til et bygg inn i flere moduler (Sparrevik, 2021). Modulene er Byggematerialer (A1-A3), Transport til byggeplassen (A4), Byggeplass (A5), Bruk (B1), Reparasjon (B3), Utskifting og renovering (B4-B5), Energibruk i drift (B6), Transport i drift (B8), Slutten på livet (C1-C4) og Utover livsløpet (D) som ikke er inkludert i totalen. I denne masteroppgaven benyttes funksjonen Carbon Designer i One Click LCA. Med dette verktøyet kan man lage et typisk bygg ved å legge inn former og størrelser (One Click LCA, 2022a). Dette brukes for å få et utgangspunkt eller løsning for en typisk konstruksjon (Sparrevik, 2021). I Carbon Designer kan man velge bygningskategori, areal og antall etasjer før programmet velger noen forutsetninger. Alle scenarioene legges inn som kontorbygning, deretter legges arealet inn. Det ble valgt å benytte Carbon Designer siden BIM-filer til eksisterende bygg ikke var tilgjengelig.

Når mengder legges inn i One Click LCA blir egne mengdeberginger benyttet. I mengdeberegningen ble mål av innervegg, yttervegg, lastbærende innervegg, vinduer, dekke, gulv på grunn/fundament, ytterdører og underjordiske vegger lagt inn. For å kunne utføre mengdeberegningene ble arealtegninger i Archicad målsatt. For veggene ble lengden ganget opp med en etasjehøyde på 2,7 m i samtlige scenario. Disse mengdeberegningene er laget ved bruk av måleverktøyet til Archicad og satt inn i en Excel-fil. Vedlegg D presenterer mengdeberegningene som ble benyttet. I programmet gjøres det en rekke endringer i forbindelse med bygningsstrukturen. Dette gjelder i alle design, og endringene gjøres med grunnlag i tegninger i programmet Archicad. For at disse målene skulle bli så realistiske som mulig ble mengdeberegningen benyttet. Etter at alle mengdene ble lagt inn ble det tatt valg som påvirker designet, blant annet materialvalg og energiforsyning. Valgene som tas i hvert design presenteres i vedlegg E-L sammen med det fullstendige klimagassregnskapet.

### 3.4.4 Energiberegninger i One Click LCA

I Norge benyttes hovedsakelig fornybar energi, med 90 % vannkraft og 7 % vindkraft (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2022). Mens det i Europa er en større andel strøm som produseres ved bruk av kull og gass, som gjør at totalbelastningen er høyere (International Energy Agency, 2022). Ved klimagassberegninger for bygninger skal man derfor i henhold til NS 3720 benytte to scenarioer for elektrisitetsforsyning (Standard Norge, 2018). Standarden refererer til dette som scenario 1 og scenario 2, hvor scenario 1 er norsk forbruksmiks og scenario 2 er europeisk forbruksmiks. I denne oppgaven er forbruksmiksen subscenario og illustreres i navnet til de tre scenarioene. Det vil si at scenario 1.1, 2.1 og 3.1 er norsk miks, mens scenario 1.2, 2.2, og 3.2 er europeisk. Siden det benyttes to subscenarioer utføres det til sammen åtte regnskap. Det er to regnskap på scenario 1, fire på scenario 2, hvor 2A er det eksisterende bygget og 2B er tilbygget, og to på scenario 3. For både norsk og europeisk forbruksmiks skal startpunkt for energimiksen være de siste 3 årenes gjennomsnitt. I One Click LCA legges den nyeste energimiksen for hvert subscenario, som for begge er gjennomsnitt fra perioden 2016-2018. Følgende energiforsyningsbestemmelser ble lagt inn i programmet (Sparrevik, 2021):

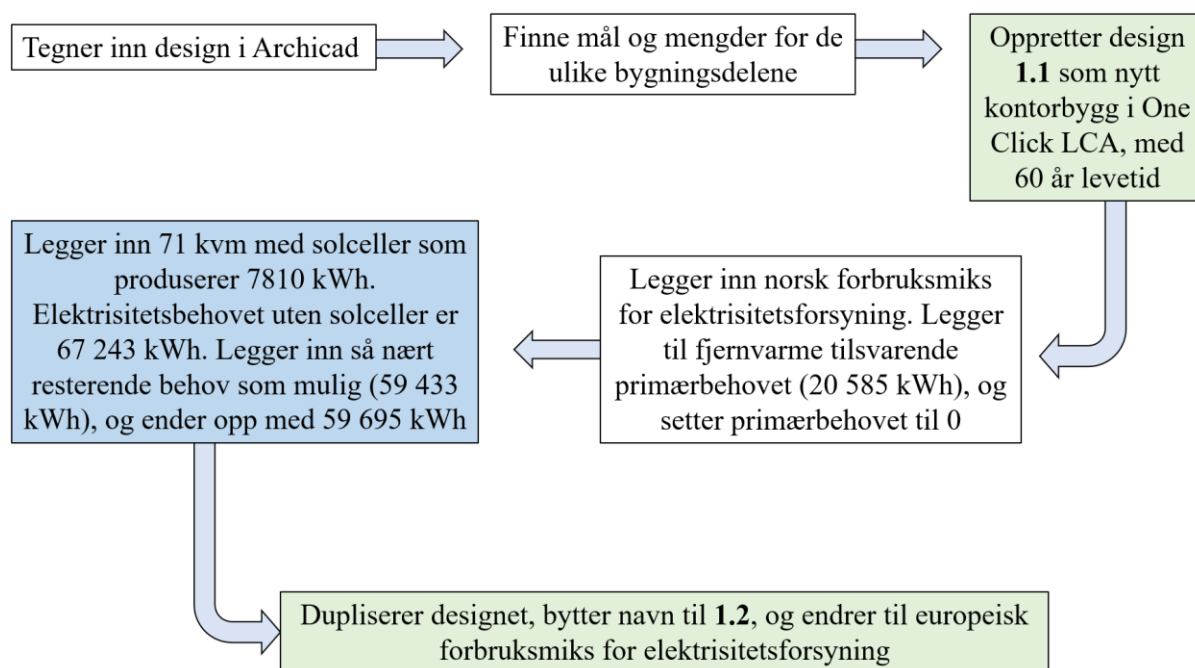
- I One Click LCA benyttes den norske miksen som heter: «Electricity, Norway, 60 years forecasted average (IEA/NS3720 energy mix, projection from 2016-2018 average)» med utslippsfaktor på 0,0123 kg CO<sub>2</sub>e/kWh.
- Den europeiske miksen heter: «Electricity, EU28 + Norway, 60 years forecasted average (IEA/NS3720 energy mix, projection from 2016-2018 average)» med

utslippsfaktor på 0,12 kg CO<sub>2</sub>e/kWh med avtagende utslippsprofil mot nær nullutslipp i 2050.

- Fjernvarmen som legges inn i byggene heter: «District heat, Norway, 2016-2018 average», hvor utslippsfaktoren er 0,0209 kg CO<sub>2</sub>e/kWh.
- I One Click LCA velges solcelletypen som heter: «Solar panel photovoltaic system, EU average» med utslippsfaktor på 180,2 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> med strømproduksjon på 110 kWh/m<sup>2</sup>. For solcellene beregnes strømproduksjonen ut ifra solcellearealet og det trekkes fra regnskapet. I design 1 er de bygningsintegreerte så kledningen fjernes, mens det i design 2 legges inn vanlige solceller.

### 3.4.5 Fremgangsmåte i Carbon Designer

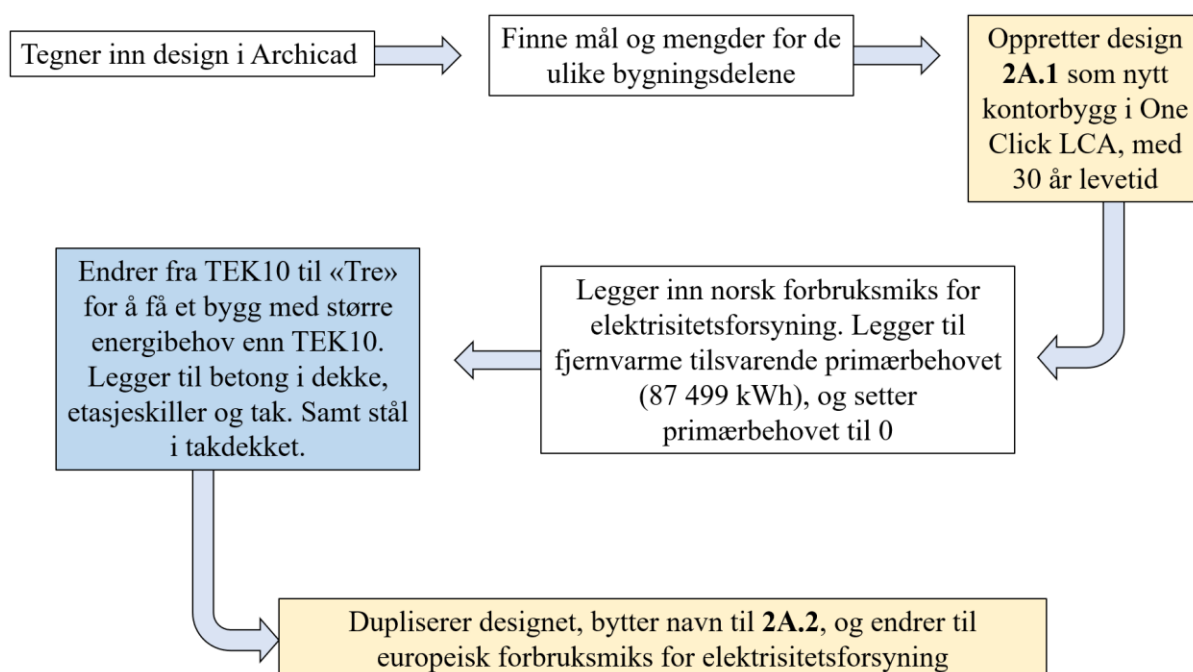
Når det gjelder miljøbygget legges det inn som passivhus og nybygg i One Click LCA. Det legges inn bruttoareal (BTA) for bygget og to etasjer over bakken. For levetid blir det lagt inn 60 år. Videre benyttes mengdeberegninger fra vedlegg D, som ble utarbeidet for det nye bygget i programmet, slik at mengdene samsvarer med det som er tegnet i Archicad. Videre blir det sett på bygningskomponenter og det endres til ønsket materialtype. For å få med riving av det eksisterende bygget i totalsummen i klimagassregnskapet må det benyttes tall fra det eksisterende bygget i design 2. Tallet er hentet fra Modul C1-C4 «Livsløpets slutt» og adderes avslutningsvis til resultatet i både 1.1 og 1.2. Dette kommer frem i resultatdelen. Se figur 3.6 for fremgangsmåte for design 1.



**Figur 3.6:** Fremgangsmåte design 1.

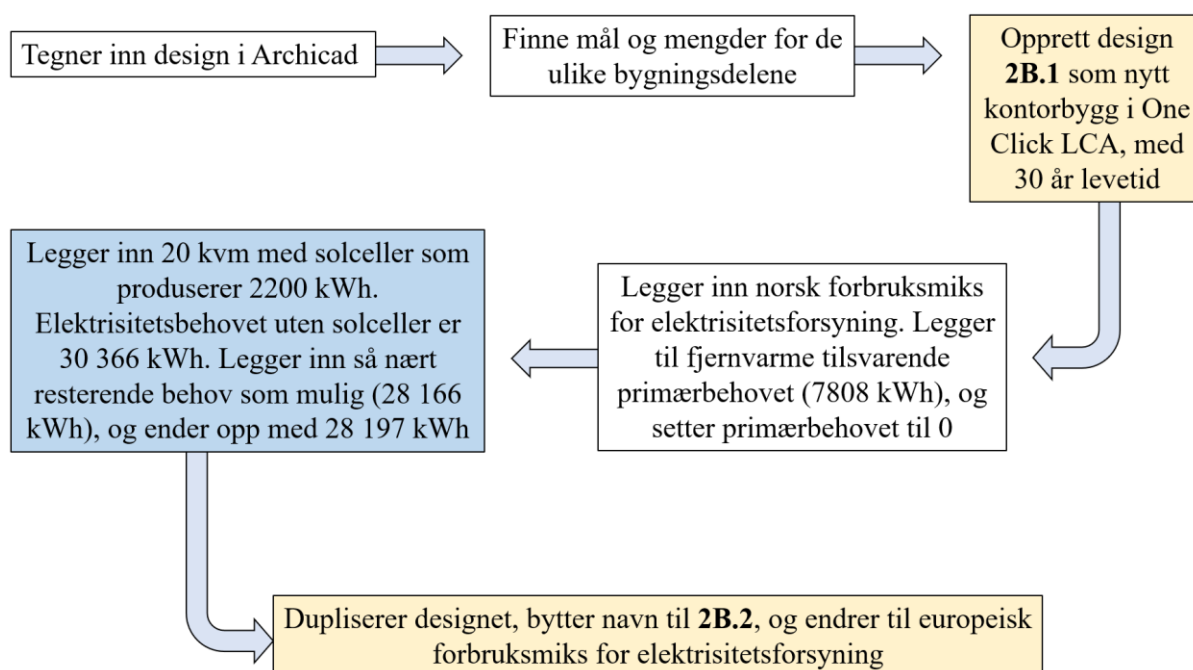
Klimagassregnskapet til brakkeløsningen ble gjort ved fire ulike regnskap. Dette var for å kunne legge inn tilbygget og de to ulike energimiksene, hvor 2A er det eksisterende bygget og 2B er en brakke som vil være et tilbygg. I One Click LCA legges 2A inn som nybygg, ettersom eksisterende bygg ikke er et alternativ. Utover det er beregningsperioden satt til 30 år. Dette er fordi regnskapet til slutt vil ganges med to for å få et tall som vil gjelde for 60 år. Det eksisterende bygget er etter TEK85-standard, men det er ikke et alternativ i programmet og man er dermed nødt til å gjøre en forenkling. I dette tilfellet lages designet 2A.1 først som TEK10 for å få opp alternativet om energiforsyning og deretter endres det til trebygg for å få dårligere standard.

Tallet for energiforsyning er hentet fra gjennomsnittet for totalt energiforbruk for bygninger bygd etter 1981 (Sagen, 1987). Tallet er 865 MJ/m<sup>2</sup> som omgjort vil si 240 kWh/m<sup>2</sup>. Det sistnevnte tallet brukes derfor videre for energiforsyningen i One Click LCA, hvor det opprinnelig var 115 kWh/m<sup>2</sup>, grunnet kontorbygg (Direktoratet for byggkvalitet, 2017). Det ble så sett på den prosentvise fordelingen i energiforsyningen som er fordelt på elektrisitet (uspesifisert bruk), fjernvarme, sekundær oppvarming (elektrisk kjele) og kjøling (varmepumpe). Fordelingen ble så endret slik at de nye tallene tilsvarte 240 kWh/m<sup>2</sup>, men prosentfordelingen var lik som for 115 kWh/m<sup>2</sup>. I tillegg endres noen av materialene til betong. Dette gjelder dekket, etasjeskillere og tak, samt at takdekke legges inn som stål. Se figur 3.7, for fremgangsmåte på design 2A. I resultatet fjernes materialutslippene i begge subscenariene for det eksisterende bygget. Dette er fordi det er forutsatt at tidslinjen starter nå og går 60 år frem i tid. Modulen Utskifting og renovering (B4-B5) blir inkludert, da det antas at nødvendige renoveringsarbeider har blitt utført slik at bygget kan stå i de resterende 30 årene.



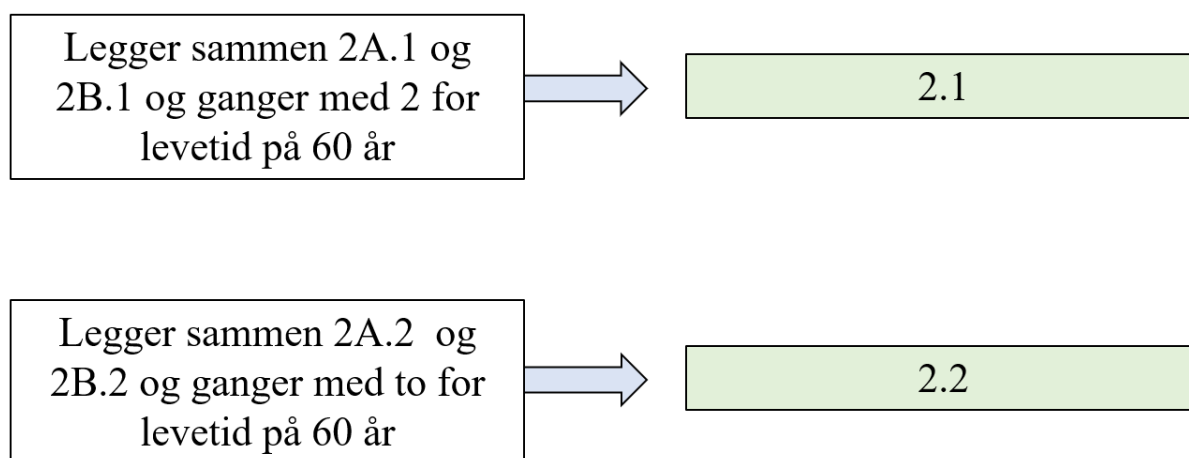
**Figur 3.7:** Fremgangsmåte design 2A.

For brakken legges også bygget inn som nybygg, og beregningsperioden settes her til 30 år med TEK17 standard. I dette regnskapet gjøres det en del endringer i materialbruken slik at den er produsert i massivtre og med solceller. Se figur 3.8 for fremgangsmåte på 2B.



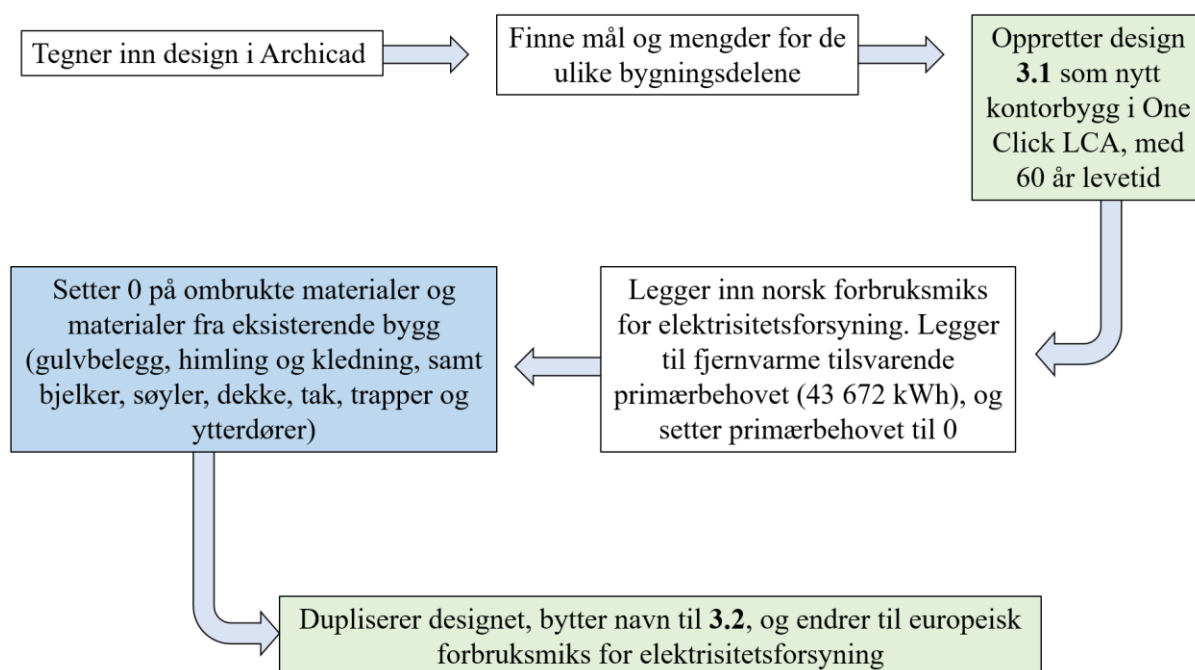
**Figur 3.8:** Fremgangsmåte design 2B.

For å oppnå levetid på 60 år i design 2 må resultatet dobles for begge energimiksene etter at det eksisterende bygget og brakken er lagt sammen. Dette illustreres i figur 3.9.



**Figur 3.9:** Fremgangsmåte design 2.

Når det gjelder renoveringsprosjektet legges bygget inn som TEK17 med levetid på 60 år, og som et renoveringsprosjekt. Ved å legge inn TEK17 oppfylder bygget gjeldende krav i teknisk forskrift, som er en forutsetning etter renoveringen grunnet byggets størrelse. For å ta hensyn til ombruksmaterialer blir prosentandelen satt til null på de materialene som blir ombrukt. På denne måten telles ikke tilvirkningen for disse materialene med på totalregnskapet. Dette gjelder gulvbelegg, himling og kledning. I tillegg settes materialene som er igjen fra det eksisterende bygget til null. Her inngår betongdekket, bjelker, tak, trapper, søyler og ytterdører. De nye mengdene for bygningsmaterialene legges inn. Se figur 3.10 for fremgangsmåte for design 3.



**Figur 3.10:** Fremgangsmåte design 3.

### 3.5 Vurdering av metoden

I dette kapitlet vurderes forskningsmetoden. Reliabilitet og validitet er viktige begreper i sammenheng med evaluering av kvaliteten på studien. Reliabiliteten sier noe om studiens pålitelighet og om man ville fått de samme resultatene dersom man gjorde studien på nytt (Yin, 2018). Validiteten sier noe om nøyaktigheten og gyldigheten til studien og om funnene kan generaliseres. I denne oppgaven ble metodevalget tatt med bakgrunn i prosjektets formål. Oppgaven ble derfor utformet som en kvantitativ casestudie med bruk av litteraturgjennomgang til å designe og evaluere designene. I denne oppgaven vurderes ikke usikkerheten kvantitativt gjennom sensitivitetsberegninger i klimagassregnskapet, derfor vil det fokuseres på usikkerhet tilknyttet beregningsmetoden i delkapittel 3.5.3. Validiteten til den valgte metoden påvirkes dermed av usikkerhetene i programvaren som benyttes i klimagassregnskapet. I oppgaven benyttes usikkerhet om både nøyaktighet og presisjon. Nøyaktigheten brukes om hvor godt de eksperimentelle dataene stemmer med reell verdi, mens presisjonen brukes om hvor godt målingene stemmer overens. I hovedsak har presisjonen i denne oppgaven mye med at tallene som er benyttet i tegninger ikke er nøyaktige, noe som gjør mengdeberegningene usikre. Videre er CO<sub>2</sub>-faktorene heller ikke nødvendigvis presise og korrekte da dette er innlagte tall som One Click LCA har, derfor kan dette variere fra reell verdi og ikke gjenspeile virkeligheten. Dette vil dermed også påvirke presisjonen til klimagassberegningene. Alt dette påvirker dermed presisjonen ved at inngangsdataene og faktorene som er brukt i programmet ikke representerer virkeligheten. Dette forklares videre i de følgende kapitlene.

#### 3.5.1 Metodeusikkerhet

Denne masteroppgaven er skrevet som en kvantitativ casestudie. I dette tilfellet studeres en enhet og dataene er innhentet og analysert gjennom bruk av klimagassregnskap, SINTEF Byggforsk og eksisterende data. Siden resultatene omhandler et spesifikt bygg, kan de nødvendigvis ikke generaliseres til hele Forsvarsbyggs bygningsmasse. Ved bruk av casestudie er det også utfordrende å identifisere årsakssammenhenger, siden man kun

ser på et fenomen. Likevel kan casestudier benyttes som grunnlag for nye hypoteser, etablere forståelser, få innsikt og til nye oppdragelser, slik som i denne oppgaven.

Når de ulike scenarioene skal vurderes blir de sammenlignet på energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet. Disse kriteriene gjenspeiles i klimagassutslippet i tillegg til at det er tre sentrale parametere når man diskuterer et fremtidig bygg. På denne måten vil man få frem viktige faktorer som Forsvarsbygg er interessert i å finne ut mer om. Samtidig som at det er en gunstig fremgangsmåte hvor flere faktorer blir inkludert. Ved å bruke disse kriteriene gjennom hele oppgaven får man også få et godt sammenligningsgrunnlag. Parameteren som er benyttet til å sammenligne arealeffektiviteten tar derimot ikke hensyn til arbeidsplassenes utforming. Det kunne derfor ha vært aktuelt å opprette en parameter som viser hvor godt hvert design egner seg som kontorlokale, med forutsetningene en moderne arbeidsplass trenger i tillegg til arealeffektiviteten.

### 3.5.2 Usikkerhet i datagrunnlaget

Ved utførelse av en studie som denne vil det være noe usikkerhet i datainnsamlingen. I utviklingen av designene for de ulike scenarioene ble det ikke utført en detaljprosjektering, men heller et overordnet designforslag. Dette er basert på lovverk og forslag fra SINTEF Byggforsk, men vil fortsatt kunne ha noen usikkerheter knyttet til reell prosjektering. Plantegningene som ble brukt som grunnlag for utviklingen av designene kan være noe avvikende fra det som faktisk ble bygd. I tillegg ble det satt egne forutsetninger om hvilke materialer som er der i dag og i hvilke størrelser. Ettersom det heller ikke har vært mulig å finne det faktiske energiforbruket til det eksisterende bygget utgjør dette også en usikkerhet i energibruken. Dermed vil inndataen som brukes nødvendigvis ikke representere virkeligheten, noe som kan gi upresise klimagassberegninger.

Byggforskserien har veldokumenterte løsninger og oppfylder kravene i TEK17. Derfor vil valg som er tatt basert på serien være tilstrekkelige til å oppfylle nødvendige standarder. Det anses som et godt datagrunnlag for utviklingen av designene. For litteraturgjennomgangen har det blitt benyttet noen kilder fra aktører i bransjen. Disse er ikke fagfelleverderte, men er med på å gi et innblikk i hva som eksisterer i byggebransjen. Dette ble i hovedsak brukt til å se på hvilke løsninger som finnes i markedet i dag og hvordan disse praktiseres. De ulike designene er heller ikke detaljtegninger, noe som gjør at mengdeberegningene som brukes i klimagassregnskapene er usikre og ikke nøyaktige. Likevel er fokuset i denne oppgaven å sammenligne ulike prinsipløsninger og ikke en detaljprosjektering og nøyaktige utslippsberegninger.

### 3.5.3 Beregningsmetode

I denne oppgaven benyttes One Click LCA som ikke har kvantitative usikkerhetsberegninger. Dette er noe som dermed også påvirker oppgavens usikkerhet når det gjelder datagrunnlaget. Programmet benyttes likevel i flere ulike land av en rekke aktører i byggebransjen, og er dermed tilstrekkelig til å få et innblikk i klimagassutslippet til de ulike designene (One Click LCA, 2022b). I tillegg gir også bruken av Carbon Designer kun et overslag når det gjelder mengder og materialer. Likevel vil bruken av en programvare som er validert, med materialer og mengder som ligger inne, øke troverdigheten og minke sannsynligheten for menneskelig feil. Det er i tillegg satt inn noen verdier som er hentet ut fra Archicad for å gjøre mengder og størrelser mer reell for de designene som ble laget. Dersom materialer og mengder skulle legges inn selv ville det forskjøvet oppgavens fokus og ført til mindre tidsbruk på scenarioene og designene. Dette

gjelder også presisjon av CO<sub>2</sub>-faktorene som benyttes i programmet. Likevel er disse svakhetene like for alle designene, og sammenligningsgrunnlaget påvirkes ikke av dette.

Videre er det også usikkert hvordan energimarkedet blir fremover. Dette blir tatt hensyn til ved å lage to subscenarier for hvert scenario, hvor det blir sett på både en europeisk energimiks og en norsk energimiks. Begge baseres på gjennomsnittstall fra 2016-2018, men det er likevel en usikkerhet i om disse representerer energimarkedet godt. Det blir sett på disse to mulighetene for alle scenarioene med utgangspunkt i en levetid på 60 år for å gjøre resultatene sammenlignbare. Denne usikkerheten handler om at inndataen nødvendigvis ikke representerer virkeligheten selv om det ikke er noe feil med inndataen. Når man benytter seg av klimagassregnskap er det viktig å være klar over at beregningsmetoden vurderer de samlede utslippene i hele levetiden. Det vil derfor i praksis være at lavere klimagassutslipp fra energibruk fordeles utover hele byggets levetid, mens redusert utslipp fra materialer og byggeplass vil gi effekt på kort sikt. Programvaren har også en styrke ved at den har en lokal kompensasjonsfaktor for utslipp som tar hensyn til landet man befinner seg i når det gjelder utslippsverdier til materialer.

## 4. Resultat

Dette kapittelet inneholder resultater fra casestudien. Her presenteres de ulike designene med tilhørende valg, planløsning og illustrasjoner sortert etter evalueringskriteriene, samt klimagassregnskapet. Til slutt presenteres en sammenligning og en poensum som videre benyttes i diskusjonen for å anbefale en løsning til Forsvarsbygg og Bardufoss leir.

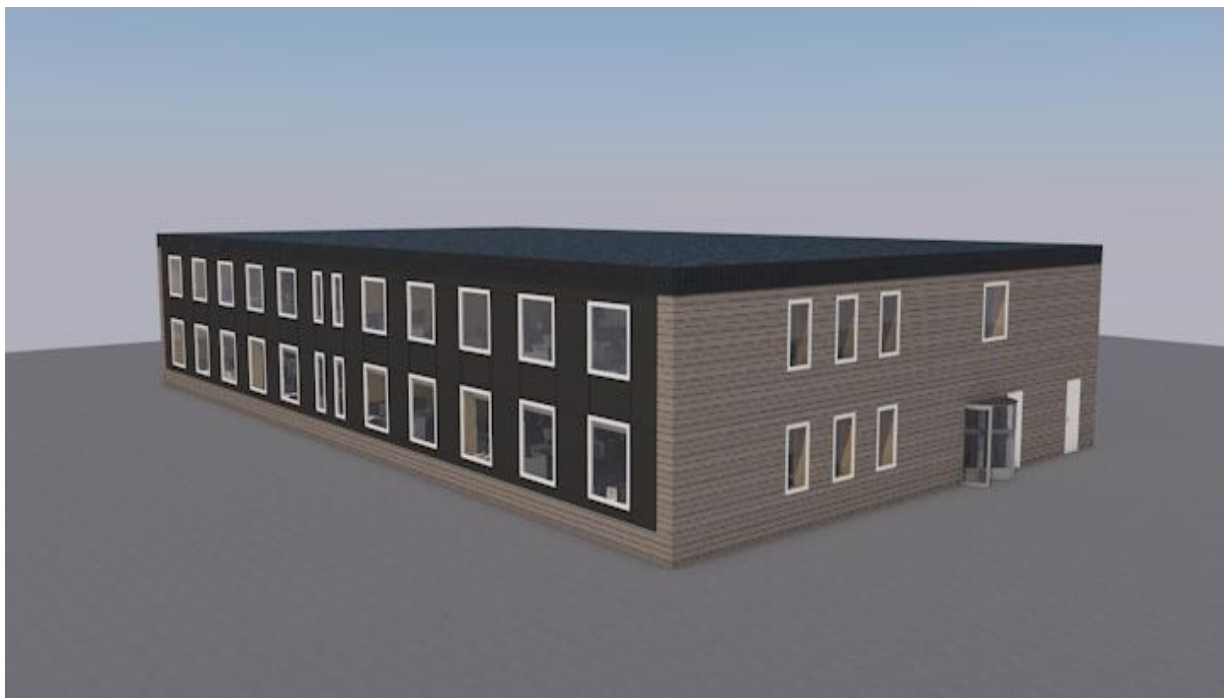
### 4.1 Miljøbygg med solceller

I dette kapittelet presenteres miljøbygget med solceller, samt de ulike valgene og grunnlaget designet er basert på. Dette designet innebærer å rive det eksisterende bygget og bygge et miljøbygg med nye materialer. I dette designet er fokuset på bærekraftige miljøvalg i utforming av bygget. Kontorbygget som tegnes har en størrelse på 1 460 kvm fordelt på to etasjer. Dette kapittelet presenterer valg og kriterier som er knyttet til designet, og informasjonen brukes videre i klimagassberegningene. Kapittelet deles inn etter energi, materialbruk og arealeffektivitet som er evalueringskriteriene. For caseprosjektet er det ønsket en fleksibel løsning, som vil gjøre det enkelt å endre bruksområde. I dette designet vil det dermed bli en levetid på 60 år, siden bygget rives og bygges på nytt. En modell av miljøbygget er tegnet og utformet, se figur 4.1 og vedlegg A for arealtegninger og illustrasjoner. Tabell 4.1 viser en kort beskrivelse av designet.

**Tabell 4.1:** Beskrivelse av design 1.

Design 1	Beskrivelse
BTA	1 460 kvm
Levetid	60 år
Yttervegger	180 mm massivtre med 300 mm isolasjon. (Gir U-verdi = 0,094) (SINTEF Byggforsk, 2013a).
Vindu	3-lags isolertrute (SINTEF Byggforsk, 2018b).
Innervegg	Massivtre. Dobbelvegg der det kreves lydvegg (Norsk Treteknisk Institutt, 2006).
Søyler	Søyler i tre.
Fundament	Plasstøpt lavkarbonbetong.
Etasjeskillere	Massivtre
Tak	Kompakttak i massivtre.
Solceller	Bygningsintegreerte solceller i ytterveggen.
Ventilasjon	Behovsstyrt ventilasjon





**Figur 4.1:** Modell av nybygget.

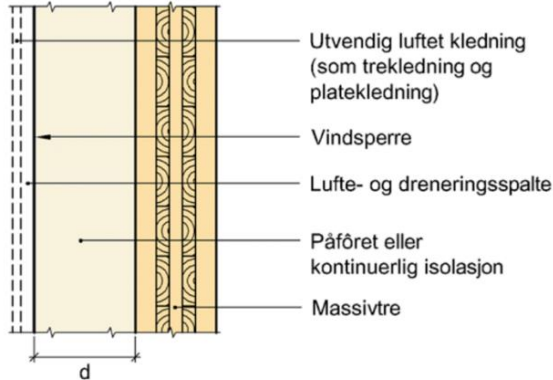
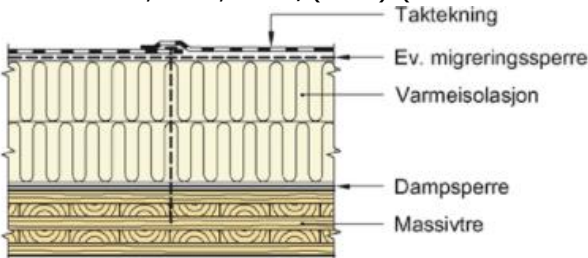
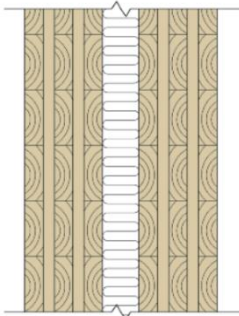
#### 4.1.1 Energi

Siden bygget skal rives og bygges opp som et nybygg er det mulig å endre energistandard og det blir valgt passivhus. I dette designet blir det først vurdert om bygget skulle ha passivhusstandard, nullenergibygget eller plusshus. De resterende alternativene som er lavenergibygget og TEK17 ses det bort ifra, for å oppnå god energieffektivisering av bygget. For å oppnå passivhusstandard vil bygget kreve godt isolerte yttervegger, tak, gulv og vinduer (SINTEF Byggforsk, 2013b). I tillegg vil det fokuseres på en konstruksjon som er fri for kuldebroer og benyttelse av energisparingstiltak (Dokka, Klinski, *et al.*, 2009).

Ettersom bygget er nytt kan utformingen endres fra opprinnelig form. Bygningens fasong har betydning for hvor energieffektivt bygget blir (Dokka og Andresen, 2006). Generelt vil et kompakt bygg med enkle sammenføringer gi mindre varmetap. I dette designet ble det valgt å endre på byggets form. For å oppnå god energieffektivitet blir det prosjektert et kompakt bygg på to etasjer, noe som vil gi redusert energibruk i drift (Dokka og Andresen, 2006). Utover byggets form har planløsningen også mye å si for energibruken. Når det gjelder fasadeutforming plasseres det flest vinduer mot sør slik at man kan utnytte passiv solvarme.

Ved å benytte seg av passivhusstandard vil man få en rekke fordeler med tanke på redusert klimagassutslipp tilknyttet energibruk i drift. Et bygg med passivhusstandard vil kreve økt isolasjonsmengde, lite luftlekkasjer og være fri for kuldebroer og varmegjenvinning gjennom ventilasjonssystem (SINTEF Byggforsk, 2013b). Derfor vil dette designet bestå av konstruksjonsdeler som isoleres godt, slik at U-verdi kravene til passivhusstandard oppnås. Økt standard i bygget gir en rekke energigevinster, som bedre energieffektivitet i driftsfasen. Siden det er valgt å benytte seg av passivhusstandard vil også byggets bygningsfysikk spille en viktig rolle. Dette kommer i hovedsak av økte krav tilknyttet byggets energieffektivitet. Når det gjelder bygningsfysiske krav vil passivhuskrav gjelde, se tabell 4.2.

Tabell 4.2: Passivhuskrav.

Element	Passivhuskrav
Yttervegg	<p>U-verdi <math>\leq 0,10-0,12</math> W/(m<sup>2</sup>K) (Standard Norge, 2012)</p>  <p>Kravet oppnås ved yttervegg i massivtre med isolasjon (SINTEF Byggforsk, 2013a).</p>
Vindu	<p>U-verdi <math>\leq 0,80</math> W/(m<sup>2</sup>K) (Standard Norge, 2012)            Kravet oppnås ved 3-lags glass.</p>
Dekke	<p>U-verdi <math>\leq 0,08</math> W/(m<sup>2</sup>K) (Standard Norge, 2012)</p>
Tak	<p>U-verdi <math>\leq 0,08-0,09</math> W/(m<sup>2</sup>K) (Standard Norge, 2012)</p>  <p>Kravet oppnås ved å benytte rettvendt tak med bærekonstruksjon av massivtreelementer (SINTEF Byggforsk, 2018a).</p>
Innervegg	<p>Benytter innervegg i massivtre.</p>  <p>Eksempel på en dobbelinnervegg i massivtre, også kalt lydvegg (Norsk Treteknisk Institutt, 2006). Tykkelsene på slike innervegger kan variere mellom 65-120 mm. Hvis innerveggen skiller mellom to boenheter må veggen utføres som en dobbelveggkonstruksjon, se illustrasjonen.</p>

For miljøbygget er det valgt å benytte bygningsintegreerte solceller i kledningen på sørfasaden. Det vil si at der det ikke er vindu vil kledningen erstattes med bygningsintegreerte solceller. Solcellene vil dermed produsere elektrisitet og samtidig redusere materialbruken noe (Bunkholt *et al.*, 2021). Se tabell 4.3 for energiforsyningen i design 1, hvor solceller trekkes fra i behovet, hentet fra modelleringen i One Click LCA. Det eksisterende bygget i Bardufoss benytter fjernvarme til oppvarming. Det blir derfor lagt til fjernvarme for det nye bygget også. Fjernvarmen erstatter primærbehovet i energiforsyningen, og sistnevnte settes derfor til null. Tallet for primærbehovet settes inn som fjernvarme. Det benyttes også bygningsintegreerte solceller for miljøbygget, og det legges inn 71 kvm med solceller, som gir en egenproduksjon på 7 810 kWh.

**Tabell 4.3:** Energiforsyning til design 1.

Type	Behov [kWh]
Elektrisitet (uspesifisert bruk)	59 695
Fjernvarme	20 585
Sekundær oppvarming (elektrisk kjele)	13 723
Kjøling (varmepumpe)	12 900
Solceller	-7 810
<b>Totalt energibehov</b>	<b>99 093</b>

#### 4.1.2 Materialbruk

For dette designet vil det være fokus på materialer med lavt utslipp og gode egenskaper. I yttervegg vil det bli benyttet massivtre som er et materiale med stor styrke (Trefokus, 2022). Massivtre er også et godt alternativ med tanke på reduserte klimagassutslipp, da materialet blir sett på som et miljøvennlig valg (Aarstad, Glasø og Bunkholt, 2011). Med bakgrunn i dette utføres også taket i massivtre, og blir utført som kompakttak. Etasjeskilleren utføres også i massivtre, mens fundamentet og gulv på grunn derimot utføres i betong fordi det ikke finnes i massivtre. For den lastbærende innerveggen velges også lavkarbonbetong da massivtre ikke er tilgjengelig i One Click LCA. Øvrige innervegger utføres i massivtre. Se vedlegg E og F som er klimagassregnskapet, for å se de valgte materialene for design 1. Ytterveggen prosjekteres i massivtre, med bygningsintegreerte solceller på veggen på sørsiden.

#### 4.1.3 Arealeffektivitet

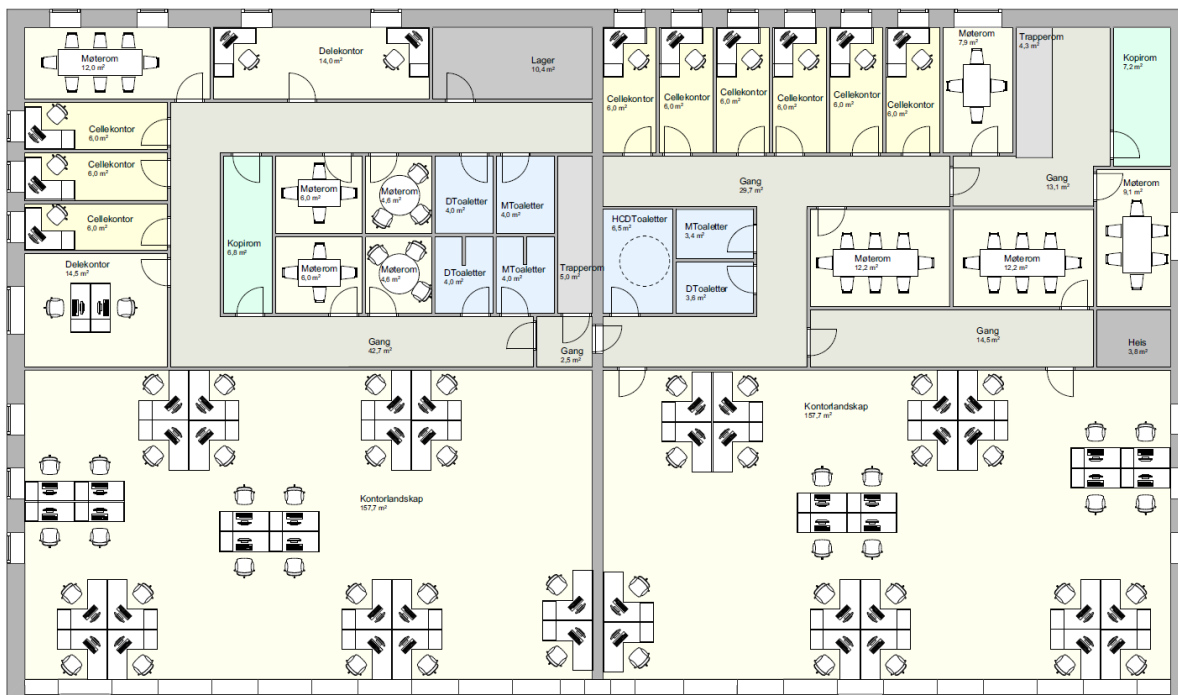
Dette bygget er bygd for å kunne ha en levetid på 60 år. Det tas utgangspunkt i et arealeffektivt bygg, der man har mulighet til å ha gode kontorløsninger. Planløsningen ble organisert etter hvilke termiske behov og lysforhold de ulike rommene krever (Dokka og Andresen, 2006). I bygget vil det ikke være aktuelt med kjeller, fordi bruksområdene endres, og det vil ikke være unødvendig med en kjeller som ikke kan brukes til kontorplasser. Byggets kompakte form vil også gi utvidelsesmuligheter i fremtiden gjennom både horisontal og vertikal påbygging. I et kontorbygg er det viktig med tilstrekkelig dagslys da det har positiv innvirkning på både trivsel og energi og er en viktig bidragsyter til et godt arbeidsmiljø (Arge og Landstad, 2002). Dette oppnås ved å ha mange store vinduer langs i hele byggets fasade.

Når det gjelder planløsning er toaletter plassert i midten av bygget. Dette er fordi dette er faste elementer som påvirker fleksibiliteten (Arge og Landstad, 2002). Toaletter krever heller ikke dagslys og plasseres derfor i midten slik at rom som krever dagslys blir prioritert

der det er gode lysforhold. Utover dette er plassen fordelt på møterom, cellekontor, delekontor og åpne kontorlandskap. Det er valgt å utforme en kombinasjon for å dekke behovet, og det er gunstig med en kombinasjon når det gjelder tilrettelegging for individuelle oppgaver og samarbeid (Arge og Landstad, 2002). Cellekontorene er plassert langs nord, mens de åpne kontorlandskapene er plassert mot den sørlige fasaden. Kravet om 6 kvm gulvareal i arbeidsplassforskriften er oppnådd i cellekontorer, delekontor og åpent landskap (Arbeidstilsynet, 2022a). I delekontoret er det derimot valgt å prosjektere ut ifra 7 kvm per person. Dette bygget har bruttoareal på 1 460 kvm og dekker de 130 kontorplassene. Se figur 4.2 og 4.3 for arealtegninger. Se vedlegg A for arealtegninger i A3.



Figur 4.2: Design 1, 1. etasje.



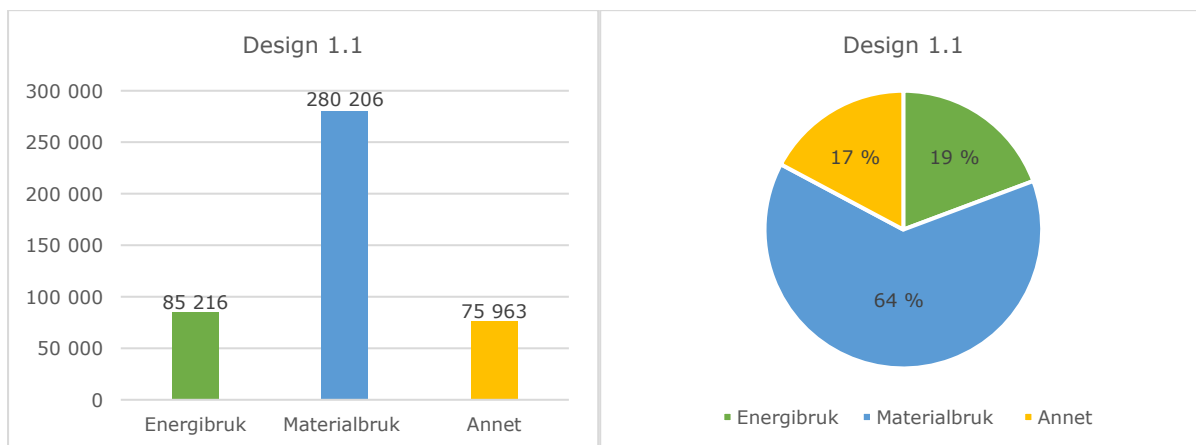
Figur 4.3: Design 1, 2. etasje.

4.1.4 Klimagassregnskap

Klimagassregnskapet for miljøbygget er summen av nybygget og rivingen av det eksisterende bygget. Se vedlegg E for hele regnskapet til design 1.1. Figur 4.4 viser utslipp og den prosentvise fordelingen for utslippene i design 1.1. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utrekningen viser det totale utslippet:

Design 1.1 = Design 1.1 + Riving fra design 2A.1 (Modul C)

Design 1.1 = 398 455 CO<sub>2</sub>e + 42 930 CO<sub>2</sub>e = **441 385 kg CO<sub>2</sub>e**

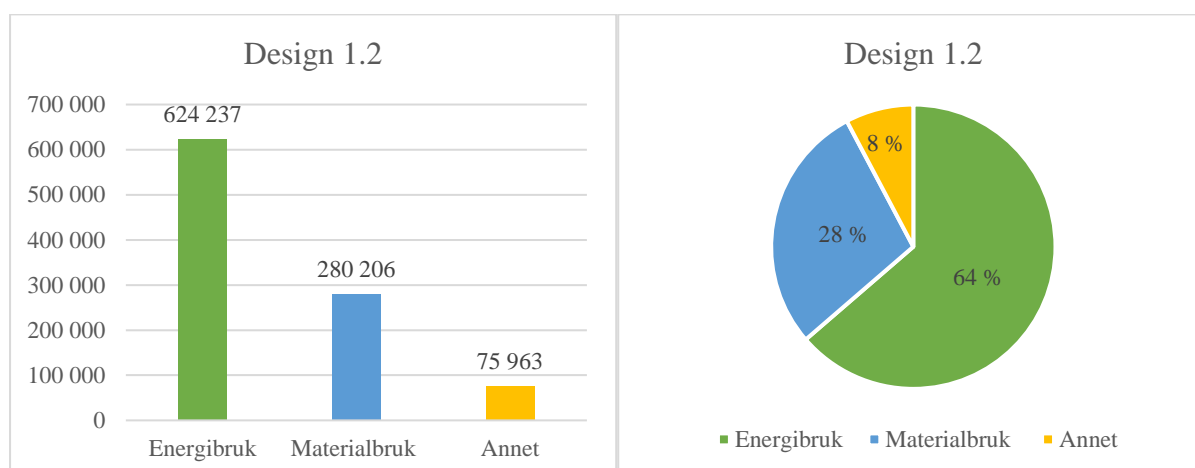


Figur 4.4: Utsliffsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 1.1.

Videre presenteres design 1.2 med europeisk energimiks. Se vedlegg F for hele regnskapet. Figur 4.5 viser utslippene for design 1.2, med den prosentvise fordelingen for utslippene. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utrekningen viser det totale utslippet:

$$\text{Design 1.2} = \text{Design 1.2} + \text{Riving fra design 2A.2 (Modul C)}$$

$$\text{Design 1.2} = 937\,476 \text{ CO}_2\text{e} + 42\,930 \text{ CO}_2\text{e} = \underline{\underline{980\,406 \text{ kg CO}_2\text{e}}}$$



**Figur 4.5:** Utslippsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 1.2.

## 4.2 Brakkeløsning

I dette kapitlet presenteres brakkeløsningen, de ulike valgene og grunnlaget som designet er basert på. Dette designet går ut på å beholde det eksisterende bygget, og fokuserer på å plassere brakker på utsiden. Dermed vil det ikke gjøres noen endringer på det eksisterende bygget, men kun fokuseres på et tilbygg for økt plassbehov. Dette vil være moduler som tilhører bygget, enten i form av brakker, ombygde containere eller andre innovative løsninger. Brakken som plasseres på bygget skal oppnå krav i TEK17. For å finne en gunstig løsning på tilbygget bestemmes det at det benyttes en massivtrebrakke med solceller, slik at den produserer strøm og har lave materialutslipp. Tanken er at brakken kan settes i nærheten av det eksisterende bygget. En massivtrebrakke velges for at brakkeløsningen skal være en fremtidsrettet og innovativ løsning. Denne brakken vil ha høyere standard enn det eksisterende bygget, samt høyere miljøambisjoner og lavere utslipp enn sammenlignbare alternativ i markedet. Det eksisterende bygget har et bruttoareal på 2 445 kvm og brakken har 483 kvm, som gjør at løsningen totalt er på 2 928 kvm bruttoareal.

Dette er en løsning som er gunstig dersom det kun er den funksjonelle levetiden som er overskredet. I dette designet vil dermed den nye modulen som festes på bygget ha en levetid på 30 år, mens det eksisterende bygget har 30 år igjen av den opprinnelige levetiden. Dette vil dermed være en god midlertidig løsning, spesielt i tilfelle bruksbehovet endres igjen senere. Siden det i denne oppgaven ses på et 60-årsperspektiv, vil det gi to brakkeløsninger og to eksisterende bygg i klimagassregnskapet. For å designe dette bygget ble det utformet tegninger både for det eksisterende bygget og modulen, en modell er presentert i vedlegg B med arealtegninger og illustrasjoner. Tabell 4.4 viser grunnlaget som brukes videre i design. Figur 4.6 viser modell av det eksisterende bygget, mens figur 4.7 viser modell av brakken.

Tabell 4.4: Beskrivelse av design 2.

Design 2	Beskrivelse
BTA	2 928 kvm
Levetid	30 år. Gjenstår 30 år av eksisterende bygg, og 30 år på modulen.
Yttervegger	Eksisterende yttervegg.
Vindu	Eksisterende vindu.
Innervegg	Eksisterende innervegg.
Dekke	Eksisterende dekke.
Tak	Eksisterende tak.
Ventilasjon	Eksisterende ventilasjon.
Valgt modul	Massivtre modul med solceller.



Figur 4.6: Modell av det eksisterende bygget.



**Figur 4.7:** Modellen av brakken.

#### 4.2.1 Energi

Dette designet tar utgangspunkt i TEK85 standard på det eksisterende bygget., mens tilbygget settes til å oppnå TEK17 standard. Det eneste som gjøres med tanke på energi for det eksisterende bygget er at det legges inn som TEK85 i energiforsyningen. Tilbygget vil derimot prosjekteres etter dagens standard og krav. Følgende krav skal dermed oppnås:

- Det totale netto energibehovet for bygningen skal ikke overstige  $115 \text{ kWh/m}^2$  oppvarmet bruttoareal (BRA) per år (Byggteknisk forskrift, 2017a, § 14-2).
- Følgende minimumskrav skal følges (Byggteknisk forskrift, 2017b, § 14-3):
  - U-verdi yttervegg  $\leq 0,22 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - U-verdi tak  $\leq 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - U-verdi gulv på grunn og mot det fri  $\leq 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme  $\leq 1,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$
  - Lekkasje tall ved 50 Pa trykkforskjell  $\leq 1,5$

Disse kravene oppnås ved at tilbygget er i massivtre og isolert tilstrekkelig. Siden denne brakken er en tenkt optimal løsning settes det en rekke krav til leverandøren. Det vil dermed være leverandøren som bestemmer hvordan disse kravene oppnås. Videre er det bestemt at tilbygget skal ha solceller på taket. Disse vil bidra til å gjøre bygget energieffektivt. Det eksisterende bygget beholdes slik som det er og med egenskapene som hører til. Ettersom det opprinnelige bygget benytter fjernvarme, erstattes primærbehovet i energiforsyningen som regnes ut i One Click LCA. Primærbehovet settes derfor til null og fjernvarmen til  $87\,499 \text{ kWh}$  for det eksisterende bygget. På brakken benyttes det solceller for å ha en fremtidsrettet løsning, og det er  $20 \text{ kvm}$  solceller på brakken. Disse har en egenproduksjon på  $2\,200 \text{ kWh}$ . Elektrisitetsbehovet for det eksisterende bygget kommer i tillegg til dette. Se tabell 4.5 for energiforsyning i det eksisterende bygget og tabell 4.6 for brakken, hentet fra modelleringen i One Click LCA.



**Tabell 4.5:** Energiforsyning for det eksisterende bygget.

Type	Behov [kWh]
Elektrisitet (uspesifisert bruk)	338 482
Fjernvarme	87 499
Sekundær oppvarming (elektrisk kjele)	55 262
Kjøling (varmepumpe)	71 381
<b>Totalt energibehov</b>	<b>552 624</b>

**Tabell 4.6:** Energiforsyning for brakken.

Type	Behov [kWh]
Elektrisitet (uspesifisert bruk)	28 197
Fjernvarme	7 808
Sekundær oppvarming (elektrisk kjele)	5 206
Kjøling (varmepumpe)	6 507
Solceller	-2 200
<b>Totalt energibehov</b>	<b>45 518</b>

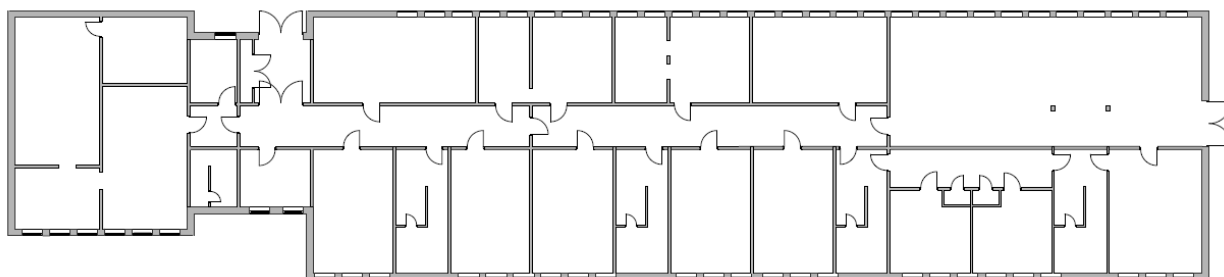
#### 4.2.2 Materialbruk

Det benyttes ingen nye materialer i det eksisterende bygget og de eneste tilførte materialene vil komme fra brakken. For brakken vil det bli tatt utgangspunkt i en massivtrebrakke med solceller. Det forventes at denne kommer komplett fra en leverandør, og alle materialvalg utover massivtre vil dermed bli tatt av leverandør for å gi en bestandig brakke. Solcellene forventes også å være i brakken før overlevering fra leverandør. Materialvalgene for brakken er lavkarbonbetong i dekke, ellers massivtre i etasjeskiller, yttervegg og kompakttak. For de resterende materialer, se vedlegg G-J for komplett klimagassregnskap. Det eksisterende bygget blir lagt inn i One Click LCA som trebygg. Det blir gjort noen endringer i materialene hvor det blir antatt at det ikke er benyttet tre som materialer. Dette gjelder plasstøptbetong i dekket og etasjeskillerene, samt betong i taket og stål i takdekket.

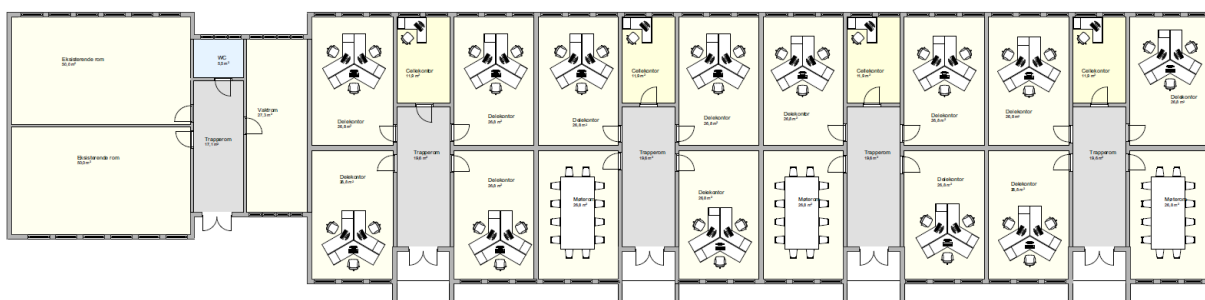
#### 4.2.3 Arealeffektivitet

Dette designet er aktuelt dersom man kun vil endre på byggets bruksområde. Ved å legge til nye brakker vil man kunne bestemme bruksområdene for bygget gjennom utvidelsen. Det er også mulig å endre bruksområdet i fremtiden ved å legge til nye brakkemoduler med andre utforminger og samtidig endre bruksområder. Slik kan løsningen være skalerbar og fleksibiliteten til området sikres, både på kort sikt og frem i tid. I dette tilfellet tas det utgangspunkt i en optimal modul som også tar hensyn til arealutnyttelsen. For å utnytte arealet i det eksisterende bygget blir forlegningen gjort om til kontorplasser. De fleste forlegningene er på 27,5 kvm, mens noen er på 12,2 kvm. De store rommene på 27,5 kvm gjøres om til delekontor med plass til tre stykker, mens de mindre rommene på 12 kvm gjøres om til cellekontor. Til sammen vil dette dermed gi 86 kontorplasser fordelt på to etasjer og seks møterom. For å oppnå målet om 130 kontorplasser vil dermed 44 av kontorplassene fordeles i tilbygget. Når det gjelder utforming av brakkene tas det utgangspunkt i størrelse på 9,6 m x 2,96 m for hver modul (Adapteo, 2020). Det trengs da 18 brakkemoduler fordelt på to etasjer for å få plass til 44 arbeidsplasser.

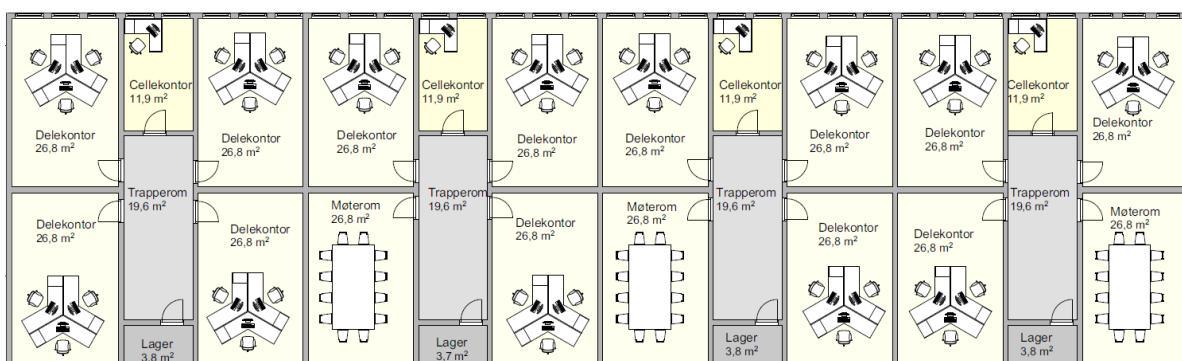
I dette designet er det også krav til arbeidsmiljøet som setter føringer for planløsningen. Tidligere er det nevnt at det tas utgangspunkt i 7 kvm per person i et delekontor, her får man dermed noe større plass da det er 9 kvm per person. Siden rommene på omtrent 12 kvm brukes som cellekontor til en person mister man også en del plass. I det eksisterende bygget vil toalettene beholdes i kjelleren. I brakkenes fordeles kontorlandskap, toalett og møterom i begge etasjene. Se figur 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 og 4.12 for arealtegninger av det eksisterende bygget og brakken. Se vedlegg B arealtegning i A3.



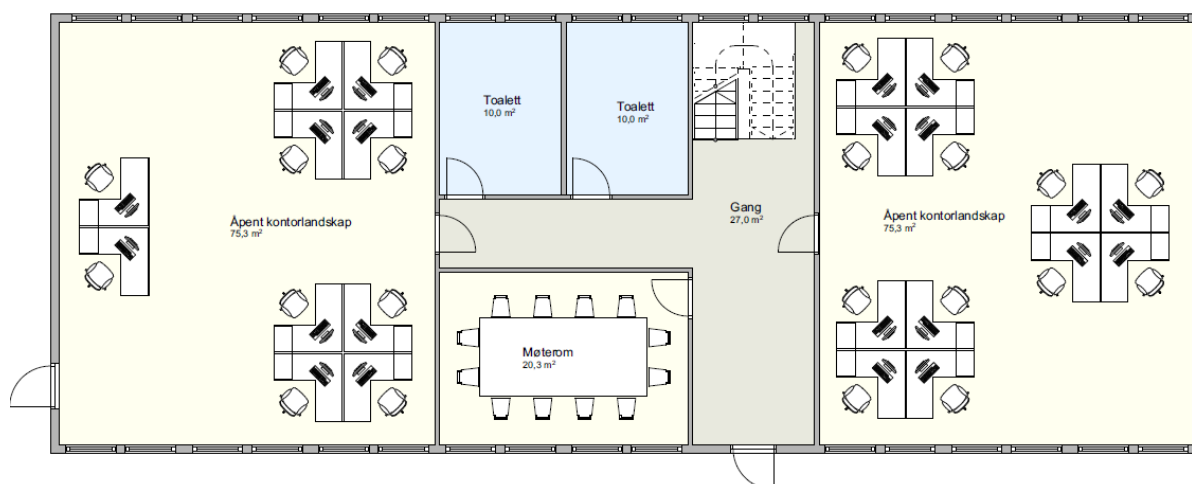
Figur 4.8: Design 2A, kjeller.



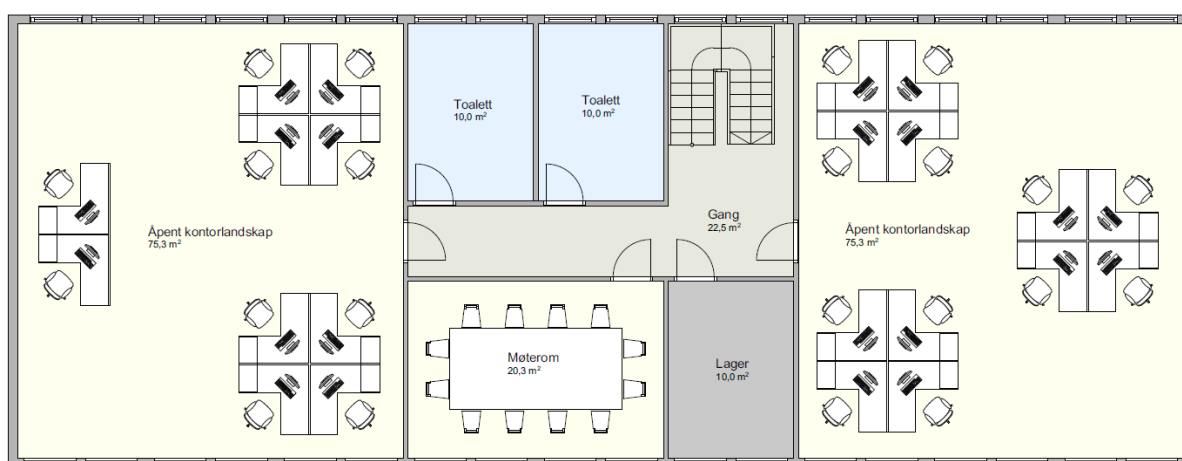
Figur 4.9: Design 2A, 1. etasje.



Figur 4.10: Design 2A, 2. etasje.



Figur 4.11: Design 2B, 1. etasje.



Figur 4.12: Design 2B, 2. etasje.

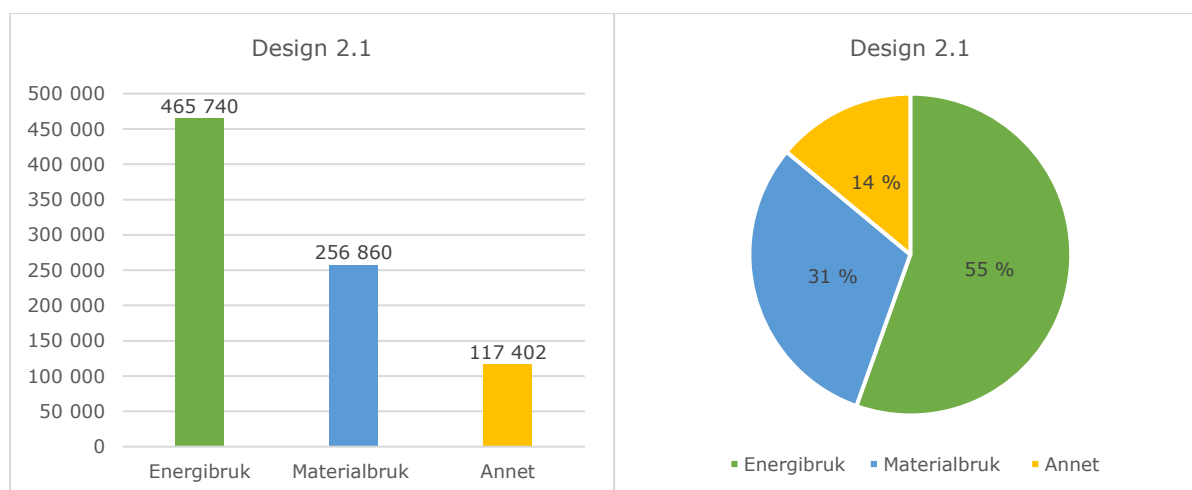
#### 4.2.4 Klimagassregnskap

Klimagassregnskapet for brakkeløsningen består av det eksisterende bygget og brakken som plasseres på utsiden. Design 2.1 ganges med 2 fordi det tas utgangspunkt i 60 år. Se vedlegg G og H for hele regnskapet for brakken og det eksisterende bygget med norsk miks. Figur 4.13 viser utslippene i design 2.1, samt den prosentvise fordelingen av utslippene. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utrekningen viser det totale utslippet for norsk miks:

$$\text{Design 2.1} = (\text{Design 2A.1} - \text{materialutslipp}) + \text{Design 2B.1}$$

$$\text{Design 2.1} = (784\,130 - 526\,855) \text{ CO}_2\text{e} + 162\,726 \text{ CO}_2\text{e} = 420\,001 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Design 2.1} \times 2 = \underline{\underline{840\,002 \text{ kg CO}_2\text{e}}}$$



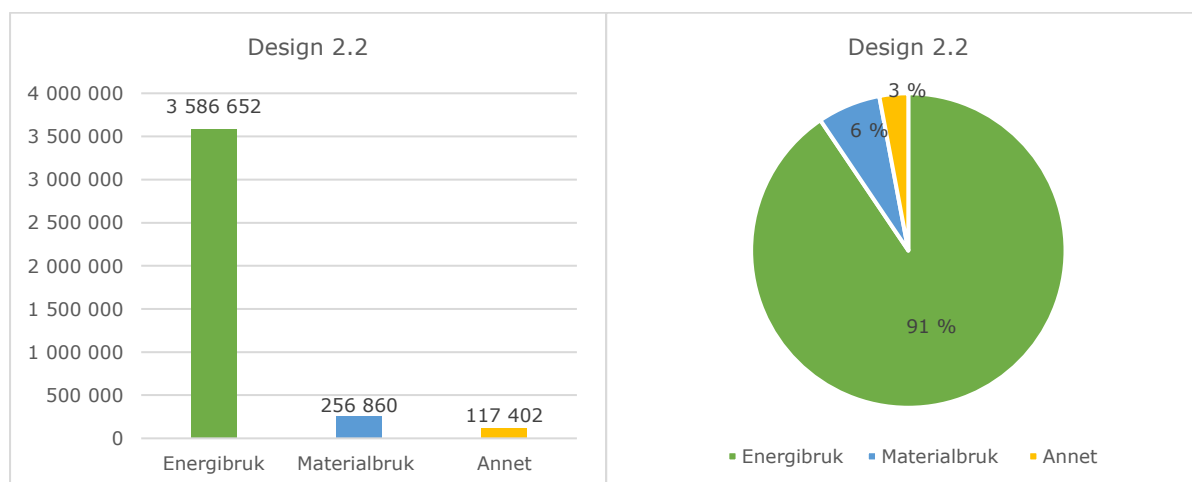
**Figur 4.13:** Utslippsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 2.1.

Videre presenteres klimagassregnskapet med europeisk miks. Se vedlegg I og J for hele regnskapet med europeisk miks for brakken og det eksisterende bygget. Figur 4.14 viser utslippene og den prosentvise fordelingen for utslippene i design 2.2. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utregningen viser det totale utslippet for europeisk miks:

$$\text{Design 2.2} = (\text{Design 2A.2} - \text{materialutslipp}) + \text{Design 2B.2}$$

$$\text{Design 2.2} = (2\,221\,726 - 526\,855) \text{ CO}_2\text{e} + 285\,586 \text{ CO}_2\text{e} = 1\,980\,457 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

$$\text{Design 2.2} \times 2 = \underline{\underline{3\,960\,914 \text{ kg CO}_2\text{e}}}$$



**Figur 4.14:** Utslippsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 2.2.

### 4.3 Renoveringsprosjekt

I dette kapittelet presenteres det tredje designet som er renoveringsprosjektet som skal gi mindre utslipp i drift sammenlignet med det eksisterende bygget. Dette vil innebære å bytte ut noen materialer og bygningsdeler, samt etterisolere noen bygningskomponenter. Etterisoleringen vil bidra til en forbedret energieffektivitet i bygget. Samtidig vil delvis renovering bidra til å forbedre kritiske punkt i bygget. I dette designet blir det derfor tatt hensyn til krav i TEK17, grunnet endring av planløsning ved flytting og oppføring av lettvegger. Renoveringen vil føre til et økt bruttoareal grunnet etterisoleringen på utsiden

av vegg, og er 2 561 kvm. Det vil også bli forutsatt å benytte ombruksmaterialer og noen eksisterende materialer i renoveringsdelen av designet. På denne måten vil ikke ombruksmaterialene ha utslipp i regnskapet. I dette designet vil bygget etter oppussingen ha 60 år med resterende levetid. Dette er fordi bygget antas å ha 30 år igjen opprinnelig, og renoveringen øker levetiden med ytterligere 30 år. En modell av dette designet er presentert i vedlegg C med arealtegninger og illustrasjoner av bygget. Tabell 4.7 viser utgangspunktet for design 3. Figur 4.15 viser modell av det renoverte bygget.

**Tabell 4.7:** Beskrivelse av design 3.

Design 3	Beskrivelse
BTA	2 561 kvm
Levetid	60 år. 30 år igjen fra eksisterende og 30 år etter renoveringen.
Yttervegger	Etterisolering av yttervegg på utsiden av bindingsverket som står. 100 mm gammel isolasjon + 150 mm ny isolasjon.
Vindu	Bytter ut de eksisterende vinduene. 3-lags vindu.
Innervegg	Erstatte noen eksisterende innervegger med søyler eller massivtre.
Søyler	Søyler i tre.
Dekke	Etterisolering i fundamentet. 50 mm trykkfast isolasjon.
Tak	Etterisolering i bjelkelaget.
Ventilasjon	Behovsstyrt ventilasjon.



**Figur 4.15:** Modell av renoveringsprosjektet.

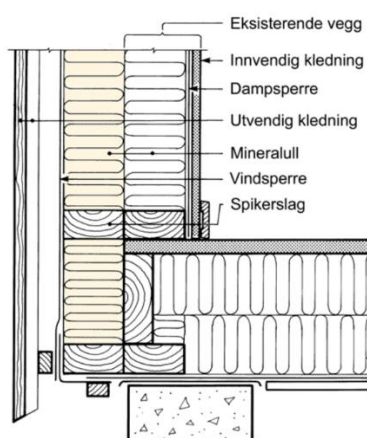
### 4.3.1 Energi

I dette designet skal energistandarden heves til TEK17 fra opprinnelig TEK85. Det tilsvarer flere tiltak tilknyttet byggets energieffektivitet. TEK17 har en rekke krav som blant annet totalt netto energibehov, som krever at byggets energieffektivitet må økes betraktelig. Dette gjøres ved å både øke byggets egenskaper gjennom etterisolering og ved å oppgradere ventilasjonen i bygget. Det vil også bli en utskifting av vinduer i dette designet. Dette er i hovedsak for å få nyere vinduer med lavere varmeledningsevne for å bidra til å senke energiforbruket i bygget. Primærbehovet settes til null i One Click LCA og erstattes av fjernvarmen. Se tabell 4.8 for fordeling av energiforsyningsbehov, hentet fra modelleringen i One Click LCA.

**Tabell 4.8:** Energiforsyning for design 3.

Type	Behov [kWh]
Elektrisitet (uspesifikt bruk)	169 834
Fjernvarme	43 672
Sekundær oppvarming (elektrisk kjele)	29 114
Kjøling (varmepumpe)	36 393
<b>Totalt energibehov</b>	<b>279 013</b>

I dette designet blir energiforbruk i drift tatt hensyn til ved etterisolering som et tiltak for å redusere klimagassutslippet. Videre må det avgjøres om etterisoleringen skal være utvendig eller innvendig på ytterveggen. Det vil også bli tatt avgjørelser for etterisoleringen i taket. I dette caseprosjektet tas det utgangspunkt i at eksisterende vegg består av eldre lette bindingsverksvegger. Når det gjelder etterisolering av yttervegg vil det gjøres på utsiden for å få lavere varmetap og god fuktsikkerhet (SINTEF Byggforsk, 2004), se figur 4.16. Andre fordeler ved etterisolering på utside vegg er eliminering av kuldebroer ved utføring av isolasjon i hele veggens høyde noe som igjen bidrar til økt energieffektivitet. I tillegg etterisoleres bjelkelaget i loftet, slik at det forblir et kaldt loft. Siden det ikke finnes detaljtegninger av det eksisterende bygget, tas det utgangspunkt i at bygget opprinnelig hadde kaldt loft med isolasjon langs bjelkelaget. Det er dermed dette bjelkelaget som etterisoleres for å redusere varmetapet.



**Figur 4.16:** Utvendig etterisolering av nyere type bindingsvegg (SINTEF Byggforsk, 2004).

#### 4.3.2 Materialbruk

I dette designet vil mye av det opprinnelige bygget beholdes og det er ikke nødvendig med utskifting av de største bygningskomponentene. I forbindelse med renoveringen og endring av planløsning i 1. og 2. etasje vil det derimot være behov for noen nye materialer. I renoveringsprosjektet forutsettes det bruk av ombruksmaterialer for å redusere klimagassutslippet (Direktoratet for byggkvalitet, 2018b). Materialene som forsøkes å finne bruk er kledning, gulvbelegg og himling. De resterende materialene som beholdes fra det eksisterende bygget er underjordiske vegger, betongen i ytterveggen, ytterdører, fundament, betongdekke, betongtak, søyler, bjelker og trapperom. Noen av materialene som trengs i renoveringen vil derfor være helt nye. Dette gjelder blant annet vinduer og isolasjon, som trengs i en god kvalitet for å nå krav i TEK17. Eksempelvis benyttes det nye 3-lags vindu, som benyttes i nye bygg for å oppfylle gitte energikrav (SINTEF Byggforsk, 2018b). Se tabell 4.9 for oversikt over materialer som settes til 0 i One Click LCA og dermed ekskluderes fra regnskapet, ettersom de er i det eksisterende bygget eller blir ombrukt fra andre prosjekter.

**Tabell 4.9:** Materialer som ekskluderes fra klimagassregnskapet.

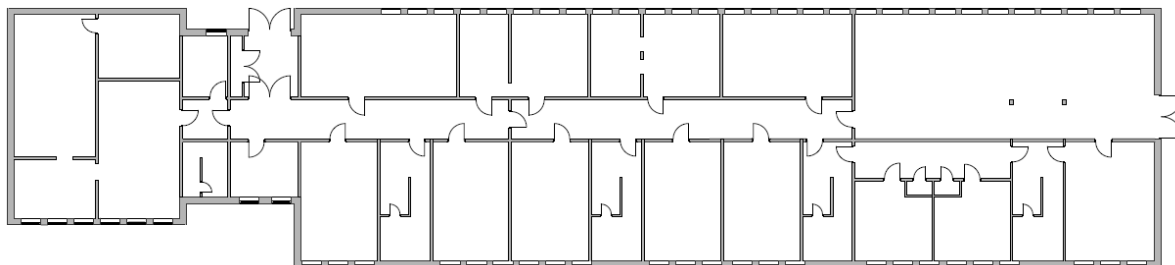
<b>Materialer som ekskluderes i regnskapet</b>	<b>Årsak</b>
Gulvbelegg	Ombruk
Himling	Ombruk
Kledning	Ombruk
Betongdekke	Beholder det eksisterende
Betongtak	Beholder det eksisterende
Bjelker	Beholder det eksisterende
Trapper	Beholder det eksisterende
Søyler	Beholder det eksisterende
Ytterdører	Beholder det eksisterende

#### 4.3.3 Arealeffektivitet

I dette designet vil et viktig punkt være å endre planløsningen, slik at det blir lagt til rette for kontor og arbeidsplasser. Planløsningen på dette designet er bygd opp på samme måte som på design 1. Forskjellen her vil derimot være at man må ta større hensyn til eksisterende vegger. Generelt vil det i dette designet være fokus på å fjerne noen vegger og erstatte noen med fleksible vegger. Kjeller og loft vil bli beholdt som eksisterende planløsning tilsier, hvor det blant annet vil være tekniske rom og toaletter, det etableres også nye toaletter i 1. og 2. etasje. I tillegg benyttes det fleksible innervegger som enkelt kan demonteres for å lage flere større arealer når det ikke lengre er behov for cellekontor.

I det opprinnelige bygget er det flere trappeoppganger mellom forlegningsrommene. To av disse trappeoppgangene beholdes for å gi god tilkomst til alle etasjene, mens de som fjernes vil sørge for mer gulvareal. Det er gjort noen endringer i 2. etasje grunnet ulikt bruttoareal i etasjene, men det er likevel et likt utgangspunkt i begge etasjene slik at bygget er fleksibelt i fremtiden ved behov for endring. Det vil også bli foretatt en endring i plassering av vinduer i fasaden, ettersom innervegger flyttes og alle kontorarealer trenger vindu for dagslys og utsyn. En slik endring krever mer arbeid enn kun utskifting av vinduer, men er nødvendig for arealeffektiviteten til den nye planløsningen.

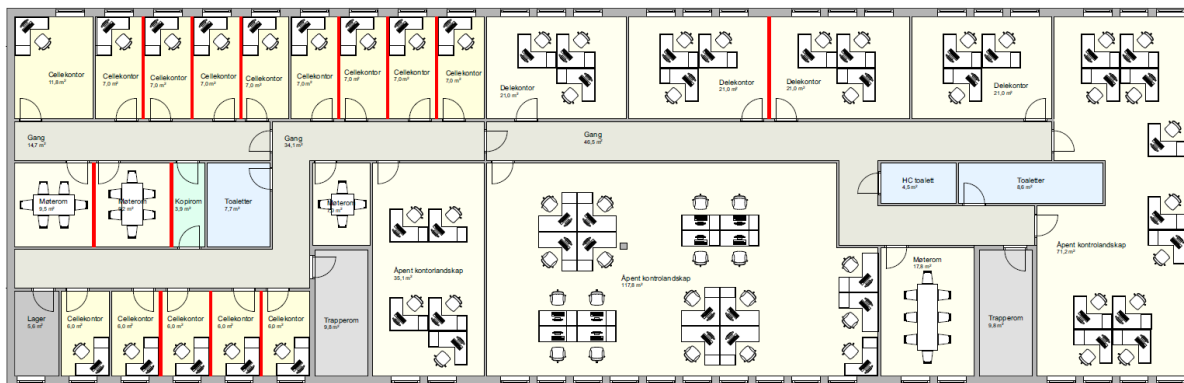
Ved tilbakeføring blir det tatt utgangspunkt i å etablere rom som er omtrent 28 kvm igjen, da det er denne størrelsen som opprinnelig var benyttet. Slike fleksible vegger merkes i rødt på arealtegningene i 1. og 2. etasje. Se figur 4.17, 4.18 og 4.19 for arealtegninger. Se vedlegg C for arealtegning i A3.



Figur 4.17: Design 3, kjeller.



Figur 4.18: Design 3, 1. etasje.



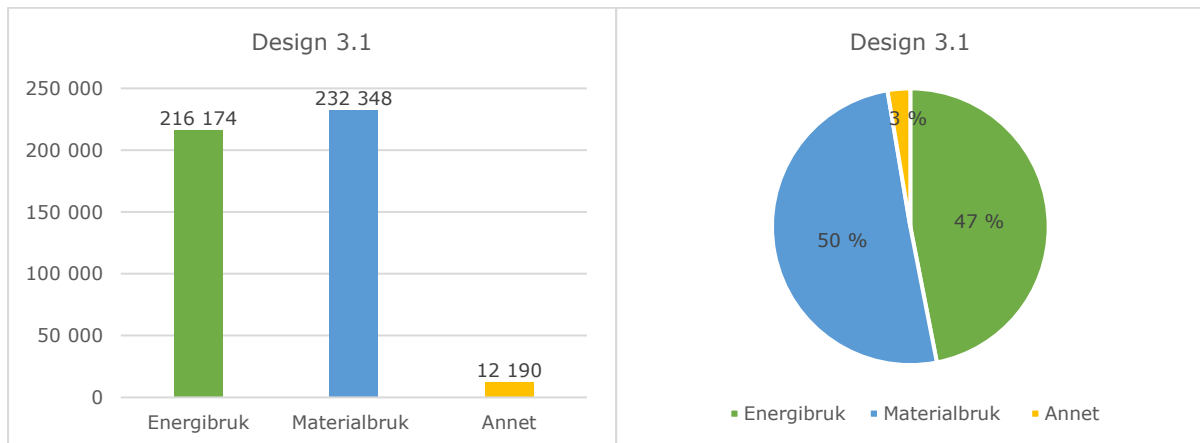
Figur 4.19: Design 3, 2. etasje.



#### 4.3.4 Klimagassregnskap

Klimagassregnskapet for renoveringsprosjektet presenteres i dette kapittelet. Se vedlegg K for hele regnskapet. Figur 4.20 viser utslippene for design 3.1, samt den prosentvise fordelingen for utslippene i design 3.1. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utrekningen viser det totale utslippet for norsk miks:

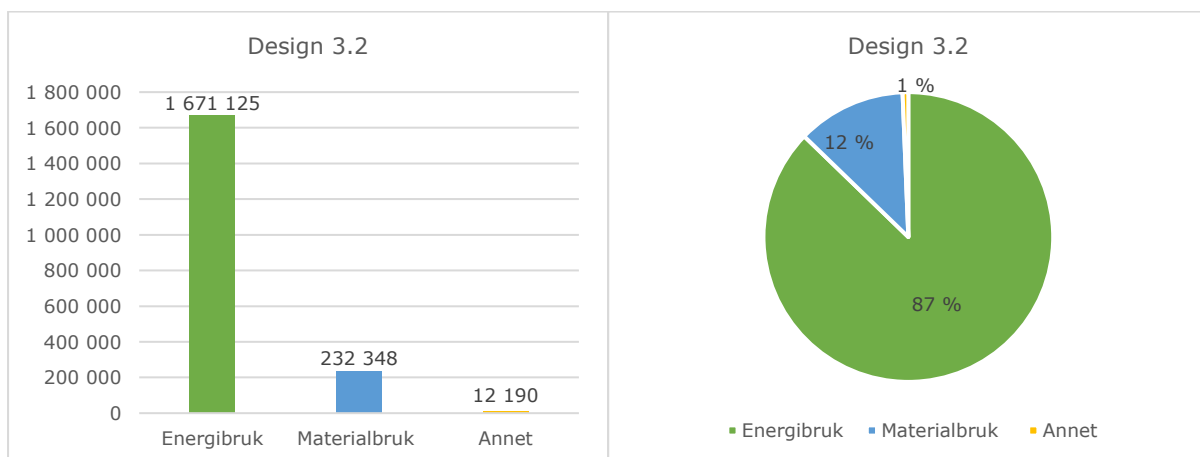
$$\text{Design 3.1} = \underline{\underline{460\,712\text{ kg CO}_2\text{e}}}$$



**Figur 4.20:** Utslippsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 3.1.

Se vedlegg L for hele regnskapet, figur 4.21 viser utslippene og den prosentvise fordelingen for utslippene til design 3.2. I annet inngår modul B1, B3, B8 og C1-C4. Utrekningen viser det totale utslippet for europeisk miks:

$$\text{Design 3.2} = \underline{\underline{1\,915\,663\text{ kg CO}_2\text{e}}}$$



**Figur 4.21:** Utslippsfordeling i CO<sub>2</sub>e og prosent for design 3.2.

#### 4.4 Evalueringskriteriene

I dette delkapittelet presenteres en sammenligning av resultatene til de ulike designene. Sammenligningen tar utgangspunkt i evalueringskriteriene. Først presenteres en oversikt over alle designene, deretter presenteres sammenligningen av arealeffektiviteten, og til slutt den totale poengsummen basert på alle tre evalueringskriteriene.

#### 4.4.1 Klimagassutslipp for designene

Tabell 4.10 viser en oversikt over designene med norsk miks med utslipp fordelt på energibruk i drift, materialbruk og totalt utslipp. Mens tabell 4.11 viser tilsvarende for designene med europeisk miks. Tabellene brukes videre for å gi en poengsum til de tre ulike designene.

**Tabell 4.10:** Oversikt over utslippene for designene med norsk miks.

Design	Energibruk i drift [kg CO <sub>2</sub> e]	Materialbruk [kg CO <sub>2</sub> e]	Annet	Totalt utslipp [kg CO <sub>2</sub> e]
Miljøbygg med solceller	85 200	280 200	76 000	441 400
Brakkeløsning	465 700	256 900	117 400	840 000
Renoveringsprosjekt	216 200	232 300	12 200	460 700

**Tabell 4.11:** Oversikt over utslippene for design med europeisk miks.

Design	Energibruk i drift [kg CO <sub>2</sub> e]	Materialbruk [kg CO <sub>2</sub> e]	Annet	Totalt utslipp [kg CO <sub>2</sub> e]
Miljøbygg med solceller	624 200	280 200	76 000	980 400
Brakkeløsning	3 586 700	256 900	117 400	3 960 900
Renoveringsprosjekt	1 671 100	232 300	12 200	1 915 700

#### 4.4.2 Sammenligning av arealeffektivitet

For å kunne sammenligne de tre designene på arealeffektivitet vil det bli utarbeidet en tabell som viser likheter og forskjeller, samt arealeffektivitetsparameteren som viser BTA/kontorplasser. Tabell 4.12 viser de ulike kontorformene med antall plasser, møterom og toaletter, samt arealeffektivitetsparameteren.

**Tabell 4.12:** Sammenligning av arealbruken i designene

	Design 1	Design 2	Design 3
Cellekontor	18 plasser	8 plasser	33 plasser
Delekontor	8 plasser	78 plasser	33 plasser
Kontorlandskap	104 plasser	44 plasser	64 plasser
Møterom	16 (82 plasser)	8 (96 plasser)	8 (54 plasser)
Arealeffektivitetsparameter	1460 m <sup>2</sup> / 130 plasser = <b>11</b>	2928 m <sup>2</sup> / 130 plasser = <b>23</b>	2561 m <sup>2</sup> / 130 plasser = <b>20</b>

#### 4.4.3 Total poengsum basert på evalueringskriteriene

Siden det i denne oppgaven blir sett på tre evalueringskriterier må designene få en totalsum, fremgangsmåten til denne utregningen ble forklart i metoddelen, delkapittel 3.1.3. Først benyttes tabell 4.13 og 4.14 til å beregne en normalisert verdi. Ettersom forskjellen mellom norsk og europeisk miks for hvert design er basert på det samme forholdstallet vil resultatet være ganske likt for norsk og europeisk miks når det omregnes til normalisert verdi. Tabellene presenteres derfor verdien for norsk miks først og verdien for europeisk miks i parentes.

**Tabell 4.13:** Verdier for energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet

	Miljøbygget	Brakkeløsningen	Renoveringsprosjektet
Energiforbruk (europeisk miks)	85 200 (624 200)	465 700 (3 586 700)	216 200 (1 671 100)
Materialbruk	280 200	256 900	232 300
Arealeffektivitet	11	23	20

**Tabell 4.14:** Normalisering fra 0-1

	Miljøbygget	Brakkeløsningen	Renoveringsprosjektet
Energiforbruk (europeisk miks)	1 (1)	0,18 (0,17)	0,39 (0,37)
Materialbruk	0,83	0,90	1
Arealeffektivitet	1	0,48	0,55

Utregningene viser total sum for hvert av designene med bruk av verdien for norsk miks og vekting på 0,33. Dette er en forenkling ettersom verdien for europeisk skiller seg ut litt, men vil ha lite å si i den totale sammenhengen. Tabell 4.15 viser en oversikt over total poengsum for designene basert på beregningene under.

$$\text{Miljøbygget} = 1 \cdot 0,33 + 0,83 \cdot 0,33 + 1 \cdot 0,33 = 0,93$$

$$\text{Brakkeløsningen} = 0,18 \cdot 0,33 + 0,90 \cdot 0,33 + 0,48 \cdot 0,33 = 0,51$$

$$\text{Renoveringsprosjekt} = 0,39 \cdot 0,33 + 1 \cdot 0,33 + 0,55 \cdot 0,33 = 0,64$$

**Tabell 4.15:** Total poengsum for designene

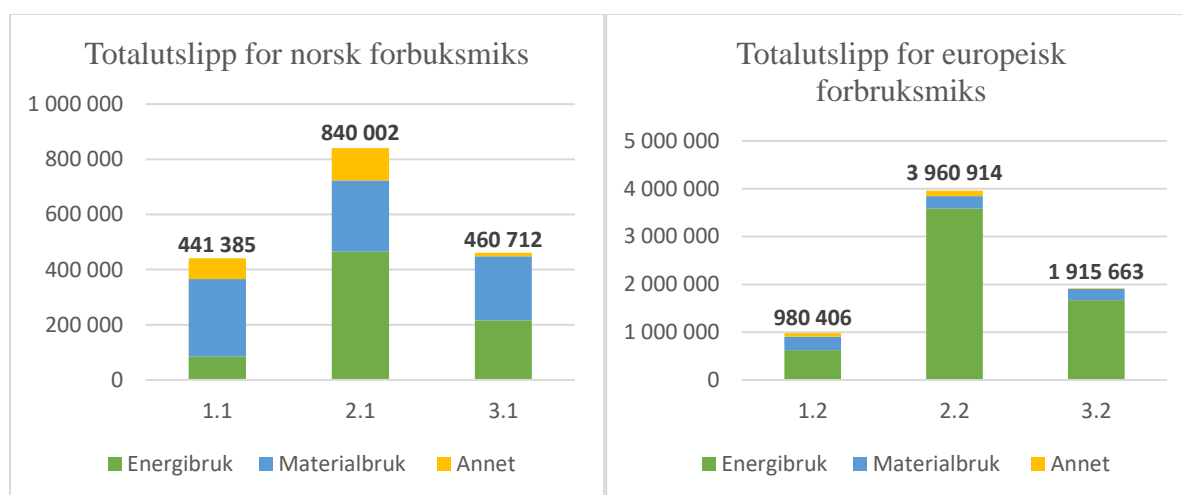
Miljøbygget	Brakkeløsningen	Renoveringsprosjekt
0,93	0,51	0,64

## 5. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres valgene som er tatt opp mot resultatene. I tillegg vil resultatene fra klimagassutslippet analyseres og diskuteres sammen med arealeffektiviteten for å finne en konklusjon på oppgaven. Dette vil dermed gi en pekepinn på hvilken løsning som vil være realistisk for Forsvarsbyggs formål.

### 5.1 Totalutslipp

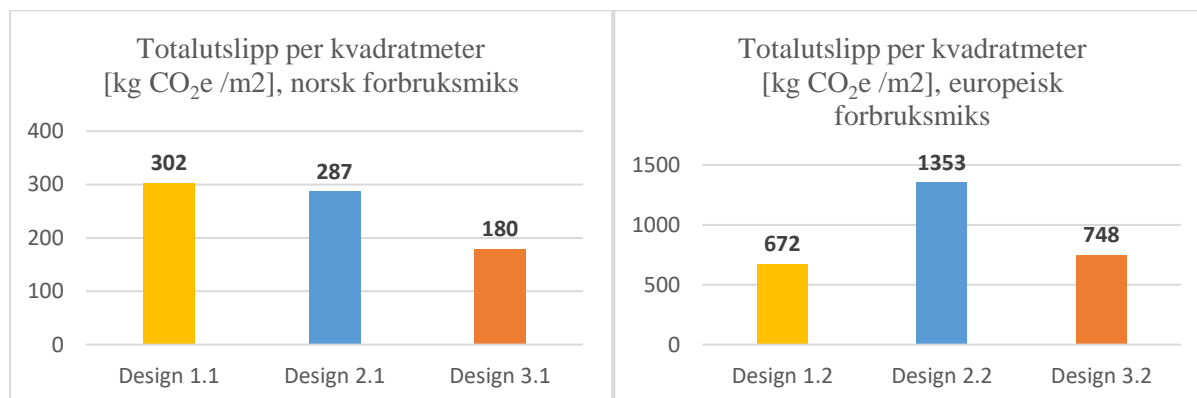
Dersom man ser på det totale utslippet, ser man store forskjeller i de ulike designene. Når det gjelder totalutslipp er det miljøbygget med solceller som har minst utslipp grunnet energieffektivisering og dermed lavt energiforbruk i drift. Dette resultatet samsvarer dermed med IEA sitt mål om klimagassreduksjon ved energieffektivisering av bygg (Dokka, Hauge, *et al.*, 2009). Ved å redusere energiforbruket i drift vil man derfor også kunne redusere det totale utslippet. Det er derfor brakkeløsningen har det største utslippet, ettersom det eksisterende bygget har energistandard fra TEK85. Av regnskapet fremkommer også de store forskjellene mellom de to energimiksene, det er likevel slik at designene kun sammenlignes innenfor samme miks, se figur 5.1.



**Figur 5.1:** Totalutslipp for norsk og europeisk energimiks.

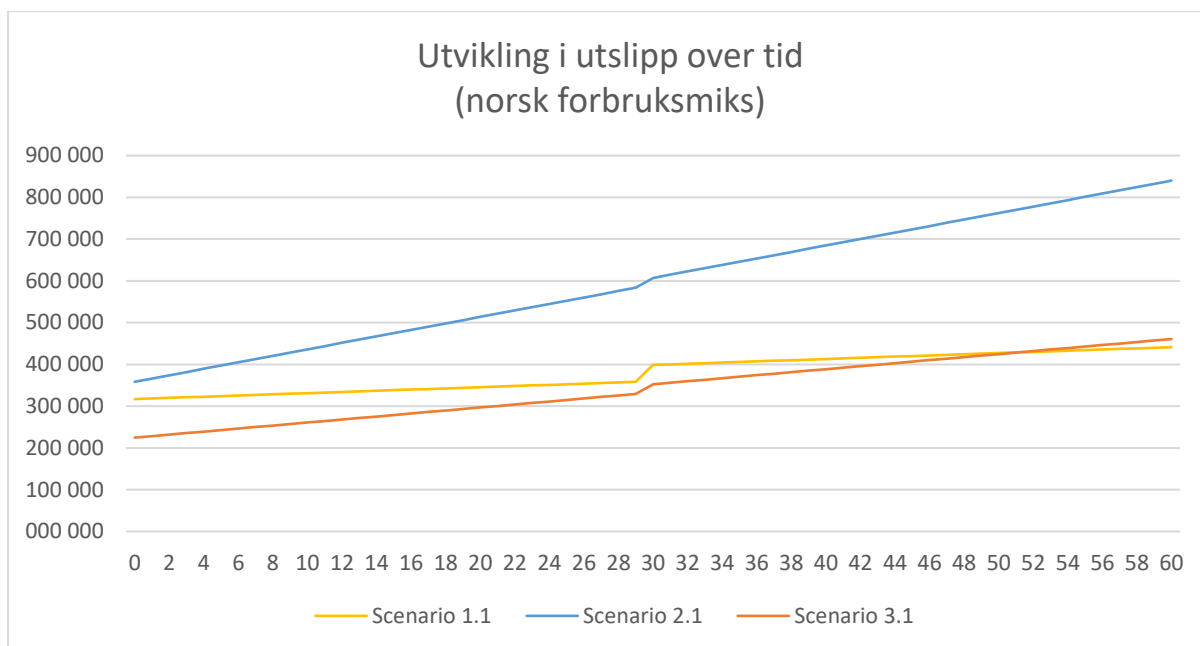
I denne oppgaven ble det forutsatt en levetid på 60 år i henhold til det som er vanlig for beregning av livsløp (SINTEF Byggforsk, 2015a). Denne grensen betyr derimot ikke at bygget ikke kan benyttes etter 60 år. Det er den økonomiske levetiden som avgjør perioden frem til nødvendig utskifting og dermed representerer reell levetid (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009). Det er derimot i denne casen usikkert om det eksisterende bygget kan stå i så mange år uten renovering. Levetiden settes derfor til resterende 30 år for det eksisterende bygget, noe som vil påvirke det totale utslippet siden man er avhengig av to bygg. En annen viktig faktor som påvirker brakkeløsningen er at brakkene kun er designet til å holde i 30 år. Dette er lavt sammenlignet med vanlige bygg, men også høyt sammenlignet med andre brakker. En analyse fra Norsk Utleieforening viser at det i dag er vanlig at brakker har levetid på 15-18 år (Byggeindustrien, 2010). Dermed vil massivtrebrakkene som er prosjekter i denne oppgaven være innovative og bedre enn bransjenormen. Ettersom man i et 60-års perspektiv er avhengig av to brakkeløsninger, vil materialutslippet økes, ved at materialutslippet til brakken regnes med to ganger. Samtidig er utslippet fra materialene til det eksisterende bygget sett bort ifra, så det er uansett det høye energiforbruket i drift som utgjør den største forskjellen i sammenheng med totalutslipp.

I dette prosjektet kom det frem at det er mest totalutslipp per kvadratmeter i nybygget sammenlignet med brakkeløsningen og renoveringsprosjektet, for norsk forbruksmiks, se figur 5.2. For den europeiske forbruksmiksen vil miljøbygget ha mindre utslipp per kvadrat enn de to andre løsningene som figur 5.2 viser. Dette er noe man må ta hensyn til i fremtidige bygg, og hvilken løsning som er mest aktuell vil variere etter hvilken energimiks man benytter og total størrelse på bygget. Spesielt med tanke på kjelleren som bruker energi på oppvarming, men ikke utnyttes optimalt ved endrede bruksbehov, kan undersøkelse av hvordan størrelsen spiller inn være interessant.

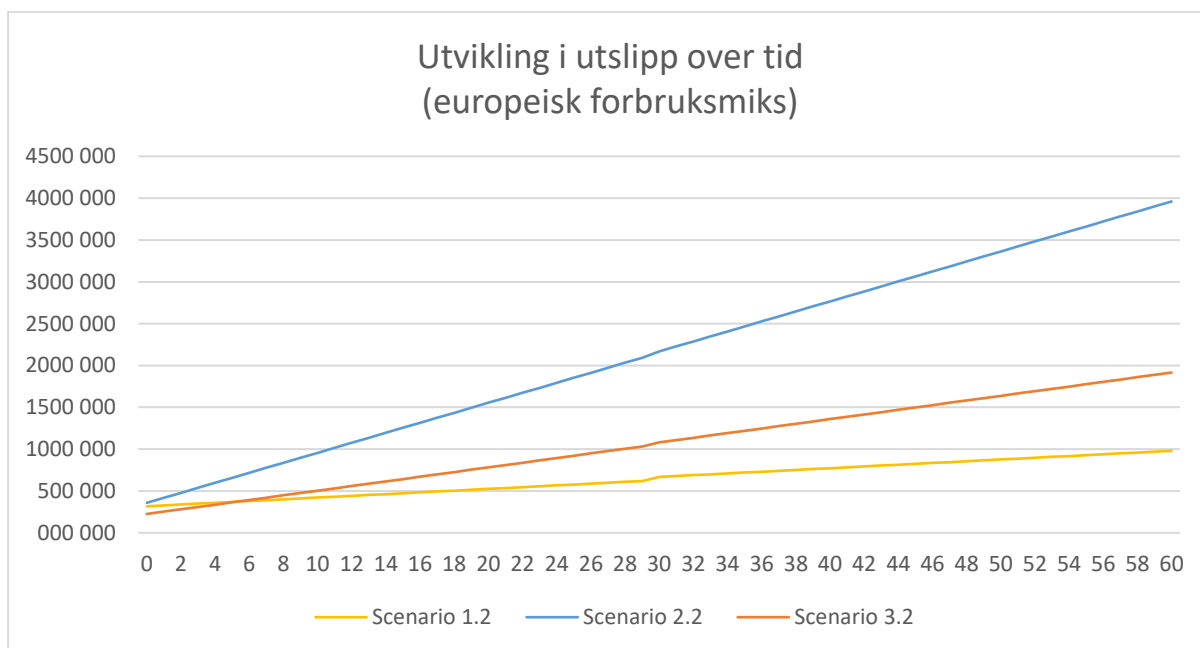


**Figur 5.2:** Totallutslipp per kvadratmeter for norsk og europeisk miks.

Videre viser figur 5.3 og 5.4 utviklingen i utslipp over tid med norsk og europeisk forbruksmiks. En slik figur i sammenheng med klimagassregnskap viser hva som er miljøproblemene og hvor i livsløpet de viktigste utslippene oppstår og man kan sammenligne (Petrovic *et al.*, 2019). Ut ifra figuren ser man tydelig at brakkeløsningen har langt høyere utslipp og ikke kan sammenlignes med de andre når det gjelder totalt utslipp. Det man derimot ser er at miljøbygget har lavest utslipp mot slutten av levetiden, mens renoveringsprosjektet har lavere utslipp i begynnelsen, grunnet lavere materialutslipp enn miljøbygget. Utslippene for renoveringsprosjektet og miljøbygget krysser etter 52 år for den norske miksen. Dette samsvarer med en rapport fra SINTEF som viser at ved rehabilitering av bygg blir utslippene kun halvert sammenlignet med riving og bygging av et nytt bygg (Fufa, Flyen og Venås, 2020; Nitter, 2020). Det er likevel valgt å se på totalt utslipp i et 60-årsperspektiv og dermed vil miljøbygget med solceller ha det laveste utslippet ved slutten av livsløpet. Det er videre viktig å se dette i sammenheng med de ulike energimiksene. Det kommer tydelig frem at dersom man benytter europeisk miks er det miljøbygget som har lavest utslipp allerede etter 6 år. I tillegg vil det være urealistisk å kun forholde seg til den norske miksen, ettersom man i dag ikke kun benytter norsk energi, dermed vil kryssingen på 52 år være urealistisk i dag. Brakkeløsningen har høyere utslipp fra start enn de to andre, og vil dermed ikke være en aktuell løsning på noe tidspunkt, med tanke på totalt klimagassutslipp.



**Figur 5.3:** Utvikling av utslipp i 60 år ved bruk av norsk energimiks.



**Figur 5.4:** Utvikling av utslipp i 60 år ved bruk av europeisk energimiks.

Til tross for at brakkeløsningen har høyest totalutslipp og arealeffektivitetsparameter er det flere fordeler med bruk av brakker som bør nevnes. Dette er også den mest brukte løsningen for Forsvarsbygg i dag, grunnet friheten og fleksibiliteten løsningen gir. Man kan enkelt legge til brakkemoduler eller fjerne dem når behovet tilsier en endring i bruksarealer, i motsetning til et nybygg som står likt i lengre tid. Dersom det kun er Forsvarsbygg som bruker brakkene i løpet av hele levetiden, vil utslippet også være tilknyttet dem. Hvis man derimot deler på brakkene i løpet av levetiden, altså at man bare har brakkene når de trengs vil også utslippet fordeles hos flere brukere. En annen faktor som gjør at brakker er den mest brukte løsningen hos Forsvarsbygg er kostnadene. Det

er lavere investeringskostnad å leie brakker enn å bygge nye bygg. Dette gjør at investeringskostnaden overskygger driftskostnaden for strøm i hele livsløpet, fordi man ofte ser på et kortsiktig økonomisk perspektiv. Derfor vil brakkeløsningen vurderes i like stor grad videre i oppgaven, til tross for høyest utslipp.

## 5.2 Energiforbruk

Dette delkapittelet består av diskusjon tilknyttet teamet energiforbruk i de ulike løsningene. En viktig faktor i anbefalingen er energibruk i drift da dette påvirker klimagassutslippet i stor grad. Når man ser på klima- og miljøpåvirkningene i sammenheng med energi, ses det på utslippet tilknyttet energibruk, som gjør at resultatet for energiforbruket også er CO<sub>2</sub>e. I denne casen brukes fjernvarme i energiforsyningen siden det eksisterer i infrastrukturen. Dette samsvarer med det siste steget i «Kyoto-pyramiden» som sier at man bør velge energikilde etter eksisterende infrastruktur og lokal tilgjengelighet (Edwardsen, 2009). Dette blir ikke sett videre på, men det fokuseres på det første steget som er å redusere varmetapet.

### 5.2.1 Energieffektivitet

I industriland står byggesektoren for omtrent 40 % av den totale energibruken (Mattoni *et al.*, 2018). Derfor sier IEA at 54 % av klimagassreduksjonen må skje ved energieffektivisering frem mot 2030 (Dokka, Hauge, *et al.*, 2009). Resultatene bekrefter dette ved at energibruk i drift er en stor andel av utslippet i samtlige design. Ifølge NVE har energibruken i norske yrkesbygg vært på omtrent 36 TWh, noe som tilsvarer 15 % av innenlands energibruk (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Dette er et høyt tall, men dersom man ser i resultatet med klimagassutslippet ser man at energiforbruket i bygg med eldre standard er relativt høyt. Derfor er det viktig at nybygg har redusert energiforbruk i fremtiden for å kunne redusere totalutslippet. Det bygges og planlegges mange ulike typer energieffektive bygninger i dag, dette er blant annet fordi det europeiske bygningsdirektivet hadde et mål om at alle nye bygninger skulle være nesten nullenergibygninger (SINTEF Byggforsk, 2015b). Dette målet ble ikke nådd, men miljøbygget er likevel et steg i riktig retning mot å nå dette. I følge «Kyoto-pyramiden» er den beste energien den som ikke brukes (Edwardsen, 2009). Derfor er det bedre å bygge bygninger med mindre størrelse, dette kommer også frem i utslippet til miljøbygget som også har det minste bruttoarealet.

For å påvirke energieffektiviteten er det viktig å bestemme energistandard i de ulike designene. Miljøbygget ble satt til passivhusstandard av flere grunner. Passivhusstandard har en rekke kvaliteter som reduserer energiforbruket i drift. I tillegg vil utbygging i passivhusstandard bidra til å nå mål rundt klimagassutslippet tilknyttet bygging i Norge (Dokka, Klinski, *et al.*, 2009). Dermed vil dette gi flere fordeler både i totalt utslipp og energiforbruk for miljøbygget. Likevel er det i dag kun krav om å oppnå TEK17, noe som gjør at passivhusstandard vil gjøre prosjekteringen og prosessen mer komplisert med tanke på krav til isolasjon og varmemotstand (SINTEF Byggforsk, 2013b, 2020). Siden energieffektivisering er viktig for å redusere klimagassutslippet vil forhøyet standard dermed trolig bli normen i fremtiden (Dokka, Klinski, *et al.*, 2009). Miljøbygget med solceller vil være en fremtidsrettet løsning med redusert energiforbruk i drift og høyere krav enn det som benyttes i dag. Det er samtidig viktig å påpeke at energiutslippet til brakkeløsningen og renoveringsprosjektet også kan reduseres ved å endre standard. Brakken er satt til TEK17 standard, men det er heller ikke utenkelig at en brakke i massivtre med passivhusstandard vil være aktuell i fremtiden. Samtidig kan man også ved vedlikehold av det eksisterende bygget oppnå bedre energistandard enn TEK85. Dette kan

blant annet gjøres ved å bytte vinduer. Derfor kan det antas at energibruken i det eksisterende bygget også kan bedres i løpet av de resterende 30 årene i levetiden gjennom vedlikehold. Når det gjelder renoveringsprosjektet vil det gjøre renoveringen mye mer komplisert dersom man skal heve standarden ytterligere, noe man derfor ikke ser for seg at blir vanlig praksis. Dette handler i stor grad om at man blir nødt til å gjøre større endringer som muligens kan påvirke andre faktorer i utslippet, som for eksempel materialutslippet.

En annen faktor som påvirker energiforbruket betraktelig, er størrelsen på bygget. Dette er fordi utformingen av bygget vil gi en innvirkning på byggets varmetap og dermed påvirke energiforbruket (SINTEF Byggforsk, 2019). Det påvirkes av både størrelse og form. Miljøbygget har mindre totalareal enn brakkeløsningen og renoveringsprosjektet noe som også påvirker klimagassregnskapet ved at det krevers mindre oppvarming. Nybygget tilpasses bruksbehovet og er dermed arealeffektivt, noe som igjen resulterer i redusert energibruk, blant annet fordi bygget ikke har kjeller. Både renoveringsprosjektet og brakkeløsningen har kjeller som kun brukes til toaletter, teknisk rom og lagring. Siden kjelleren må oppvarmes brukes det energi på dette. Noe som strider imot SINTEF Byggforsk (2013b) sin anbefaling om effektiv planløsning for å unngå unødvendig bruk av arealer og volum. Dersom man finner måter å bruke kjelleren på, eller redusere oppvarmingen av kjelleren på vil dette gi energigevinst. Under design av renoveringsprosjektet ville det vært en mulighet å endre på kjelleren for å redusere arealet og varme opp mindre. Siden Arbeidstilsynet ikke stiller krav til vindu i møterom, ville det vært et alternativ å ha dette i kjelleren (SINTEF Byggforsk, 2014a). Ved å ha flere møterom i kjelleren på renoveringsprosjektet kunne man redusert totalarealet og dermed brukt mindre energi på oppvarming. I brakkeløsningen får man heller ikke maksimal utnyttelse av totalarealet, noe som gir behov for flere brakkemoduler og dermed høyere utslipp. Samtidig er det en forutsetning å ikke endre det eksisterende bygget i brakkeløsningen, og det blir derfor sett bort ifra dette i denne oppgaven.

### *5.2.2 Bygningsfysikkens påvirkning på energibruken*

Dersom man ser på «Kyoto-pyramiden» er det første steget å redusere varmetapet (Edvardsen, 2009). Bygningsfysikken til et bygg påvirker indre og ytre klimapåkjenninger (RIF, 2015). Det innebærer dermed fukt, varmestrøms- og temperaturforhold, trykkforhold og luftstrømming. De ulike bygningene i denne casestudien er forskjellige med tanke på bygningsfysikk og dette påvirker videre energiforbruket. Hovedårsaken til dette er at byggene er utformet med ulik energistandard og dermed følger ulike krav. Dette gjelder blant annet U-verdikrav i de ulike standardene, hvor eksempelvis passivhusstandarden har mye strengere krav til U-verdi enn TEK85. Reduksjon av varmetapet er et viktig punkt ifølge «Kyoto-pyramiden» (Edvardsen, 2009), noe som tilsier at brakkeløsningen har et dårligere utgangspunkt med tanke på energiforbruk. Derfor vil det i fremtiden være viktig at man finner løsninger som kan redusere energibruken, uten at bygget må ombygges og bytte standard.

Likevel har miljøbygget, renoveringsprosjektet og brakkeløsningen en ting til felles. De er alle rektangulære med en kompakt bygningskropp, noe som gir mindre kuldebroer (SINTEF Byggforsk, 2019). Det eksisterende bygget og renoveringsprosjektet har derimot noen flere hjørner med en innsnevring på vestsiden av bygget. Miljøbygget har en fordel ved at utformingen kan påvirkes, mens det i det eksisterende bygget ses på som noe tilfeldig at bygget er relativt rektangulært. Siden fasongen på bygget har en påvirkning på resultatene ble dette tatt hensyn til i miljøbygget. Dette gjelder først og fremst bruken av



et kompakt bygg og eksempelvis materialvalg som påvirker bygningsfysikken. Miljøbygget har blant annet etasjeskillere i massivtre, mens brakkeløsningen og renoveringsprosjektet benytter betong i etasjeskilleren. Betong har høyere varmeledningsevne og vil dermed gi høyere varmetap enn nybygget som har tre (SINTEF Byggforsk, 2020). Når det gjelder utformingen kan man ikke påvirke de andre løsningene i like stor grad, siden man er avhengig av byggets utgangspunkt. Dermed er dette en fordel for miljøbygget. Likevel kan man påvirke flere viktige byggtekniske egenskaper både i brakken og i det renoverte bygget. Dette gjelder blant annet ved etterisolering og endring av flere materialer, som å bytte etasjeskillere i renoveringsprosjektet til massivtre. Det er i tillegg viktig å poengtere at det kreves flere materialer dersom man ønsker å forbedre bygningsfysikken, som blant annet kan føre til økt materialutslipp. Dette diskuteres i videre i oppgaven.

### *5.2.3 Egenprodusert solenergi*

Tiltak som bidrar til å redusere kjøp av energi blir sett på som energieffektive, dette gjelder blant annet bruk av egenprodusert solenergi (Stub og Brenna, 2017). På miljøbygget ble det derfor valgt å benytte solenergi på sørfasaden. Valget om å bare ha solceller på sørfasaden ble tatt før elektrisitetsbehovet ble utregnet og strider imot SINTEF Byggforsk (2021) sin anbefaling om å tilpasse solcelleanlegget etter energibehovet i bygningen. Sett i ettertid vil man derfor kunne fått redusert elektrisitetsbehovet ytterligere ved å benytte solceller på taket og flere fasader. Solcellene reduserer derfor kun en liten del av energiforbruket i drift, men ses likevel på som en fordel for miljøbygget. Videre er det viktig å poengtere at det i renoveringsprosjektet ikke er lagt inn noen solceller, noe som åpenbart også er en mulighet for å redusere energiforbruket. I brakkeløsningen er det kun designet solceller på brakken, dette er i hovedsak fordi det eksisterende bygget skal stå urørt. Et alternativ kunne likevel vært å ha solceller på det eksisterende bygget, og la resten av bygget stå urørt. Både flere solceller på miljøbygget, flere solceller på brakkeløsningen og solceller på renoveringsbygget vil gi redusert utslipp i drift. Likevel må det tas hensyn til takets tilstand, siden det er lite poeng i å ha solceller på et tak som uansett må byttes ut om noen år. Derfor vil det kun være relevant om taket er godt vedlikeholdt, og om man har mulighet til å ha solceller på taket uten å bytte tak først. Videre vil det også være en mulighet å legge til flere solceller på miljøbygget i fremtiden, dersom man vil redusere utslippet ytterligere.

Som man ser nå har energien en stor betydning, noe som også er grunnen til at miljøbygget kommer best ut. Det er derimot viktig å huske på at energien ofte kan forbedres med enklere tiltak i motsetning til arealeffektiviteten. I renoveringsprosjektet vil det derfor være en rekke tiltak som kan forbedre energieffektiviteten. Tiltak som kan utføres på eksisterende bygg som bidrar til energieffektivitet kan være etterisolering av tak, samt yttervegg dersom det skal skiftes kledning (Grini og Oksvold, 2017). Ved design av renoveringsprosjektet ble det valgt å etterisolere veggen og taket. Et alternativ ville også vært å etterisolere etasjeskillerene som er i betong for å redusere varmetapet. Samtidig vil dette gi økt materialbruk som dermed igjen vil føre til materialutslipp. Det er derfor viktig å sette fordelene ved økt materialbruk opp mot energiutslippet, likevel vil dette være et alternativ dersom det er ønskelig med renovering fremfor nybygg. Alt i alt vil miljøbygget komme best ut når det gjelder klimagassutslipp tilknyttet energiforbruk. Dette handler i stor grad om valgt standard på bygget. Til tross for at brakkeløsningen har høy standard på brakken vil problemet være det eksisterende bygget med høyt energiforbruk, noe som gjør det vanskelig å sammenligne denne løsningen med de andre. Når det gjelder renoveringsprosjektet vil energibruken være middels grunnet TEK17 standard.

### 5.3 Materialbruk

Bygg- og anleggsbransjer står for omtrent 40 % av de totale materialressursene globalt (Fufa, Flyen og Venås, 2020). Derfor er materialforbruk og utslipp tilknyttet materialer et viktig steg mot en fremtidsrettet bærekraftig løsning, noe som også fremkommer av klimagassregnskapet. Blant annet har World Green Building Council et mål om at renoveringsprosjekt, nye bygninger og infrastruktur skal redusere 40 % av klimagassutslippet tilknyttet materialbruk (Wiik *et al.*, 2020). Dersom man ser på klimagassutslippet fra designene ser man at miljøbygget har høyest materialutslipp. Dette er til tross for at det er valgt materialer med lav klimabelastning, som massivtre og lavkarbonbetong, og at miljøbygget har mindre totalareal enn de to andre designene. Resultatet begrunnes i at det benyttes nye materialer som må produseres i motsetning til ombruksmaterialer som går i materialkretsløp. Det ble valgt materialer med lavt utslipp for miljøbygget, noe som kan gjøre det vanskelig å senke materialutslippet ytterligere for dette designet.

#### 5.3.1 Utslipp fra ulike typer materialer

Bruk av massivtre i kontorbygg som er transportert fra Norden har 60 % mindre utslipp enn kontorbygg som er bygd av stål og betong (Fuglseth *et al.*, 2020). I miljøbygget og brakken er det benyttet massivtre, mens de resterende byggene beholder bindingsverket fra det opprinnelige bygget. Bruken av massivtre vil dermed redusere mye av utslippet tilknyttet materialer i miljøbygget og brakken. Det er derimot utfordrende å si noe om massivtreet er transportert fra Norden eller Sentral-Europa, da dette avhenger av tilgjengeligheten i markedet. Det er heller ikke avklart i One Click LCA. Ved å benytte massivtre fra Sentral-Europa vil dette gi omtrent like mye utslipp som ved bruk av betongen Lavkarbon Pluss. Det vil si at det i noen tilfeller vil lønne seg med lavkarbonbetong fremfor massivtre. I dette prosjektet er derimot dekke og tak i betong i renoveringsprosjektet og det eksisterende bygget, i miljøbygget er det kun dekke som er i betong. Dekke i miljøbygget er derimot i lavkarbonbetong, mens det i det eksisterende bygget og det renoverte bygget er lagt inn vanlig betong, noe som også påvirker materialutslippet.

#### 5.3.2 Bruk av ombruksmaterialer

Økt ombruk av byggematerialer i bransjen drives av et ønske om reduksjon av klimagassutslipp, bevissthet om bærekraft og klimapolitikk (Sandberg og Kvellheim, 2021). Dette samsvarer også med bærekraftig utvikling og ressursfordeling (FN-sambandet, 2021). Å bygge et nytt miljøbygg med solceller hvor alle materialene er nye samsvarer derimot ikke med å senke ressursbruken og øke den sirkulære økonomien i byggebransjen (Hopkinson *et al.*, 2019; Benachio, Freitas og Tavares, 2020). Det er likevel en mulighet og optimaliserer nybygget ved å planlegge for ombruk av materialer og ressurser, slik at disse kan leve i et kretsløp etter byggets levetid (Ellen MacArthur Foundation, 2015). Dette forsvarer å bygge nytt til tross for høye materialutslipp ved nybygg, så lenge materialene blir designet med intensjon om å bli ombrukt senere. En annen mulighet ville vært å bygge et nybygg med ombrukte materialer, dette er noe man bør se på videre.

I byggebransjen tyder det på at det er en økt bevissthet knyttet til sirkulær økonomi, det foregår en utvikling i retningen av flere ombruksmaterialer i kretsløpet (Benachio, Freitas og Tavares, 2020). Det er imidlertid viktig å huske på at det ikke er populært å bruke ombruksmaterialer i byggeprosjekter i dag. Dermed vil leverandører som blant annet Rehub og Resirqel være viktige bidragsytere for markedet (Norsk Byggebransje, 2022;

Resirquel, 2022). Ved bruk av Rehub vil for eksempel logistikken forenkles betraktelig for entreprenøren, ettersom transport, lagring og logistikken dekkes av ColliCare (Norsk Byggebransje, 2022). Resirquel (2022) er et rådgivningsselskap som brukes slik at planleggingen av ombruk kan forenkles.

I september 2021 ble en endring av DOK sendt til høring for å fremme ombruk av byggevarer (Direktoratet for byggkvalitet, 2021). Dette vil kunne bidra til å øke andelen ombruksvarer i omløp, da det medfører økte insentiver for aktørene i bransjen. I tillegg kan det bidra til å senke terskelen for å selge varer som ikke lenger er i bruk. Videre finnes det fortsatt forbedringspotensialer i sammenheng med forskning på gjenbruk av byggematerialer (Benachio, Freitas og Tavares, 2020). Forskning er noe som vil føre til økt bevissthet og kunnskap, som igjen vil føre til økt bruk av ombruksmaterialer. Dermed er det tenkelig at disse endringene vil bidra til å gjøre løsninger som renoveringsprosjektet med ombrukte materialer mer aktuelt fremover. Dersom man i tillegg bygger nybygg som er designet og prosjektert med tanke på ombruk vil man få nybygg med mindre materialutslipp i fremtiden.

### 5.3.3 Tilgjengelighet

Ettersom betong er et materiale som brukes i stor grad vil en liten reduksjon i forbruket påvirke klimagassutslippet i verden betraktelig (Nazari, 2016). Økt bruk av massivtre fremfor betong og stål i renoveringsprosjektet og nybygget gir dermed en fordel. Samtidig som bruk av lavkarbonbetong i de tilfellene man behøver betong er gunstig for utslippsreduksjon. Selv om lavkarbonbetong er noe som finnes i markedet i dag, er tilgjengeligheten likevel en viktig faktor. Tilgjengeligheten på lavkarbonbetong har regionale forskjeller, og er best på Sør-Østlandet (Norsk Betongforening, 2020). Ved økt etterspørsel er det sannsynlig at tilgjengeligheten endrer seg over tid, og om noen år er det muligens lettere å få tak i lavkarbonbetong i flere deler av landet. Tilgjengeligheten er også en faktor for ombruksvarer, da man kan anta at det er større tilgjengelighet i mer urbane strøk enn Bardufoss. Det ble satt en forutsetning om at alle nødvendige materialer ville være tilgjengelige for prosjektet. Det er også viktig å vurdere kvaliteten på ombruksmaterialene og materialene som beholdes. Det er ikke sikkert disse holder en standard som er forenelig med krav til å oppfylle TEK17, og kan da ikke brukes når målet er å oppnå denne standarden. Dersom det blir vedtatt en endring på høringsforslaget til DOK er det mulig at tilgjengeligheten av ombruksvarer øker over hele landet. Noe som vil være positivt for prosjekter som ønsker å benytte ombrukte varer i større grad, samt føre til et større ombruksmarked både ved renovering og nybygg.

Ved å benytte materialer med lav klimabelastning eller ombruk kan man altså senke materialutslippet. Et eksempel er bruk av bygningsintegreerte solceller som vil erstatte materialer i fasaden, og på den måten senke materialbruken (Bunkholt *et al.*, 2021). For å senke materialutslippene i brakkeløsningen hadde det vært mulig å se på brakkemoduler med lavere utslipp eller brakker som benytter ombruksmaterialer. Alt i alt er det dermed renoveringsprosjektet som har lavest materialutslipp grunnet ombruksmaterialer. Likevel er miljøbygget et godt alternativ siden det benyttes miljøvennlige materialer. For å gjøre materialutslippet til miljøbygget lavere vil det også være relevant å se på bruken av ombruksmaterialer i nybygget.

## 5.4 Arealeffektivitet

For å oppnå et lavt totalbruk av energi i drift er arealutnyttelse en viktig forutsetning (Edvardsen, 2009). Dette handler i stor grad om at arealeffektivitet fører til lite forbruk av plassutnyttelse og derfor er arealeffektivitet en viktig faktor. I denne oppgaven ble dette tatt hensyn til ved å fokusere på arealeffektive design og planløsninger. Miljøbygget har en stor fordel ved at bygget kan tilpasses bruksbehovet og arealeffektiviteten inkluderes i prosjekteringen. Det må derimot i renoveringsprosjektet og brakkeløsningen ses på tiltak som kan gjøres ut ifra den eksisterende utformingen og utgangspunktet man har.

### 5.4.1 Fleksibilitet og arealutnyttelse

Fleksibiliteten vil bli påvirket av faste elementer som våtrom, toaletter, sjakter, trapper og heiser, og har en innvirkning på hvor åpent og sammenhengende arealene er (Arge og Landstad, 2002). Samtidig vil det gi mulighet for bedre utnyttelse av arealene over tid. I nybygget og ved endring av planløsning i renoveringsprosjektet plasseres toaletter og møterom sentralt i bygget for å frigjøre arealer langs fasadene. Dette gir en mer åpen og sammenhengende løsning. Steg tre i «Kyoto-pyramiden» går ut på å benytte seg av gratis solvarme gjennom byggets utforming (Edvardsen, 2009). Både i renoveringsprosjektet og miljøbygget var dette et fokus i planløsningen. Plassering av kontorplasser langs fasaden fører dermed til at bygget er arealeffektivt også i sammenheng med energibruk. Når det gjelder det eksisterende bygget i brakkeløsningen gjøres det ingen endringer, men alle kontorene havner langs fasaden grunnet kravet om dagslys. Likevel er det igjen miljøbygget som kan tilpasses byggets behov i prosjekteringen. Dette er en fordel som har gjort at bygget er tilpasset antall kontorplasser, noe som også gir designet et lavt tall ifølge arealeffektivitetsparameteren og dermed mindre arealer som igjen gir redusert energiutslipp og høy arealeffektivitet.

I sammenheng med ombygging kan arealeffektivitet være en viktig faktor når man bestemmer å bygge nytt. Grønn Byggallianse (2019) lister opp utfordringen med effektiv arealutnyttelse som en myte som bidrar til at bygg rives. Dette er fordi endrede bruksbehov ofte krever ny planløsning. Grønn Byggallianse poengterer at planløsning i bygg kan endres dersom man flytter og river innvendige vegger og slipper til mer dagslys ved bruk av flere vinduer i fasaden. I renoveringsprosjektet blir dette tatt hensyn til ved både flytting av innervegger og vinduer for maksimal utnyttelse av det eksisterende arealet. For det eksisterende bygget hvor det ikke utføres noe arbeid løses derimot denne problematikken ved å benytte seg av ekstra plass ved bruk av et tilbygg. I dette tilfellet benyttes massivtrebrakker, men det er likevel viktig å huske på at det finnes flere ulike løsninger. Det kan være å enten bygge ut det eksisterende bygget eller ved å bruke andre typer brakkemoduler. Siden bruttoarealet øker ved å bygge mer vil også utslippet øke i et slikt tilfelle. Dette gjelder både utslipp som går til produksjon av materialer, men også utslipp tilknyttet energibruk i drift for tilbygget som også påvirkes av arealeffektiviteten.

For å øke arealfleksibiliteten i renoveringsprosjektet ble det tatt utgangspunkt i vegger som enkelt kan monteres og demonteres, og dermed endre planløsningen etter behov. Dette er et tiltak som bidrar til å øke byggets funksjonelle levetid, ved at man i fremtiden kan justere på veggene fremfor å måtte oppgradere bygget på nytt (Kampesæter, Bjørberg og Listerud, 2009). Fleksible vegger bidrar til å endre på størrelsen på rommene, og derfor får man også en mulighet til å gå tilbake til forlegning dersom det skulle vært behov for det. Det finnes allerede løsninger i markedet med vegger som skal være enklere å montere enn konvensjonelle vegger. Dette er eksempelvis TEWO, som har isolerte massivtrelementer som kan benyttes i både yttervegg og innervegg (TEWO, 2022). Deres

produkt TEWO Flex er fleksible og gjenbrukbare skilleveger som kan demonteres og benyttes på nytt et annet sted flere ganger.

#### 5.4.2 Arealeffektiv planløsning

I kontorbygg varierer det mellom 50 m<sup>2</sup>/person til 20 m<sup>2</sup>/person når det gjelder arbeidsplass (Edwardsen, 2009). I dag er fokuset på effektivitet i kWh/m<sup>2</sup> noe som fremkommer av rapporten til Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2010), men dette tar ikke hensyn til arealeffektiviteten. Derfor er det viktig å finne en faktor som inkluderer dette, ettersom persontettheten ofte varierer over tid. For å tallfeste arealeffektiviteten i denne casestudien ble det derfor utviklet en parameter som viste forholdstallet mellom BTA og antall kontor plasser. I dette prosjektet er alle kontordesignene under 25 m<sup>2</sup>/person. Noe som derfor tilsvarer relativt god arealeffektivitet. Dersom man ser på design 1 er tallet 11, noe som er det mest arealeffektive. Derfor kan det konkluderes med at det ifølge denne parameteren er miljøbygget som er mest arealeffektivt. Dette kan også ses i sammenheng med at det brukes minst energi per kontor plass i dette designet.

Brakkeløsningen er fleksibel ved at byggets størrelse kan endres i takt med byggets bruksbehov. Dette er fordi man kan endre antall brakker man velger å ha. I denne casen kreves 18 stykk med brakkemoduler, men dersom behovet for antall kontor plasser reduseres kan man fjerne noen i fremtiden. Dette er dermed en stor fordel som brakkeløsningen har, ved at man i løpet av et 60-årsperspektiv kan justere på brakkene. Likevel er det i klimagassutslippet tatt utgangspunkt i 18 stykk og et tidsperspektiv på 60 år. Derfor kommer løsningen dårlig ut med tanke på klimagassutslipp, men løsningen er likevel brukt mye i dag grunnet fleksibiliteten. Videre er det viktig at det i et slikt scenario fokuseres på bruken av brakkene og at man prosjekterer riktig mengde, slik at ekstra bygg ikke blir stående. Dette samsvarer også med Edwardsen (2009) og Kirkhus (2009) om at utforming og arealbruk må tilpasses bruken for at energibruken hensyntas og bygget dermed blir arealeffektivt.

En fordel som renoveringsprosjektet har med tanke på arealeffektivitet er de fleksible veggene. Disse bidrar til at bygget kan endre planløsning i fremtiden, noe som kan være ressursbesparende på sikt. Likevel er dette en løsning som er relativt ny i bransjen. I dag velger man i stor grad å rive hele bygget, siden det antas å være enklest. Derfor vil en slik løsning være fremtidsrettet og man vil redusere behovet for å rive hele bygget i fremtiden. For at slike løsninger skal fungere er man også avhengig av å planlegge for det i prosjekteringen, blant annet ved å ha faste installasjoner i midten av bygget (Arge og Landstad, 2002). Dette ble også prioritert i miljøbygget, slik at bygget også er fleksibelt i fremtiden. I miljøbygget ble det ikke designet fleksible vegger, dette er likevel noe man bør vurdere å gjøre for å øke byggets arealeffektivitet og fleksibilitet ytterligere. Uavhengig av de fleksible veggene blir miljøbygget sett på som det mest arealeffektive, både grunnet den lave arealeffektivitetsparameteren og grunnet byggets energibruk. Miljøbygget er godt tilpasset bruksbehovet, noe som dermed gir det en fordel.

## 6. Konklusjon

Gjennom denne casestudien har det blitt sett på løsninger for forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse ved behov for oppgradering. For å besvare problemstillingen «Hvordan oppnår man fremtidsrettede bærekraftige løsninger ved behov for oppgradering av forsvarssektorens eksisterende bygningsmasse?» har det blitt sett på tre scenarier for oppgradering som vurderes etter energiforbruk, materialbruk og arealeffektivitet. Gjennom utførte klimagassregnskap og en arealeffektivitetsparameter blir det gitt poengsum til designene for å evaluere hvilken løsning som er best for Forsvarsbygg. Ut ifra funnene i denne casestudien og sammenligningen med evalueringskriteriene er konklusjonen at Forsvarsbygg får flere fordeler av å bygge et miljøbygg ved oppgradering av kaserne B til kontorbygg.

Med tanke på totalutslipp vil miljøbygget med solceller være mest gunstig samtidig som arealeffektiviteten er høy. Dette vil være en fremtidsrettet og bærekraftig løsning som på sikt vil gjøre den eksisterende bygningsmassen tilpasset forsvarssektorens kommende behov. For å gjøre de andre designene mer gunstig kunne kortere levetid vært en løsning for renoveringsprosjektet dersom det benyttes norsk energimiks. Likevel benytter man seg av en blanding av norsk og europeisk energi i dag, så det vil likevel kreve flere fordeler for å veie opp for energibruken. Samtidig så vil dette være et alternativ spesielt hvis man ønsker en løsning som gir lavest materialutslipp, grunnet gjenbruk og ombruk av materialer. Spesielt i kombinasjon med energioppgradering og hvis man finner måter å redusere oppvarmingen av de ubenyttede arealene i kjelleren. Brakkeløsningen kan være et bedre alternativ dersom man finner en løsning for lengre levetid på brakken, slik at materialutslippet ikke medregnes to ganger. Dersom man kun ser på en fleksibel løsning med lav investeringskostnad, vil brakkeløsningen være et alternativ. Det er likevel vanskelig å komme utenom den store belastningen energiforbruket har på det totale klimagassregnskapet. Det eksisterende bygget må derfor likevel energieffektiviseres gjennom vedlikehold for å kunne være sammenlignbart.

Miljøbygg med lavt energiforbruk vil derfor være det mest aktuelle alternativet for kaserne B med minst totalutslipp og høyeste arealeffektivitet. Derfor vil en anbefaling med fokus på klima og miljø være å rive det eksisterende bygget og bygge et nybygg med høye miljøambisjoner. For å øke ambisjonene ytterligere vil det være aktuelt å se på bruk av ombruksmaterialer, fleksible vegger og flere bygningsintegreter solceller på bygget.

### 6.1 Forslag til videre arbeid

For videre arbeid med denne problemstillingen ville det vært relevant å se nøyere på funnene og vurdere hvor de ulike utslippene kommer fra. Ettersom klimagassregnskapet viser utslippet til de ulike designene vil det være mulig å gå gjennom regnskapet og se etter punkter som kan forbedres. I dette prosjektet ble det ikke tatt ytterligere revidering av design etter at klimagassberegningene ble foretatt. Dette er derimot noe man kan gjøre i fremtiden for å vurdere om det er noen endringer som kan gjøres for å redusere utslippet ytterligere i de ulike designene. For å gjøre resultatene i denne oppgaven nøyaktigere er det også mulig å hente ut det faktiske energibruket i det eksisterende bygget for å benytte dette i sammenligningen. Videre kan det være aktuelt å se på flere ulike scenarier i fremtiden, for å se om det finnes andre løsninger og metoder som kan redusere klimagassutslippet. For videre arbeid er det derfor aktuelt å se på flere bygg med ulike scenarier og eksakte tall slik at man kan danne et bilde av hva som vil være den beste løsningen på sikt for hele bygningsmassen til Forsvarsbygg.

## 7. Referanseliste

- Aarstad, J., Glasø, G. og Bunkholt, A. (2011) *Fokus på tre*. Nr.20. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/resources/filer/fokus-pa-tre/20-Massivtre.pdf> (Hentet: 3. februar 2022).
- Adapteo (2020) *Produktfakta C90*. Tilgjengelig fra: <https://adapteo.no/content/uploads/2021/05/adapteo-product-c90-2020-2-no.pdf> (Hentet: 9. mai 2022).
- Arbeidsmiljøloven (2005) *Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv.* Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-62?q=arbeidsmilj%C3%B8loven> (Hentet: 13. mars 2022).
- Arbeidstilsynet (2022a) *Arealkrav til kontorarbeidsplasser*. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/arealkrav-til-kontorarbeidsplasser/> (Hentet: 9. mars 2022).
- Arbeidstilsynet (2022b) *Krav til dagslys og utsyn*. Tilgjengelig fra: <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/byggesak/veiledning-til-dokumentasjonskrav-ved-soknad-om-arbeidstilsynets-samtykke/krav-til-dagslys-og-utsyn/> (Hentet: 14. mars 2022).
- Arge, K., De Paoli, D., og Norges byggforskningsinstitutt (2001) *Kontorutforming som strategisk virkemiddel*. Oslo: Byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/pr-rapp-285.pdf> (Hentet: 6. juni 2022).
- Arge, K. og Landstad, K. (2002) *Generalitet, fleksibilitet og elastisitet i bygninger*. Prosjektrapport 336. Oslo: SINTEF Byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefbok.no/book/download/175> (Tilgjengelig fra: 16. februar 2022).
- Asplan Viak (2019) *Bygg- og anleggssektorens klimagassutslipp*. Tilgjengelig fra: [https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp\\_bae\\_2019.pdf](https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf) (Hentet: 1. februar 2022).
- Benachio, G.L.F., Freitas, M. do C.D. og Tavares, S.F. (2020) *Circular economy in the construction industry: A systematic literature review*, *Journal of Cleaner Production*. Tilgjengelig fra: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652620310933> (Hentet: 1. mars 2022).
- Bunkholt, N.S. et al. (2021) *Bruk av bygningsintegreerte solceller (BIPV) i Norge*. Trondheim: SINTEF FAG. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2766886/Bruk%20av%20byggningsintegreerte%20solceller%20i%20Norge.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 1. februar 2022).
- Byggeindustrien (2010) *Usikker framtid for 50 000 brakker*. Tilgjengelig fra: <https://www.bygg.no/article/60958!/> (Hentet: 21. mai 2022).
- Byggteknisk forskrift (2017a) *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840> (Hentet: 26. januar 2022).
- Byggteknisk forskrift (2017b) *Forskrift om tekniske krav til byggverk*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840> (Hentet: 26. januar 2022).

- Direktoratet for byggkvalitet (1985) *Byggeforskrift 1985*. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1985.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1985.pdf) (Hentet: 15. februar 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2011) *Byggesaksforskriften (SAK10) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/sak/> (Hentet: 7. februar 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2017) *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/> (Hentet: 7. februar 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2018a) *Moholt 50|50, Trondheim*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/statens-pris-for-byggkvalitet/nominerte-2018/nominerte-nummer-1/> (Hentet: 6. juni 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2018b) *Ombruk av byggevarer - hvilke krav må oppfylles?* Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/ombruk-av-byggevarer--hvilke-krav-ma-oppfylles/> (Hentet: 17. februar 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2021) *Ombruk av byggevarer*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/pdf/horingsnotat--ombruk-av-byggevarer.pdf> (Hentet: 7. mars 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2022a) *Kapittel 4 Tiltak som er unntatt fra byggesaksbehandling*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/regelverk/sak/2/4/4-1/> (Hentet: 6. juni 2022).
- Direktoratet for byggkvalitet (2022b) *Oversikt over byggereglene*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggereglene/> (Hentet: 7. februar 2022).
- Dokka, T.H., Hauge, G., et al. (2009) *Energieffektivisering i bygninger - mye miljø for pengene!* 40. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2411829/Prosjektrapport40.pdf?sequence=1> (Hentet: 26. januar 2022).
- Dokka, T.H., Klinski, M., et al. (2009) *Kriterier for passivhus- og lavenergi bygg – Yrkesbygg*. 42. Trondheim: SINTEF Byggforsk. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/byggforsk/publikasjoner/sb-prrapp-42.pdf> (Hentet: 25. januar 2022).
- Dokka, T.H. og Andresen, I. (2006) *En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger*. 2012th edn. Tilgjengelig fra: <https://docplayer.me/20279372-En-handbok-for-planlegging-av-passivhus-og-lavenergiboliger.html> (Hentet: 16. februar 2022).
- Edvardsen, K.I. (2009) *Hus og helse*. Oslo: SINTEF byggforsk. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere\\_regelverk/eldre\\_temaveiledere\\_og\\_rundskriv/2009ho-1-hus-og-helse.pdf](https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/eldre_temaveiledere_og_rundskriv/2009ho-1-hus-og-helse.pdf) (Hentet: 29. mai 2022).
- Ellen MacArthur Foundation (2015) *Towards the circular economy*. Tilgjengelig fra: [https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport\\_McKinsey-Towards\\_A\\_Circular\\_Economy.pdf](https://www.werktrends.nl/app/uploads/2015/06/Rapport_McKinsey-Towards_A_Circular_Economy.pdf) (Hentet: 21. mai 2022).
- FN-sambandet (2021) *Bærekraftig utvikling*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/tema/fattigdom/baerekraftig-utvikling> (Hentet: 29. mai 2022).
- Forsvarsbygg (2021) *Ombygging fra kaserne til kontor* [Illustrasjon].



Forsvarsbygg (2022) *Bilde av kaserne B* [Fotografi].

Fufa, S.M., Flyen, C. og Venås, C. (2020) *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*. 68. Oslo. Tilgjengelig fra: [https://www.sintefbok.no/book/index/1268/groent\\_er\\_ikke\\_bare\\_en\\_farge\\_baerekraftig\\_e\\_bygninger\\_eksisterer\\_allerede](https://www.sintefbok.no/book/index/1268/groent_er_ikke_bare_en_farge_baerekraftig_e_bygninger_eksisterer_allerede) (Hentet: 2. februar 2022).

Fuglseth, M. et al. (2020) *Klimavennlige byggematerialer Potensial for utslippskutt og barriere mot bruk*. Sandvika. Tilgjengelig fra: [https://www.enova.no/download?objectPath=upload\\_images/A8F136D1308844CCA1CD3DA65647B5A7.pdf&filename=Klimavennlige%20byggematerialer.%20Potensial%20for%20utslippskutt%20og%20barrierer%20mot%20bruk.16.10.2020.pdf](https://www.enova.no/download?objectPath=upload_images/A8F136D1308844CCA1CD3DA65647B5A7.pdf&filename=Klimavennlige%20byggematerialer.%20Potensial%20for%20utslippskutt%20og%20barrierer%20mot%20bruk.16.10.2020.pdf) (Hentet: 3. februar 2022).

Graphisoft (2022) *Archicad 25, Graphisoft*. Tilgjengelig fra: <https://graphisoft.com/solutions/archicad/archicad-25> (Hentet: 24. mai 2022).

Grini, G. og Oksvold, I. (2017) *Kostnadseffektive energiltak i eksisterende bygg*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/hvordan-spare-10twh-i-eksisterende-bygg--litteraturstudie.pdf> (Hentet: 8. mai 2022).

Grønn Byggallianse (2019) *Tenk deg om før du river*. Tipshefte. Oslo. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2019/11/Tipsheftet-Tenk-deg-om-f%C3%B8r-du-river.pdf> (Hentet: 27. april 2022).

Grønn Byggallianse (2022) *Ombruk i byggeprosjekter*. Tilgjengelig fra: <https://byggalliansen.no/kunnskapsenter/ombruk-i-byggeprosjekter/> (Hentet: 24. februar 2022).

Hopkinson, P. et al. (2019) *Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings, Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability*. Tilgjengelig fra: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jensu.18.00007> (Hentet: 1. mars 2022).

International Energy Agency (2022) *Data Explorer, IEA*. Tilgjengelig fra: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/monthly-electricity-statistics> (Hentet: 5. mai 2022).

Jacobsen, D.I. (2015) *Hvordan gjennomføre undersøkelser? - innføring i samfunnsvitenskapelig metode*. 3rd edn. Oslo: Cappelen Damm akademisk.

Kampesæter, A., Bjørberg, S. og Listerud, C.A. (2009) *Levetider i praksis*. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet. Tilgjengelig fra: [https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider\\_i\\_praksis.pdf](https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider_i_praksis.pdf) (Hentet: 31. januar 2022).

Kirkhus, A. (2009) *Prosjektering av større bygninger*. Oslo: SINTEF. Tilgjengelig fra: [https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2424857/4\\_Prosjektering%20av%20store.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2424857/4_Prosjektering%20av%20store.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet: 1. juni 2022).

Klima- og miljødepartementet (2021) *Internasjonale klimaforhandlinger, Regjeringen.no*. regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/de-internasjonale-klimaforhandlingene/id2741333/> (Hentet: 1. juni 2022).

Kommunal- og distriktsdepartementet (2022) *Fleire tiltak for å auke ombruk og redusere klimautslepp fra byggenæringa, Regjeringa.no*. regjeringen.no. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/nn/aktuelt/fleire-tiltak-for-a-auke-ombruk-og-reducere-klimautslepp-fra-byggenaringa/id2916781/> (Hentet: 6. juni 2022).

Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2010) *Energieffektivisering av bygg. En ambisiøs og realistisk plan mot 2040*. Tilgjengelig fra: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering\\_av\\_bygg\\_rapport\\_2010.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/krd/vedlegg/boby/rapporter/energieffektivisering_av_bygg_rapport_2010.pdf) (Hentet: 29. mai 2022).

Kommunal- og moderniseringsdepartementet (2014) *Arbeidsformer i fremtidens regjeringskvartal – miljø, teknologi og samhandling*. Tilgjengelig fra: [https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kmd/bst/rapport\\_arbeidsformer\\_fremtidig\\_regjeringskvartal.pdf](https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kmd/bst/rapport_arbeidsformer_fremtidig_regjeringskvartal.pdf) (Hentet: 16. februar 2022).

Mattoni, B. et al. (2018) *Critical review and methodological approach to evaluate the differences among international green building rating tools, Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Tilgjengelig fra: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117313643> (Hentet: 29. mai 2022).

Miljødirektoratet (2022) *Sirkulær økonomi, Miljødirektoratet/Norwegian Environment Agency*. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/avfall/sirkular-okonomi/> (Hentet: 25. april 2022).

Nazari, A. (2016) *Handbook of low carbon concrete*. 1st edition. Cambridge, MA: Elsevier. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/book/9780128045244/handbook-of-low-carbon-concrete> (Hentet: 2. februar 2022).

Nitter, K. (2020) *De mest bærekraftige byggene finnes allerede, Gemini.no*. Tilgjengelig fra: <https://gemini.no/2020/12/de-mest-baerekraftige-byggene-finnes-allerede/> (Hentet: 1. februar 2022).

Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. Tilgjengelig fra: [https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/bitstream/handle/11250/2488849/rapport2016\\_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://nve.brage.unit.no/nve-xmlui/bitstream/handle/11250/2488849/rapport2016_24.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (Hentet: 21. mai 2022).

Norges vassdrags- og energidirektorat (2021) *Energibruk i bygg - NVE*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk-i-bygg/> (Hentet: 1. februar 2022).

Norges vassdrags- og energidirektorat (2022) *Hvor kommer strømmen fra?* Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energi/energisystem/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/> (Hentet: 4. mai 2022).

Norsk Betongforening (2020) *Lavkarbonbetong*. (Publikasjon nr. 37). Oslo: Norsk Betongforening. Tilgjengelig fra: <https://betong.net/nettbutikk/nb-publikasjoner/37-pdf-lavkarbonbetong-2015-gratis-nedlasting-klikk-les/> (Hentet: 21. februar 2022).

Norsk Byggebransje (2022) *Ombruksmaterialer levert på døren, NorskByggebransje.no*. Tilgjengelig fra: <https://norskbyggebransje.no/nyheter/ombruksmaterialer-levert-pa-doren/> (Hentet: 27. april 2022).

- Norsk Treteknisk Institutt (2006) *Bygge med massivtreelementer - Hefte 1*. Håndbok. Oslo. Tilgjengelig fra: <https://www.treteknisk.no/resources/filer/publikasjoner/teknisk-handbok/Hefte-1-Generelt.pdf> (Hentet: 3. februar 2022).
- One Click LCA (2022a) 'Carbon Designer: Easy Baseline Buildings & Carbon Optimization', *One Click LCA® software*. Tilgjengelig fra: <https://www.oneclicklca.com/carbon-designer/> (Hentet: 15. mars 2022).
- One Click LCA (2022b) *We are One Click LCA, One Click LCA® software*. Tilgjengelig fra: <https://www.oneclicklca.com/about-one-click-lca/> (Hentet: 17. februar 2022).
- Petrovic, B. et al. (2019) *Life Cycle Assessment of Building Materials for a Single-family House in Sweden, Energy Procedia*. Tilgjengelig fra: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1876610219309579> (Hentet: 28. mai 2022).
- Resirqel (2022) *RESIRQEL AS, Resirqel AS*. Tilgjengelig fra: <http://www.resirqel.no> (Hentet: 27. april 2022).
- RIF (2015) *Anbefalte ytelser for rådgiver bygningsfysikk*. Tilgjengelig fra: <https://rif.no/wp-content/uploads/2020/01/4417-RIF-ytelser-bygningsfysikk-ByFy-nov.-2015.pdf> (Hentet: 27. mai 2022).
- Sagen, J. (1987) *Energiundersøkelsen 1985*. 87/15. Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: [https://www.ssb.no/a/histstat/rapp/rapp\\_198715.pdf](https://www.ssb.no/a/histstat/rapp/rapp_198715.pdf) (Hentet: 10. mai 2022).
- Sandberg, E. og Kvellheim, A.K. (2021) *Ombruk av byggematerialer – marked, drivere og barrierer*. Notat 40. Trondheim: SINTEF. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefbok.no/book/download/1302> (Hentet: 21. mai 2022).
- SINTEF Byggforsk (2004) *723.511 Etterisolering av yttervegger av tre*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/679/etterisolering\\_av\\_yttervegger\\_av\\_tre](https://www.byggforsk.no/dokument/679/etterisolering_av_yttervegger_av_tre) (Hentet: 11. februar 2022).
- SINTEF Byggforsk (2005) *725.403 Etterisolering av tretak*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/690/etterisolering\\_av\\_tretak](https://www.byggforsk.no/dokument/690/etterisolering_av_tretak) (Hentet: 14. februar 2022).
- SINTEF Byggforsk (2013a) *471.421 U-verdier. Vegger over terreng – massivtre*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier\\_vegger\\_over\\_terreng\\_massivtre?gclid=EAIaIQobChMIiY29g4319QIV18PVCh08EwXVEAAYASAAEgKR8PD\\_BwE](https://www.byggforsk.no/dokument/4100/u-verdier_vegger_over_terreng_massivtre?gclid=EAIaIQobChMIiY29g4319QIV18PVCh08EwXVEAAYASAAEgKR8PD_BwE) (Hentet: 18. februar 2022).
- SINTEF Byggforsk (2013b) *473.010 Generelt om passivhus. Valg og konsekvenser*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt\\_om\\_passivhus\\_valg\\_og\\_konsekvenser](https://www.byggforsk.no/dokument/4108/generelt_om_passivhus_valg_og_konsekvenser) (Hentet: 28. januar 2022).
- SINTEF Byggforsk (2014a) *371.209 Møterom med gode lys- og lydforhold*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4116/moeterom\\_med\\_gode\\_lys\\_og\\_lydforhold](https://www.byggforsk.no/dokument/4116/moeterom_med_gode_lys_og_lydforhold) (Hentet: 14. mars 2022).
- SINTEF Byggforsk (2014b) *470.101 Livsløpsvurdering (LCA) av byggevarer og bygninger. Innføring og begreper*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering\\_lca\\_av\\_byggevarer\\_og\\_bygninger\\_innfoering\\_og\\_begreper](https://www.byggforsk.no/dokument/205/livsloepsvurdering_lca_av_byggevarer_og_bygninger_innfoering_og_begreper) (Hentet: 26. januar 2022).

SINTEF Byggforsk (2015a) *470.102 Metodiske valg og problemstillinger ved livsløpsvurdering (LCA)*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske\\_valg\\_og\\_problestillinger\\_ved\\_livsløpsvurdering\\_lca](https://www.byggforsk.no/dokument/4144/metodiske_valg_og_problestillinger_ved_livsløpsvurdering_lca) (Hentet: 27. januar 2022).

SINTEF Byggforsk (2015b) *473.003 Energieffektive bygninger. Begreper og definisjoner*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/4153/energieffektive\\_bygninger\\_begreper\\_og\\_definisjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/4153/energieffektive_bygninger_begreper_og_definisjoner) (Hentet: 1. februar 2022).

SINTEF Byggforsk (2018a) *525.207 Kompakte tak*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte\\_tak](https://www.byggforsk.no/dokument/387/kompakte_tak) (Hentet: 4. mars 2022).

SINTEF Byggforsk (2018b) *533.102 Vinduer. Typer og funksjoner*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/437/vinduer\\_typer\\_og\\_funksjoner](https://www.byggforsk.no/dokument/437/vinduer_typer_og_funksjoner) (Hentet: 9. mai 2022).

SINTEF Byggforsk (2019) *472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer\\_typer\\_konsekvenser\\_og\\_bruk\\_av\\_normalisert\\_kuldebroverdi](https://www.byggforsk.no/dokument/5206/kuldebroer_typer_konsekvenser_og_bruk_av_normalisert_kuldebroverdi) (Hentet: 25. januar 2022).

SINTEF Byggforsk (2020) *471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet\\_og\\_varmemotstand\\_for\\_bygningsmaterialer](https://www.byggforsk.no/dokument/209/varmekonduktivitet_og_varmemotstand_for_bygningsmaterialer) (Hentet: 26. januar 2022).

SINTEF Byggforsk (2021) *321.231 Prosjektering av solcelleanlegg på bygninger*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/dokument/5220/prosjektering\\_av\\_solcelleanlegg\\_paa\\_bygninger](https://www.byggforsk.no/dokument/5220/prosjektering_av_solcelleanlegg_paa_bygninger) (Hentet: 22. februar 2022).

SINTEF Byggforsk (2022) *Hva er Byggforskserien - Byggforskserien*. Tilgjengelig fra: [https://www.byggforsk.no/side/198/hva\\_er\\_byggforskserien](https://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien) (Hentet: 16. mars 2022).

Sørnes, K. et al. (2014) *Anbefalinger ved ombruk av byggematerialer*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintefbok.no/book/download/985> (Hentet: 17. februar 2022).

Sparrevik, M. (2021) *Veileder for oppdatering av klimagassberegninger*. Forsvarsbygg.

Standard Norge (2012) *NS 3701 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Yrkesbygninger*. Tilgjengelig fra: [standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802](https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587802) (Hentet: 26. januar 2022).

Standard Norge (2018) *NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=992162> (Hentet: 9. mai 2022).

Stub, S.Ø. og Brenna, K.A. (2017) *Slik kutter vi energibruken i bygg*. Zero Emission Resource Organisations (ZERO). Tilgjengelig fra: <https://zero.no/wp-content/uploads/2017/08/Energisparing-i-bygg-1-1.pdf> (Hentet: 1. februar 2022).

TEWO (2022) *TEWO Veggelement*. Tilgjengelig fra: <https://tewo.no/produkter> (Hentet: 10. mai 2022).

Trefokus (2022) *Massivtre | Trefokus*. Tilgjengelig fra: <http://www.trefokus.no/treveilederen/temaer/byggesystemer/massivtre> (Hentet: 3. februar 2022).

United Nations Environment Programme (2021) *Emissions Gap Report 2021: The Heat Is On*. Tilgjengelig fra: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36990/EGR21.pdf> (Hentet: 1. juni 2022).

Wiik, M.K. *et al.* (2020) *Klimagasskrav til materialbruk i bygninger*. ZEN Report No.24. Tilgjengelig fra: <https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2657696/ZEN%20Report%20no%2024.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Hentet: 3. februar 2022).

Yin, R.K. (2018) *Case study research and applications: design and methods*. Sixth edition. Los Angeles: SAGE.

## 8. Vedleggsliste

<b>Vedlegg</b>	<b>Vedleggsnavn</b>	<b>Sidetall</b>	<b>Antall sider</b>
<b>A</b>	Modell av design 1	1	5
<b>B</b>	Modell av design 2	6	9
<b>C</b>	Modell av design 3	15	6
<b>D</b>	Mengdeberegning	21	10
<b>E</b>	Klimagassregnskap scenario 1.1 - Norsk miks	31	8
<b>F</b>	Klimagassregnskap scenario 1.2 - Europeisk miks	39	8
<b>G</b>	Klimagassregnskap scenario 2A.1 - Eksisterende bygg, norsk miks	47	9
<b>H</b>	Klimagassregnskap scenario 2B.1 - Tilbygg, norsk miks	56	8
<b>I</b>	Klimagassregnskap scenario 2A.2 - Eksisterende bygg, europeisk miks	64	9
<b>J</b>	Klimagassregnskap scenario 2B.2 - Tilbygg, europeisk miks	73	8
<b>K</b>	Klimagassregnskap scenario 3.1 - Norsk miks	81	7
<b>L</b>	Klimagassregnskap scenario 3.2 - Europeisk miks	88	7