

Ingvild Høgdaahl Mysen

Scenariofremskrivning som et nøkkelverktøy for å redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljer

Masteroppgave i Energi og miljø

Veileder: Natasa Nord, EPT

Medveileder: Vilde Christine Hagen, Statsbygg

Juni 2021

Ingvild Høgdahl Mysen

Scenariofremskrivning som et nøkkelverktøy for å redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljer

Masteroppgave i Energi og miljø
Veileder: Natasa Nord, EPT
Medveileder: Vilde Christine Hagen, Statsbygg
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for energi- og prosessteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Oppgavebeskrivelse

Norge er gjennom EU og Parisavtalen forpliktet til å redusere klimagassutslippene betydelig frem mot 2050, og har en målsetting om et klimanøytralt samfunn innen den tid. Det anslås at nesten 90 % av bygningene som eksisterer i 2050 allerede er bygget i dag. Grunnet strengere krav og en lav rehabiliteringstakt, er det et økende gap i faktiske utslipp fra bygningsmassen og Norges energi- og miljøambisjoner. For å kunne realisere målet om et lavutslippssamfunn innen 2050, er det derfor avgjørende å utvikle bedre metodikk for å redusere klimagassutslipp fra eksisterende bygningsmasse. I tillegg vil fremtidens energiforsyning være viktig for å realisere et betydelig utslippskutt. Statsbygg er Norges statlige byggherre, og forholder seg til nasjonale ambisjoner. Statsbygg ønsker derfor å jobbe for en klimanøytral eiendomsportefølje innen 2050. Dette innebærer blant annet en god arealutnyttelse, vesentlig lavere netto energibruk og en økning i lokal, fornybar energiproduksjon på eksisterende eiendommer. Oppgaven har som mål å undersøke nytteverdien av å bruke fremskrivningsmodeller tilpasset eiendomsforvaltere som ønsker å redusere klimagassutslipp fra egen eiendomsportefølje. Statsbygg sin eiendomsportefølje skal brukes for å utprøve en mulig metodikk for scenariefremskrivning. Metodikken skal brukes til å undersøke hvordan planlagte energieffektiviseringstiltak påvirker fremtidig energibruk og klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. For å imøtekomme energi- og miljøambisjonene er det ønskelig å identifisere om det er et gap mellom effekten av planlagte tiltak og ambisjonsnivået. Studenten kan selv bestemme hvilken metodikk som skal danne grunnlaget for fremskrivningen, men det er en fordel at flere metodikker er undersøkt og beskrevet.

Sammendrag

Klimaendringene er vår tids største trussel, og derfor et enormt satsningsområde i store deler av verden. FNs klimapanel, IPPC, identifiserer byggesektoren som en viktig sektor med tanke på reduksjonspotensial, da bygg- og anleggsbransjen samlet står for 39 % av karbonrelaterte utslipp. For å oppnå et nullutslippssamfunn innen 2050, er det nødvendig å energieffektivisere eiendomsmassen, samt velge energiforsyning med lave klimagassutslipp. Eiendomsbransjen blir påvirket av nasjonale myndigheters forpliktelser til FNs bærekraftsmål. Dette skjer gjennom kommende EU direktiver, finansbransjens risikovurdering og EU-taksonomien som setter krav til rapportering av bærekraftige aktiviteter. Etablering av bedre styringsverktøy, og metodikk for bærekraftig eiendomsforvaltning, blir viktig for fremtidig konkurransekraft. Spesielt er det viktig at Statsbygg som statlig eiendomsforvalter støtter oppgradering av den nasjonale bygningsmassen i henhold til Norges miljøambisjoner.

Scenariofremskrivning er tidligere brukt både på nabolagsnivå ved etablering av nye områder, og på landsbasis for å kartlegge nasjonale utslipp. For eiendomsforvaltere kan det være relevant å bruke slike metoder for å få en helhetlig vurdering av eiendomsporteføljen. På denne måten kan det bli aktuelt å bruke scenariofremskrivning for å etablere veikart i forhold til langsiktige mål, som for eksempel å være klimanøytrale innen 2050. Oppgaven har som mål å undersøke nytteverdien av å bruke fremskrivningsmodeller tilpasset eiendomsforvaltere som ønsker å redusere klimagassutslipp fra egen eiendomsportefølje. Oppgaven har ut fra denne målsettingen to formål. *Formål 1*) Utvikle en metodikk for å utnytte scenariofremskrivning som beslutningsverktøy for eiendomsforvaltere, og *Formål 2*) Bruke modellen til strategisk porteføljeforvaltning mot et bærekraftsmål for Statsbygg sin portefølje. Formål 1 tar utgangspunkt i en modell utviklet av FME ZEN for langsiktige dynamiske analyser av energibehov og klimagassutslipp i nabolag. Formål 2 undersøker hvilke strategier som er mest lovende for reduksjon i energibehov og klimagassutslipp for Statsbygg sin portefølje frem mot 2050. Grunnet manglende konsensus for klimagasskoeffisienter, er det valgt å ta utgangspunkt i redusert energibruk.

Valgt metodikk for gjennomføring av oppgaven er hentet fra en modell for områdefremskrivning. Scenariomodellen er basert på prinsipper for dynamiske materialflytanalyser (MFA). Scenariofremskrivning som metodikk med bruk av MFA-modellen som nøkkelverktøy, viser seg å fungere svært godt for eiendomsporteføljer, da modellen er fleksibel. Ved hjelp av eksisterende data kan modellen i teorien modellere en hvilken som helst bygningsmasse både på områdebasis, på porteføljenivå og nasjonalt. Dette er utført ved å sette sammen ulike arealklasser for hver bygning for å skape et representativt bilde av eiendomsporteføljen. Arealklassene er etablert ved å simulere timesprofiler for energibruk i IDA ICE for fire referansebygg med ulik teknisk standard. Målte verdier fra et referanseår er brukt for å kalibrere modellen. Oppgaven viser at scenariofremskrivningsverktøy for eiendomsporteføljer gjør det mulig å forvalte, drifte og videreutvikle eiendomsporteføljer i henhold til en egen plan basert på bærekraftsmålene.

63 % av Statsbygg sin eiendomsportefølje er bygget før 1987. Dette er før Norge etablerte byggeforskrifter med fokus på energieffektivitet i bygg. Oppgaven tar for seg fem scenarier, hvorav scenario S0 fremskriver utvikling i henhold til dagens rehabiliteringstakt, men uten nye solcellepaneler. Scenario S0 (Referansebanen) gir en reduksjon i levert energi på 16 % i 2050. Oppgaven inkluderer to ulike rehabiliteringsscenarier, S1 og S2. I tillegg til å redusere energibruken, vil disse scenariene også søke å motvirke verdiforringing. Scenario S1 (Ambisiøs) innebærer ambisiøs oppgradering i henhold til TEK17 ved halvparten av rehabiliteringene.

Scenariet resulterer i en reduksjon i levert energi på 20 % i 2050, altså kun 4 % reduksjon i forhold til referansebanen. Scenario S2 (Hyppig) innebærer at alle eiendommer oppgraderes hvert 30 år. S2 gir en reduksjon i levert energi på 28 %. Resultatene antyder at det er mer effektivt å øke andelen enkle rehabiliteringer, enn å rehabilitere eiendommene i henhold til TEK17. Rehabilitering av eiendomsporteføljen viser et stort potensial for reduksjon i varmebehov. Dette gjelder spesielt for skifte av varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg. Tiltaket er avgjort det mest effektive i oppgaven, med en reduksjon i energibruk på 21 % for referansebygg 2. Likevel viser resultatene at scenariene som kun inkluderer rehabilitering, ikke når ambisjonene for redusert energibruk.

Fremskrivning viser at omfattende installasjon av solcellepaneler er nødvendig. De to resterende scenariene innebærer derfor lokal energiproduksjon ved installering av solcellepaneler på eksisterende eiendommer. Dette er i utgangspunktet Statsbygg sin hovedstrategi for klimagassreduksjon. Scenario S3 (PV) innebærer solceller i kombinasjon med referansebanen, mens scenario S4 (Hybrid) kombinerer solceller med hyppig scenario, S2. Fremskrivningsmodellen gir en reduksjon i levert energi i 2050 på henholdsvis 47 % og 60 % for de to scenariene. Resultatene viser at det samlede klimagassfotavtrykket til eiendomsporteføljen avtar gradvis mot 2050. Dette gjelder spesielt ved installering av 150 GWh fra solcellepaneler, som er et viktig tiltak. Potensialet for ytterligere reduksjon ved installering av solceller er usikkert, men resultatene antyder at lokal energiproduksjon fra solcelleanlegg ikke dekker resterende energibehov. Denne utviklingsbanen vil derfor ha et begrenset potensial for å redusere levert energi og klimagassutslipp for hele porteføljen.

Det er knyttet usikkerhet til enhver fremskrivning av arealutvikling, levert energi og klimagassutslipp. I tillegg er det knyttet usikkerhet til andre deler av modellen. Omfanget av antatt fremtidig konstruksjon, rehabilitering og rivning, vil ikke nødvendigvis tilsvare den reelle utviklingen til eiendomsporteføljen. Dette gjelder spesielt for bygningene beskrevet i denne oppgaven, da Statsbygg sin eiendomsportefølje hovedsakelig er preget av kjøp og salg, og ikke rivning av eiendommer, slik som på områdenivå. Oppgaven har sett på et begrenset utvalg av tiltak i IDA ICE. Potensialet for små tiltak som økt fleksibilitet og regulering, er ikke analysert. Dette kan ha stor påvirkning på energilastprofiler fra IDA ICE. I tillegg har oppgaven tatt utgangspunkt i solcellepaneler, og ikke andre energiforsyningstiltak. Dette er i samsvar med Statsbygg sin strategi. Til tross for usikkerhet og begrensninger, fremstår konklusjonene fra MFA-modellen som robuste. Bruk av MFA-modellen gjør det mulig å undersøke hvordan planlagte energieffektiviseringstiltak påvirker fremtidig energibruk og klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Dette er viktig for å realisere økte energi- og miljøambisjoner, og utvikle eiendommer tilpasset det moderne lavutslippssamfunnet.

Abstract

In line with the industrialization, the anthropogenic emissions of greenhouse gases have increased considerably. The UN's climate panel, IPPC, identifies the construction sector as an important sector in terms of reduction potential, as the construction industry accounts for 39 % of carbon-related emissions. In order to achieve a zero-emission society by 2050, it is necessary to refurbish the building stock in an energy efficient way, as well as choose energy supply with low greenhouse gas emissions. The real estate industry will be affected by national authorities' obligations to the UN's sustainability goals. This is due to forthcoming EU-directives, the financial industry's risk management, and the EU taxonomy which sets requirements for reporting on sustainable activities. Establishment of better management tools, and methodology for sustainable property management, will be important for future competitiveness. It is especially important that Statsbygg, as a government owned property manager, supports upgrading of the national building stock to energy-efficient and low-carbon areas by 2050.

The use of scenario projections has previously been used both at neighborhood level when establishing new areas, and on a national basis to map national emissions. For property managers it may be relevant to use such methods to obtain a comprehensive assessment of the real estate portfolio, as well as examine which measures are adequate to achieve planned ambitions. Hence, it may be relevant to use scenario projections to establish road maps that aim at long-term goals, such as being climate neutral by 2050. The thesis aims to investigate the advantages of using projection models adapted to property managers who want to reduce greenhouse gas emissions from their own property portfolio. Based on this goal, the thesis has two purposes. *Purpose 1*) Develop a methodology for utilizing scenario projection as a decision-making tool for property managers, and *Purpose 2*) Test the model for strategic portfolio management in relation to a sustainability goal for Statsbygg's portfolio. To demonstrate the methodology, i.e. purpose 2, the thesis will examine which strategies are most promising for reducing energy needs and greenhouse gas emissions for Statsbygg in the period from 2020 to 2050. Due to the lack of consensus for greenhouse gas coefficients, it has been decided to use reduced energy consumption as a reference point.

The methodology chosen in the thesis is based on a zero emission neighborhood stock model for long-term dynamic analyses of energy demand and GHG emissions. The scenario model is based on principles for dynamic material flow analyzes (MFA). Scenario projection as a methodology using the MFA model as a key tool, has proven to work well for real estate portfolios. This is because the original model is very flexible. Using existing data, the model can in theory model any building stock both on an area basis, at portfolio level and nationally. This is done by adding different area classes for each building to create a representative image of the property portfolio. The area classes are established by simulating hourly profiles for energy use in IDA ICE for four reference buildings with different technical standards. Existing building data from the reference year is used to calibrate the model. The thesis shows that scenario projection tools for real estate portfolios make it possible to manage, operate and further develop real estate portfolios in accordance with an individual plan based on the sustainability goals.

63 % of Statsbygg's real estate portfolio was built before 1987. This is before building regulations were established with a focus on energy efficiency in buildings. The thesis has projected five different scenarios, of which scenario S0 projects development according to the current

rehabilitation rate, but without the installation of new PV-panels. Scenario S0 (Reference path) shows a reduction in delivered energy of 16 % in 2050. The thesis includes two different refurbishment scenarios. In addition to reducing energy consumption, these scenarios also seek to counteract impairment. Scenario S1 (Ambitious) involves ambitious refurbishment in accordance with TEK17 for half of the refurbishments. The scenario results in a reduction in delivered energy of 20 % in 2050, i.e., only a 4 % reduction compared to the reference path. In scenario S2 (Frequent) all properties are upgraded every 30 years, but with simple measures. S2 results in a reduction in delivered energy of 28 %. The results show that it is more effective to increase the frequency of simple refurbishments, than refurbish the properties in accordance with TEK17. Refurbishment of the property portfolio shows great potential for reducing the energy use for heating. This applies in particular to the replacement of heat recovery in ventilation systems. Nevertheless, the results show that the scenarios that only include refurbishment are not close to achieving the ambitions for reduced energy consumption.

The long-term dynamic analysis show that extensive installation of solar panels will be necessary. The two remaining scenarios therefore involve local energy production by installing PV-panels on existing properties. Initially this is Statsbygg's main strategy for greenhouse gas reduction. Scenario S3 (PV) involves PV-panels in combination with the reference path, while scenario S4 is a hybrid scenario where PV-panels are combined with frequent scenario, S2. The projection model shows a reduction in delivered energy in 2050 of 47 % and 60 % for the two scenarios, respectively. The results show that the total climate footprint will gradually decrease towards 2050. This is especially the case for the two latter scenarios with installment of 150 GWh from solar panels, which proves to be an important measure. The potential for further installation of PV-panels is uncertain, but the results suggest that local energy production is insufficient to cover the remaining energy demand. This development path will therefore have limited potential for reducing delivered energy and greenhouse gas emissions for the entire portfolio.

There is uncertainty associated with any projection of area development, delivered energy and greenhouse gas emissions. In addition, there is uncertainty associated with other parts of the model. The scope of the expected future construction, rehabilitation and demolition will not necessarily correspond to the real development of the real estate portfolio. This applies especially to the buildings described in this thesis, as Statsbygg's property portfolio is mainly characterized by the purchase and sale of properties, and not demolition. The thesis is limited to a small selection of measures in IDA ICE. The potential for other measures such as increased flexibility and regulation has not been analyzed. This could have a major impact on the energy load profiles used in the MFA-model. Regarding energy supply measures, the thesis only considers installation of PV-panels. This is in line with Statsbygg's strategy. Despite uncertainty and limitations, the conclusions from the MFA model seems to be robust. The use of the MFA-model makes it possible to examine how planned energy efficiency measures affect future energy use and greenhouse gas emissions from the property portfolio. Furthermore, this will be important for realizing increasingly ambitious energy and environmental ambitions, as well as the development of properties adapted to a modern low-emission society.

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet på Institutt for energi- og prosessteknikk, og undersøker nytteverdien av fremskrivningsverktøy for eiendomsporteføljer. Arbeidet er utført våren 2021 ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Statsbygg som har bidratt med datagrunnlaget for å teste ut oppgavens metodikk. Jeg vil gjerne takke Statsbygg for muligheten til å fordype meg i et tema jeg selv har valgt. Jeg er takknemlig for deres transparente kommunikasjon og åpenhet om forbedringspotensialet i bygg- og anleggsbransjen. Her vil jeg spesielt si takk til medveileder Vilde Christine Hagen. I tillegg vil jeg takke Rune Stenbro og Morten Bjerknes for tilgang til eiendomsporteføljen, og for å dele sin innsikt i styring, forvaltning og drift av eiendommene.

Jeg vil også takke veileder Natasa Nord for oppfølging og opplysende diskusjoner rundt oppgavens metodikk og fremleggelse av resultater. Sist må jeg takke bidragsytere fra SINTEF og NTNU for innspill og svar på spørsmål. Spesielt takk til Jan Sandstad Næss som har utviklet den originale MFA-scenariomodellen, og vært tilgjengelig for diverse spørsmål rundt videre tilpassing av modellverktøyet til oppgavens formål.



Ingvild Høgdahl Mysen
Trondheim 10. Juni 2021

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-------------|
| Oppgavebeskrivelse | i |
| Sammendrag | iii |
| Abstract | v |
| Forord | vii |
| Innholdsfortegnelse | ix |
| Figurliste | xi |
| Tabelliste | xiii |
| Definisjoner | xv |
| | |
| 1. Introduksjon | 1 |
| 1.1 Bakgrunn og motivasjon | 1 |
| 1.2 Mål | 2 |
| 1.3 Forskningsspørsmål og problemstilling | 2 |
| 1.4 Avgrensning | 3 |
| 1.5 Leserveiledning | 3 |
| | |
| 2. Litteraturstudie | 5 |
| 2.1 Norges miljøpolitiske ambisjon | 5 |
| 2.1.1 Internasjonale klimaavtaler | 6 |
| 2.1.2 Klimaplan for 2021-2030 | 7 |
| 2.1.3 Utslippsgapet..... | 8 |
| 2.2 Miljøpåvirkning fra bygg- og anleggssektoren | 9 |
| 2.2.1 Energiforbruk i bygningsmassen | 10 |
| 2.2.2 Utslipp knyttet til energibruk i bygg | 12 |
| 2.2.3 Klimagassutslipp fra materialbruk og konstruksjon..... | 13 |
| 2.3 Bærekraftig eiendomsforvaltning..... | 14 |
| 2.3.1 Statsbygg sitt målkart for bærekraftig utvikling 2021 – 2025 | 16 |
| 2.4 Energikrav til bygninger | 17 |
| 2.4.1 Utvikling av regelverket..... | 17 |
| 2.4.2 Tekniske krav til eksisterende bygningsmasse | 18 |
| 2.4.3 Videre utvikling av byggeteknisk forskrift | 19 |
| 2.5 Energieffektiviseringstiltak | 19 |
| 2.5.1 Energieffektivisering gjennom rehabilitering | 19 |
| 2.5.2 Lokal energiproduksjon..... | 23 |
| 2.5.3 Økonomisk levetid på tiltak | 23 |
| 2.5.4 Dagens rehabiliteringstakt | 24 |
| 2.5.5 Barrierestudie..... | 25 |
| 2.6 Simuleringsverktøy for scenariefremskrivning..... | 25 |
| | |
| 3. Metodikk | 29 |
| 3.1 Fremgangsmåte | 29 |
| 3.2 Datainnsamling | 30 |
| 3.3 Kartlegging av eiendomsporteføljen og etablering av kohorter..... | 30 |
| 3.4 Simulering av referansebygg for etablering av energilastprofiler..... | 33 |
| 3.4.1 IDA ICE..... | 33 |
| 3.4.2 Klimafil..... | 34 |
| 3.4.3 Arealplan for referansebygget..... | 34 |
| 3.5 Modellering av eiendomsporteføljen og fremtidig energibehov | 37 |
| 3.5.1 Modellering av energibruk og klimagassutslipp..... | 40 |

| | |
|--|------------|
| 3.5.2 Modellinput..... | 42 |
| 3.6 Etablering av energieffektiviseringstiltak og scenarier | 44 |
| <i>S0 - Referansebane scenario</i> | 45 |
| <i>S1 – Ambisiøst scenario</i> | 45 |
| <i>S2 – Hyppig scenario</i> | 45 |
| <i>S3 - Omfattende lokal energiproduksjon</i> | 46 |
| <i>S4 - Hybridscenario</i> | 46 |
| 4. Presentasjon av Statsbygg sin eiendomsportefølje | 47 |
| 4.1 Segmentering av bygningstyper og aldersklasser | 47 |
| 4.1.1 Alderssammensetning | 48 |
| 4.1.2 Levert energi..... | 51 |
| 4.2 Analyse av alderskohorter | 52 |
| 4.3 Kulturminnevern i bygningsmassen..... | 56 |
| 5. Etablering av referansebygg og resultater for energieffektiviseringstiltak | 57 |
| 6. Resultat fra scenariofremskrivning | 61 |
| 6.1 Resultater for utvikling av eiendomsmassen..... | 61 |
| 6.2 Utvikling i energiforbruk for de ulike scenariene | 63 |
| 6.2.1 Sammenligning av levert energi for scenarier..... | 69 |
| 6.3 Klimagassutslipp for scenariene | 70 |
| 6.3.1 Påvirkningen av ulike klimagasskoeffisienter..... | 72 |
| 6.4 Klimadataanalyse | 73 |
| 7. Diskusjon..... | 75 |
| 7.1 Datagrunnlag | 75 |
| 7.2 Valg av MFA-modellen for eiendomsfremskrivning..... | 75 |
| 7.2.1 Valg av klimagasskoeffisienter | 77 |
| 7.3 Behov for scenariofremskrivning av eiendomsporteføljer | 78 |
| 7.4 Valg av tiltakspakker og scenarier | 79 |
| 7.5 Diskusjon av resultater fra casestudien | 80 |
| 7.5.1 Usikkerhet knyttet til resultater | 82 |
| 8. Konklusjon..... | 83 |
| 9. Videre arbeid | 85 |
| Litteraturliste..... | 87 |
| | |
| Vedlegg A – Behandling av datasett | 93 |
| Vedlegg B – Korreksjon av energibruk relatert til utetemperatur..... | 96 |
| Vedlegg C – Etablering av det opprinnelige referansebygget | 97 |
| Vedlegg D – Oversikt over tiltak og relevante bærekraftsmål..... | 101 |

Figurliste

| | |
|--|----|
| Figur 2.1 - Betydningen av et klimamål på 55 % kutt sammenlignet med 1990-nivåer | 5 |
| Figur 2.2 - FNs 17 bærekraftsmål | 6 |
| Figur 2.3 - Globale klimagassutslipp for ulike scenarier, samt utslippsgapet i 2030 | 9 |
| Figur 2.4 - Totalt areal i 2020..... | 9 |
| Figur 2.5 - Levert energi i 2020. | 9 |
| Figur 2.6 - Bygg- og anleggssektorens andel av Norske klimagassutslipp. | 10 |
| Figur 2.7 - Fordeling av utslipp fordelt på ulike sektorer i utlandet ser utslippene skjer..... | 13 |
| Figur 2.8 - Klimagassutslipp fordelt på ulike bygningskomponenter | 14 |
| Figur 2.9 - Rehabilitering relatert til byggets kvalitet og alder. | 20 |
| Figur 2.10 - Potensialet for energieffektivisering i norske næringsbygg | 21 |
| Figur 2.11 - Potensial for oppgradering av yrkesbygg fordelt på ulike alderskohorter | 22 |
| Figur 2.12 - Potensial per tiltakskategori gitt ulik kostnad per kWh..... | 22 |
| Figur 3.1 - Simuleringsmodell for referansebygget i 3D samt arealplan. | 34 |
| Figur 3.2 - Soneinndeling for undervisning- og forskningsbygg | 35 |
| Figur 3.3 - Soneinndeling for kontorbygg..... | 35 |
| Figur 3.4 - Illustrasjon av hovedprinsippene til MFA-modellen..... | 37 |
| Figur 3.5 - Modellstrukturen for implementering av komplekse eiendommer | 39 |
| Figur 3.6 - Systemskisse for MFA-energimodellen | 40 |
| Figur 3.7 - Konseptuell oversikt over scenarioanalysen for eiendomsporteføljen | 46 |
| Figur 4.1 - Oversikt over areal og spesifikt energiforbruk for 2020 | 48 |
| Figur 4.2 - Areal og spesifikt energiforbruk for porteføljen fordelt på ulike byggeforskrifter | 49 |
| Figur 4.3 - Antall eiendommer fordelt på alderskohortene i 2020. | 49 |
| Figur 4.4 - Samlet areal i 2020 fordelt på de ulike alderskohortene. | 49 |
| Figur 4.5 - Kartlegging av bruttoareal og bruksareal for undervisningsbygg. | 50 |
| Figur 4.6 - Kartlegging av bruttoareal og bruksareal for kontoreiendom. | 50 |
| Figur 4.7 - Allokeringen av energivarer totalt for hele eiendomsporteføljen..... | 51 |
| Figur 4.8 - Allokeringen av energivarer på ulike bygningskategorier i eiendomsporteføljen. | 51 |
| Figur 4.9 - Bruttoareal og spesifikt energiforbruk for undervisningsbygg | 53 |
| Figur 4.10 - Bruttoareal og gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk for kontorbygg. | 54 |
| Figur 4.11 - Kartlegging av fengselsbygg | 55 |
| Figur 4.12 - Kartlegging av institusjoner. | 55 |
| Figur 4.13 - Kartlegging av kultureiendom..... | 55 |
| Figur 4.14 - Kartlegging av boligeiendom. | 55 |
| Figur 4.15 - Sammenligning av totalt areal for vernede og ikke vernede bygg | 56 |
| Figur 4.16 - Sammenligning av spesifikk energibruk for vernede og ikke vernede bygg | 56 |
| Figur 5.1 - Spesifikt energiforbruk for referansebygg sammenlignet med porteføljen..... | 57 |
| Figur 5.2 - Simulert formålsdelt spesifikt energiforbruk for referansebyggene..... | 58 |
| Figur 5.3 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 2..... | 59 |
| Figur 5.4 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 1..... | 60 |
| Figur 5.5 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 3..... | 60 |
| Figur 6.1 - Utvikling av eiendomsmassen frem mot 2050 fordelt på ulike alderskohorter..... | 61 |
| Figur 6.2 - Arealutvikling fordelt på arealklasser for Statsbygg sin eiendomsportefølje | 62 |
| Figur 6.3 - Arealutvikling fordelt på arealtyper for Statsbygg sin eiendomsportefølje | 62 |

| | |
|---|----|
| Figur 6.4 - Rehabiliteringstakt for Statsbygg sin referansebane. | 62 |
| Figur 6.5 - Rehabiliteringstakt for Statsbygg sin eiendomsportefølge for hyppig scenario..... | 63 |
| Figur 6.6 - Rehabiliteringstakt for Statsbygg sin eiendomsportefølge for ambisiøst scenario. | 63 |
| Figur 6.7 - Referansebane: Årlig levert energi til hele eiendomsporteføljen.. | 64 |
| Figur 6.8 - Referansebanen: Årlig spesifikk energiforbruk samlet for eiendomsporteføljen..... | 64 |
| Figur 6.9 - Referansebane: Årlig spesifikk energibruk for hver alderskohort | 64 |
| Figur 6.10 - Referansebane: Levert energi fordelt på alderskohortene frem mot 2050. | 65 |
| Figur 6.11 - Referansebane: Levert energi fordelt på porteføljens energiposter..... | 65 |
| Figur 6.12 - Ambisiøst scenario: Samlet levert energi til eiendomsporteføljen..... | 65 |
| Figur 6.13 - Ambisiøst scenario: Spesifikk energibruk for eiendomsporteføljen | 65 |
| Figur 6.14 - Ambisiøst scenario: Spesifikt energiforbruk for ulike alderskohorter. | 66 |
| Figur 6.15 - Ambisiøst scenario: Levert energi fordelt på porteføljens alderskohorter. | 66 |
| Figur 6.16 - Ambisiøst scenario: Levert energi fordelt på porteføljens energiposter. | 66 |
| Figur 6.17 - Hyppig scenario: Samlet levert energi for hele eiendomsporteføljen. | 67 |
| Figur 6.18 - Hyppig scenario: Spesifikt energiforbruk for hele eiendomsporteføljen. | 67 |
| Figur 6.19 - Hyppig scenario: Spesifikt energiforbruk for de ulike alderskohortene | 67 |
| Figur 6.20 - Hyppig: Levert energi fordelt på ulike alderskohort frem mot 2050. | 68 |
| Figur 6.21 - Hyppig: Levert energi fordelt på ulike energiposter frem mot 2050..... | 68 |
| Figur 6.22 - Levert energi for referansebanen og scenario S3 | 68 |
| Figur 6.23 - Hybrid scenario: Årlig levert energi for fremskrivningsperioden frem mot 2050. | 69 |
| Figur 6.24 - Levert energi for de ulike scenariene i år 2030. | 70 |
| Figur 6.25 - Levert energi for de ulike scenariene i år 2050. | 70 |
| Figur 6.26 - Klimagassutslipp fra referansebanen fordelt på ulike energiposter..... | 71 |
| Figur 6.27 - Klimagassutslipp Hyppig scenario. | 71 |
| Figur 6.28 - Klimagassutslipp Ambisiøst scenario. | 71 |
| Figur 6.29 - Klimagassutslipp fra de ulike scenariene i 2030. | 72 |
| Figur 6.30 - Klimagassutslipp fra ulike scenarier i 2050. | 72 |
| Figur 6.31 - Klimagassutslipp for referansebanen i 2020 for ulike klimagasskoeffisienter..... | 73 |
| Figur 6.32 - Følsomhet for endret utetemperatur med +/- 20 °C. | 74 |
| Figur 6.33 - Sammenligning av referansefil for Oslo og klimadata for Blindern 2020. | 74 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| Tabell 2.1 - CO ₂ -produksjonskoeffisient for ulike energivarer..... | 12 |
| Tabell 2.2 - Måleparametere for bærekraftig eiendomsforvaltning. | 15 |
| Tabell 2.3 - Tidligere og nåværende bygningsforskrifter..... | 18 |
| Tabell 2.4 - Oversikt over ulike tiltak innenfor de fire hovedkategoriene | 21 |
| Tabell 2.5 - Økonomisk levetid brukt for beregning av kostnad..... | 23 |
| Tabell 2.6 - Barrierer ved rehabilitering eller vedlikehold av eksisterende bygningsmasse..... | 25 |
| Tabell 3.1 - Segmentering av eiendomsporteføljen i bygningskategorier og standarder. | 32 |
| Tabell 3.2 - Areal og brukerrate for de ulike sonene i referansemodellen. | 35 |
| Tabell 3.3- Termiske egenskaper og tekniske systemer for referansemodellene | 36 |
| Tabell 3.4 - Gruppering av kohorter..... | 43 |
| Tabell 3.5 - Nye konstruksjoner etablert i fremskrivningsperioden..... | 43 |
| Tabell 3.6 - Formasjon av arealklasser, samt segmentering av eiendomsporteføljen. | 43 |
| Tabell 3.7 - Tiltakspakker for oppgradering av eiendommer og bruk av lokale energikilder..... | 44 |
| Tabell 4.1 - Oversikt over segmentering av eiendomsporteføljen med tilhørende data..... | 47 |
| Tabell 4.2 - Resultater fra databehandling av alderskohorter for de seks bygningskategoriene.... | 52 |
| Tabell 4.3 - Frekvensanalyse av de to største bygningkategoriene. | 53 |
| Tabell 5.1 - Avvik mellom referansebyggene og eiendommer korrigert for COVID-19..... | 58 |
| Tabell 5.2 - Oversikt over energibesparelse for ulike tiltak gjennomført på referansebygg. | 59 |
| Tabell 6.1 - Levert energi for scenarier i 2030 og 2050..... | 70 |
| Tabell 6.2 - Kombinasjoner av ulike klimagasskoeffisienter for sensitivitetsanalysen. | 73 |

Definisjoner

| | |
|---|--|
| Adaptiv gjenbruk | Gjenbruk eller ombruk av en eksisterende bygning for annet bruk enn det bygningen opprinnelig var ment for. Hovedkonstruksjonen til bygget bevares, mens deler av bygget oppgraderes. |
| Aktivitet | Mål på en sosial eller økonomisk aktivitet som krever energi. I denne oppgaven brukes begrepet «aktivitet» om totalt bygningsareal. |
| Areal (BTA) | Areal brukt i oppgavens kapitel 4 er gitt som bruttoareal (BTA) for eiendommen. I henhold til NS 3940 er bruttoareal for en bygning summen av bruttoarealene for bygningens etasjer, inklusive innskutte etasjer, loft og kjeller. |
| Arealklasser | I metodikken er arealklasser brukt for å klassifisere areal innenfor referansebyggets ulike energilastprofiler. Oppgaven har fem arealklasser: Forelesning, trafikkområde, spesialrom, kontor og lesesal. |
| Bundet energi (Embodied energy) | Energien som inngår i utvinning av råmateriale, transport og framstilling av byggematerialer, energi til oppføring av bygningen og energien til materialer som brukes i utskifting og oppgradering under bygningens levetid. |
| CO₂-faktor / Klimagasskoeffisient | Mengde karbondioksidekvivalenter som blir sluppet ut i atmosfæren per enhet levert energi. |
| CO₂-ekv. | Klimagassutslippene som forårsaker global oppvarming og klimaendringer. Dette er summen av alle klimagassene som er oppført i Kyoto-protokollen. |
| Drift | Omfatter løpende oppgaver som skal sikre at daglig drift i bygget kan fungerer tilfredsstillende i henhold til krav fra lovverk, brukere og eiere (NS 3454). |
| Driftstid | Tidsperioden en bygning har normal personbelastning med tilhørende behov for ventilasjon og innetemperatur. |
| Driver | Vekstfaktorer som påvirker energibruken slik at den endres. |
| Energiintensitet | Energi per enhet aktivitet. I oppgaven er energiintensiteten lik energibruk per enhet oppvarmet bygningsareal (spesifikt energibruk). |
| Energivare | Handelsvare benyttet til å produsere mekanisk varme eller energi. |
| Formålsfordeling | Hvordan energiforbruk fordeler seg på ulike formål, eksempelvis på oppvarming av tappevann, rom, belysning, elektrisk utstyr etc. |

| | |
|---|--|
| Formålsbygg | Samlebetegnelse for offentlige tjenestebygg (administrasjons- bygg, barnehager, skoler, helse- og omsorgsbygg, kommunale boliger, bibliotek, kulturskoler/fritidsklubber, kulturbygg etc.). |
| Forvaltning | Omfatter administrasjons- og ledelsesoppgaver (NS 3454). |
| Fremskrivning | Beregning av fremtidig utvikling basert på antakelser om vekstfaktor. |
| Key Performance Indicator (KPI) | KPI, oversatt til nøkkelindikator på norsk, er en enhet som beskriver avgjørende faktorer for å måle ytelse. Disse indikatorene evaluerer suksessen relatert til å nå et satt mål. For bygninger kan dette være for eksempel redusert klimagassutslipp, økt levetid, spesifikk energibruk eller lagringskapasitet. |
| Levert energi | Summen av energi, uttrykt per energivare, levert over bygningens systemgrenser for å dekke bygningens samlede energibehov inkludert systemtap som ikke gjenvinnes. |
| Levetid | Tidsperioden etter oppføring hvor bygningen oppfyller (eller overgår) de definerte ytelseskravene. Kan også gjelde bygningskomponenter. |
| Netto energiforbruk | Bygningens energiforbruk uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden. |
| Oppgradering | Utskifting og reparasjon for å møte nye, strenge krav. |
| Rehabilitering | Istandsetting av bygg med mulighet for å endre byggets funksjonalitet. Begrepet innebærer utskifting av bygningsdeler og komponenter til dagens standard, og å få en bygning opp til nåtidsformål eller for å rette på forsømt vedlikehold. Dette kan innebære endret planløsning. |
| Rehabiliteringstakt | Periode (år) mellom hver rehabilitering av en eiendom. Nasjonalt er denne ca. 40 år ifølge Enova (Enova, 2015). |
| Solcellepaneler (PV) | Fotovoltaiske solcellepaneler for lokal elektrisitetsproduksjon. |
| Spesifikt energibehov/ energiforbruk | Energibehov/energiforbruk per kvadratmeter oppvarmet bruksareal. |
| TEK | Forkortelse for byggteknisk forskrift for plan- og bygningsloven. |
| Tiltak | Fellesbetegnelse for alt bygningsarbeid etter plan- og bygningsloven. Involverer alt fra bygging, rivning, bruksendring og anleggsarbeid. |
| Utvikling | Tiltak for å oppgradere bygg i henhold til nye tekniske eller brukermessige krav (NS 3454). |
| Vedlikehold | Periodiske oppgaver som er nødvendig for å sikre at bygget opprettholder sin standard over tid. |

1. Introduksjon

I denne oppgaven drøftes nytteverdien til, og utviklingen av scenariefremskrivning som metodikk for implementering av bærekraftsmål i eiendomsporteføljer. Oppgaven er basert på eksisterende litteratur, samtaler med fagpersoner i Statsbygg, detaljert informasjon over deres eiendomsmasse og tilgjengelige scenarioverktøy. Her presenteres først motivasjon for oppgaven, samt problemstillingen og forskningsspørsmålene som danner basis for resultatene.

1.1 Bakgrunn og motivasjon

Klimaendringene er vår tids største trussel, og derfor et enormt satsningsområde i store deler av verden. FNs klimapanel, IPCC, identifiserer byggesektoren som en viktig sektor med tanke på reduksjonspotensial, da bygg- og anleggsbransjen samlet står for 39 % av karbonrelaterte utslipp. Frem mot 2050 har EU et mål om å redusere klimagassutslipp i byggesektoren med 90 % (ZEB, 2016). Gjennom Parisavtalen er Norge en viktig del av EUs klimarammeverk. Norge har som mål å ta en lederrolle ved å kutte klimagassutslipp både nasjonalt og internasjonalt, og har et mål om å være klimanøytrale innen 2050 (Grønn Byggallianse, 2019).

Gapet mellom ambisjoner og faktiske utslipp analyseres hvert år som en del av FNs miljøprogram «*Emission Gap Report*» (UN Environment Programme, 2020). Rapporten fra 2020 viser at dagens klimagassreduksjon er begrenset, og at det kreves økte globale ambisjoner i tillegg til raskere implementering av tiltak. Det anslås at nesten 90 % av bygningene som eksisterer i 2050, allerede er bygget i dag. For å kunne realisere målet om et lavutslippssamfunn i 2050, er det derfor avgjørende å utvikle bedre metodikk for å redusere klimagassutslipp fra eksisterende bygningssmasse både på områdenivå, for eiendomsforvaltere og nasjonalt.

I takt med strengere miljøkrav og EU taksonomien, er også kravene til rapportering på bærekraft og planlagt klimagassreduksjon blitt avgjørende. I tillegg har stadig flere eiendomsforvaltere høye energi- og miljøambisjoner. Dette påvirker behovet for kunnskap rundt tilstand og muligheter i egen eiendomsportefølje. I tillegg vil bedrifter selv pålegge seg å rapportere på miljøkrav for å kunne vurderes som grønne bedrifter, da dette etterspørres fra både kunder, investorer og myndighetene. Denne utviklingen gjør at fremskrivning av utslipp vil bli viktigere, og bruk av effektive planleggingsverktøy vil muliggjøre dette. Bruk av scenariefremskrivning av eiendomsporteføljen kan fungere som et avgjørende underlag for å indikere påvirkningen fra ulike strategier, framgangsmåter og retningslinjer. På denne måten kan det investeres i de tiltakene og brukerendringene som er mest hensiktsmessige for hver enkelt eiendomsportefølje.

Høye miljøambisjoner er også gjeldende for eiendomsforvaltere i statlig sivil sektor, men denne delen av bygningsmassen er generelt preget av et rehabiliteringsetterslep. Eiendommene er blant annet eid av Statsbygg, og flesteparten er undervisningsbygg, institusjoner og administrative eiendommer. Disse har samfunnskritiske funksjoner og er av stor verdi for staten. Bedre vedlikeholds- og rehabiliteringsplaner vil bli viktig for at også disse eiendommene kan imøtekomme lavutslippssamfunnet. Kjennskap til effekten av tiltak er sentralt for effektiv oppgradering av eiendomsporteføljen, i tillegg til å være helt avgjørende i tildelingen av finansielle midler. På denne måten kan midler brukes så effektivt som mulig for at eksisterende bygningsmasse kan fungere i et moderne lavutslippssamfunn på en verdiskapende måte.

1.2 Mål

Bruk av scenariofremskrivning er tidligere brukt både på nabolagsnivå ved etablering av nye områder, og på landsbasis for å kartlegge nasjonale utslipp. Scenariofremskrivning som verktøy for strategisk porteføljeforvaltning av en eiendomsmasse mot et fremtidig bærekraftsmål, er i liten grad benyttet. For miljøambisiøse eiendomsforvaltere kan det være relevant å bruke slike metoder for å få en helhetlig vurdering av eiendomsporteføljen, samt hvilke tiltak som er hensiktsmessige for å redusere klimagassutslipp i samsvar med planlagte ambisjoner. Oppgaven har som mål å undersøke nytteverdien av å utvikle fremskrivningsmodeller tilpasset eiendomsforvaltere som ønsker å redusere klimagassutslipp fra egen eiendomsportefølje. Oppgaven har ut fra denne målsettingen to formål. Da scenariofremskrivninger er lite benyttet for eiendomsporteføljer, er formål 1 å utvikle en metodikk for å utnytte scenariofremskrivning som beslutningsverktøy for eiendomsforvaltere. Formål 2 er å demonstrere metodikken for å undersøke hvilke strategier som er mest lovende for reduksjon i energibehov og klimagassutslipp for Statsbygg.

Denne oppgaven er et resultat av samarbeid med Statsbygg for å kartlegge tilstanden til eiendomsporteføljen. Oppgaven vil danne grunnlaget for en god, felles metodikk for hvordan de skal rehabilitere, og hvilke eiendommer som bør prioriteres. Deres hovedmål er å jobbe mot en klimanøytral eiendomsportefølje innen 2050. Dette samsvarer godt med regjeringens klimaplan for 2020 – 2030 der det settes søkelys på at «*Staten skal etablere felles metodikk for å måle den samlede klima- og miljøpåvirkningen fra bygg og eiendom i statlig sivil sektor, med sikte på framtidig forbedring og å etablere felles mål*» (Meld. St. 13 (2020-2021)). Oppgaven søker å finne de mulige miljøfordelene som ligger i oppgradering og rehabilitering av eksisterende bygningsmasse, samt undersøke potensialet for økt egenproduksjon av fornybar energi. Miljøpåvirkningen fra nybygg, rivning og rehabilitering er presentert, for å gi en bedre forståelse av miljøpåvirkningen gjennom livssyklusen til eksisterende bygninger.

1.3 Forskningsspørsmål og problemstilling

Oppgaven har som mål å undersøke nytteverdien av å utvikle fremskrivningsmodeller tilpasset eiendomsforvaltere som ønsker å redusere klimagassutslipp fra egen eiendomsportefølje. Problemstillingen er derfor formulert som følger: «*Hvordan kan scenariofremskrivning brukes til strategisk porteføljeforvaltning mot et bærekraftsmål?*». Oppgaven tester ut en mulig metodikk for scenariofremskrivning av eiendomsporteføljer, med statsbygg sin eiendomsportefølje som case. Det er derfor sentralt å diskutere om denne metodikken er egnet og brukervennlig, og hvilke aspekter som bør forbedres ved metodikken og testet nøkkelverktøy.

Avslutningsvis er målet for oppgaven å gjennomføre en studie av fremtidig energibruk og relaterte klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen til Statsbygg frem mot 2050. Modellering og fremskrivning av Statsbygg sin eiendomsportefølje brukes videre til å svare på følgende to forskningsspørsmål:

1. *Hvilke faktorer er de viktigste, og hvilke strategier er mest lovende, for reduksjon i energibehov og klimagassutslipp for Statsbygg sin eiendomsportefølje frem mot 2050?*
2. *I hvilken grad kan Statsbygg sin eiendomsportefølje være klimanøytral innen 2050?*

1.4 Avgrensning

For å begrense oppgavens omfang er det kun gjennomført litteraturstudie av tre fremskrivningsmodeller utviklet i samarbeid med NTNU og SINTEF. Det er bestemt å kun utprøve et modellverktøy på Statsbygg sin eiendomsportefølje, da de resterende to krever for mange antagelser som igjen reduserer datakvaliteten. I tillegg er kun de to største bygningskategoriene i Statsbygg sin eiendomsportefølje, undervisningsbygg og administrative eiendommer, simulert som komplekse eiendommer. Disse to kategoriene er vesentlig større enn de andre, samtidig som de har likheter i arealplan, bruksmønstre og krav til inn klima. Dette gjør det mulig å ta utgangspunkt i samme referansebygg ved implementering av bygningskategoriene i modellen. Referansebygget tar utgangspunkt i en tidligere modell. Oppgaven ser på et begrenset utvalg av tiltak i IDA ICE. Dette er fordi tiltakene er hentet fra tiltakslisten til Statsbygg for 2019/2020. Potensialet for smale tiltak som økt fleksibilitet og regulering, er derfor ikke analysert. Usikkerhet i resultater er heller ikke analysert. Oppgaven tar kun utgangspunkt i solcellepaneler, og ikke i andre energiforsyningstiltak. Dette har vært i samråd med Statsbygg sin strategi for klimagassreduksjon.

1.5 Leserveiledning

Kapittel 2 presenterer det teoretiske grunnlaget for oppgaven. Norges miljøpolitiske ambisjoner og klimarammeverket presenteres i 2.1. Klimarammeverket er viktig da Statsbygg forholder seg til nasjonale ambisjoner. Videre presenteres miljøpåvirkningen fra bygg- og anleggsektoren i 2.2, samt klimagassutslipp relatert til ulike aspekter av byggets livssyklus. Deretter i 2.3 presenteres begrepet bærekraftig eiendomsforvaltning og Statsbygg sitt målkart for bærekraftig utvikling. For å forstå sammensetningen og tilstanden til den eksisterende eiendomsporteføljen, viser 2.4 utvikling av byggteknisk regelverk fra 1950 til i dag. Videre i 2.5 presenteres energireduserende tiltak, både med tanke på rehabilitering og lokal energiproduksjon. Litteraturstudien avsluttes med en oversikt over fremskrivningsmetodikk i kapittel 2.6.

Metodikken er presentert i kapittel 3. Først presenteres datasettet og informasjonen som har vært tilgjengelig for å kartlegge tilstanden til eiendomsporteføljen. Kartlegging og etablering av kohorter er vist i henholdsvis 3.2 og 3.3. Resultatene fra kartlegging presenteres i kapittel 4. Her gis en oversikt over de seks utvalgte bygningskategoriene og gjennomsnittlig spesifikk energibruk for de ulike alderskohortene. Presentasjonen av eiendomsporteføljen vil gi en forståelse av hvilken del av porteføljen som har størst potensiale for klimagassreduksjon ved rehabilitering.

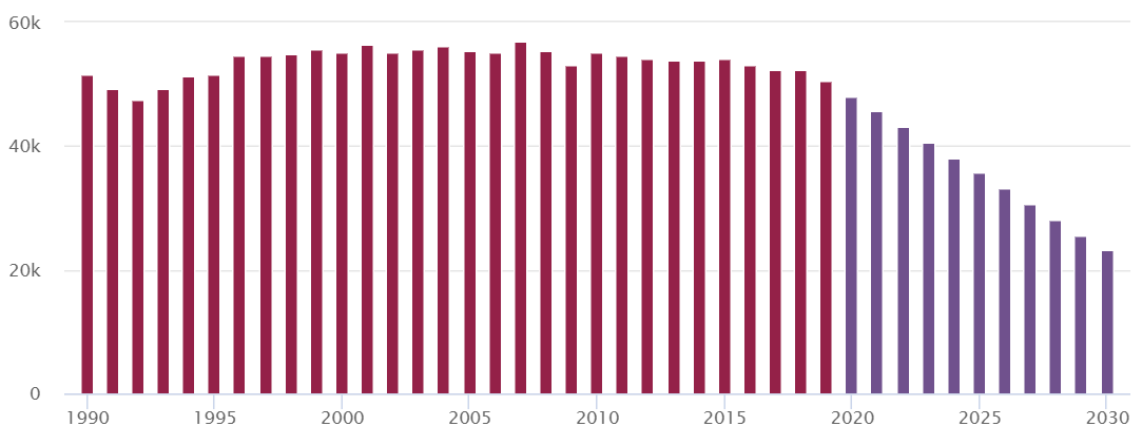
Videre i 3.4 presenteres referansemodellen og inndata for beregning av energieffektiviseringstiltak. Energilastprofilene danner grunnlaget for MFA-modellverktøyet som er detaljert beskrevet i delkapittel 3.5. Etablering av tiltakspakker og scenarier presenteres i kapittel 3.6. Resultatet fra simuleringen av energieffektiviseringstiltak og scenariomodelleringen er gitt i henholdsvis kapittel 5 og 6. Videre i kapittel 7 diskuteres resultater og nytteverdien av scenariefremskrivning som beslutningsverktøy. Oppgaven avsluttes med konklusjon i kapittel 8, samt videre arbeid i kapittel 9. Sistnevnte beskriver faktorer som vil bli viktige ved videreutvikling av denne typen fremskrivningsverktøy.

2. Litteraturstudie

I dette kapitlet presenteres teorigrunnlaget som ligger bak oppgavens problemstilling. Først presenteres Norges miljøpolitiske ambisjoner samt nasjonale og internasjonale klimaavtaler. Videre presenteres bygningsmassens energibruk, samt klimagassutslipp relatert til ulike aspekter av byggets livssyklus. Deretter presenteres begrepet bærekraftig eiendomsforvaltning og Statsbygg sitt målkart for bærekraftig utvikling. For å forstå sammensetningen og tilstanden til den eksisterende eiendomsporteføljen presenteres utvikling av byggteknisk regelverk fra 1950 til i dag. Kapitlet avsluttes med en presentasjon av energireduserende tiltak, samt en forklaring av scenariefremskrivning som metode. Her er tre ulike modellverktøy diskutert, hvorav sistnevnte danner grunnlaget for beregninger i denne oppgaven.

2.1 Norges miljøpolitiske ambisjon

I takt med industrialiseringen har de menneskeskapte utslippene av klimagasser økt betraktelig. Klimaendringene er vår tids største trussel, og derfor et enormt satsningsområde i store deler av verden. Gjennom blant annet Parisavtalen er Norge en viktig del av EUs klimarammeverk. I dag har Norge et forsterket klimamål om å redusere klimagassutslippene sine med minst 50 % innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå. Hvordan denne reduksjonen skal fordeles mellom kvotepliktig og ikke-kvotepliktig sektor er ikke avklart, men det er likevel enighet om at reduksjon i bygg- og anleggssektoren vil være viktig. Figur 2.1 viser betydningen av et klimamål på 55 % kutt sammenlignet med 1990-nivåer. Som en konsekvens kan ikke utslippene være over 23.5 millioner tonn CO₂-ekvivalenter i 2030 (Klima- og miljødepartementet, 2020). Utviklingen fra 1990 viser en reduksjon i utslipp på 2.3 %, og det er derfor sentralt at Norge etablerer en nasjonal plan for hvordan 2030-målene skal realiseres (Schjølset, 2020). Både internasjonale- og nasjonale myndigheter har fattet vedtak om å jobbe mot et klimanøytralt samfunn innen 2050. Ifølge det internasjonale energibyrået må klimagassutslippene reduseres til en tiendel innen 2050 for at jordas temperatur ikke skal stige mer enn to grader (IEA, 2020).



Figur 2.1 - Betydningen av et klimamål på 55 % kutt i 2030 sammenlignet med 1990 (Schjølset, 2020).

Det anslås at nesten 90 % av bygningene som eksisterer i 2050 allerede er bygget i dag. For å kunne realisere målet om et lavutslippssamfunn i 2050, er det derfor avgjørende å utvikle bedre metoder for å redusere klimagassutslipp fra eksisterende bygningsmasse (Grønn Byggallianse, 2019). For å realisere 1.5°C-målet satt i Parisavtalen, kreves økte globale ambisjoner i tillegg til raskere implementering av reduksjonstiltak. Kjennskap til reduksjonspotensialet i eksisterende bygningsmasse kan bli avgjørende for nå Norges miljøpolitiske ambisjon.

2.1.1 Internasjonale klimaavtaler

Klimakonvensjonen fra 1992 er en internasjonal rammeavtale som omhandler samarbeid for å motvirke menneskeskapte klimaendringer. Konvensjonen fra 1994, har som målsetting å stabilisere utslippene av klimagasser innen år 2000. Allerede i 1995 ble målene vurdert som utilstrekkelige om konsentrasjonen av drivhusgasser i atmosfæren skulle holdes på et akseptabelt nivå. Denne bestemmelsen resulterte i en felles finansieringsordning for reduksjon av klimagasser, etterfulgt av årlige partsmøter (Olerud & Kallebekken, Klimakonvensjonen, 2019). I dag brukes klimakonvensjonen som et viktig verktøy for å kartlegge utslipp av drivhusgasser. Dette gjøres ved at alle land som har undertegnet konvensjonen er forpliktet til å rapportere egne utslipp. En sentral del av klimakonvensjonen er at industrilandene har et større ansvar for å redusere utslipp enn utviklingslandene, for å stabilisere utslippene på en bærekraftig måte. Bærekraft forstås ofte som skjæringspunktet mellom de sosiale, økonomiske og miljømessige dimensjonene. Målet er å etablere et samfunn med økonomisk og sosial utvikling som tar vare på naturen og klimaet som er fornybar ressurs for mennesker (FN, 2021).

Som en oppfølging av klimakonvensjonen, ble Kyotoprotokollen vedtatt i 1997. Denne internasjonale avtalen tredde offisielt i kraft i 2005, og var på denne tiden ratifisert av 127 medlemsland. Kyotoprotokollen inneholder et sett med forpliktelser om utslippsreduksjon for industriland, med et samlet mål om 5.2 % utslippsreduksjon (Olerud, Kyotoprotokollen, 2016). Parisavtalen fra 2015 er en videre forlengelse av Kyotoprotokollen. Klimaavtalen er den første av sitt slag som er reelt forpliktende for medlemsland, og er juridisk bindende. Nesten alle FNs medlemsland har sluttet seg til denne avtalen. Formålet med Parisavtalen er å «styrke den globale responsen på trusselen som klimaendringene utgjør». Dette er konkretisert ved målsetting om å begrense temperaturstigningen på jorda til 1.5°C, og godt under 2°C oppvarming, sammenlignet med 1990. En økning av jordas temperatur på 2°C vil med høy sikkerhet føre til et sommerisfritt Antarktis, og det vil utsette deler av verden for fattigdom fra klimarisikoer. Denne målsettingen skal nås ved å redusere klimagassutslipp med 40 % i 2030, og 80 % innen 2050 sammenlignet med 1990-nivåer (Jakobsen, Kallebekken, & Lahn, 2020).



Figur 2.2 - FNs 17 bærekraftsmål (FN, 2021).

Godkjenningen av 2030 målsettingen markerer et globalt skifte innen bærekraft og bærekraftig utvikling. FNs bærekraftsmål, inkludert deres delmål, etablerer et omfattende rammeverk for videre utvikling, der miljømessige, sosiale og økonomiske bærebjelker er likestilt. De 17 målene er vist i figur 2.2 og er et resultat av en felles arbeidsplan for å redusere ekstrem fattigdom og ulikhet. Det er gjort flere forsøk på å implementere bærekraftsmålene i byggeprosjekter, men det er behov for å oversette det globale bærekraftsfokuset til et lokalt og prosjektspesifikt nivå. Forskning gjort på integrering av bærekraftsmålene i bygg- og anleggsbransjen, trekker frem 8 mål der byggenæringen har en avgjørende rolle for oppnåelse av klimamålene. Spesielt mål 7, 11, 12 og 13 vil være sentrale for byggenæringen. En forutsetning for bærekraftige byggeprosjekter er ifølge rapporten avhengig av implementering av bærekraftsmålene i tidligfase gjennom bruk av verktøy (Goubran & Cucuzzella, 2019).

Internasjonale klimaavtaler er viktige responsdrivere for Norges miljøpolitikk, og derfor også investeringsviljen når det gjelder utvikling av mer miljøvennlige løsninger. I tillegg er politikken førende for hvilke teknologier som kan brukes ved innføring av påbud og forbud, og ved prissetting av ulike energibærere. Et samlet internasjonalt klimarammeverk gjør at problemstillinger som er høyst relevante i andre land også påvirker Norge i stor grad. Dette gjelder spesielt klimagassutslipp fra levert energi til bygningsmassen. Generelt er klimagassutslipp knyttet til energibruk høyere i Europa grunnet høyt forbruk av fossile brensler. Derfor er det et økt fokus på oppvarmingsteknologier og rehabilitering i EU-direktivene. Nåværende og fremtidige EU-direktiver vil bli førende for Norges politikk gjennom EØS-avtalen (Regjeringen, 2020).

Som en konsekvens av internasjonale klimaforpliktelser gjennom Kyotoprotokollen, ble det vedtatt flere klimaforlik i Stortinget i perioden mellom 2008 og 2012. Klimaforliket (Meld. St. 21 (2011-2012)) inneholder konkrete mål for utslippsreduksjoner i 2020, i tillegg til langsiktige mål om å omstille Norge til et lavutslippssamfunn innen 2050 (Regjeringen, 2012). Da er målsettingen at Norge skal være et karbonnøytralt samfunn. Klimaforliket har vært en responsdriver for gjennomføring av flere sentrale klimatiltak. Viktige tiltak har vært å finansiere en klima- og teknologisatsning gjennom Enova Grunnfond og å skjerpe energikravene i byggsektoren. I tillegg er klimaforliket førende for Statsbygg, både i form av økte miljøambisjoner og finansiering. Slike tiltak er viktige som responsdrivere for å imøtekomme Norges miljøpolitiske ambisjoner. Korrelasjonen mellom tiltak og målsetting ble likevel ikke kartlagt på dette tidspunktet (Regjeringen, 2020).

2.1.2 Klimaplan for 2021-2030

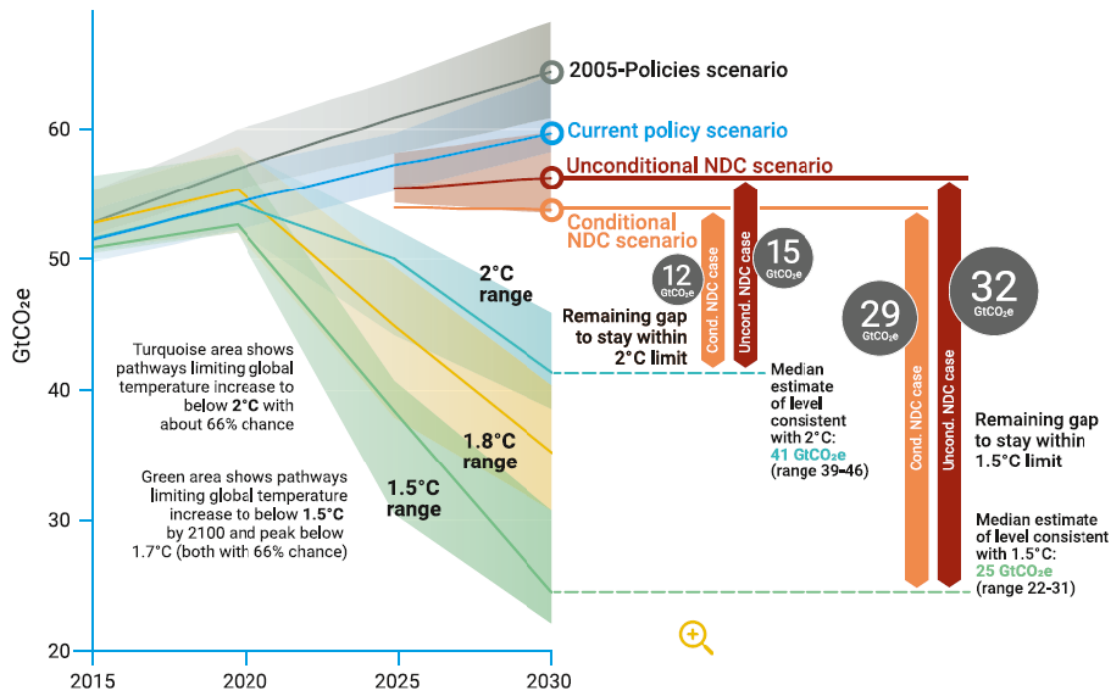
I begynnelsen av 2021 lanserte Regjeringen en klimaplan for perioden 2021-2030 (Meld. St. 13 (2020-2021)). Planen viser hvordan Norge skal kunne realisere målsettingen for klimagassutslipp, uten å gå på bekostning av utvikling. Tidligere har det kun vært forpliktelser rundt kutt i kvotepliktige klimagassutslipp, men gjennom Klimaplanen er det nå utslippsforpliktelser i alle sektorer. Dette har stor påvirkning på ikke kvotepliktige utslipp som blant annet inkluderer utslipp fra bygg- og anleggssektoren. Klimaplanen fastlegger tiltakene for hvordan ikke-kvotepliktige utslipp skal reduseres med 45 % innen 2030. Dette skal gjøres ved å øke avgiften på klimagassutslipp sammen med reguleringer av utslipp. Det er enighet om at tiltakene presentert trolig ikke er tilstrekkelige, så planen vil etterfølges av årlige justeringer av virkemiddelbruken (Regjeringen, 2021). Statsbygg følger nasjonale utslippsambisjoner og har derfor som mål å redusere egne utslipp med 40 % innen 2030.

Konkretisering av tiltak skjer som en respons på EUs ambisiøse, grønne vekststrategi for et klimanøytralt Europa, The European Green Deal. Gjennom EØS avtalen er EU en av Norges viktigste handelspartner, og derfor en driver for Norsk politikk. Politikken EU fører støtter opp under den grønne omstillingen av norsk økonomi, og etablering av nye arbeidsplasser i grønne næringer. I tillegg lager EU handlingsplaner og strategier for alle sektorer, slik at budsjetter og utvikling av teknologi imøtekommer klimamålene (European Commission, 2021).

Til tross for mangel på konkrete tiltak for utslippskutt i bygg, anlegg og eiendom, anerkjennes sektoren som en viktig komponent for å realisere Norges miljøambisjoner. I tillegg vil reduksjon i energibehov være fundamentalt for å frigjøre elektrisitet fra vannkraft til andre sektorer. En av hovedutfordringene ved bygg- og anleggssektoren er at det er få direkte utslipp. Dette gjør det utfordrende å kvantifisere mulig utslippskutt, og derfor også innføring av tiltak. En av målsettingene som trekkes frem, er fossilfrie anleggsplasser innen 2025, spesielt for offentlige byggeprosjekter. I tillegg nevnes bygg og anleggssektoren som svært viktig for å realisere EUs handlingsplan for sirkulær strategi. Innen 2020 var målsettingen at 70 % av ikke-farlig byggeavfall skulle gjenvinnes (Regjeringen, 2021). Dette ble ikke realisert og målet følger derfor videre i denne planen. Klimaplanen tar også for seg viktigheten av rehabiliteringer istedenfor nybygg for å minimere klimagassutslippene. Kombinasjonen av miljøvennlige materialvalg, gjennomføring av energieffektiviseringstiltak og å bruke fornybar energi er de viktigste tiltakene som bør vurderes ved rehabilitering av eksisterende bygningsmasse, ifølge planen. Likevel finnes det ingen konkrete mål for å øke rehabiliteringsraten. Det finnes i midlertidig målsettinger for eiendomsforvaltere i statlig sivil sektor som sammen med staten har utarbeidet en klima- og miljøstrategi. Denne innebærer: *1) Staten skal utnytte nåværende bygningsmasse og sikre gjenbruk av fraflyttet eiendom. 2) Staten skal etablere felles metodikk for å måle den samlede klima- og miljøpåvirkningen fra bygg og eiendom i statlig sivil sektor, med sikte på framtidig forbedring og å etablere felles mål.*

2.1.3 Utslippsgapet

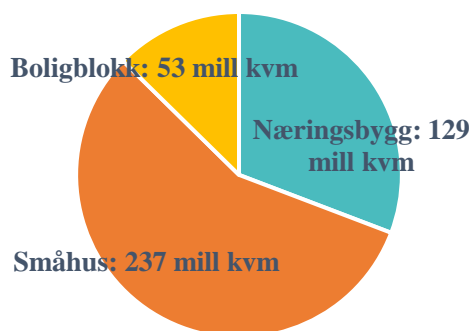
Ifølge IPCCs rapport på bærekraftige utslippsbaner, er global oppvarming forventet å overstige 1,5°C i forhold til førindustrielt nivå (Rogelj, et al., 2018). Dette er fordi utslipp i tråd med Parisavtalen ikke samsvarer med dagens utslippsbaner. Til tross for en ambisiøs miljøpolitikk, viser faktiske klimagassutslipp en økende trend relatert til globale utslipp fra mange land. Gapet mellom ambisjoner og faktiske utslipp analyseres hvert år som en del av FNs miljøprogram «*Emission Gap Report*» (UN Environment Programme, 2020). Resultatene for 2019 er vist i figur 2.3, og viser det globale klimagassutslippet for ulike scenarioer og utslippsgap i 2030. Det er tatt utgangspunkt i 2019 verdiene da 2020 utslippene er sterkt berørt av COVID-19 pandemien, og avviker betydelig fra tidligere år. Rapporten viser at globale klimagassutslipp fortsatte å vokse for tredje året på rad i 2019, og nådde et rekordnivå på 59.1 gigatonn CO₂-ekvivalenter (± 5.9). Figuren viser ønsket utvikling i globale klimagassutslipp i samsvar med 1.5°C og 2°C målet, sammenlignet med faktiske utslipp. Med dagens politikk antas et klimagassutslipp på 60 gigatonn CO₂-ekvivalenter i 2030. Dette resulterer i et behov for strengere tiltak de neste 10 årene for å tette gapet mellom ambisjoner og realiserbare utslippskutt. Tallene viser at den internasjonale innsatsen i Parisavtalen og endringstempoet ikke er nok for å nå målene som er satt i avtalen. For å nå 1.5°C målet på minst kostnadskrevende måte må utslippene reduseres med 55 % innen 2030. Dette fordrer økte ambisjoner, flere tiltak og raskere implementering det neste tiåret (Fufa, Flyen, & Venås, 2020).



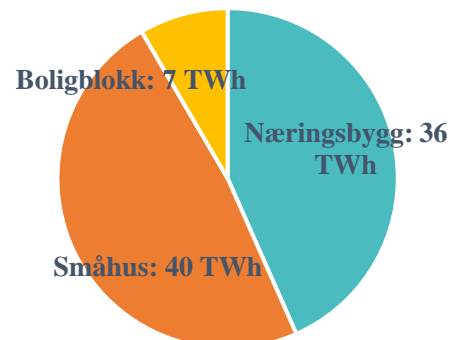
Figur 2.3 – Globale klimagassutslipp for ulike scenarier, samt utslippsgapet i 2030 (UN, 2020).

2.2 Miljøpåvirkning fra bygg- og anleggssektoren

Bygg og anlegg er en sentral bidragsyter til Norsk industri, men også til våre klimagassutslipp. Klimabedraget består av flere elementer, og historisk er det energibruken og tilhørende klimagassutslipp som har hatt det største fokuset. I senere tid har krav om miljødeklarasjoner, forkortet EPDer, og fokus på miljøsertifiseringer, også gitt et økt fokus på materialbruk. I Norge brukes 40 % av det totale energiforbruket til drift av bygninger (Grønn Byggallianse, 2019). Energiforbruket er fordelt på Norges ca. 4.2 millioner bygninger datert fra ulike perioder (NVE, 2021). Reduksjon av klimagassutslipp fra bygninger vil derfor være en nøkkelfaktor for å minimere klimapåvirkningen, og for å realisere store utslippskutt i tiden fremover. Samlet areal og totalt energibruk fordelt på ulike bygningssektorer, er vist i henholdsvis figur 2.4 og 2.5. Utslippsbaner kompatible med 2°C målet, avhenger av storskala elektrifisering av den globale bygningssektoren, og energieffektivisering av både bygningsmassen og tilhørende tekniske komponenter. I lys av dette vil bygningssektoren være avhengig av en betydelig oppgradering i løpet av de neste tiårene. IEA, det internasjonale energibyrået, framhever viktigheten av å gjennomføre en rask, storskala



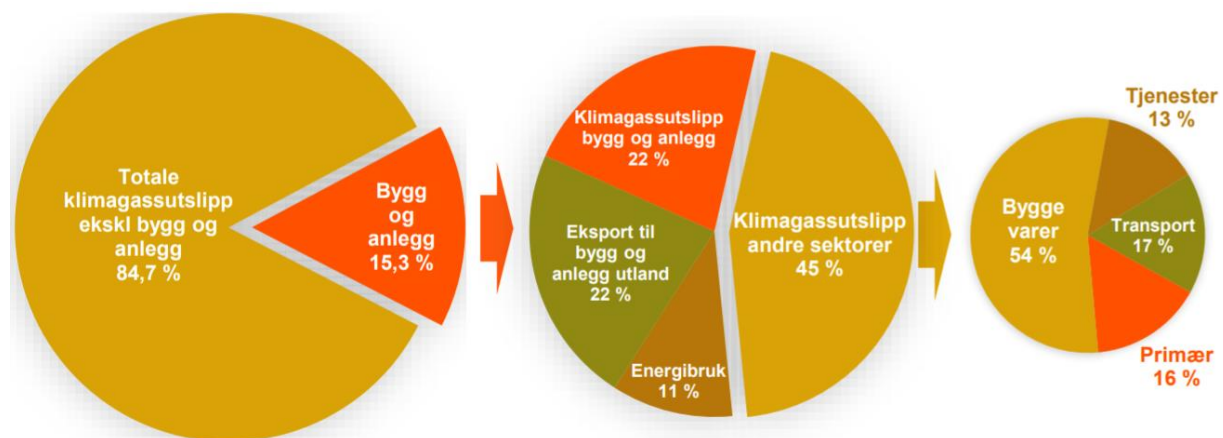
Figur 2.4 – Totalt bebygd areal i 2020 (NVE, 2021).



Figur 2.5 – Levert energi til bygg i 2020 (NVE, 2021).

energieffektivisering for at bygningsmassen skal være kompatibel med lavutslippssamfunnet i 2050. IEA konstaterer at en tiårs forsinkelse i gjennomføring av slike tiltak vil føre til et samlet globalt energitap frem mot 2060 tilsvarende tre års ekstra energiforbruk i byggesektoren (IEA, 2020). Det er derfor avgjørende å etablere planer for klimagassreduksjon både lokalt og nasjonalt, men også for større eiendomsforvaltere. Modellering av fremtidige utslipp vil være sentralt i gjennomføring av dette.

Det finnes ikke spesifikke tall for hvor stor del av Norges klimagassutslipp som er relatert til bygg- og anleggssektoren. Likevel viser en rapport fra Asplan Viak at klimagassutslipp fra den Norske byggenæringen utgjorde ca. 15,3 % av de norske klimagassutslippene i 2017 (Asplan Viak, 2019). I tillegg viser rapporten en økning på 14,2 % i perioden mellom 2008 og 2017. De viktigste bidragsyterne til denne økningen er økt befolkning og økonomisk vekst. Tendensen til økende energiforbruk forekommer til tross for økt energieffektivitet, og er sterkt påvirket av brukeratferd. Likevel har utviklingen av ny teknologi redusert spesifikt energiforbruk per kvadratmeter. For å få en betydelig reduksjon i energibruk og utslipp fra bygningsmassen, må man derfor ha en helhetlig tilnærming (Bernhard & Jørgensen, 2007). Dette inkluderer klimagassutslipp som skjer utenfor Norges grenser som følge av eksporterte produkter til utland. I henhold til dagens utvikling er utslipp fra næringen økende, og ikke redusert i samsvar med 1,5 °C målet. Figur 2.6 viser at produksjon av byggevarer er dominerende med tanke på utslipp, og tilsvarer 54 % av utslippene relatert til bygg og anlegg. Resterende bidrag er jevnt fordelt mellom transport, tjenester og primærnæringer. Dette viser at gjenbruk av byggevarer har et stort potensial for å redusere klimagassutslipp fra bransjen.



Figur 2.6 - Bygg- og anleggssektorens andel av Norske klimagassutslipp (Asplan Viak, 2019).

2.2.1 Energiforbruk i bygningsmassen

Ut ifra figur 2.5 er det tydelig at drift av bygninger er energikrevende. I tillegg er 66 % av Norges bygningsmasse eldre eiendommer bygget før 1987, før Norge etablerte krav for energieffektivitet (NVE, 2021). Grunnet den store andelen av levert energi til drift av bygg, ble det i 2017 fattet en konkret målsetting for energieffektivisering. Energimeldingen «Kraft til endring. Energipolitikken mot 2030» (St.meld.25 (2015-2016)) fastsetter et mål om 10 TWh redusert energibruk i eksisterende bygg sammenlignet med nivåer for 2017. Målet kom i forbindelse med fremskrivning av brutto elektrisitetsforbruk i husholdninger og tjenesteytende sektorer. Fremskrivningen viser en forventet økning på 1,5 TWh, grunnet økt velstand, i elektrisitetsforbruket i boligmassen frem mot 2030. Den konkrete målsettingen for energieffektivisering har derfor som mål å korrigere økningen i forbruk

ved å redusere elektrisitetsforbruket med 11.5 TWh i forhold til fremskrevet elektrisitetsbruk. Det er enda ikke laget en gjennomføringsplan, men det legges vekt på at lokalprodusert energi skal likestilles med energieffektivisering. Muligheten til å analysere effekten av disse tiltakene, og grad av måloppnåelse, vil være nødvendig for å kunne føre effektiv energipolitikk og planlegge behovene for fremtidens energisystem. Ønsket er at utviklingen av tiltak og regelverk skal kombinere høy bokvalitet med et lavt energiforbruk (Stub & Brenna, 2017).

Energibehovet i bygninger er formålsdelt i henhold til NS 3031 – Beregning av bygningers energibehov og energiforsyning (Standard Norge, 2020). Totalt årlig netto energibehov beregnes som summen av formålene: Romoppvarming, oppvarming av ventilasjonsluft, oppvarming av varmt tappevann, pumper, vifter, belysning, teknisk utstyr, romkjøling og ventilasjonskjøling. Relatert til en bygnings energibehov er det relevant å diskutere byggets energibalanse. Energibalansen i en bygning legger grunnlaget for hvordan energibehovet i en bygning beregnes. Ligningens kompleksitet og omfang grunnet dynamiske variabler, resulterer i at beregning av energibehovet egner seg best for databaserte beregningsverktøy. Innenfor bygningskategorier er det også stor variasjon i energibruk, slik at gjennomsnittet for en bygningskategori kan avvike betydelig fra individuelle eiendommer. Kontorbygg og undervisningsbygg, de største bygningskategoriene i denne oppgaven, har omtrent likt gjennomsnittlig energiforbruk på ca. 235 kWh/m² (SSB, 2011). Bakgrunnen for de store variasjonene er usikre, og statistikken viser at spesifikk energibruk ikke nødvendigvis korrelerer med byggets alder.

Netto oppvarmingsbehov er definert av NS 3031 som differansen mellom varmetap fra bygningen til omgivelsene, og varmetilskudd fra solstråling og interne laster. Denne variabelen er temperaturavhengig da oppvarmingsbehovet varierer med klimaet. Beregning av netto oppvarmingsbehov ved tid t er gitt ved formel 1.

$$Q_{H,nd,t} = Q_{H,IS,t} - \eta_{H,t} \cdot Q_{gn,t} \quad (1)$$

Der $Q_{H,nd,t}$ er netto energibehov ved tid t .

$Q_{H,IS,t}$ er varmetap for bygget ved tid t .

$\eta_{H,t}$ er utnyttingsfaktoren ved tid t .

$Q_{gn,t}$ er varmetilskudd for bygget ved tid t .

De viktigste fokusområdene relatert til energibruk, er høyt energiforbruk i eksisterende bygninger, og utjevning av høye effekttopper. En av de viktigste aspektene for vesentlig forbedring av energieffektiviteten i bygninger er å forstå de faktorene som påvirker energibruken. I tillegg til sosiale faktorer påvirkes energiforbruk hovedsakelig av seks faktorer. Faktorene er i) klima, ii) bygningskroppen, iii) bygningsutstyr og energisystemer, iv) drift og vedlikehold av bygninger, v) brukeraktiviteter og atferd og vi) innklimaforhold. Faktorene kan organiseres i to grupper klassifisert som fysiske og menneskelige påvirkede faktorer. De tre siste faktorene er relatert til brukeradferd ved drift av bygningen, og er derfor vanskelig å kvantifisere. Likevel kan faktoren studeres når man analyserer en stor andel lignende bygninger (Yoshino, T. Hong, & Nord, 2017). Brukeratferd er i tillegg påvirket av relasjon til eiendommen, altså om man selv eier bygget, eller leier lokalene. Dette er spesielt interessant for eiendomsforvaltere som leier ut sine eiendommer. I 2007 utga OECD/IEA en rapport som viser at energibruken per kvadratmeter i Norge er 20 % høyere i lokaler som man leier, enn når brukeren selv eier bygget. Da 80 % av kontorlokaler i Norge er leid, vil reduksjon av brukerstyring kunne gi store besparelser i levert energi (Ibenholt & Fiksen, 2011).

2.2.2 Utslipp knyttet til energibruk i bygg

Endring av oppvarmingsteknologi og energibærere har stor innvirkning på klimagass-utslippene fra bygningsmassen (Spilde, 2017). Det er ikke konsensus i Norge for konkrete utslippsfaktorer, og det er enda ikke utarbeidet nasjonale CO₂-faktorer for nøyaktig beregning av utslipp (Skrautvol & Eliassen, 2016). Spesielt for fremskrivningsmodeller er dette utfordrende da det er knyttet usikkerhet til fornybarandeler og systemvirkningsgrader i fremtiden. Utslippsfaktorer knyttet til oppvarming av bygg er vist i Tabell 2.1, og er beregnet på bakgrunn av NS-EN 15603 for energivarer med direkte utslipp. Utslippsfaktorer for elektrisitet og fjernvarme er gitt i henhold til veileder for nullutslippsbygg som fremskriver energibruken på en tilsvarende måte som i denne oppgaven. Verdiene samsvarer med NS 3720 som brukes etter anbefalinger fra Statsbygg.

Tabell 2.1 - CO₂-produksjonskoeffisient for ulike energivarer (Larsen, Bramslev, & Hammer, 2013).

| Energivare | CO ₂ -koeffisient [gCO ₂ -ekv./kWh] |
|--|--|
| Elektrisitet <i>Utslippsfaktoren er basert på forutsetning om at norsk el er en del av en europeisk elgrid i fremtiden. Faktoren er basert på antagelsen om at produksjonen av el i Europa gradvis reduseres fra dagens utslipp på 361 gCO₂-ekv./kWh til nullutslipp i 2054. Dette er beregnet som følger:</i> $\frac{361}{2} \cdot \frac{(2054 - 2010)}{60} = 132$ | 132 |
| Fjernvarme <i>Dagens utslipp fra Hafslund fjernvarme i Oslo. Merk at ZEB-faktoren for fjernvarme er 231 g CO₂-ekv./kWh, men at denne antas for høy i et 30 års perspektiv grunnet lav fornybarandel.</i> | 111 |
| Bio <i>ZEB-faktor beregnet av SINTEF medberegnet felling av tre, transport, pelletsproduksjon og virkningsgrad for omforming til nyttbar energiform</i> | 14 |
| Fjernkjøling <i>Basert på at fjernkjøling er produsert med varmepumpe (eller kjølemaskin) med systemfaktor 2.4</i> | 55 |
| Sol <i>Etter installering av fotavoltaiske solceller vil fornybar energi fra sol være uten ytterligere utslipp.</i> | 0 |

Siden 1990 har det vært en nedgang på 65 % i klimagassutslipp fra oppvarming av bygg. Den store reduksjonen skyldes i hovedsak utfasing av fossile brenslere i oppvarming av bygg (Miljødirektoratet, 2020). Historisk sett er elektrisitet den dominerende formen for energi i Norge. Den høye andelen fornybar energi gir lave klimagassutslipp fra energibruk i bygg, til tross for et svært høyt elektrisitetsforbruk. Det er stor diskusjon rundt innlemming av klimagassutslipp fra energikilder som elektrisitet og fjernvarme som ikke har klimagassutslipp i bruksfasen. Likevel er det ønskelig å inkludere CO₂-faktor for å synliggjøre at redusert bruk av slike energibærere også har en klimapåvirkning.

I dag er det totale årlige energiforbruket i bygningsmassen på omtrent 83 TWh. Fordelt på de ulike bygningskategoriene står boliger og næringsbygg for størstedelen av energiforbruket, med henholdsvis 47 og 36 TWh (NVE, 2021). Det er antatt at energiforbruket vil være relativt konstant i henhold til nåværende utslippsbane, uten ytterligere tiltak for å energieffektivisere bygningsmassen frem imot 2030 (Stub & Brenna, 2017). Til tross for utbredt bruk av elektrisitet i oppvarming, er fortsatt gass en hyppig brukt energikilde. I 2019 var bruk av gass til oppvarming den største kilden til utslipp. Dette tilsvarer omtrent 58 % av utslippene. Her er ikke klimagassutslipp fra elektrisitet inkludert. Klimagassutslippet knyttet til energibruk i bygg beregnes som produktet av levert energi og utslippsfaktoren til en gitt energivare. Beregningen er vist i formel 2, mens forslag til utslippsfaktorer ved fremskrivning er gitt i Tabell 2.1.

$$m_{CO_2} = \sum(E_{del,i} \cdot K_{del,i}) \quad (2)$$

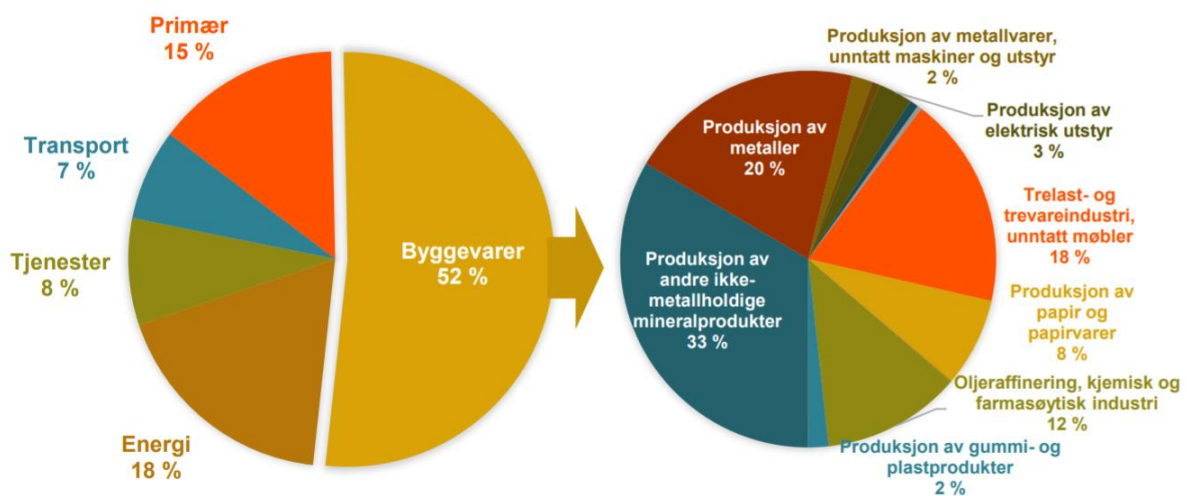
Der m_{CO_2} er årlig CO₂-utslipp i kg.

$E_{del,i}$ er levert energi av energivare i kWh

$K_{del,i}$ er CO₂-faktoren for energivaren i kg/kWh

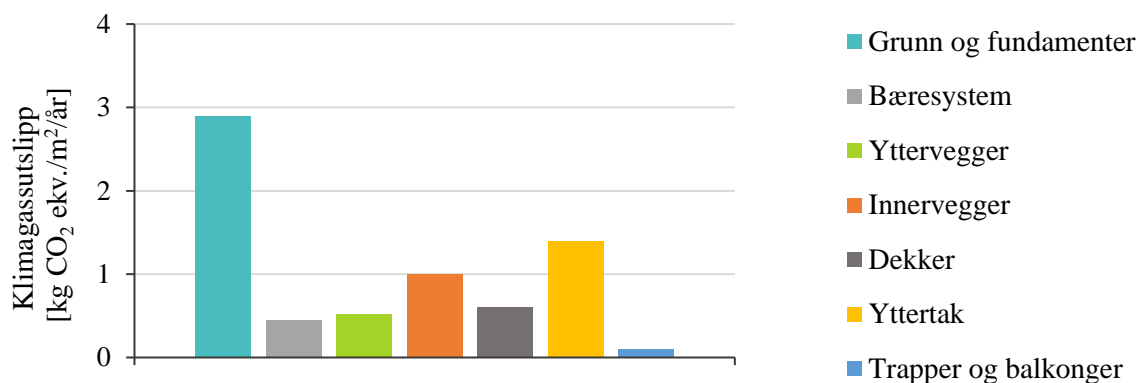
2.2.3 Klimagassutslipp fra materialbruk og konstruksjon

Byggesektoren er også en viktig premissgiver for materialindustrien. Ifølge Grønn Byggallianse er bygge- og eiendomssektoren ansvarlige for å anskaffe 40 % av produserte materialer. Konstruksjon av bygg inkludert nybygg, rehabilitering og rivning samt infrastruktur, står alene for 14 % av direkte og indirekte utslipp. Indirekte utslipp skyldes i stor grad at bygg- og anleggssektoren importerer store mengder byggevarer som genererer utslipp i utlandet (Asplan Viak, 2019). Klimabidraget fra importerte materialer kan studeres i figur 2.7. Figuren viser ulike sektorer i utlandet, og tilsvarende fordelingen av klimagassutslipp fordelt på ulike sektorer i utlandet der utslippene skjer. Byggevarer er en dominerende komponent og er ansvarlig for 52 % av det totale utslippet. Det anslås at sirkulærøkonomiske tiltak innen bygg og anlegg i Norden kan redusere bruken av bygningsmateriale med opptil 20 % og føre til en reduksjon i klimagassutslipp på opptil 10 millioner tonn CO₂ ekvivalenter hvis vi tar hensyn til utvinning, produksjon og transport av byggematerialer (Jahren, Nørstebø, Simas, & Wiebe, 2020). En økt rehabiliteringstakt vil derfor føre til reduserte operasjonelle klimagassutslipp fra energibruk, men også en betydelig reduksjon i utslipp fra konstruksjon og byggeavfall i forhold til nybygg.



Figur 2.7 - Fordeling av utslipp fordelt på ulike sektorer i utlandet der utslippene skjer (Asplan Viak, 2019).

I 2017 sto byggesektoren for omtrent en fjerdedel av avfallsproduksjonen i Norge. Både rivning og rehabilitering produserer avfall, hvorav henholdsvis 40 % kommer fra rivning og 25 % fra rehabiliterte bygninger. Generelt er betong og stål de materialene med høyest utslipp, og gjenbruk av disse ved rehabilitering har høyeste potensialet for klimagassreduksjon (Grønn Byggallianse, 2019) (Jahren, Nørstebø, Simas, & Wiebe, 2020). Oversikten over bundet energi i ulike bygningskomponenter kan studeres i figur 2.8. Materialverdien vil være sentral når rehabiliteringstiltak velges, da det vil være viktig å bevare bundet energi i bygningen på en best mulig måte. Forskning på bundet energi fra 2019 har diskutert sammenhengen mellom operativ energi og bundet energi gjennom byggets levetid. Studien viser at materialkomponenten har blitt større sammenlignet med energibruk i drift, ettersom eiendommer har blitt mer energieffektive. Dette skiller seg fra tidligere der energiforbruket i drift var den klart største utslippskomponenten. Med tanke på de globale klimagassutslippene, understreker disse resultatene behovet for å redusere både klimagassutslipp fra energibruken i drift, og materialer (Rock, Saade, & m.fl., 2019).



Figur 2.8 - Klimagassutslipp fordelt på ulike bygningskomponenter (Grønn Byggallianse, 2019)

2.3 Bærekraftig eiendomsforvaltning

Norsk eiendom publiserte i 2019 en bærekraftstrategi som omhandler eiendomsbransjens rolle i å nå bærekraftsmålene til FN. Bakgrunnen for strategien er det faktum at eiendomsbransjen vil påvirkes av nasjonale myndigheters forpliktelser til FNs bærekraftsmål. Dette skjer både som konsekvens av kommende EU-direktiver, men også gjennom finansbransjens risikovurdering og EU taksonomien som setter krav til klassifisering av, og rapportering på bærekraftige aktiviteter. Resultatet er en økning i både finansieringen og etterspørselen av bærekraftige bygg. Utvikling av bærekraftig og god eiendomsforvaltning er derfor forretningsmessig fornuftig. Etablering av bedre styringsverktøy og metodikk for bærekraftig eiendomsforvaltning vil være viktig for fremtidig konkurransekraft. Realisering av bærekraftsmålene krever handling fra myndighetene, enkeltbedrifter og eiendomsbransjen i sin helhet. Myndighetene vil ikke kunne oppnå bærekraftsmålene og målsetting om redusert energibruk i bygningsmassen, uten samarbeid med eiendomsbransjen. Til gjengjeld vil eiendomsforvaltere oppnå gode og forutsigbare rammebetingelser ved å imøtekomme fremtidige retningslinjer. På denne måten kan eiendomsbransjen være en sentral bidragsyter for å oppnå et bærekraftig nullutslippssamfunn i fremtiden. Oppsummering av deres tiltak innenfor hvert bærekraftsmål er gitt i vedlegg C (Norsk eiendom, 2019).

Forvaltning av eiendommer gjennom livsløpet sett fra et miljømessig, økonomisk og sosialt perspektiv, vil resultere i en bærekraftig og konkurransedyktig eiendomsportefølje. Miljømessig er

god eiendomsforvaltning viktig fordi bygg som vist i kapittel 2.2 representerer en betydelig andel av den totale miljøbelastningen i et samfunn. I et økonomisk perspektiv er god eiendomsforvaltning viktig både for å opprettholde en konkurransedyktig eiendomsportefølje, og fordi eiendomsmassen representerer store verdier. I tillegg er økt fokus på bærekraft etisk riktig og kommersielt lønnsomt på grunn av økt attraktivitet og markedsverdi. I et sosialt perspektiv er god eiendomsforvaltning viktig fordi byggets brukere behøver godt inneklima og funksjonelle eiendommer for å realisere sine behov. Samlet vil en god og bærekraftig eiendomsforvaltning sikre forutsigbarhet og politisk handlingsrom, spesielt for en statlig eiendomsforvalter som Statsbygg.

Statlig og kommunal sektor vil være viktige bidragsyttere til et bærekraftig samfunn, og det er derfor viktig med god eiendomsforvaltning også her. Grunnet underfinansiering av vedlikehold, er statlig og kommunale eiendommer preget av et vedlikeholdsetterslep (Multiconsult, 2013). Multiconsult etterspurte allerede i 2011 en nasjonal oppgraderingsplan, etter kartlegging av behov for offentlig finansiering på opptil 124 milliarder kroner for å komme på et akseptabelt tilstandsnivå i offentlig eiendoms masse. Dette er et problem på mange måter, først og fremst på grunn av verdiforringing av store statlige verdier, samt redusert pålitelighet for eiendommer med sentrale funksjoner i samfunnet. I tillegg vil en lav standard på eiendommer påvirker helse, miljø og trivsel, som resulterer i redusert kvalitet på tjenestene som utføres i byggene. En vedlikeholdt eiendomsportefølje vil bety økt funksjonalitet og sikkerhet for brukere, i tillegg til kostnadsbesparelser og økt verdi på eiendommene. Miljømessig er vedlikeholdsetterslep problematisk fordi eiendommene er mindre arealeffektive, har høyere energibehov og genererer en større mengde avfall om eiendommen må rives delvis eller helt grunnet manglende vedlikehold (Reppe, 2016).

Kommunal- og moderniseringsdepartementet, KMD, fremhever bruk av måleparametere som viktig for å kunne vurdere bærekraft i et helhetsperspektiv (Meld. St.28 (2011-2012)). Via KPIer, også kalt nøkkelfaktorer, kan man følge effektiviteten eller reduksjon av klimagassutslipp over tid og benchmarke egen eiendomsportefølje mot beste praksis, eller egne ambisjoner. Bærekraftbegrepet brukes innenfor flere fagfelt, og det er derfor nødvendig å knytte hvert fagområde opp mot bærekraftsområdene. Når det gjelder eiendomsforvaltning, viser tabell 2.2 KMD sine eksempler på måleparametere som kan knyttes til de ulike bærekraftperspektivene (Regjeringen, 2012).

Tabell 2.2 - Måleparametere for bærekraftig eiendomsforvaltning (Meld. St.28 (2011-2012)).

| Område | Måleparametere |
|--------------------------------|--|
| Bygg og sosiale forhold | Sikkerhet, inneklima, bo-kvalitet, trivsel, tilgjengelighet og universell utforming, forebyggende helsearbeid, arkitektur, byggeskikk og design. |
| Bygg og miljø | Energibruk, energikilder, klimautslipp, klimatilpasning, bevaring, miljøfarlige stoffer, miljøsanering, kildesortering, og ombruk/gjenvinning av avfall. |
| Bygg og økonomi | Verdiskapning, kostnadseffektivitet, produktivitet, livssyklus-kostnader og samfunnsøkonomi. |

Et annet målbegrep som er hyppig brukt av blant annet Finansdepartementet, er styringsparametere. Finansdepartementet fastslår at velbegrunnede styringsparametere er essensielt for god styring og oppfølging av informasjon (Reppe, 2016). Dette vil eksempelvis gjelde porteføljeforvaltning. Det anbefales at styringsparametere er «SMARTE», det vil si spesifikke, målbare, aksepterte, realistiske, tidsbestemte og enkle (Finansdepartementet, 2005). Det fremheves også at bruk av KPIer og andre styringsparametere er et godt grunnlag for å øke kunnskapsnivået og interessen for bærekraftig eiendomsforvaltning blant politikere og andre sentrale aktører.

2.3.1 Statsbygg sitt målkart for bærekraftig utvikling 2021 – 2025

Ønsket om å levere bærekraftige løsninger er utgangspunktet for Statsbygg sitt målkart for perioden 2021 til 2025. Hovedmålet er delt inn i fire kjerneområder, der det hvert år er etablert individuelle mål med valgte KPIer for å undersøke grad av måloppnåelse. Her presenteres de fire områdene, hvorav førstnevnte vil ha størst påvirkning på denne oppgaven.

«Vi jobber for felles bærekraftsmål for statens eiendomsportefølje». Statsbygg har som mål å redusere klimagassutslippet med 30 % innen 2025. Som en viktig del av målet er etablering av energioppfølgingssystemer ved alle eksisterende eiendommer innen 2021. Systemene vil muliggjøre kartlegging av potensialet for klimagassutslipp på en bedre måte, og videre fastlegge hvilke eiendommer som bør prioriteres ved finansiering. Videre er målet at Statsbygg forvalter, drifter og utvikler sine eiendommer i henhold til en egen plan basert på bærekraftsmålene. Måleverktøy for bærekraftig forvaltning av eiendomsporteføljen er ikke bestemt, og det er heller ikke lagt vekt på hvilke KPIer som bør ligge til grunn for et slikt fremskrivningsverktøy. Problemstillingen rundt bruk av verktøy og måleparametere er grunnlaget for denne oppgaven.

«Våre råd gjør våre oppdragsgivere og leietakere i stand til å velge de beste miljøløsningene». I utgangspunktet ønsker Statsbygg å etablere en metodikk for miljøeffekt og samfunns-økonomisk nytte av ulike miljøtiltak. I en femårsperiode vil dette bidra til at oppdragsgivere og leietakere velger effektive miljøløsninger i 90 % av tilfellene.

«Vi er en pådriver i omstillingen til sirkulærøkonomi». Statsbygg ønsker å være en leder innen overgangen til et sirkulært samfunn. Målet skal realiseres ved å først kartlegge gjenbrukspotensialet ved eksisterende eiendommer. I 2025 er målet at alle byggeprosjekter planlegges i et sirkulærøkonomisk perspektiv med krav til 20 % ombruksgrad. I tillegg vil alle byggeplasser være utslippsfrie eller fossilfrie.

«Vi reduserer behov for nybygg ved å utnytte muligheter i eksisterende bygg». Statsbygg ønsker i utgangspunktet å utnytte eksisterende eiendommer til fordel for å bygge nytt. Innen 2021 er planen å etablere en metodikk for verdioptimal eiendomsforvaltning og rådgivning. Dette skal bidra til en mer funksjonell og vedlikeholdt eiendomsportefølje, med tilstandsgrad 1 eller bedre for 70 % av porteføljen. Avslutningsvis er målet at oppdragsgiver ønsker å utnytte eksisterende eiendommer til fordel for nybygg. Målet innebærer også økt arealeffektivitet.

2.4 Energikrav til bygninger

Ett av de viktigste virkemidlene for å øke energieffektiviteten i bygninger er strengere krav. Direktoratet for byggekvalitet, DiBK, er det nasjonale byggekompetansesenteret og en sentral myndighet for bygg- og anleggssektoren. I tillegg gjelder Plan- og bygningsloven, PBL som bestemmer hvordan landets arealer skal brukes og reguleres. DiBK fungerer som et verktøy for å realisere Norges bygningspolitikk, ved å arbeide med to hovedmål (DiBK, 2020):

1. Sikre trygge, miljøvennlige og tilgjengelige hjem og bygninger.
2. Forutsigbare regler for effektiv ressursbruk i byggeprosessen.

Byggteknisk forskrift TEK gir forskrifter om tekniske krav til bygg. TEK-kravene er gitt som grenser for minimum av krav en bygning må tilfredsstille for lovlig å kunne bygges i Norge. Byggeforskriften for 2017 inneholder 17 kapitler (DiBK, 2017). Denne oppgaven ser i hovedsak på levert energi, og vil derfor fokusere på kapittel 14. Likevel er resterende kapitler svært relevante ved rehabiliteringer. Lov om universell utforming, oppgraderte nødutganger og høyere fokus på helsefaktorer, er ofte hovedårsakene til at bygninger må oppgraderes, eller eventuelt rives. Lovverket påvirker derfor eiendomsforvaltere i stor grad. I tillegg vil arbeidsmiljøloven være sentral ved utleie av kontorbygg. Lovverket som legger rammebetingelser for oppgaven, er:

TEK17: § 14-2. Krav til energieffektivitet. Totalt netto energibehov for bygningen skal ikke overstige energirammene i tabell 2.3.

Arbeidsmiljøloven § 4-4 setter krav til at arbeidsplassen er utformet slik at arbeidstakerne er sikret et fullt forsvarlig innneklima med luft fri for helseskadelige, sjenerende eller belastende forurensninger (Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, 2006).

Kravene som er gitt i TEK17 kapittel 14 – Energi, er gjengitt i Tabell 2.3. I tillegg er regelverket fra tidligere bygningskoder gjengitt. Kjennskap til byggteknisk tilstand for eksisterende bygningsmasse er viktig for å forstå sammensetningen og tilstanden til eiendomsporteføljen.

2.4.1 Utvikling av regelverket

Norge etablerte sin første bygningskode allerede i 1949 (BF49). Til sammenligning implementerte EU sin første byggeforskrift 41 år senere, i 1990. I senere tid har Norge oppdatert bygningsforskriftene seks ganger, senest i 2017 (Bøhn, Palm, Bakken, Nossun, & Jordell, 2012). De første nasjonale bygningskodene har ingen fokus på bygningens energi og energiytelse. Begrepet *god energiøkonomi* ble først brukt i 1987 (BF87), og inkluderer begrensninger i U-verdier på bygningskomponenter, samt isolasjon for å redusere oppvarmings-behovet. BF87 nevner også behovet for ventilasjon i bygg for å bedre innklimaet.

Som vist i Tabell 2.3, blir kravene til energibruk gradvis strengere i henhold til BF87. Spesielt har disse innstramningstiltakene påvirket energiforbruket til oppvarming, ventilasjon, belysning og kjøling. Fokuset på energi, og spesielt energieffektivitet, ble først introdusert i 1997 med setningen «Fremme et lavt energi- og kraftbehov» (TEK97 §8-2). Energikravene ble utvidet i TEK07 som i tillegg innførte krav til fornybare energikilder. Seneste utviklinger i den nasjonale bygningskoden er TEK10 og TEK17. Disse er nesten identiske når det gjelder tekniske krav, men TEK17 inneholder avklaringer innenfor flere kapitler på grunn av forskjellige tolkninger av tidligere regelverk. I tillegg er noen av grensene justert for å gi økt fleksibilitet og rom for å skape løsninger som markedet krever. Fjerning av visse krav gir større muligheter for individuelle tilpasninger (DiBK, 2017).

Tabell 2.3 - Tidligere og nåværende bygningsforskrifter (Bøhn, et al., 2012).

| Energiltak | BF49 | BF69 | BF87 | TEK97 | TEK07 | TEK10 | TEK17 |
|--|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| U-verdi yttervegg [W/(m ² K)] | 0.81-1.05 | 0.46-1.04 | 0.3 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| U-verdi tak [W/(m ² K)] | 0.81 | 0.41-0.46 | 0.2 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| U-verdi gulv [W/(m ² K)] | - | 0.41 | 0.2-0.3 | 0.15 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| U-verdi for vinduer og dører [W/(m ² K)] | - | - | 2.4 | 1.6 | 1.6 | 1.2 | 1.2 |
| Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA (min) | 20 % | 20 % | 20 % | 20 % | 20 % | 20 % | 25 % |
| Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%) | - | 25 % | 60 % | 65 % | 70 % | 80 % | 80 % |
| Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m ³ /s)] | - | - | - | - | 2 | 2 | 1.5 |
| Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa trykkforskjell [1/h] | 2.5-3.0 | 2.5-3.0 | 1.5-3.0 | 1.5-3.0 | 1.5 | 1.5 | 0.6 |
| Normalisert kuldebroverdi, der m ² angis som oppvarmet BRA [W/(m ² K)] | 0.04-0.08 | 0.05-0.12 | 0.05-0.12 | 0.03-0.06 | 0.03-0.06 | 0.03-0.06 | 0.05-0.07 |

2.4.2 Tekniske krav til eksisterende bygningsmasse

Plan- og bygningsloven (PBL) § 31-2 regulerer krav til tiltak på eksisterende bygninger. I samsvar med loven skal tiltak på eksisterende bygninger utformes og utføres i samsvar med kravene i bygningskoden. For mindre inngripende tiltak er dette begrenset til de delene av bygningen som tiltaket gjelder for (Norsk Kommunalteknisk Forening, 2015). Eksempelvis er det ved større tiltak som et fasadebytte i prinsippet krav om å følge de samme reglene for energieffektivitet som for nybygg. Dette betyr at det er krav om totalrehabilitering, gitt at bygningen ikke er fredet. Ved en totalrehabilitering kan selv kostbare tiltak, eller tiltak med høye materialutslipp, kreves gjennomført. Det er mulig å få unntak fra tekniske krav hvis kravene ikke kan tilpasses eksisterende bygninger på en fornuftig og økonomisk måte. Likevel er slike byggesaker kompliserte og tidkrevende. Ut fra Tabell 2.3 er det tydelig at kravene i byggeforskrifter har endret seg betydelig over tid, og for eldre bygninger er det store forskjeller i originale kvalitetskrav og dagens krav. Etter

hvert som regelverket strammes inn for å oppfylle målet om nullutslippsbygg, vil antageligvis problemet øke betydelig. Dette vil trolig føre til flere tilfeller der bygninger rives i stedet for å rehabiliteres.

2.4.3 Videre utvikling av byggeteknisk forskrift

Å innføre eget sett med TEK-krav for rehabilitering har blitt hyppig diskutert det siste tiåret. I dag er det ofte ikke teknisk eller økonomisk forsvarlig å følge nybyggskrav under en rehabilitering sammenlignet med nybygg-alternativet. Med tilpassede rehabiliteringskrav vil det være mulig å legge til rette for flere, og mer ambisiøse rehabiliteringer. Et annet alternativ som nylig er anbefalt av Grønn Byggallianse, er å innføre grenser for maksimale klimagassutslipp per kvadratmeter byggematerialer (Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom, 2020). I 2018 ble muligheten for å inkludere livssyklusbaserte miljøkrav i videreutviklingen av TEK undersøkt. Asplan Viak har rapportert om muligheter og suksessfaktorer, samt konsekvenser av å stille livssyklusbaserte miljøkrav i TEK. Ettersom livssyklusanalyser er svært komplekse, har de analysert hvilke aspekter av LCA-vurderingen som er kritiske for å gi en god evaluering av bygningens miljøpåvirkning. Rapporten konkluderer med at det både er mulig og hensiktsmessig å innføre livssyklusbaserte miljøkrav i TEK. For å gi en mer omfattende vurdering av bygningens miljøpresentasjon, bør klimapåvirkning, ressursbruk, stoffer som er helse- og miljøskadelige samt utslipp fra inneklimaløsninger, studeres. Rapporten konkluderte i tillegg med at materialbruk og energibruk under drift påvirker hverandre gjensidig. Det er derfor viktig at disse sees i sammenheng når man vurderer klimapåvirkningen gjennom hele livssyklusen. Dette er første gang forbindelsen mellom bundet energi og energibruk i drift blir vurdert implementert i TEK. Rapporten tar ikke stilling til påvirkning på rehabiliteringsprosjekter, men søker heller å øke fokuset på materialvalg til nybygg (Asplan Viak, 2018).

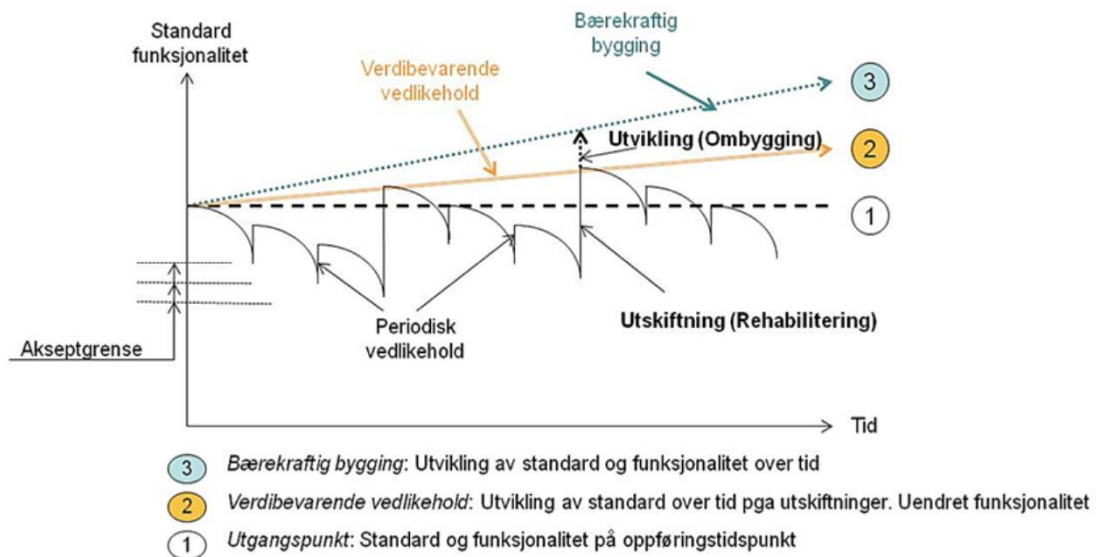
2.5 Energieffektiviseringstiltak

Store energibesparelser og økt energieffektivitet er nødvendig hvis EU-landene skal nå målene som er satt for energieffektivitet og CO₂-reduksjon. Energieffektivitet handler om å minimere energitap fra selve konstruksjonen i tillegg til å produsere energi med minst mulig tap i driften av bygningen. Dessuten er lavere energiforbruk viktig for forsyningssikkerheten i Norge, da lavere effektbehov vil avlaste strømmettet. Regjeringen har blitt kritisert for at virkemidlene de bruker for å nå sine miljøpolitiske ambisjoner i liten grad har bidratt til å nå målene om energieffektivisering. Dette betyr at man trenger en dypere forståelse av hvordan man kan stimulere til økt energieffektivitet (ZEB, 2016). I prinsippet er det tre ulike strategier for klimagassreduksjon i bygningsmassen: i) Storskala energieffektiviseringstiltak gjennom forbedret teknologi og brukeratferd, ii) elektrifisering av bygningssektoren, eller iii) avkarbonisering av energiforsyningssystemet, inkludert storskala innføring av fornybar energi ved eiendommer. Grunnet den lange levetiden til bygninger og bygningskomponenter, kombinert med en treg rehabiliteringssyklus, vil det ta lang tid før dagens tiltak realiserer betydelige utslippskutt. Kjennskap til ulike strategier er avgjørende for å bestemme hvilke tiltak de ulike scenariene bør innebære.

2.5.1 Energieffektivisering gjennom rehabilitering

Rehabilitering av en bygning handler om å oppgradere bygningen til sin opprinnelige tilstand eller bedre, for å imøtekomme dagens behov. Arbeidet inkluderer å erstatte bygningsdeler og komponenter for å løfte en bygning opp til et nivå som er akseptabelt etter dagens standard. Rehabilitering skiller seg fra vedlikehold, som utføres oftere, men som et mindre inngrep.

Forskjellen kan studeres i figur 2.9, der bygningens kvalitet er skissert i forhold til et akseptansenivå og utvikling av gjeldende krav (Nakstad & Engebakken, 2019). Bygningens standard funksjonalitet beskriver hvor godt bygget tilfredsstillende brukernes behov og tekniske forskrifter. Bygningens kvalitet og funksjon vil reduseres med tiden. Redusert funksjon forebygges gjennom periodiske intervaller for vedlikehold og utskiftning av materialer, komponenter og bygningsdeler. Etter en periode vil det i midlertidig ikke være tilstrekkelig med vedlikehold og enkle utskiftninger for å opprettholde et tilfredsstillende kvalitetsnivå. Det vil da bli foretatt en større rehabilitering for å tilfredsstillere strengere krav fra bruker og staten.



Figur 2.9 - Rehabilitering relatert til byggets kvalitet og alder (Byggordboka, 2017).

Rehabilitering av eksisterende bygningsmasse er identifisert som et viktig tiltak for å redusere miljøpåvirkning fra bygg- og anleggssektoren (Hasik, et al., 2019). Oppgradering og rehabilitering er viktige elementer i FDVU-modellen, der forvaltning, drift, vedlikehold og utvikling er definert innledningsvis i henhold til NS 3454 – Livssyklus kostnader for byggverk (Standard Norge, 2013). Terminologien brukt for vedlikehold og drift er tvetydig, og definert ulikt og delvis overlappende. Begrepet vedlikehold rommer modernisering, oppussing, rehabilitering, reparasjon og utbedring. Dette er tiltak som gjennomføres med kortere intervaller. Verdibevarende vedlikehold er definert som oppgradering og rehabilitering med utskifting av komponenter som møter dagens standard. Dette gjør eiendommen funksjonell, og legger til rette for adaptiv gjenbruk. Med bærekraftig rehabilitering vil bygget løftes til en standard over dagens krav som vil forlenge byggets levetid (Byggordboka, 2017).

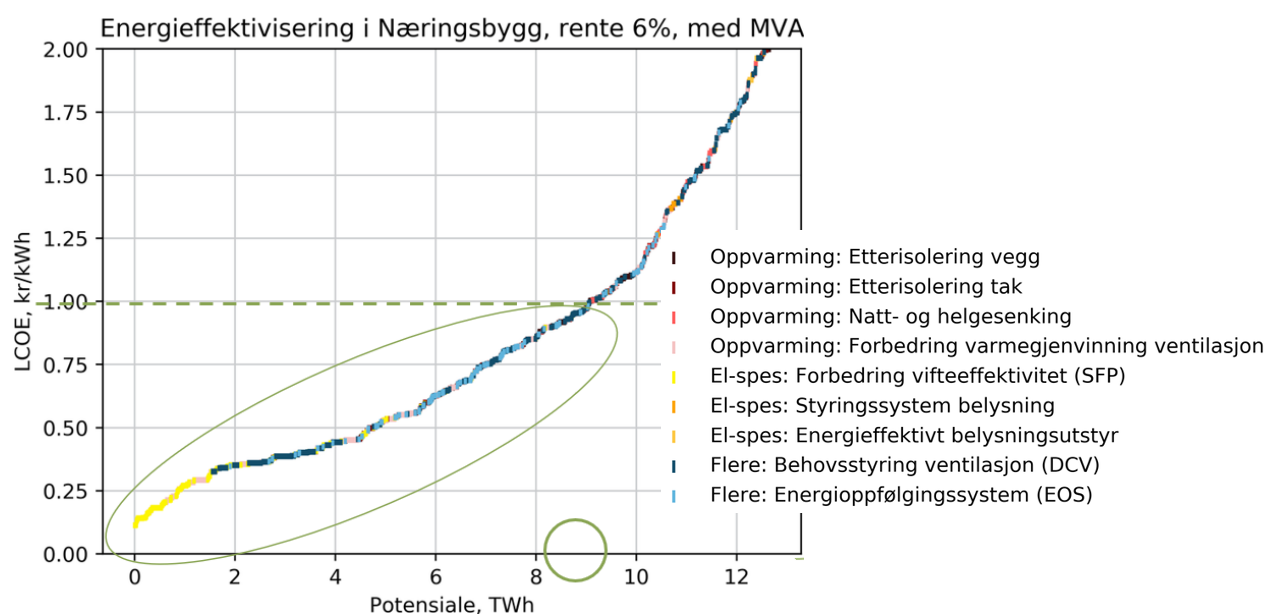
I eksisterende bygninger er de fysiske rammene for tiltaket allerede gitt. Dette betyr at mulighetene avhenger av forhold som teknisk standard, arealplan og vernestatus. Bæresystemet i bygget vil også være førende for hvilke løsninger som er realiserbare (Nakstad & Engebakken, 2019). Hvert bygg har en unik bygningskropp, lokasjon, formål og brukere. Det er derfor individuelt hvilke energitiltak som bør gjennomføres. Helt overordnet kan slike tiltak deles inn i struktur, oppvarming og kjøling, teknisk utstyr og brukeratferd. Eksempler på tiltak innenfor de ulike kategoriene er vist i Tabell 2.4 (Ibenholt & Fiksen, 2011). I en fersk rapport utgitt av NVE synliggjøres energieffektiviseringstiltak i kombinasjon med tilhørende kostnadsramme. Multiconsult har på oppdrag for NVE beregnet energibesparelse for en liste med 13 energieffektiviseringstiltak. Tiltakene er utført på dagens bygningsmasse representert ved de 13 bygningskategoriene i TEK 17. I tillegg er tilstand til

eksisterende bygg kartlagt slik at tiltakene kan simuleres for bygg fra fire byggeårsperioder, og på fem geografiske landssoner. Energieffektiviseringstiltakene representerer en oppgradering fra aktuell tilstand, datidens TEK, til dagens nybyggstandard TEK17. Analysen viser at bygningsmassen i Norge har et samlet lønnsomt potensial for energieffektivisering på 13 TWh. Dette vil tilsvare ca. 10 % av Norges strømforbruk i 2020. Det samlede potensialet gir ett oppgraderingspotensial på 9 TWh i næringsbygg (NVE, 2021).

Tabell 2.4 - Oversikt over ulike tiltak innenfor de fire hovedkategoriene (Fjærli Sjøthun, 2012).

| | |
|------------------------------|--|
| Struktur | <ul style="list-style-type: none"> • Etterisolering av yttervegg • Etterisolering av tak/loft • Etterisolering av gulv • Erstatning av vinduer og dører |
| Oppvarming og kjøling | <ul style="list-style-type: none"> • Natt- og helgesenkning • Varmepumpe • Ventilasjonsstyring (brukstid, behovstyrt) • Forbedre varmegjenvinner i ventilasjon • Forbedre vifteeffekten (SFP) • Automatisk solskjerming • Energystyringssystem (for eksempel SD-anlegg) |
| Teknisk utstyr | <ul style="list-style-type: none"> • Oppgradere hvitevarer, PCer og annen elektronikk • Energieffektivt belysningsutstyr |
| Brukeratferd | <ul style="list-style-type: none"> • Energioppfølgingssystem (EOS) • Tilstedeværelsessensorer (styringssystem belysning) |

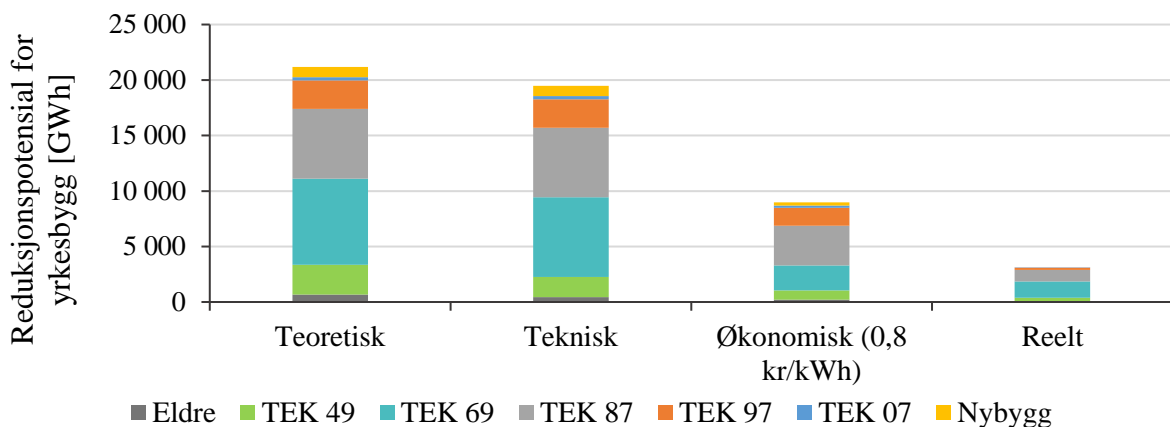
Ved gjennomføring av prosjektet har NVE og Multiconsult definert representative bygningsmodeller for hver bygningskategori. For alle tiltak er *levelized cost of energy*, LCOE, beregnet for å sammenligne kostnaden til de 13 ulike tiltakene. Figur 2.10 viser resultatet ved



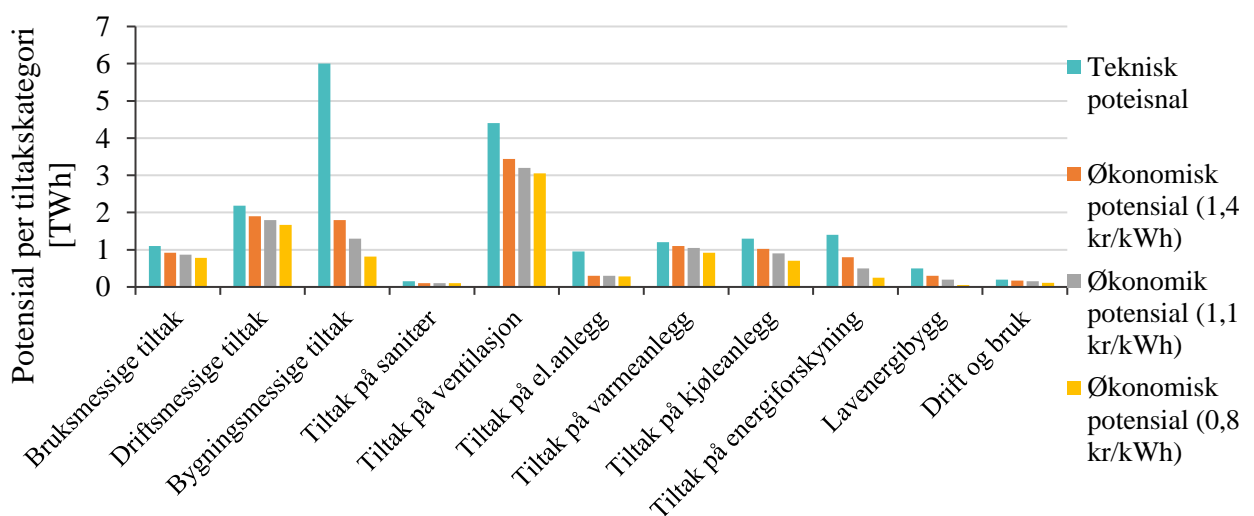
Figur 2.10 - Potensialet for energieffektivisering i norske næringsbygg gitt en rente på 6 % (NVE, 2021).

normal internrente på 6 %. Det antas at alle tiltak med LCOE under 1 kr/kWh vil være lønnsomme. Figur 2.10 viser at de billigste tiltakene i studien er energioppfølging, natt- og helgesenking, etterisolering av vegg og kaldloft, energieffektiv og behovstyrt belysning og ventilasjonstiltak som forbedret vifteeffekt, behovstyring og varmegjenvinning. I tillegg viser rapporten at energioppfølgingssystemer også er viktig med tanke på økt fleksibilitet ved eiendommen.

Potensialet for reduksjon er videre analysert i en studie gjennomført av Enova i 2012 (Enova, 2012). Studien i figur 2.11 skiller mellom fire ulike potensial: Teoretisk potensial, teknisk potensial, økonomisk potensial og reelt potensial. Det teoretiske potensialet er energibesparelsen som er mulig å oppnå ved å rehabilitere hele bygningsmassen til TEK10 nivå. Dette er uten å ta hensyn til hva som teknisk mulig og lønnsomt for eksisterende bygg. Det tekniske potensialet er den andelen av teoretisk potensial som er teknisk gjennomførbart. Økonomisk potensial er videre den andel av det tekniske potensialet som er økonomisk lønnsomt. Avslutningsvis er reelt potensial det potensialet man kan anta realiserbart, grunnet det faktum at ikke alle økonomiske tiltak nødvendigvis gjennomføres. Forskjellen på teknisk og økonomisk potensial er viktig da fremtidige insentiver vil påvirke hvilke tiltak som er økonomisk lønnsomme. Studien viser at bygninger datert fra perioden 1970-1997 har det største potensialet for utslippskutt. Dette skyldes at hoveddelen av Norske yrkesbygg daterer fra denne perioden. Det er et stort skille mellom teknisk potensial og tiltak som er økonomisk lønnsomme, med en reduksjon fra 400 GWh/år til 140 GWh/år.



Figur 2.11 - Potensial for oppgradering av yrkesbygg fordelt på ulike alderskohorter (Enova, 2012).



Figur 2.12 - Potensial per tiltakskategori gitt ulik kostnad per kWh (Multiconsult, Analyse & Strategi, 2011).

Figur 2.12 viser sammenhengen mellom reduksjonspotensialet fordelt på tiltakskategorier for Norske yrkesbygg (Multiconsult, Analyse & Strategi, 2011). Figuren viser at det største tekniske potentialet er bygningsmessige tiltak, altså tiltak som tetter bygningskroppen for å redusere varmetap. Denne tiltaksgruppen er derimot sterkt redusert når man ser på økonomisk potensial. Dette er grunnet høye investeringskostnader som igjen gir lav grad av lønnsomhet. Tiltak på luftbehandlingsanlegg som innebærer bedret vifteeffekt og forbedring av varmegjenvinner gir høyest realiserbart potensial. Dette samsvarer med analysen gjennomført av Multiconsult på vegne av NVE.

2.5.2 Lokal energiproduksjon

Utvikling av nullutslippsbygg, ZEB, har ført til hyppig utvikling av teknologi for lokal energiproduksjon. Den mest brukte fornybare energikilden i nullutslippsbygg er solcellepaneler (Marszal, et al., 2011). Lokal energiproduksjon vil i likhet med energioppgradering av selve bygningskroppen, redusere behovet for levert energi. Solceller leverer typisk 100 til 170 kW per kvadratmeter solcelleareal, men dette avhenger av solinnstråling, innstrålingsvinkel og skygge fra omkringliggende omgivelser (Norsk solenergiforening, 2021). Lokal energiproduksjon, spesielt fra solceller, vil drastisk endre energilastprofilen til en eiendom sett fra strømmnettets perspektiv (Lindberg, 2017). Dette er fordi bygningen både forbruker og produserer elektrisitet, og skaper et netto behov for levert energi gitt ut fra figur 3.

$$E_{NET} = E_{last} - E_{PV} \quad [kWh] \quad (3)$$

Et annet sentralt tiltak for å redusere elektrisitetsbehov er installering av varmepumpe. Tiltaket er ikke vurdert i denne oppgaven, men vil være viktig for lignende studier. På oppdrag fra Norsk Varmepumpeforening har Gehør strategi gjennomført en beregning av energibesparelspotensialet for installering av varmepumper i eksisterende bygningsmasse. Resultatet estimerer et potensial på 2.5 TWh i 2030 for yrkesbygg. Det største energibesparelspotensialet vil realiseres ved å installere varmepumper for eksisterende eiendommer som ikke har varmepumpe som eksisterende energikilde. Potensialet er beregnet med bakgrunn i Enovas studie fra 2012 diskutert tidligere i oppgaven (Grini & Oksvold, 2019).

2.5.3 Økonomisk levetid på tiltak

Et sentralt aspekt rundt bærekraftige rehabiliteringer er levetiden til bygningskomponentene. Ifølge DiBK defineres levetiden til et bygg eller en bygningsdel som den tiden det tar til byggets eller dets deler ikke lenger tilfredsstillende gitte minimumskrav (Multiconsult, 2009).

Tabell 2.5 - Økonomisk levetid for komponenter og tiltak.

| Anleggstype | Levetid |
|--------------------------|---------|
| Automatikk | 10 år |
| Lysanlegg | 15 år |
| Ventilasjon | 20 år |
| Solceller | 25 år |
| Varme og ledningsnett | 30 år |
| Bygningsmessige arbeider | 30 år |

Levetid skiller seg fra brukstid som er den totale levetiden for bygget, inntil rivning eller større ombygginger skjer. I henhold til bygningsdirektoratet og §6 – *Lov om offentlige anskaffelser* kreves det at livssyklus kostnader beregnes i alle offentlige byggeprosjekter. Levetiden til de ulike bygningsdelene i bygget er viktig bakgrunnsinformasjon for å kunne beregne livssyklus kostnader på en god måte. Økonomisk levetid brukt innad i Statsbygg er vist i tabell 2.5. Det skilles i hovedsak mellom fire ulike levetider. Hvert av disse begrepene er relatert til byggets funksjonalitet, det vil si om bygget eller bygningsdelen oppfyller krav til ønsket funksjon. De fire levetidene er teknisk-, funksjonell-, økonomisk- og estetisk levetid. Den tekniske levetiden er definert ut fra tiden det tar å slite ut en bygningsdel eller komponent. Den tekniske levetiden avhenger av materialkvalitet, design, utførelse, eksponeringsmiljø, brukerbelastning og vedlikehold. Selv om en bygningskomponent fungerer rent teknisk, vil den ikke nødvendigvis tilfredsstille kravene for en eiendom. Funksjonell levetid er tiden inntil en bygningsdel ikke lenger tilfredsstiller opprinnelige krav, eller som følge av endrede brukerkrav. Funksjonell levetid er ifølge rapporten generelt lavere enn teknisk levetid for enkelte bygningsdeler. For eksponerte komponenter som for eksempel gulvbelegg eller maling, kan estetisk levetid være førende. Økonomisk levetid er definert ut fra tiden der totaløkonomien ved å beholde og vedlikeholde en bygningsdel er mindre gunstig enn totaløkonomien ved å skifte den ut med en tilsvarende bygningsdel. Den økonomiske levetiden til en komponent eller tiltak vil derfor tilsvare den reelle levetiden.

2.5.4 Dagens rehabiliteringstakt

Enova antar i sine statistikker at totalrehabilitering av bygninger skjer i sykluser på 30 til 40 år, hvorav 40 år er satt som mest sannsynlig rehabiliteringstakt (Enova, 2019). Likevel legger Enova vekt på at rehabilitering og lignende terminologi er uklar når det gjelder omfang. En uklar definisjon av rehabiliteringsraten vil gjøre det vanskelig å måle prosentvise rehabiliteringer. I en rapport fra 2015 foreslår Enova følgende definisjon: «*Rehabilitering av en bygning innebærer en reparasjon med sikte på å sette bygningen tilbake til den opprinnelige standarden og funksjonaliteten*» (Enova, 2015). En større rehabilitering vil typisk innebære en delvis rivning og rekonstruering av bygningen, med mer enn 25 % klimagassreduksjon, eller eventuelt en kostnad på mer enn 25 % av bygningens økonomiske verdi. Ut fra denne definisjonen, er rehabiliteringsraten den årlige andelen av bygningsmassen som gjennomgår en større rehabilitering. I sin rapport skiller Enova mellom rehabilitering og energioppgradering. En energioppgradering defineres som en rehabilitering som inkluderer en betydelig forbedring av bygningens energitilstand.

Selv om det ikke er samfunnsøkonomisk forsvarlig å rehabilitere store deler av bygningsmassen med en gang, er det fortsatt viktig å rehabilitere en større andel av bygningsmassen enn i dag. Til tross for et betydelig potensial for utslippsreduksjon, er Norges nasjonale årlige rehabiliteringsgrad estimert til å være rundt 1 til 1.4 % av den totale bygningsmassen (Sartori, Sandberg, & Brattebø, 2016). Dette er noe høyere enn i EU der EU-kommisjonen antar at 0.4 til 1.2 % av bygningsmassen rehabiliteres hvert år (Fufa, Flyen, & Venås, 2020). Andelen er forventet å øke til ca. 2 % til 3 % i samsvar med EU sin målsetting om en mer energieffektiv bygningsmasse (BPIE, 2020). Studier viser at oppgradering av eksisterende bygningsmasse har potensial til å redusere EUs totale energiforbruk og klimagassutslipp med ca. 5 % til 6 %. Endring av politikk i EU vil også ha stor betydning for Norges prioriteringer. Rehabilitering av den europeiske bygningsmassen er fremhevet i gjenopprettingsprogrammet for å redusere skaden fra COVID-19. I følge EPBD vil dette føre til en tredobbelt effekt med økt økonomisk aktivitet, økt sysselsetting og videre oppnåelse av Europas klima- og energimål (BPIE, 2020).

2.5.5 Barrierestudie

I nevnte potensial og barrierestudie utført av Enova presenteres de viktigste grunnene til at eksisterende bygningsmasse ikke rehabiliteres (Enova, 2012). Studien har som formål å avdekke de største barrierene og holdningene knyttet til rehabilitering og vedlikehold av bygningsmassen. Konklusjonen er at spesielt de økonomiske barrierene vil være avgjørende for om en rehabilitering gjennomføres eller ikke. Dette er interessant da fremskrivningsmodeller som kartlegger potensialet for reduksjon i levert energi, kan være helt avgjørende i tildeling av finansielle midler. Dette er fordi de muliggjør konkretisering av resultatet fra ulike tiltak. En oversikt over de ulike barrierene som fremheves i studien er gjengitt i tabell 2.6.

Tabell 2.6 - Barrierer ved rehabilitering eller vedlikehold av eksisterende bygningsmasse (Enova, 2012).

| Barrierekategori | Konkrete barrierer |
|-------------------|---|
| Praktiske | Forankring i egen organisasjon Motstridende myndighetskrav Kontoraktutforming mellom eier og leietager som gir riktige insentiver |
| Økonomiske | Rigid rammeverk for offentlige aktører Offentlige virksomheter får ikke låne penger Høye investeringskostnader |
| Holdninger | Lav bevissthet knyttet til energibruk Bedriftskultur/skepsis til energieffektivisering |
| Kunnskap | Manglende kunnskap rundt lønnsomhet ved energieffektivisering Manglende kompetanse knyttet til drift av bygg |

2.6 Simuleringsverktøy for scenariefremskrivning

Litteraturstudiet har avslutningsvis undersøkt behovet og potensialet for å fremskrive energiforbruk og klimagassutslipp for eiendomsporteføljer. Bruk av scenariefremskrivning er tidligere brukt både på nabolagsnivå ved etablering av nye områder, og på landsbasis for å kartlegge nasjonale utslipp. For eiendomsforvaltere kan det likevel være relevant å bruke slike simuleringsverktøy for å få en helhetlig vurdering av eiendomsporteføljen, samt hvilke tiltak som er hensiktsmessige for å redusere klimagassutslipp i samsvar med planlagte ambisjoner. På denne måten kan det bli aktuelt å bruke scenariefremskrivning for å etablere veikart som tar sikte på langsiktige mål, som for eksempel å være klimanøytrale innen 2050. I arbeidet med å lage en klimagassutslippsmodell for eiendomssektoren, vil det være gunstig og tidsbesparende å ta utgangspunkt i eksisterende programvare for å utvikle et nytt rammeverk for modelleringen. Dette delkapitlet presenterer ulike programvareverktøy for å modellere utviklingen i energiforbruk og energibehov.

I 2016 ble det utgitt en rapport som sammenligner fremskrivningsmodeller for fremskrivning av energibehov (Soto & Jentsch, 2016). Klassifisering av modellverktøy gjøres gjerne på to ulike måter, top-down og bottom-up, avhengig av modellens oppbygging. For en top-down modell er det energiforbruket i modellen som er grunnleggende, mens man senere legger inn individuelle faktorer som kan påvirke energibehovet. Slike faktorer er for eksempel befolkningsvekst eller økt velstand. Fordelen med slike modeller er at det er mindre behov for statistisk data og kunnskap rundt ulike påvirkningsfaktorer. I en bottom-up-modell derimot inkluderes først alle individuelle faktorer som

vil påvirke energibehovet. Når disse grupperes og linkes sammen, kan man modellere energibehovet frem i tid. Bottom-up-modeller er ofte mer detaljerte, noe som kan identifisere påvirkning fra ulike enkelttiltak. Likevel fordrer slike modeller et detaljert og pålitelig datasett.

Modellering av energibehov skiller ofte mellom statistiske og bygningsfysiske modeller. Statistiske modeller beregner energibehovet ved hjelp av statistikk, for eksempel ved bruk av aktivitetsanalyse som utvikling i areal og spesifikk energibruk. Statistiske modeller er bygget opp fra bunnen da statistikken må innhentes for å modellere energibehovet. Dette gjør at statistiske modeller ofte er svært detaljerte. Innsamling av statistikk kan gi brukeren en god forståelse av påvirkningen fra ulike aktiviteter og enkelttiltak, samtidig som det setter høye krav til kvaliteten på data. Ulemper ved statistisk modellering er derfor usikkerhet rundt statistikkgrunnlaget, samt økt stimuleringsperiode grunnet detaljerte modelleringer. Ved bygnings-fysiske modeller vil energibehovet beregnes som en funksjon av byggets fysiske egenskaper. Dette betyr at bygningstype, energibehov, isolasjonstykkelse og varmetilskudd fra brukere, sola og utstyr, fremskrives ut fra hvordan tekniske faktorer endres over tid (Soto & Jentsch, 2016).

Det er utviklet flere ulike modeller for fremskrivning av både energibehov, energiforbruk og klimagassutslipp. Behovet for utvikling av slike fremskrivningsmodeller på ulike nivåer og til ulike formål har ført til utvikling av modellverktøy med ulikt omfang. Modellene har ulikt bruksområde, tidsramme og metode, og det er derfor viktig å undersøke hvilke typer fremskrivningsmodeller som er mest hensiktsmessige for komplekse eiendomsporteføljer. For å begrense oppgavens omfang er det kun gjennomført litteraturstudie av tre modeller utviklet i samarbeid med NTNU eller SINTEF. To av de mest omfattende modellene og prosjektene gjennomført i samarbeid med NTNU er EPISCOPE og CenSES. Videre presenteres tre ulike scenariomodeller der den sistnevnte er valgt for fremskrivning av Statsbygg sin eiendomsportefølje. Ut fra litteraturstudien er det ikke kjennskap til at av disse tidligere blitt brukt på detaljnivå for komplekse eiendomsporteføljer. Det er derfor stort potensial for utvikling av bedre modellverktøy for fremskrivning av eiendomsporteføljer på en mer brukervennlig måte.

EPISCOPE

EPISCOPE, *Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimization of Refurbishment Processes in European Housing Stocks*, er et EU-finansiert prosjektsamarbeid i forlengelse av IFE-prosjektet TABULA. Prosjektet utføres som et samarbeid mellom Institutt for energiteknikk (IFE), Institut Wohnen und Umwelt, SINTEF og NTNU under prosjektledelse av Helge Brattebø ved NTNU. EPISCOPE jobber for å kartlegge den europeiske bygningsmassen de neste tiårene relatert til klimagassutslipp. EPISCOPE har som mål å utvikle en felles metodikk i form av verktøy og analyser, for å beregne og fremskrive energibruk i bygg for 16 ulike EU-land. På denne måten vil energirehabilitering i den europeiske boligmassen bli mer effektiv og transparent, slik at målsettingen om redusert klimagassutslipp kan realiseres. Prosjektet har utviklet et sett med bygningstypologier for hvert land, basert på kunnskap om boligmassens sammensetning, energibruk og utviklingsforløp. Typologien benyttes videre for å studere trender og utviklingsforløp frem i tid, for å vurdere hvilke virkemidler som kan bidra til ønsket utvikling. Det ble i 2015 utgitt foreløpige resultater for fremskrivninger av energiforbruk i Norske husholdninger frem mot 2050. Her ble det totale energiforbruket til oppvarming og ventilasjon i boliger fremskrevet frem til 2050 for tre scenarier. Det samlede energiforbruket til oppvarming og ventilasjon av boliger vil ifølge disse resultatene reduseres fra 35.8 TWh i 2015 til mellom 24.3 og 29.3 TWh i 2050 (EPISCOPE, 2016) (Brattebø, O'Born, Sartori, Klinski, & Nørstebø, 2016).

Hovedresultatet fra EPISCOPE er et samlet sett med energiytelsesindikatorer, KPIer, som skal gjøre det mulig for nøkkelaktører og interessenter på forskjellige nivåer å sikre høy kvalitet på energioppgraderinger. Dette innebærer overholdelse av regelverk, å spore og styre rehabiliteringsprosessene på en kostnadseffektiv måte, og å vurdere de egentlig oppnådde energibesparelsene. Et langsiktig mål er å installere «*bottom-up*» overvåkingsprosedyrer i hvert europeisk land på forskjellige felt: I energisertifikatdatabaser, representative undersøkelser, regional eller nasjonal folketelling, oppvarming eller energiberegninger, strategisk ressursutvikling og energiledelse (EPISCOPE, 2016).

FME CenSES – Senter for studier av bærekraftig energi

FME CenSES er et nasjonalt forskningssenter ved NTNU som studerer endringsstrategier for bærekraftige energisystemer. Med visjonen «*Kunnskap for en bærekraftig energiomstilling*» har senteret som hovedmål å etablere et bedre faktagrunnlag for offentlige og private beslutningstakere innenfor klimapolitikk, energipolitikk og næringspolitikk. Senteret kombinerer styrken til ledende norske samfunnsvitenskapelige forskningsinstitusjoner med støtte fra internasjonale partnere og viktige norske interessenter. Dette gir et kunnskapsgrunnlag for hvordan man skal håndtere slike utfordringer når man utvikler nasjonal energi- og klimapolitikk, og for strategier for innovasjon og kommersialisering. Et viktig aspekt er å forstå og undersøke hvordan økonomiske, politiske, sosiale og kulturelle aspekter av samfunnet endres med innføring og utvikling av teknologier og løsninger med lite karbon, og hvordan eksisterende strukturer hindrer ønsket endring. Scenarioutvikling er et av deres fem fokusområder (Centre for Sustainable Energy Studies, 2019).

Gjennom prosjektet ble det i 2014 utarbeidet energifremskrivninger for Norge frem mot 2050 for sektorene: Husholdninger, tjenesteytende næringer, industri og transport ved Institutt for energiteknikk (IFE). Prosjektet benyttet aktivitetsanalyse som metode i Excel, basert på drivere for areal og energiintensiteten. Ved å utnytte allerede eksisterende modeller i Excel, eller eventuelt å utvikle en egen modell, vil man oppnå stor fleksibilitet. Denne friheten gjør det mulig å utforme modellen slik at man kan produsere de resultatene som er ønskelige. Dette gjør at man selv kan bestemme kvaliteten på inndata i forhold til data som er tilgjengelig. Fleksibilitet er spesielt fordelaktig for komplekse eiendomsmasser.

LEAP

Long-range Energy Alternatives Planning system, forkortet LEAP, er utviklet av Stockholm Institute i Boston. LEAP er et scenariobasert verktøy som analyserer utslipp på nasjonalt nivå. Scenarioverktøyet er internasjonalt og har brukere i 190 land. Ved å ta utgangspunkt i vekstparametere som befolkningsvekst og energibehov, kan modellen blant annet analysere virkningen av energipolitiske tiltak på nasjonal energiproduksjon, energibruk og klimagassutslipp for et ubegrenset antall simuleringsår. Verktøyet er fleksibelt i den betydning at brukeren selv definerer scenarier, og bygger opp disse. Dette gjøres ved å bestemme hvilke sektorer, underkategorier og teknologier som inkluderes i modellens struktur. Valg av energibærere gjøres ut fra en forhåndsbestemt liste. Kompleksiteten til scenariooppbyggingen gjør modelleringen tidkrevende og mindre brukervennlig, samtidig som det gir høy grad av fleksibilitet og frihet. Dette betyr at kvaliteten på resultatene i stor grad avhenger av kvaliteten på empirisk data i referanseåret, samt antagelser gjort ved etablering av scenarier. Bruk av LEAP krever derfor detaljert statistikk og informasjon om baseåret, samt kompetente brukere, for å gjøre beregninger rundt fremtidig utvikling (Soto & Jentsch, 2016).

PI-SEC

Planning Instruments for Smart Energy Communities, forkortet PI-SEC, er et norsk forskningsprosjekt finansiert av Forskningsrådet. Prosjektet har som målsetting å utvikle brukervennlige og effektive planleggingsverktøy for energisystemer og energibruk på område- og nabolagsnivå. Prosjektet har resultert i PI-SEC scenariokalkulator som knytter detaljerte, lokale tiltak til overordnede klimamål. Kalkulatoren er et Excel-basert beslutningsverktøy og er brukervennlig også for de uten kompetanse på området. Dette gjør at verktøyet kan brukes som diksjonsgrunnlag for beslutningstagere med ulike fagbakgrunner. Verktøyet krever detaljert kunnskap til eiendommene i området, inkludert transport og infrastruktur (Walnum, Lien, Hauge, & Lindberg, 2019). En sentral del ved PI-SEC verktøyet er bevissthet rundt nøkkelindikatorer, altså KPIer. Hvilken indikator man vurderer for klimamål, baseres ofte på hvilke data som er tilgjengelig i form av data eller målinger, og hvilke verdier man ønsker å endre. På denne måten kan strategier for å redusere klimagassutslipp i dag baseres på fremtidige scenarier. Dette gir et innblikk i hvilke tiltak som må introduseres lokalt, kommunalt og nasjonalt for å realisere klimamål frem i tid.

ZEN

FME ZEN har utarbeidet en nabolagsmodell som modellerer bygningsmassen ved hjelp av langsiktige, dynamiske analyser av energibehovet og klimagassutslipp (Næss, et al., 2018). Scenariomodellen er en bottom-up modell basert på prinsipper for dynamisk materialflytanalyse (MFA). Ved å kartlegge eiendomsmassen i form av eksisterende eiendommer, nybygg og rivning tillater modellen å analysere den langsiktige utviklingen av bygningsmassen på områdenivå. Modellen undersøker utviklingen av et område over tid med hensyn til størrelse, komposisjon, energibehov og klimagassutslipp assosiert med energiforbruket. Modellen er generisk og kan derfor enkelt tilpasses andre formål som for eksempel en sammensatt bygningsmasse slik som Statsbygg sin eiendomsportefølje. MFA-modellen kan brukes for å kartlegge utviklingen i energibehov og klimagassutslipp for et ubegrenset antall scenarier. På denne måten kan resultatene gi et innblikk i hvilke strategier som er mest hensiktsmessige.

3. Metodikk

Dette kapitlet gir en oversikt over metodikken som danner grunnlaget for utarbeiding av oppgaven. Først vil datasettet fra Statsbygg bli presentert, samt metodikken bak segmentering av eiendomsporteføljen. Dette danner grunnlaget for kapittel 4 som presenterer kartlegging av eiendomsporteføljen relatert til energibruk og klimagassutslipp. Videre presenteres oppbygging av referansemodellen som brukes for å danne energilastprofiler for fremskrivning av porteføljen. Referansemodellen og resultatet fra energieffektivisering er presentert i kapittel 5. Metodikken til MFA-modellen som brukes til å fremskrive eiendomsmassen er presentert avslutningsvis. Til sammen vil disse gi grunnlag for å beregne potensialet for klimagassreduksjon fra ulike scenarier. Resultatet av scenariefremskrivningen framstilles i kapittel 6.

3.1 Fremgangsmåte

Som et resultat av at oppgaven er relativt omfattende, er store deler av metodikken basert på eksisterende prosjekter og masteroppgaver. Innledningsvis ble det gjennomført en litteraturstudie for å undersøke dagens praksis rundt etablering av veikart for eiendomsporteføljer. For store eiendomsforvaltere som Statsbygg stilles det stadig høyere krav til målsetting, men det er generelt mangel på styringsverktøy for å velge ut tiltak i et langsiktig perspektiv. Oversikt over de ulike modellene som er vurdert ble presentert avslutningsvis i litteraturkapitlet. For å oppnå ønsket datakvalitet er det valgt å ta utgangspunkt i en modell som er tilpasset scenariefremskrivning på områdenivå. På denne måten kan hver enkelt eiendom modelleres individuelt, og ikke som et resultat av vekstparametere som befolkning og velstand. Valg av modell er svært ledende for inndata slik at modellvalg legger premissene for oppgaven.

Kunnskap rundt Statsbygg sin eiendomsportefølje er basert på flere datasett som ble gjort tilgjengelig underveis i oppgaven. Datasettene inneholder verdier for hver enkelt eiendom på årsnivå, og er derfor ikke detaljert nok for å modellere bygningene individuelt. Dette er fordi modellen krever timesprofiler for eiendommer fra ulik alder og tilstand. Det er derfor behov for å etablere realistiske referansebygg for å simulere timesprofilene for levert energi. Statsbygg sin eiendomsportefølje er kompleks og inneholder eiendommer fra hele landet. Eiendommene er derfor sted- og temperaturkorrigert slik at simulerte verdier kan kalibreres mot reelle data. Dette krever etablering av en tilpasset klimafil for lokasjonen brukt til stedkorrigering. Grunnet tidsperspektivet til oppgaven er et tidligere referansebygg fra Gløshaugen benyttet som grunnmodell. Referansebygget er tilpasset tilstanden til typiske undervisningsbygg eid av Statsbygg, og endret i forhold til alderskohorter. Timesprofiler for levert energi er hentet ut for ulike soner slik at grunnmodellen kan utnyttes for å simulere andre bygningskategorier.

MFA-modellen for scenariefremskrivning er tilpasset simulering på områdenivå. Modellen og inndata krever derfor tilpasning for å kunne benyttes for simulering av en kompleks eiendomsportefølje bestående av flere bygningskategorier. Videre er scenarier utarbeidet i samarbeid med forskere ved industriell økologi. Disse er valgt på bakgrunn av Statsbygg sin egen tiltaksliste kombinert med deres ambisjoner, og det er fokusert på at alle scenarier skal være realistiske med tanke på gjennomføring. Resultatene fra MFA-modellen er videre brukt for å trekke konklusjoner rundt kvaliteten på inndata, og muligheten for å videreutvikle MFA-modellen som verktøy for å redusere klimagassutslipp på porteføljenivå.

3.2 Datainnsamling

Statsbygg sin eiendomsportefølje er brukt som case for å prøve ut metodikken for scenariofremskrivning av en eiendomsportefølje. Statsbygg har bidratt med datagrunnlaget for oppgaven, i tillegg til å være tilgjengelig for spørsmål rundt eiendomsporteføljen, og forvaltning og drift av denne. Energirapporten for 2020 inkluderer bygningsnavn, bygningskategori, bruttoareal og formålsdelt energibruk for 374 eiendommer. Energirapporten inneholder ikke viktige parametere som byggeår og vernestatus. Parameterne er innhentet fra et annet ubehandlet datasett med energibruk for 2019 og 2020, for å danne utgangspunkt for kartlegging av sammenhengen mellom energibruk og bygningsalder. Kjennskap til levert energi for 2019 muliggjør også undersøkelser rundt COVID-19 pandemien sitt utslag på energiforbruket. Detaljert informasjon for eiendomsporteføljen og de ulike bygningskategoriene er presentert i vedlegg A, og videre kartlegging av eiendomsporteføljen for casestudien er gitt i kapittel 4.

Energirapporten inkluderer også levert energi fordelt på ulike energivarer. Rapporten er etablert av Morten Bjerknæs i Statsbygg, og vil være underlag for beregningen av klimagassutslipp. Driftsavdelingen har også tilgjengeliggjort tiltakslisten for de to siste årene. Listen gir oversikt over energioppgradering og vedlikehold, og danner grunnlag for antagelser rundt referansescenariotet. For større energioppgraderinger er gjennomsnittlig alder på eiendommene 45 år, og dette er satt som rehabiliteringstakt for porteføljen uten økt fokus på rehabilitering. Listen gir også et godt innblikk i hvilke tiltak som er relevante å inkludere i oppgavens tiltakspakker. Likevel gir ikke dataen informasjon om målt levert energi etter innføring av tiltak. Den beregnede energibesparelsen inkluderer ikke mulig rebound effekt, og kan derfor ikke antas å være en reell besparelse. Rebound effekt skjer når en energieffektiv bolig oppvarmes til høyere temperaturer enn antatt i beregninger, på grunn av komfortfaktoren og de lave merkostnadene ved temperaturøkning. Energisparing etter rehabilitering kan da være betydelig lavere enn det tekniske energisparepotensialet (Sandberg, Sartori, Vestrum, & Brattebø, 2017).

Energidata og bygningsdata er rådata og må derfor bearbeides grundig. For flere av bygningene har heller ikke fullstendig data vært tilgjengelig. Det har derfor blitt viet mye tid til å bestemme hvilke av eiendommene som skal inkluderes i kartleggingen. Bygninger med ufullstendig data relatert til energibruk eller areal har automatisk blitt ekskludert på bakgrunn av mangelfull data. Etter bearbeiding av datasettet er 374 eiendommer med registrert levert energi redusert til 364 eiendommer. I tillegg har årstall og vernestatus vært viktige variabler. Årstall er et sentralt objektive kriterium fordi det er viet stor interesse til sammenhengen mellom bygningens årstall og energiintensitet. I tillegg er vernestatus viktig da vernede eiendommer må skilles ut i scenariofremskrivningen da de ikke vil kunne rives, eller rehabiliteres i samme grad som andre eiendommer. Mangel på registrert årstall gjelder for 25 av de totalt 364 eiendommene. For å inkludere et videre spekter av eiendommer, er det bestemt at alle eiendommer uten registrert årstall antas å være bygget før 1950 og eiendommer uten registrert vernestatus antas uten vern. Det er ansett som sannsynlig at det i hovedsak er eldre bygninger som mangler årstall.

3.3 Kartlegging av eiendomsporteføljen og etablering av kohorter

Dataene er behandlet ved bruk av Microsoft Excel. Excel gjør det mulig å behandle data på en oversiktlig og anvendelig måte, da samme prosess enkelt kan gjennomføres for mange eiendommer. Dette er spesielt gunstig da gjennomsnittlige verdier kan arealvektes på en tidsbesparende måte. Excel er også benyttet innad i Statsbygg for å registrere energi- og bygningsdata, samt utgangspunkt for inndata i MFA-modellen. En ulempe ved Excel er problemer med å prosessere store mengder

data simultant. Programmet har derfor lett for å kortslutte ved innlemming av detaljert og timesbasert data for en stor eiendomsportefølje.

For å kartlegge tilstanden til ulike bygningskategorier og tilstander i eiendomsporteføljen, har det vært nødvendig å danne et godt sammenligningsgrunnlag. Årlig spesifikk energibruk, altså energiintensiteten, er brukt for å sammenligne ulike eiendommer innenfor samme kategori. Dette er fordelaktig for å sammenligne dagens energibruk med gjeldende krav i TEK 17, og undersøke gapet mellom ambisjoner og faktiske utslipp fra porteføljen. Spesifikt energiforbruk E , er definert i formel 4.

$$E = \frac{\text{Årlig energiforbruk}}{\text{Areal (BRA)}} \quad [kWh/m^2\text{år}] \quad (4)$$

Oppvarmingsbehovet avhenger av utetemperatur. For å sammenligne bygg fra ulike lokasjoner må energiforbruket temperatur- og stedskorrigeres. Bruken av graddagstall tar høyde for differansen mellom temperaturen og normalen, samt om lokalklimaet differerer fra landsgjennomsnittet (Enova, u.d.). Gjennom behandling av datasettet er alle eiendommer i porteføljen temperatur- og stedskorrigert i forhold til Oslo temperaturer. Dette utjevner geografiske forskjeller i utetemperatur, og derfor levert energi til oppvarming. Vektingsverdier for Blindern med normalperiode 1981 til 2010 er brukt for å kunne sammenligne eiendommer fra ulike lokasjoner. Temperatur- og stedkorrigert energibruk er også hensiktsmessig da scenariomodeller konstruert for områdenivå kan utnyttes for eiendommer fra ulike lokasjoner. Formel 5 viser spesifikk tilført temperaturkorrigert energibruk. Bruk av formelen krever at tilgjengelig energidata er formålsdelt. Om formålsdelt energidata ikke er tilgjengelig, kan nøkkeltall fra Enova benyttes (Enova, 2005). Legg merke til at disse verdiene er utdaterte og kan redusere kvaliteten på videre fremskrivning.

$$E_T = E \cdot a_{temp,uavh} + E \cdot a_{temp,avh} \cdot \frac{\text{Normalradttall}_{Oslo}}{\text{Graddagstall } 2020_{Lokasjon}} \quad [kWh/m^2\text{år}] \quad (5)$$

Der E_T er spesifikk tilført temperaturkorrigert energibruk.

$a_{temp,uavh}$ er forbruksandelen til bygning som er uavhengig av utetemperaturen.

$a_{temp,avh}$ er forbruksandelen til bygningen som er avhengig av utetemperaturen.

$\text{Normalgradtall}_{Oslo}$ er energidatatall for Oslo for 2019/2020.

$\text{Graddagstall } 2020_{Lokasjon}$ er nasjonal normaltall for lokasjon i perioden 1981-2010.

Gjennomsnittsverdier for spesifikt energiforbruk, byggeår og bygningsareal er bestemt ved å arealvekte gjennomsnittet for hvert alderssegment innenfor de ulike bygningskategoriene. Dette er gjort slik at ulike verdier kan tillegges en vektingsfaktor, for at større eiendommer får økt betydning på utslaget for referansebygget. Dette er viktig fordi mindre eiendommer generelt har et høyere spesifikt energiforbruk enn de større eiendommene. En generell formel for vektet gjennomsnitt er gitt i formel 6. x_i er her gitt som spesifikk energibruk eller areal, mens w_i er vektingsfaktoren.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (6)$$

For å studere eiendomsporteføljen i detalj er eiendomsporteføljen segmentert inn i bygningskategorier med tilhørende alderskohorter. Porteføljen er inndelt i bygningskategorier i henhold til NS 3031, og tilsvarer de kategoriene som brukes i TEK17. Det er fordelaktig å segmentere bygningsmassen på denne måten da resultatene fra referansemodellen enklere kan sammenlignes med resultatet fra lignende simuleringer av energibehov. I tillegg er det fordelaktig da standardverdier fra NS 3031 kan brukes som inndata i modellen.

Innenfor hver bygningskategori er det flere alternativer for gruppering etter alder og teknisk standard i en bygningsenergimodell. I denne oppgaven er det valgt å segmentere bygningsmassen inn etter den tekniske standarden som var gjeldende ved etablering av bygningen. Dette er hensiktsmessig da få av eiendommene har blitt totalrehabilitert, og det antas derfor at energibruk samsvarer godt med byggealder. Ved segmentering av eiendommer er det tatt utgangspunkt i byggeår og ikke når eiendommene er byggemeldt. Det er årstall for byggemelding som definerer hvilke tekniske regelverk eiendommen skal holde, men da denne informasjonen ikke har vært tilgjengelig, har bruk av byggeår vært en nødvendig forenkling.

Det er et alternativ å etablere kohorter for hver enkelt teknisk standard. Kohortene er da gitt som følger: Eldre enn 49, TEK 49, TEK 69, TEK 85, TEK 87, TEK 97, TEK 07, TEK 10, TEK 17 og passivhus. Ut fra litteraturstudien av tidligere tekniske byggekoder er det likevel bestemt å segmentere eiendomsporteføljen innenfor fire alderskohorter: Eldre (bygget før 1950), TEK 49 –

Tabell 3.1 - Segmentering av eiendomsporteføljen i bygningskategorier og standarder.

| Bygningskategori | Fra Statsbygg sin portefølje | Standard |
|---|---|---|
| Kontorbygg | Offentlig administrasjonsbygning Kontorbygning | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |
| Undervisnings- og forskningsbygg | Skolebygning Undervisning og forskning | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |
| Fengselsbygg | Fengsel Lukket fengsel | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |
| Institusjoner | Bo- og behandlingsbygg Barnevernsinstitusjon | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |
| Kultureiendom | Museum Monumenter Kongelige eiendommer | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |
| Boligeiendom | Småhus unntatt enebolig Fritidsbolig | Eldre (Bygget før 1950) TEK 49 til TEK87 (1950 – 1987) TEK 87 til TEK 10 (1988 – 2010) TEK 10 til Nybygg |

1987, TEK 87 – 2010 og nybygg (fra TEK 10). Disse er presentert i Tabell 3.1 for de seks utvalgte bygningskategoriene. Alderskohortene er valgt med bakgrunn i etableringen av strengere energikrav ved enkelte tekniske forskrifter. TEK 49 (1950) er valgt på bakgrunn av innføring av Norges første byggetekniske forskrift. Ved TEK 87 ble energikrav implementert i regelverket. Gjennom innføring av TEK 10 ble energikravene skjerpet ytterligere, og kravene er relativt like som i TEK 17. Det er derfor hensiktsmessig at disse er i samme alderskohort, sammen med eiendommer bygget i fremskrivningsperioden.

3.4 Simulering av referansebygg for etablering av energilastprofiler

Simulering av pålitelige energi- og effektprofiler for bygninger er svært komplekst og tidkrevende. For å få kunnskap om bygningsmassen, og oppgraderingspotensialet som ligger i denne, er det likevel fordelaktig å simulere bygningsytelsen. Dette gjøres mest effektivt ved bruk av bygningsmodellering og simulering, også kalt BPS. Bygningssimulering gjør det mulig å teste ut innovative løsninger og konsepter med simuleringsprogrammer, for å optimalisere energieffektiviteten i en bygning. Selv om PBS er en svært effektiv metode for å støtte design og drift av en bygning, setter programmene store krav til inndata. Det er derfor viktig å kalibrere modellen slik at det ikke er store avvik mellom simulerte resultater og virkelig forbruk for de reelle bygningene (Hong, Chou, & Bong, 2000).

Eiendomsporteføljen til Statsbygg er svært kompleks, og det er derfor hensiktsmessig å etablere et referansebygg for å representere en større andel av porteføljen. Det finnes ingen standardisert metode for å etablere et referansebygg. Et referansebygg er viktig for å danne et sammenligningsgrunnlag, der ulike prosjekter sammenlignes på en objektiv måte. Energy Performance of Buildings Directive (EPDB) i EU definerer referansebygg som «*Bygninger som karakteriseres av, og representerer sin funksjonalitet og geografiske beliggenhet. Dette inkluderer innendørs og utendørs klimaforhold*». Med hensyn til dette, er målet med etablering av en referansebygning å representere den typiske eiendomsmassen ut fra klimatiske forhold og bygningskategori (European Parliament, 2010).

På grunn av oppgavens tidsperspektiv har det kun blitt etablert referansebygg for den bygningskategorien med størst bygningsareal. I Statsbygg sin eiendomsportefølje er dette undervisningsbygg og forskning. Fremskrivningsmodellen gjør det mulig å forme arealplaner ut fra modellens soner, i likhet med legoklosser. Dette gjør det mulig å simulere kontorbygg relativt detaljert da slike eiendommer består av like soner som undervisningsbygg. I tillegg har de likheter i arealplan, bruksmønstre og krav til inn klima. Dette gjør det mulig å generalisere hvilke tiltak som vil være hensiktsmessige å gjennomføre. Selv om undervisningsbygg og kontorbygg ikke representerer hele eiendomsporteføljen, er disse kategoriene vesentlig større enn de øvrige.

3.4.1 IDA ICE

Energidataen i datasettet til Statsbygg er gitt på årsbasis og ikke timesbasis, slik at timesprofiler ikke har vært tilgjengelig for noen av eiendommene. Det har derfor vært nødvendig å ta utgangspunkt i tilgjengelig data fra en tidligere masteroppgave for å simulere energibruken i IDA ICE. På denne måten kan tidligere brukerprofiler og formålsdelt energiforbruk benyttes for mer nøyaktig simulering av levert energi. Tilgang til en eksisterende modell for et referansebygg på Gløshaugen ble tilgjengeliggjort fra veileder ved oppgavens start. Brukerprofiler og arealfordeling er gitt i oppgavens vedlegg C.

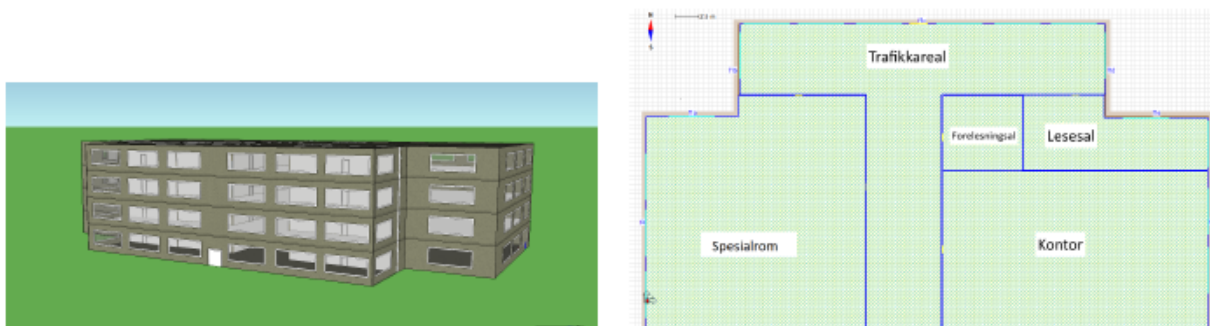
Referansebygget er simulert i IDA ICE for å beregne energiforbruk. IDA ICE, IDA Indoor Climate and Energy, er en simuleringsprogramvare for detaljert og dynamisk helårssimulering. Programmet brukes til å nøyaktig modellere bygningen for å kunne studere og beregne termisk inn klima og energiforbruk. Programmet er globalt ledende innen simuleringsprogrammer, og er kjent for ledende teknologisk utvikling og pålitelig multisonesimuleringer. De beregnede resultatene sammenlignes med målte data for å validere resultatene. Da programmet har åpen kildekode, har brukerne muligheten til å tilpasse simuleringsprogrammet etter behov. På denne måten kan man enkelt bestemme hva som blir tatt hensyn til i simuleringen og ikke (Nesgård & Ngo, 2018). Ulempen ved bruk av modelleringsverktøy er at det krever informasjon på detaljnivå, noe som ofte ikke er tilgjengelig ved rehabiliteringsprosjekter av eiendommer der det ikke foreligger god dokumentasjon.

3.4.2 Klimafil

Ved simulering i IDA ICE brukes klimafil for utetemperatur, vind og solinnstråling for å estimere kjøle- og oppvarmingsbehov for bygningen. For å kalibrere referansemodellen opp mot reelle verdier er det derfor viktig å etablere en klimafil som samsvarer med driftsdata for å undersøke om referansebygget er realistisk. Ved fremskrivning av energibruk er det hensiktsmessig å bruke et år med såkalt normalklima, og data for Fornebu 2016 er derfor anbefalt. 2020 var et relativt varmt år i forhold til 2016, og det er derfor behov for å bytte ut 2016 klimafilen med en egenprodusert klimafil. Det er tatt utgangspunkt i en klimafil utarbeidet i en masteroppgave fra 2015 som resulterte i etablering av en klimafil for Oslo klima (Tangen, 2015). Oppgaven konkluderte med at det i hovedsak er utetemperatur som endrer seg fra år til år. Dette gjelder spesielt i byene der vinddata har mindre betydning på grunn av arealeffektiv bebyggelse. Klimafilen er derfor etablert ved å endre utetemperatur til 2020 verdier. Verdier for utetemperatur er hentet fra *Seklima* og målestasjon på Blindern som er der eiendommene er stedskorrigert til (Norsk Klimaservicesenter, 2021).

3.4.3 Arealplan for referansebygget

Referansebygget som brukes som grunnmodell ble etablert av Nesgård og Ngo som en del av deres masteroppgave i 2018. Soneareal per etasje med tilhørende brukerrate er vist i Tabell 3.2. Brukerraten for lesesal, kontor og spesialrom er beregnet ut fra verdier gitt i NS 3031, mens brukerraten i forelesningssal er bestemt ut fra faktisk kapasitet i forelesningslokalene i Sentralbygget på NTNU. Brukerraten i trafikk er bestemt ved å summere antall personer i lesesal og forelesning. Figur 3.1 viser både simuleringsmodell av referansebygget i 3D, samt arealplan for å vise fordelingen av soneareal. Tabellen og figurene er hentet direkte fra masteroppgaven til Nesgård og Ngo.



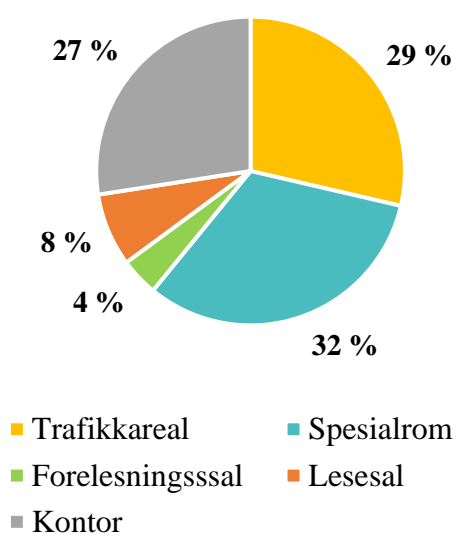
Figur 3.1 - Simuleringsmodell for referansebygget i 3D samt arealplanen for å vise fordelingen av soneareal (Nesgård & Ngo, 2018).

Tabell 3.2 - Areal og brukerrate for de ulike sonene i referansemodellen. Areal er gitt per etasje og multipliseres med fire etasjer for totalt areal.

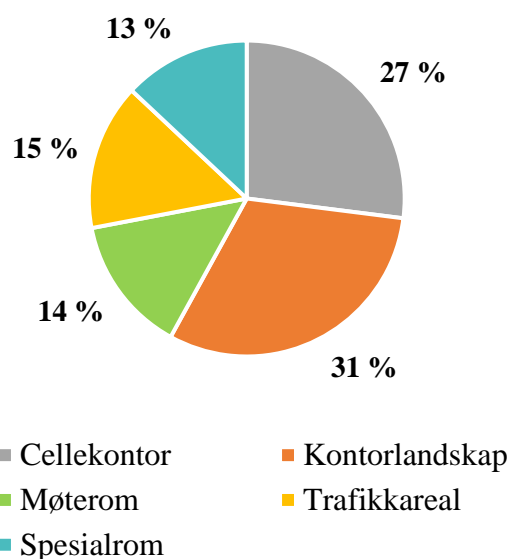
| Sone | Areal per etasje[m ²] | Brukerrate [Personer/m ²] |
|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Kontor | 491,90 | 0,2069 |
| Lesesal | 136,30 | 0,0690 |
| Forelesningssal | 70,50 | 0,1034 |
| Spesialrom | 580,30 | 0,8791 |
| Trafikkareal | 510,80 | 0,1765 |

Referansebygget har i alt fire etasjer, hvorav tabell 3.2 gir oversikt over arealfordeling per plan. Ved etablering av timesprofiler for de ulike arealklassene er det tatt utgangspunkt i gjennomsnittlig levert energi for hver enkelt sone for de fire etasjene. Dette er nødvendig da oppvarming og ventilasjon differerer mellom etasjer. På denne måten vil energibruk for eksempelvis trafikkareal være realistisk i forhold til at trafikkareal har ulik energibruk avhengig av lokasjon i bygget. Det er ikke funnet forskjeller i energi til belysning, utstyr og varmtvann slik at disse energipostene kan beregnes med utgangspunkt i en enkelt sone.

Bygningskategorien universitet- og forskningsbygg inneholder funksjonene kontorer, undervisningslokaler, lesesaler, trafikkareal og spesialområder. Soneinndelingen har tatt utgangspunkt i NTNU der NTNU drift har gitt tilgang til areal- og romfordelingen for NTNUs ulike campusbygg. Spesialrom er en fellesbetegnelse på rom som krever mye elektrisitet som for eksempel laboratoriearealer. Mindre områder som tekniske rom, vaskerom, sanitærsoner og lignende har blitt neglisjert for å forenkle modellen. Sonefordelingen for referansebygget er vist i figur 3.2. Totalarealet til universitetsbygget er på 7 220 m², noe som samsvarer med totalt gjennomsnittlig areal for Statsbygg sine undervisnings- og forskningsbygg som er på 7 600 m². Det kan derfor antas at grunnmodellen er hensiktsmessig for å representere eiendomsporteføljen.



Figur 3.2 - Soneinndeling for undervisnings- og forskningsbygg (Nesgård & Ngo, 2018).



Figur 3.3 – Soneinndeling for kontorbygg (Aarstrand, 2019).

Arealklassene for undervisningsbygget brukes også til å konstruere kontoreiendommer. Arealplan for kontor og administrasjonsbygg er basert på en tidligere oppgave skrevet i samarbeid med Asplan Viak (Aarstrand, 2019). Oppgaven har som hovedmål å etablere en referansemodell for pålitelig estimering av energi- og effektbehov for kontorbygninger. For å forenkle oppgaven er det i likhet med undervisningsbygg her valgt å bruke en felles arealplanfordeling for alle kohorter. Dette vil ikke nødvendigvis være realistisk da det har vært en stor overgang fra cellekontor til mer åpne kontorlandskap de siste tjue årene. Dette samsvarer med ønske om mer effektive arealplaner, og den valgte soneinndelingen vil tilsvare moderne kontorlokaler. Arealfordelingen vist i figur 3.3, brukes for å genere en arealplan for kontorbyggene i eiendomsporteføljen.

Tabell 3.3- Termiske egenskaper og tekniske systemer for referansemodellene. *Gjennomsnittsverdier for ulike byggtekniske regelverk for perioden eller gjennomsnitt fra NTNU Gløshaugen.

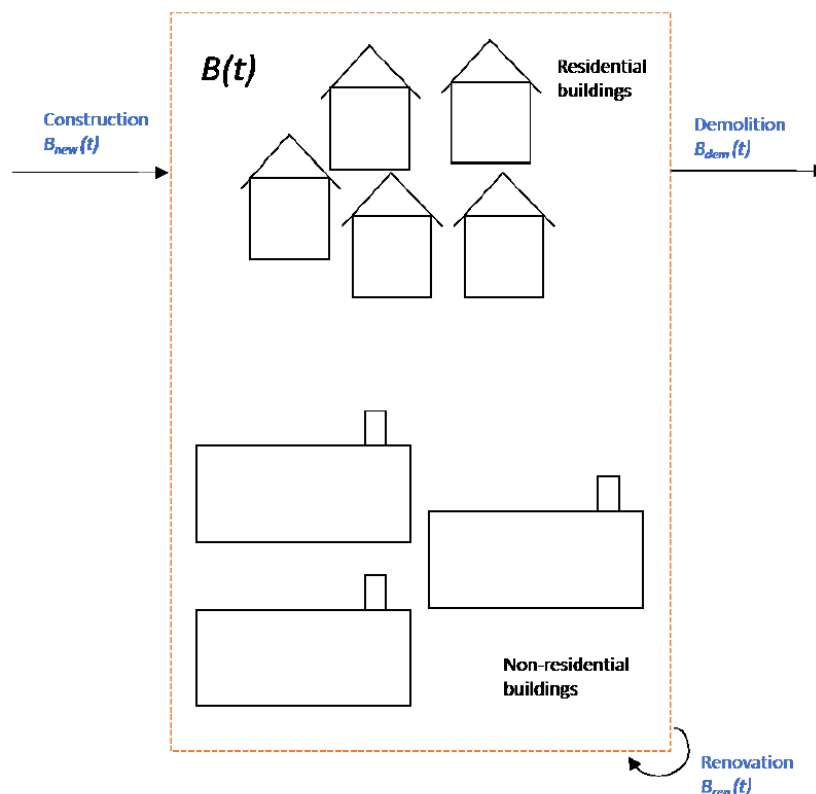
| Kategori | Parameter | Eldre | 1950-1987 | 1988-2010 | Nybygg (2010 -) | Kommentar |
|--|--|---------|-----------|-----------|-----------------|--------------------|
| U-verdier [w/m ² K] | Yttervegger | 0,74 | 0,57 | 0,28 | 0,21 | * |
| | Innervegger | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | Standard i IDA ICE |
| | Tak | 0,55 | 0,41 | 0,18 | 0,15 | * |
| | Ytre gulv | 0,16 | 0,19 | 0,18 | 0,075 | * |
| | Indre gulv | 2,39 | 2,39 | 2,39 | 2,39 | Standard i IDA ICE |
| | Vinduer | 2,70 | 2,19 | 1,9 | 1,2 | * |
| | Dører | 1,09 | 1,09 | 1,09 | 1,09 | Standard i IDA ICE |
| Infiltrasjon | Lekkasjetall [1/h] | 2,78 | 2,5 | 1,5 | 0,6 | * |
| | Normalisert kuldebroverdi [w/m ² K] | 0,11 | 0,11 | 0,09 | 0,06 | * |
| Tekniske systemer | Varmegjenvinner [%] | 47,11 % | 55 % | 65 % | 80 % | * |
| | SFP [kW/(m ³ /s)] | 2,82 | 2,64 | 2,0 | 1,5 | * |

Resterende fire kategorier vil simuleres som enkle bygninger. På denne måten vil de simuleres som et enkelt homogent areal med samme bruksmønster og energibruk. Dette er en forenkling og er nødvendig grunnet store ulikheter i arealplan. Tabell 3.3 viser de termiske egenskapene for

eiendommer innenfor de ulike alderskohortene. Verdiene vil implementeres i IDA ICE for å etablere referansebygg og arealer med varmetap tilsvarende de valgte alderskohorter i denne oppgaven. Tilstanden til byggene antas ut fra byggeår, og eiendommer fra alle kategorier antas å ha samme tilstand og termiske egenskaper. Resterende parameter i IDA ICE er valgt ut fra masteroppgaven til Nesgård og Ngo, i samråd med veileder eller gjennom data fra EPISCOPE prosjektet. NTNU ved Helge Brattebø presenterte i 2016 typologibrosjyrer for norske boligbygg som en del av EPISCOPE prosjektet (Brattebø, O'Born, Sartori, Klinski, & Nørstebø, 2016). Disse har som mål å vise effekten av tiltak for energieffektivisering i typiske norske boligbygg datert fra ulike perioder. Typologibrosjyrene er brukt for å estimere verdier i IDA ICE ved gjennomføring av energieffektiviseringstiltak. Til tross for at brosjyren baserer seg på boligbygg, vil tilstanden til bygningskroppen tilsvare næringsbygg datert fra samme periode. Det antas derfor at dette er en god estimering da reelle verdier vil være tidkrevende å måle.

3.5 Modellering av eiendomsporteføljen og fremtidig energibehov

Timesprofiler for levert energi er videre brukt for å modellere eiendomsporteføljen frem mot 2050. Ved etablering av ulike scenarier er det mulig å beregne energibesparingspotensialet for ulike tiltak og strategier. MFA-modellen som er utnyttet er introdusert i litteraturstudiet, og metodikken her er hentet fra sluttrapporten «*Neighbourhood building stock model for long-term dynamic analyses of energy demand and GHG emissions – Genral model description and case studies*» publisert i 2018. Modellen bruker programmeringsverktøyet MATLAB. Utvikler av modellen har ikke kjennskap til at metodikken har vært brukt utenfor dette prosjektet tidligere.



Figur 3.4 - Illustrasjon av hovedprinsippene til MFA-modellen (Næss, et al., 2018).

Scenariomodelleringen gjøres ved bruk av et verktøy utarbeidet av ZEN (Zero Emission Neighbourhood) forskningssenter. Næss et al. (2018) har utarbeidet en nabolagsmodell som modellerer bygningsmassen ved hjelp av langsiktige dynamiske analyser av energibehovet og

klimagassutslipp. Modellen undersøker utviklingen av et område over tid med hensyn til størrelse, komposisjon, energibehov og klimagassutslipp assosiert med energiforbruket. Modellen er generisk og kan derfor enkelt tilpasses andre formål som for eksempel en sammensatt bygningsmasse slik som Statsbygg sin eiendomsportefølje. I denne oppgaven er MFA-modellen brukt for å kartlegge utviklingen i energibehov og klimagassutslipp for ulike scenarier. På denne måten kan resultatene gi ett innblikk i hvilke strategier som er mest hensiktsmessige. Fremskrivningsperioden er satt til 31 år, fra 2020 til 2050.

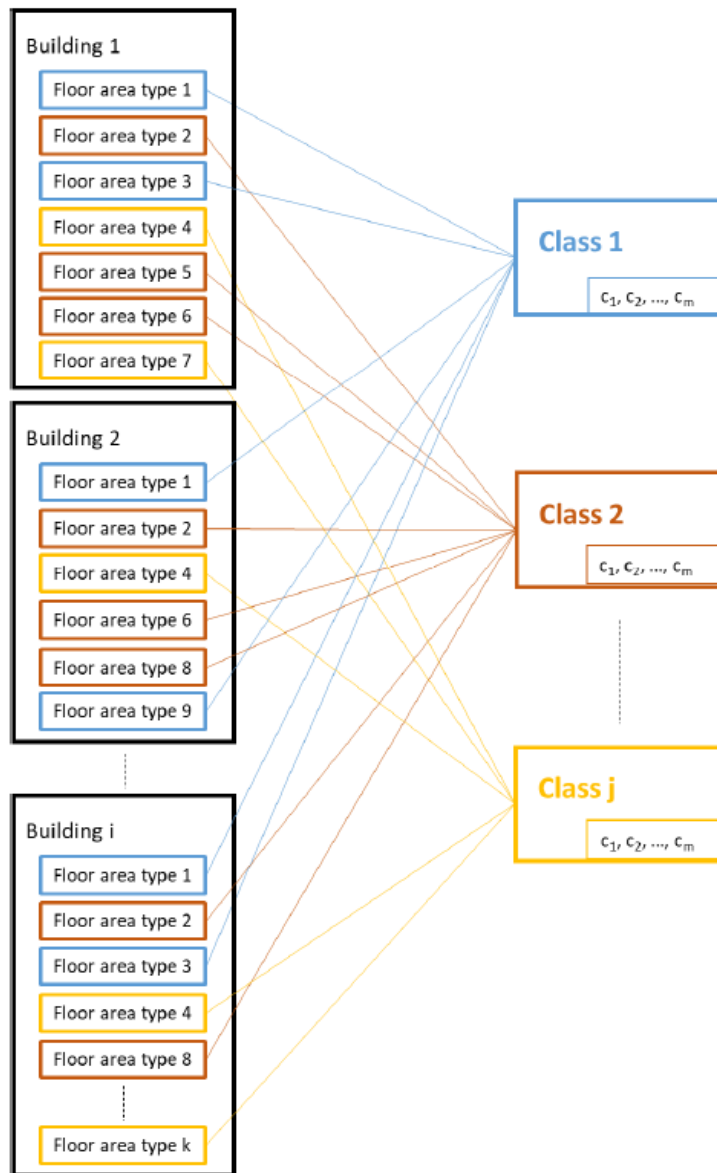
Scenariomodellen er basert på prinsipper for dynamiske materialflytanalyser (*MFA*). På denne måten tillater modellen å analysere den langsiktige utviklingen av bygningsmassen på områdenivå. Figur 3.4 illustrerer modellens hovedprinsipper. En detaljert beskrivelse av den eksisterende bygningsmassen, $B(t_0)$ angir utgangspunktet for modelleringen. I tillegg inkluderes $B_{new}(t)$ for å angi nye konstruksjoner i området i løpet av fremskrivningsperioden. Rivning og rehabilitering kan enten bestemmes manuelt, eller ved bruk av innebygde sannsynlighetsfunksjoner i modellen. Rehabilitering, $B_{ren}(t)$ vil ikke endre størrelsen til bygningsmassen, men vil påvirke komposisjonen til porteføljen slik at energibruken endres. Dette gjøres ved å løfte eiendommer til en annen tilstand ved rehabilitering. Parameterne angir endringen i bygningsmassen over tid som et resultat av nybygg, rivning og rehabilitering. Ligning 7 og 8 beskriver denne endringen i eiendomsporteføljen. Scenariomodellen vil deretter analysere størrelse, sammensetningen og energibehovet til bygningsmassen for hvert år i modelleringsperioden. $B(t)$ er bygningsmassen i slutten av år t . $B_{dem}(t)$ og $B_{new}(t)$ er henholdsvis rivning og nybygg i år t .

$$B(t) = B(t - 1) + \frac{d}{d(t)} B(t) \quad (7)$$

$$B(t) = B(t - 1) - B_{dem}(t) + B_{new}(t) \quad (8)$$

Innad i modellen er bygningsmassen delt inn i arketyper. Arketyper bestemmes ut fra byggeår, altså kohort c , bygningskategori z og rehabiliteringstakt r . Ut fra disse parameterne beregner modellen oppvarmet gulvareal (BRA) for hver arketype for hvert simuleringsår. Gjennom rehabilitering kan eiendommene flyttes fra en arketype til en annen. Gjennom byggets levetid kan eiendommen rehabiliteres flere ganger, og med flere ulike typer tiltak. Dette muliggjør at vindusskifte, isolering og oppgradering av tekniske systemer kan skje i ulike intervaller slik som i realiteten. Riktignok er dette tidkrevende da det må etableres separate timesprofiler for hver enkelt tilstand. Programmet kan selv simulere rehabiliteringsaktivitet ved hjelp av en sannsynlighetsfunksjon. På denne måten kan programmet brukes til å estimere en reell rehabiliteringstakt basert på standard rehabiliteringssykluser R_c . Denne parameteren beskriver gjennomsnittlig tidsintervall mellom rehabilitering av ulike typer. For den originale bygningsmodellen er denne satt til 40 år, men grunnet en lavere rehabiliteringstakt i Statsbygg er den i oppgavens modell økt til 45 år. MFA-modellen muliggjør tre ulike rehabiliteringsstadier for hvert bygg. Det antas videre at bygg ikke kan realisere det øverste rehabiliteringsstadiet før etter 1988, året ved implementering av krav til energieffektivitet.

Kjennskap til enheter er fundamentalt for å ha kunnskap om bygningsmassen. Hver eiendom i porteføljen består av ulike enheter med tilhørende karakteristikk. Enhetene er en del av bygningen b , kohort c , rehabiliteringstakt r og arealtype y . I tillegg tilhører hver arealtype y en arealklasse z . Dette er gjort for å forenkle modellen da arealer med likheter i bruksmønster og energibruk gjennom året kan modelleres likt. Aggregeringen og modelleringen av komplekse eiendommer ved bruk av areal typer og -klasser vises i figur 3.5. For de to største eiendomskategoriene er gulvarealet



Figur 3.5 - Modellstrukturen for implementering av komplekse eiendommer (Næss, et al., 2018).

segmentert i henhold til referansebygget. For de resterende fire kategoriene er gulvarealet definert som ett areal i henhold til byggets bruksområde. Eiendommer med kun en arealtype er definert som enkle bygninger, mens eiendommer med flere ulike arealtyper beskrives som komplekse bygg. For komplekse eiendommer er totalt oppvarmet gulvareal A_b lik summen av oppvarmet areal for de ulike enhetene i bygningen A_u . Dette forklares ved formel 9. Videre vil det totale arealet av en arealtype i en bygningen $A_{b,y}$ beskrives som summen av gulvareal for alle enheter som tilhører denne arealtypen, slik som i formel 10. Formel 11 viser tilsvarende totalt oppvarmet gulvareal for en arealklasse. Oversikt over segmentering av bygningskategorier og arealtyper inn i arealklasser er gitt i avsnitt 3.5.2.

$$A_b = \sum_{u \in b} A_u \quad (9)$$

$$A_{b,y} = \sum_{u \in y} A_{b,u} \quad (10)$$

$$A_{b,z} = \sum_{y \in z} A_{b,y} \quad (11)$$

Da plantegninger for eiendommene ikke har vært tilgjengelige, vil fordeling av areal gjøres i henhold til fordelingen i figur 3.2 og 3.3. Arealfordelingen er derfor gjort på bakgrunn av empirisk data fra campus Gløshaugen og ZEN forskningscenter, og gjenspeiler ikke nødvendigvis eiendomsporteføljen. I tillegg vil ikke endringen i arealplan som for eksempel overgang fra cellekontor og kontorlandskap, være synlig for scenariomodelleringen.

Videre beskriver ligning 12, 13 og 14 det oppvarmede gulvarealet til eiendomsporteføljen. A_y og A_z gir det totale oppvarmede gulvarealet for henholdsvis en gitt arealtype og klasse. Disse er begge gitt ved å summere arealer for alle eiendommer i porteføljen. A_B tilsvarer hele det oppvarmede gulvarealet for eiendomsporteføljen. Denne variabelen er gitt som sum av oppvarmet areal for hvert bygg, eller som sum av arealtype eller klasser i modellen.

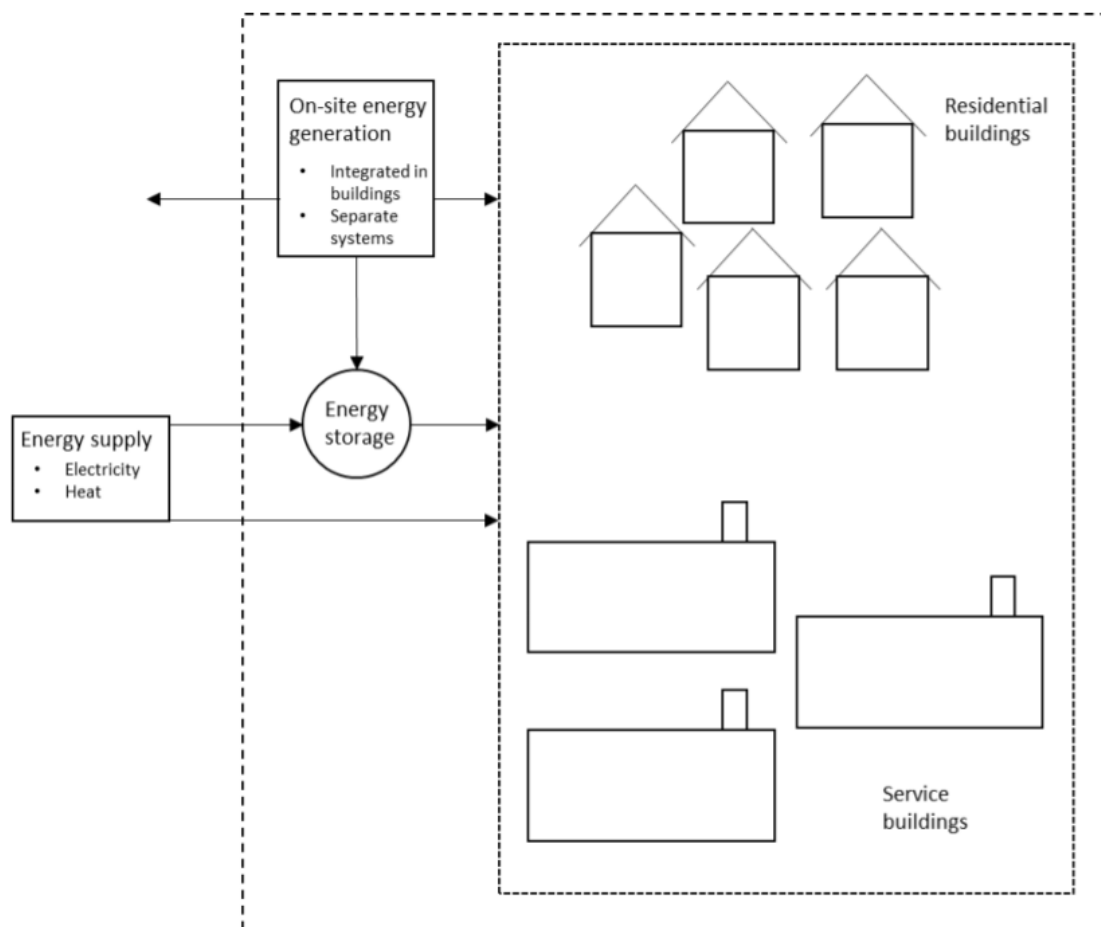
$$A_y(t) = \sum_b A_{b,y}(t) \quad (12)$$

$$A_z(t) = \sum_b A_{b,z}(t) = \sum_{y \in z} A_y(t) \quad (13)$$

$$A_B(t) = \sum_u A_u(t) = \sum_b A_b(t) = \sum_y A_y(t) = \sum_z A_z(t) \quad (14)$$

3.5.1 Modelling av energibruk og klimagassutslipp

Figur 3.6 viser prinsippene for modellering av energibruk i eiendomsporteføljen. MFA-modellen muliggjør detaljerte langtidsanalyser av energiforbruket og levert energi, og kan videre brukes til å beregne klimagassutslippet. Inndata for modellen er de ulike energivarene i systemet med tilhørende



Figur 3.6 - Systemskisse for MFA-energimodellen (Næss, et al., 2018).

klimagasskoeffisient. Lastprofiler for de ulike arketyper implementeres i modellen enten som profiler for energiintensitet eller basert på empiriske energiprofiler på bygningsnivå. I tillegg tillater modellen lokal generering av elektrisitet og muligheter for energilagring ved eiendommene. Dette gjøres ved å danne en egen arealklasse for solceller. Ved gjennomføring av oppgaven ga ikke modellering av solceller korrekte resultater. Beregningene ble derfor gjennomført manuelt ved beregninger i Excel. Det er usikkerhet knyttet til hvorfor dette ikke fungerte da utvikler av modellen har vært behjelpelig ved modelleringsutfordringer.

Videre presenteres formlene som danner grunnlaget for beregning av levert energi. Den leverte energien til bygningen per energibærer $E_{b,e}$ er lik den leverte energien for den gitte energibæreren av alle enheter $E_{u,e}$ som tilhører bygningen. Dette er lik gulvarealet til en enhet A_u multiplisert med energiintensiteten til den angitte arealtypen og energibæreren $E_{i,e,y}$ som enheten tilhører. Dette er vist i ligning 15. Levert energi per arealtype til en gitt bygning $E_{b,y}$ er lik summen av levert energi til alle enhetene $E_{b,u}$ i bygningen som tilhører den gitte arealtypen. Dette er beskrevet i ligning 16. Den leverte energien til en bygning per arealklasse $E_{b,z}$ er lik summen av den leverte energien til alle arealtype typer, y som tilhører den gitte gulvarealklassen, som vist i ligning 17. Ligning 18 viser at den totale leverte energien til bygningen E_b er lik summen av den leverte energien til alle enheter E_u som tilhører bygningen. Dette er igjen lik summen av levert energi fra alle energibærere til bygningen, $E_{b,e}$.

$$E_{b,e}(t) = \sum_{u \in b} E_{u,e}(t) = \sum_{u \in b} A_u \cdot E_{i,e,y}(t) \quad (15)$$

$$E_{b,y}(t) = \sum_{u \in y} E_{b,u}(t) \quad (16)$$

$$E_{b,z}(t) = \sum_{y \in z} E_{b,y}(t) \quad (17)$$

$$E_b(t) = \sum_{u \in b} E_u(t) = \sum_e E_{b,e}(t) \quad (18)$$

Likning 19, 20, 21 og 22 beskriver hvordan levert energi samles på eiendomsporteføljenivå. Den leverte energien til bygningsmassen per arealtype E_y er lik summen av levert energi til alle bygninger i eiendomsporteføljen for den gitte arealtypen $E_{b,y}$, som gitt i ligning 19. Ligning 20 viser at den leverte energien til eiendomsmassen per gulvareal klasse E_z , er lik summen av den leverte energien til en gitt arealklasse for alle bygninger i eiendomsmassen, $E_{b,z}$. Dette er igjen lik summen av levert energi til eiendomsmassen som er gitt for alle arealtyper, underlagt den gitte arealklassen. Levert energi per energibærer til eiendomsmassen E_e er lik den leverte energien til alle enheter i eiendomsmassen for den gitte energibæreren, $E_{u,e}$. Dette er lik den leverte energien til alle bygninger i eiendomsmassen for den gitte energibæreren $E_{b,e}$, summen av levert energi $E_{y,e}$ for den gitte energibæreren til alle arealtyper og summen av levert energi for den gitte energibæreren $E_{z,e}$ til alle arealklasser, som beskrevet i ligning 21. Ligning 22 definerer hvordan den totale leverte energien til hele eiendomsmassen er lik den totale leverte energien til alle enheter på energilageret E_u , den totale leverte energien til alle bygninger E_b , den totale leverte energien til alle arealtype E_y , den totale leverte energien til alle arealklasser E_z , den totale leverte energien for alle energibærere E_e og den totale leverte energien til alle rehabiliteringstilstander E_r .

$$E_y(t) = \sum_b E_{b,y}(t) \quad (19)$$

$$E_z(t) = \sum_b E_{b,z}(t) = \sum_{y \in z} E_y(t) \quad (20)$$

$$E_e(t) = \sum_u E_{u,e}(t) = \sum_b E_{b,e}(t) = \sum_y E_{y,e}(t) = \sum_z E_{z,e}(t) \quad (21)$$

$$E_B(t) = \sum_u E_u(t) = \sum_b E_b(t) = \sum_y E_y(t) = \sum_z E_z(t) = \sum_e E_e(t) = \sum_r E_r(t) \quad (22)$$

Beregninger relatert til klimagassutslipp gjøres i modellen på bakgrunn av resultater fra MFA-energimodellen og klimagasskoeffisienten til ulike energivarer. Klimagasskoeffisienten for de relevante energibærerne er presentert i litteraturbakgrunnen. Modellen muliggjør bruk av ulike karbonkoeffisienter over tid. Bruk av ulike koeffisienter på månedsbasis kan gjøre modellen mer realistisk da karbonintensiteten differerer gjennom året. Dette gjør det mulig å utnytte en høyere klimagasskoeffisient for elektrisitet på vinterhalvåret enn i sommermånedene.

Beregning av det totale klimagassutslippet for hver energivare $G_e(t)$ gjøres som i formel 23. Videre er det totale klimagassutslippet knyttet til varme $G_{B,heat}$ vist i formel 24, mens $G_{B,el}$ i formel 25 viser tilsvarende for eiendomsporteføljens elektrisitetsbruk. Det totale klimagassutslippet knyttet til oppvarming og elektrisitet er beregnet ved bruk av en andelsfaktor α_e . Faktoren beskriver andelen levert elektrisitet som brukes til andre formål enn oppvarming av bygget. Summen av disse vil tilsvare de totale klimagassutslippene knyttet til elektrisitet og varme i porteføljen, $G_B(t)$. Dette beregnes i henhold til formel 26.

$$G_e(t) = E_e(t) \cdot I_e(t) \quad (23)$$

$$G_{B,heat}(t) = \sum_e E_{B,e}(t) \cdot I_e(t) \cdot (1 - \alpha_e) \quad (24)$$

$$G_{B,el}(t) = \sum_e E_{B,e}(t) \cdot I_e(t) \cdot \alpha_e \quad (25)$$

$$G_B(t) = \sum_e G_{B,e}(t) = G_{el}(t) + G_{heat}(t) \quad (26)$$

Der $E_e(t)$ er energi lagrer i en gitt energibærer.

$I_e(t)$ er karbonintensiteten til en gitt energibærer.

$E_{B,e}(t)$ er lik den totale leverte energien til alle enheter for en energibærer.

IDA ICE gjør det vanskelig å allokere en fast prosentandel av levert energi fra enkelte energibærere. Dette gjør det utfordrerne å etablere nøyaktige energiprofiler der oppvarming av referansebygget er gitt i henhold til gjennomsnittet for Statsbygg sin portefølje. For alderskohort 2, 1950 – 1987, er derfor IDA ICE simuleringene gjennomført for både fjernvarme og elektrisk oppvarming. Samlet klimagassutslipp beregnes i henhold til formel 28. Andelsfaktorene f_{el} og f_{fv} har en samlet verdi på 1, og indikerer andelen av eiendommene som forsynes av henholdsvis elektrisitet og fjernvarme. q er gitt som spesifikk energibruk for el og fjernvarme.

$$G_B(t) = f_{el} \cdot I_{el} \cdot A_B \cdot q_{el,tot} + f_{fv} \cdot I_{fv} \cdot A_B \cdot q_{fv,tot} \quad (27)$$

3.5.2 Modellinput

Casestudien av Statsbygg sin eiendomsportefølje tar for seg 364 av eiendommene i eiendomsporteføljen. I tillegg er det inkludert syv bygninger som skal prosjekteres og bygges av Statsbygg som en utvidelse av NTNU Gløshaugen frem mot 2030. Disse er inkludert for å studere mulighetene som ligger i MFA-modellverktøyet for implementering av nybygg i fremskrivningsperioden. Tabell 3.4 viser oversikt over de ulike kohortene implementert i modellen. Tabell 3.5 viser de syv nye konstruksjonene som er simulert i modellen, mens Tabell 3.6 viser

segmentering av bygningskategorier inn i arealklasser. Institusjoner, kulturarealer og boligeiendom er simulert som enkle bygninger og består derfor kun av en energilastprofil. Kultureiendom og boligeiendom er simulert som trafikkareal da energibruken samsvarer best med disse energilastprofilene. Institusjoner har generelt høyt energiforbruk, og det er derfor spesialrom som samsvarer best med energiforbruket. For disse kategoriene vil de være sentralt å etablere egne energilastprofiler og arealklasser for videreutvikling.

Tabell 3.4 - Gruppering av kohorter

| Kohort ID | C1 | C2 | C3 | C4 |
|-----------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Periode | 0 - 1949 | 1950 - 1987 | 1988 - 2010 | 2011 - 2050 |

Tabell 3.5 - Nye konstruksjoner simulert som komplekse eiendommer i fremskrivningsperioden. Eiendommene skal etableres ved NTNU Gløshaugen.

| Bygning ID | Konstruksjonsår | Oppvarmet areal |
|------------|-----------------|-----------------------|
| 1001 | 2018 | 18 000 m ² |
| 1002 | 2020 | 18 500 m ² |
| 1003 | 2022 | 9 500 m ² |
| 1004 | 2024 | 16 000 m ² |
| 1005 | 2026 | 20 000 m ² |
| 1006 | 2028 | 26 500 m ² |
| 1007 | 2030 | 10 000 m ² |

Tabell 3.6 - Formasjon av arealklasser, samt segmentering av bygningskategorier inn i arealklasser.

| Klasse ID | Arealklasse (z) | Arealtype (y) | Energilastprofil |
|-----------|-----------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | Kontorarealer | Kontorarealer | Kontor |
| 2 | Laboratorier | Spesialrom Institusjoner | Laboratorier |
| 3 | Undervisningsrom | Undervisningsrom | Forelesning |
| 4 | Studentarbeidsplasser | Kontorlandskap | Lesesal |
| 5 | Trafikkareal | Trafikkareal | Trafikkareal |
| 6 | Diverse | Kulturarealer Boligareal | Trafikkareal |

3.6 Etablering av energieffektiviseringstiltak og scenarier

Valg av energieffektiviseringstiltak er gjort på bakgrunn av Statsbygg sin tiltaksoversikt fra de to siste årene. Dette har vært viktig da det er essensielt at oppgavens tiltak er gjennomførbare. Tiltakspakkene er fordelt inn i enkel og ambisiøs, for å kartlegge redusert energiforbruk og klimagassutslipp for de ulike tiltakspakkene. I tillegg er det inkludert en pakke for omfattende bruk av lokale energikilder. Tiltakene som er valgt vil være teknisk oppnåelige for alle alderskohorter. Tiltakspakkene i Tabell 3.7 viser hvilke konkrete tiltak som implementeres i de ulike scenariene. Tiltakspakkene er videre inkludert i fem ulike scenarier som fremskrives ved bruk av MFA-modellen. En konseptuell oversikt over scenarioanalysen for Statsbygg sin eiendomsportefølje er vist i figur 3.7 avslutningsvis i dette kapitlet. Linjene mellom scenariene indikerer hvordan scenariene bygger på hverandre.

Tabell 3.7 - Tiltakspakker for oppgradering av eiendommer og økt bruk av lokale energikilder.

| Tiltakspakke | Tiltak | Kommentar |
|---|--|---|
| Enkel | <ul style="list-style-type: none">- Etterisolering av fasade- Varmegjenvinner ventilasjon- Oppgradering av ventilasjonsanlegg med mål om å gjenbruke kanalnettet | <ul style="list-style-type: none">- <i>Isolasjon med 50mm mineralull for de to eldste alderskohortene</i>- <i>Erstatte varmegjenvinner med 80 %</i> |
| Ambisiøs | <ul style="list-style-type: none">- Moderne tekniske installasjoner- Nye vinduer- Etterisolering av bygget eller skifte fasade om nødvendig | <ul style="list-style-type: none">- <i>Vinduer holder passivhusstandard (U-verdi på 0,6 W/m²K)</i>- <i>Isolere/skifte vegger og tak til TEK17 standard</i>- <i>Forbedret luftlekkasje til 1,5 l/h for kohort 1 og 2</i>- <i>Forbedret kuldebroer til 0,06 W/m²K</i>- <i>Erstatte varmegjenvinner med 80 %</i> |
| Omfattende bruk av lokale energikilder | <ul style="list-style-type: none">- Installere solceller | <ul style="list-style-type: none">- <i>Antall solceller er bestemt i samråd med Statsbygg</i> |

Enkel oppgraderingspakke innebærer tiltak som kan iverksettes uten å påvirke bygningskroppen i stor grad. Dette er mindre inngrep som enkelt lar seg gjennomføre med minimal bruk av nye materialer. Enkel oppgraderingspakke forbedrer ikke nødvendigvis termiske ytelse, og vil derfor fortsatt ha infiltrasjonstap i stor grad. Ambisiøs oppgraderingspakke innebærer en totalrehabilitering der bygget vil forsøke å nå TEK 17 krav for energieffektivitet. Dette innebærer store inngrep og påvirker bruk av bygget over en lengre periode. Dette vil også medføre materialutslipp knyttet til rehabiliteringen. Det er ikke valgt å inkludere ytterligere ambisiøse tiltakspakker da dette sjeldent gjennomføres for rehabiliteringer av Statsbyggs eiendommer. Mer ambisiøse scenarier kan være aktuelt for andre eiendomsforvaltere som har større behov for å bedre energimerking for å øke verdien på eiendomsporteføljen.

Oppgradering av ventilasjonsanlegg innebærer utskifting av varmegjenvinner og oppgradering av selve anlegget til behovstyrt ventilasjon. Tiltaket vil ha som mål å gjenbruke eksisterende kanalnett. Adaptiv gjenbruk kan kreve nytt kanalnett kompatibel med byggets nye funksjon. Moderne tekniske installasjoner innebærer energieffektive komponenter og behovstyrte energiprosesser. Installering av energioppfølgingsystemer (EOS) er et annet viktig tiltak, men er ikke inkludert da det er tidkrevende å simulere i IDA ICE. Smart energistyring innebærer etablering av anlegg for sentral driftskontroll. Et slikt anlegg vil ha digital avlesning og automatisk styring av driftstid, historisk loggføring og andre aspekter som gjør at man kan optimalisere energibruken og identifisere feil.

S0 - Referansebane scenario

Referansescenarioet i fremskrivningsmodellen består av antagelser rundt at fremtidig utvikling av eksisterende bygningsmasse vil følge dagens trend. Scenarioet vil gi et bilde av fremtidig utvikling i samsvar med dagens praksis, regelverk og reguleringer. Dette innebærer at eksisterende eiendommer vil gjennomgå en standard rehabilitering i sykluser på 45 år som er den gjennomsnittlige alderen for energioppgradering hentet fra Statsbygg sine tiltaksoversikter. Dette er fem år lengre enn tiden Enova antar er mest reell for den nasjonale bygningsmassen. Scenario 0 innebærer ikke videre solcellepanelinstallasjon, til tross for at dette er i statsbygg sine planer. Modellen vil inkludere syv nybygg for å vise muligheten for implementering av nybygg i modellen. Disse er valgt da Statsbygg ikke har gitt tilgang til nye konstruksjoner i fremskrivningsperioden. Eiendommene vil inkluderes i alle scenarier. Fremskrivningen av referansebanen brukes videre for å kalibrere modellen opp mot dagens situasjon. Siden denne metodikken ikke har blitt brukt på eiendomsporteføljer, vil referansebanen også være viktig for å undersøke hvor realistisk målingene fra IDA ICE er i forhold til den faktiske eiendomsporteføljen. Dette gjelder spesielt for de fire resterende kategoriene: Fengsel, institusjoner, kultureiendom og boligeiendom.

S1 – Ambisiøst scenario

Ved ambisiøs rehabilitering vil økt energieffektivitet i bygget prioriteres istedenfor lokal energiproduksjon. Ambisiøst scenario innebærer at halvparten av eiendommene som rehabiliteres årlig går gjennom en ambisiøs rehabilitering. Ambisiøs rehabilitering vil forbedre byggets varmetap slik at eiendommene kan opprettholde nyeste TEK i samsvar med loven for totalrehabilitering. I tillegg er rehabiliteringssyklusen redusert til 40 år, som er det Enova antar er gjennomsnittlig på et nasjonalt nivå. Resterende rehabiliteringer vil være enkle rehabiliteringer. Dette er bestemt i samråd med forskere ved industriell økologi SINTEF da det er svært lite realistisk at alle bygg som rehabiliteres vil prioritere ambisiøse rehabiliteringer.

S2 – Hyppig scenario

Det er også et alternativ å øke hyppigheten på enkle rehabiliteringer. For hyppig scenario er rehabiliteringssyklusen redusert ytterligere til hvert 30 år. Dette er ikke nødvendigvis realistisk, men antas gjennomførbart da tiltakene som gjennomføres ved enkel rehabiliteringspakke lett lar seg gjennomføre ved for eksempel utskifting av ventilasjonsanlegg. Disse tiltakene vil heller ikke kreve stans i drift av bygget slik at de kan gjennomføres uten å være til betydelig sjenanse for leietagere. Et alternativ for andre fremskrivningsprogrammer er en direkte økning av rehabiliteringsraten. Dette er ikke mulig i MFA-modellen da denne modellen ikke baseres på en konkret rehabiliteringsrate, men heller sannsynlighet for antall år mellom hver oppgradering.

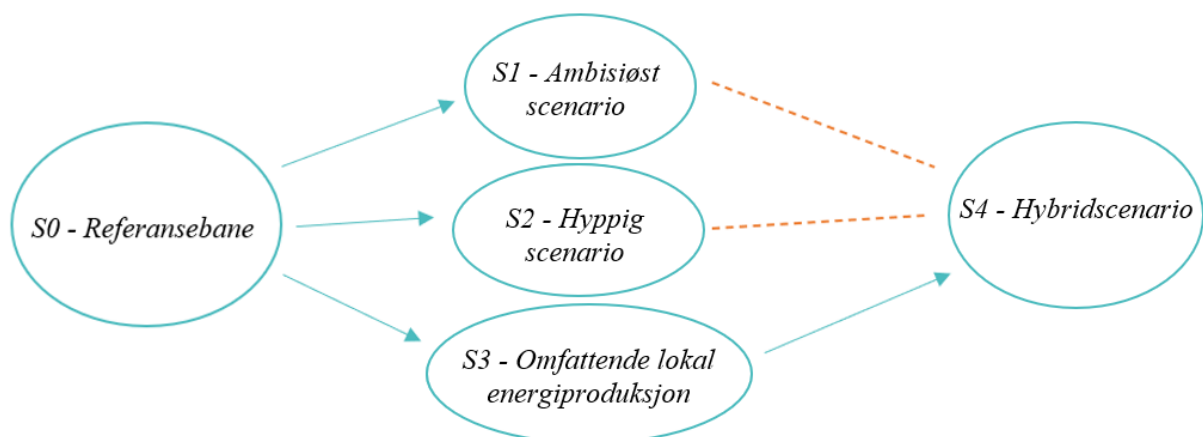
S3 - Omfattende lokal energiproduksjon

Statsbygg har lenge satset på omfattende bruk av solcellepaneler for å generere lokal energi ved eiendommene. Dette er deres hovedstrategier for å redusere energibruken i eksisterende bygninger med opp mot 40 % frem mot 2030. Det er derfor hensiktsmessig å videre undersøke dette potensialet sammenlignet med alternative strategier. Bruk av fornybare energikilder til å generere energi i form av solceller vil redusere behovet for levert energi i henhold til formel 3. Antagelser rundt rehabiliteringer og arealutvikling vil være tilsvarende referansebanen. For å beregne nøyaktig energiproduksjon fra solcelleanlegg kan PVsyst-programvaren benyttes. En slik programvare gjør det mulig å foreta en detaljert studie og dimensjonering av solenergiproduksjon på timesbasis. Dette har vært for omfattende for oppgaven da eiendommene er plassert på ulike lokasjoner, og derfor krever ulike meteorologiske data.

Estimert potensial for solcelleinstallasjon er hentet fra prosjektet JaTaK, og samtaler med Rune Stenbro i Statsbygg som har vært ansvarlig for prosjektet. Ved kartlegging av fornybar energiproduksjon er det allerede installert solcelleanlegg på 14 av Statsbygg sine eiendommer. Gjennom prosjektet JaTak har Statsbygg regnet seg fram til at de har rundt 500.000 av totalt 900.000 kvadratmeter tak som er egnet til installering av solceller. Teoretisk energigenerering fra solceller på dette takarealet er 40 millioner kWh i året. Det er antatt at halvparten av arealet egner seg svært godt, og det er indentifisert 50 tak som vil prioriteres for installasjon av solcelleanlegg. Dette tilsvarer generering av 15 millioner kWh, med et estimert investeringsbehov på 225 millioner kroner. Planen er å installere solceller hvert år frem mot 2030, slik at det hvert år produseres ytterligere 1.5 millioner kWh de første 10 årene i fremskrivningsperioden.

S4 - Hybridsenario

Det siste scenarioet er et hybridsenario som søker å minimere levert energi til eiendomsporteføljen. Her vil det mest effektive rehabiliteringsscenariet, altså enten S1 eller S2, kombineres med en omfattende lokal energiproduksjon for å analysere hvor mye klimagassutslippet kan reduseres for eiendomsporteføljen i fremskrivningsperioden. Hybridsenarioet vil være det mest ambisiøse og vil derfor ha høyeste potensial for å møte målet om 40 % reduksjon innen 2030, og en klimanøytral eiendomsportefølge innen 2050. Hvorvidt hybridsenarioet er realistisk gjennomførbart, er ikke vurdert. Likevel vil et kombinasjonsscenario vise potensialet for å minimere levert energi til eiendomsporteføljen.



Figur 3.7 - Konseptuell oversikt over scenarioanalysen for Statsbygg sin eiendomsportefølge. Linjene mellom scenariene indikerer hvordan scenariene bygger på hverandre.

4. Presentasjon av Statsbygg sin eiendomsportefølje

En detaljert forståelse av bygningsmassens utvikling og karakteristikk er et viktig premiss for å kunne redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Dette er også essensielt for å ta gode avgjørelser for hvilke tiltak som er viktige å iverksette, og for valg av indikatorer for å vurdere måloppnåelse. Etter behandling av data, har eiendomsporteføljen et totalt bebygd bruttoareal på 2 570 764 m². Ved kartlegging av energibruk for eiendomsporteføljen er det tatt utgangspunkt i verdier fra 2020. Dette avviker noe fra tidligere år grunnet COVID 19-pandemien som har ført til redusert energibruk for flere bygningskategorier. Dette gir et gjennomsnittlig spesifikt energibruk på 199 kWh/m²år. Dette er noe lavere enn nasjonal gjennomsnittlig spesifikk energibruk som i 2011 var på 227 kWh/m²år (SINTEF Byggforsk, 2011). Hele eiendomsporteføljen og verdiene for energibruk er temperatur- og stedskorrigert. Dette gjør det mulig å studere eiendomsporteføljen på områdenivå, i tillegg til å kunne sammenligne eiendommer fra ulike lokasjoner.

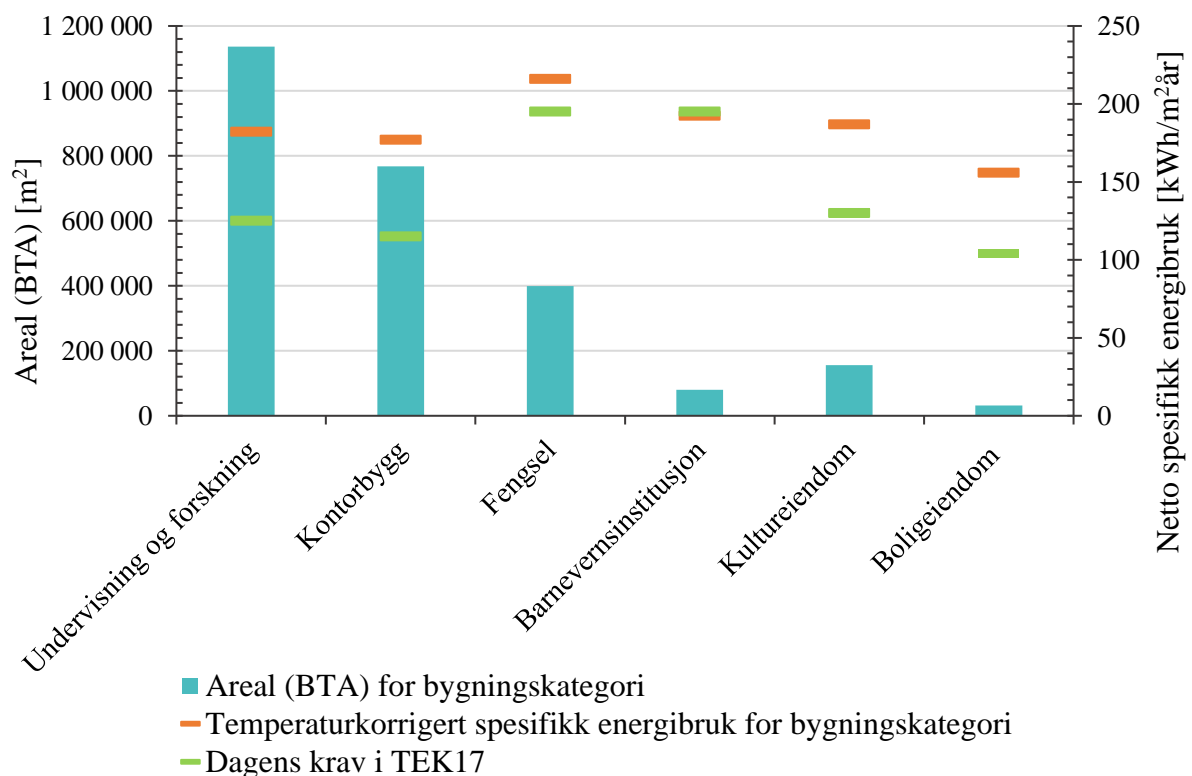
4.1 Segmentering av bygningstyper og aldersklasser

Eiendomsporteføljen til Statsbygg er gjennom behandling segmentert inn i seks kategorier, i henhold til ulike bruksområder. Kategoriene samsvarer med bygningskategoriene i TEK 17. Både fengelsbygg og barnevernsinstitusjoner faller innenfor kategorien sykehjem i henhold til TEK. Grunnet ulike bruksområder er det valgt å skille disse kategoriene. Segmentering av bygningstyper med tilhørende summert data er vist i tabell 4.1. For levert energi er det tatt hensyn til at en del av eiendommene har lokale fornybare energikilder der generert energi er trukket fra levert energi. Eiendommer med flere bygninger er samlet til en felles eiendom med vektet spesifikt energiforbruk og bygningsalder. Dette gjelder spesielt for undervisningsbygg, der større campusområder tilsvarer en eiendom. Dette er gjort fordi levert energi er gitt på eiendomsbasis i datasettet fra Statsbygg.

Tabell 4.1 - Oversikt over segmentering av eiendomsporteføljen med tilhørende data.

| Bygningskategori | Antall eiendommer | Totalt areal, BTA [m ²] | Levert energi [kWh] |
|----------------------------------|-------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Undervisnings- og forskningsbygg | 65 | 1 136 040 m ² | 179 408 055 kWh |
| Kontorbygg | 125 | 767 654 m ² | 128 968 486 kWh |
| Fengsel | 49 | 399 445 m ² | 72 217 069 kWh |
| Barnevernsinstitusjon | 77 | 79 768 m ² | 12 585 591 kWh |
| Kultureiendom | 26 | 156 203 m ² | 22 221 491 kWh |
| Boligeiendom | 20 | 31 637 m ² | 3 127 371 kWh |

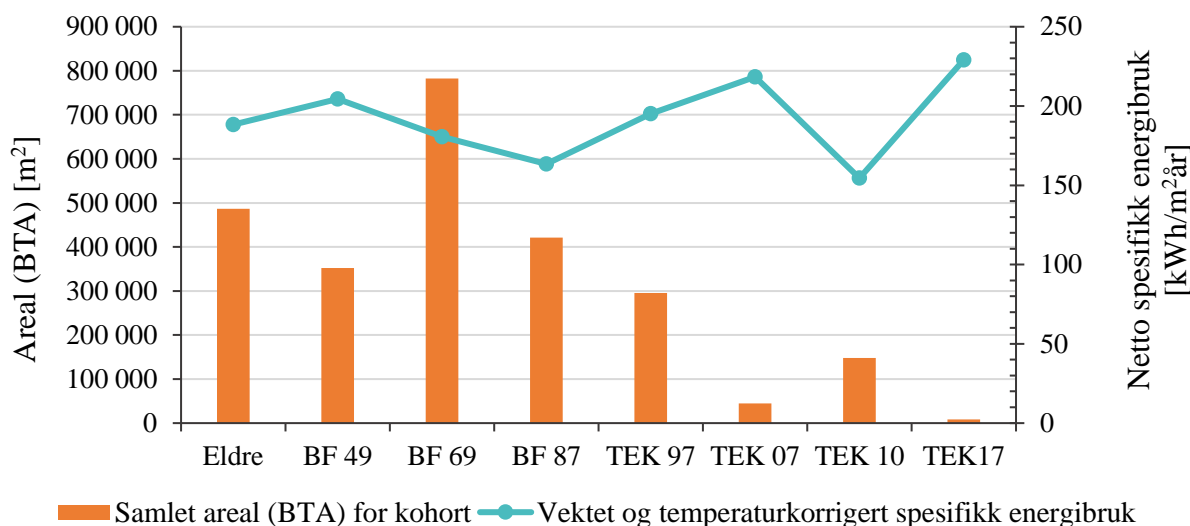
Oversikt over bebygd areal i 2020 med tilhørende årlig temperatur- og stedskorrigert spesifikt energibruk, er vist i figur 4.1. Kravene i dagens TEK17 er vist i grønt for hver bygningskategori. Forskjellen mellom bygningskategoriens spesifikke energibruk og krav i TEK viser forskjellen mellom nybygg og dagens eiendomsportefølje. I tillegg viser differansen mellom disse det gapet som må tettes ved en totalrehabilitering. Ut fra figuren er fengsler den bygningskategorien med høyest spesifikk energibruk. I tillegg viser data fra foregående år en stor reduksjon i energiforbruk fra 2019. De to kategoriene med høyest energibruk er undervisnings- og forskningsbygg, og kontorbygg. Gapet i spesifikk energibruk i forhold til TEK 17 er henholdsvis 58 kWh/m² og 52 kWh/m². Disse to bygningskategoriene vil bli undersøkt i detalj i denne oppgaven, mens beregning av resterende kategorier vil bli presentert avslutningsvis.



Figur 4.1 - Oversikt over areal og spesifikk energibruk for 2020 fordelt på ulike bygningskategorier. Energiforbruket er sammenlignet med dagens krav i TEK som er gjeldende ved totalrehabilitering.

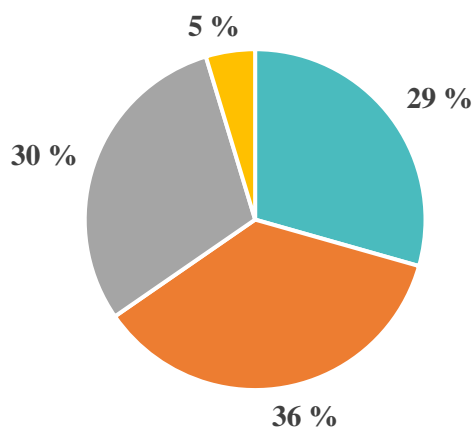
4.1.1 Alderssammensetning

Bygningsmassen er videre segmentert inn i aldersklasser. Figur 4.2 viser eiendomsporteføljen fordelt på syv ulike byggeforskrifter. Gjennomsnittlig spesifikk energibruk for hvert alderssegment er vist i blått. Parameterne er plottet sammen for å vise utviklingen av gjennomsnittlig spesifikk energibruk relatert til alder. I tillegg er antall bygg varierende der den eldste delen av porteføljen i større grad består av mindre eiendommer, mens det på 70-tallet ble bygget flere større eiendommer. For eldre eiendommer bygget før 1950 består eiendomsporteføljen av 107 eiendommer, med et gjennomsnittlig areal på 4 550 m². For de 75 eiendommene bygget i perioden 1970 til 1987 er gjennomsnittlig areal på 10 430 m². Generelt har mindre eiendommer et høyere spesifikt energiforbruk. Dette tilsier at arealvekting av eiendommer ved kartlegging er svært hensiktsmessig for å få et korrekt bilde av en portefølje.

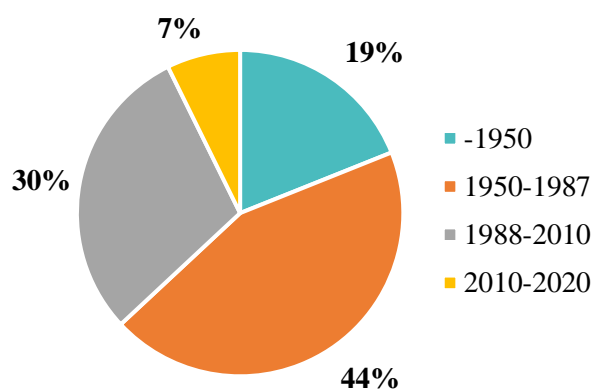


Figur 4.2 - Areal og spesifikt energiforbruk for porteføljen fordelt på ulike byggeforskrifter.

Figur 4.3 og 4.4 viser segmenteringen av eiendomsporteføljen fordelt på de utvalgte alderskohortene fra metodekapitlet. Figurene viser fordeling av henholdsvis antall eiendommer per kohort til venstre, og andel av totalt bruttoareal til høyre. Alderskohortene er valgt på bakgrunn av innstramminger i byggeforskriftene, og ikke på bakgrunn av jevn fordeling av areal. Figuren viser at den største andelen av eiendommene er bygget i perioden 1950 til 1987. Eiendommene ble derfor bygget uten generelle krav til energieffektivitet. Ut ifra segmenteringen i forhold til byggetekniske forskrifter og utvalgte kohorter vil alderskohortene være hensiktsmessige i forhold til eiendomsporteføljens faktiske alder.



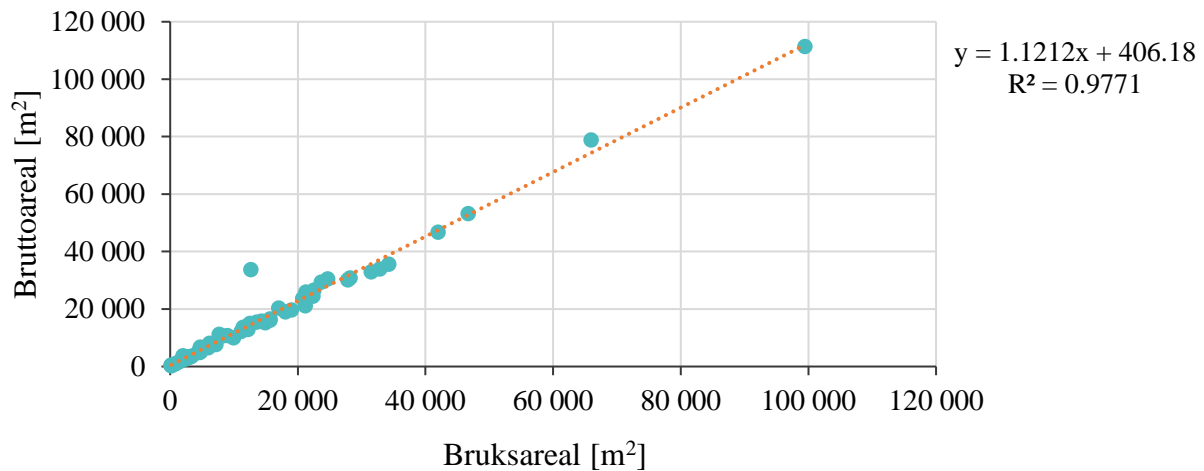
Figur 4.3 – Antall eiendommer fordelt på alderskohortene i 2020.



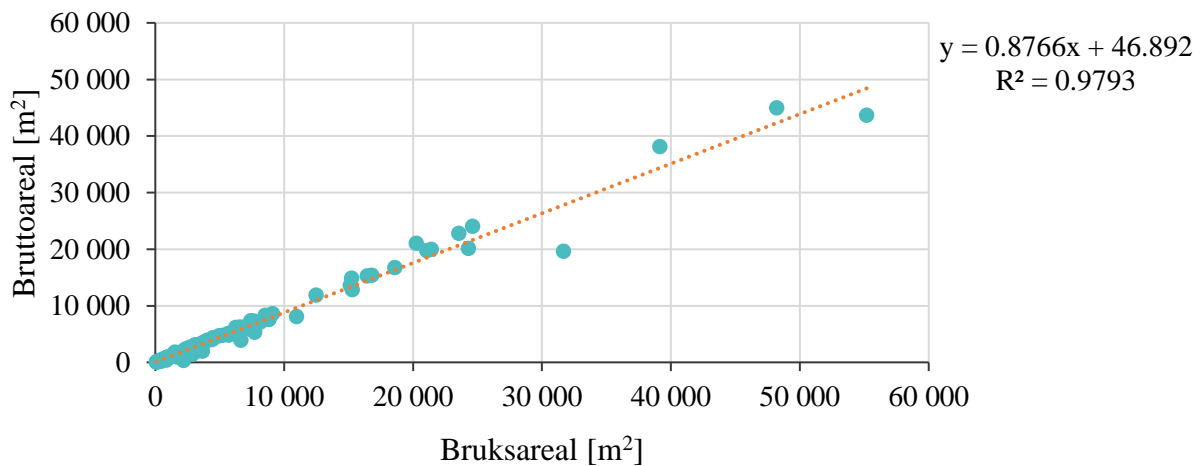
Figur 4.4 – Samlet areal i 2020 fordelt på de ulike alderskohortene.

Figur 4.1 til 4.4 bruker bruttoareal for å kartlegge størrelsen på eiendomsporteføljen. Bruttoareal er valgt for kartlegging på bakgrunn av at bruksareal ikke gir et fullstendig bilde av størrelsen på noen eiendommer. Arealeffektive eiendommer er både økonomiske og klimavennlige fordi man har mindre behov for nye arealer. Statsbygg har som mål å utnytte arealene sine på en effektiv måte, samt å utnytte eksisterende arealer mer optimalt. Dette er sentralt for å spare penger og miljø, samtidig som man reduserer behovet for nybygg. Økt kunnskap rundt prosentandelen av arealet som er i bruk, vil være et insentiv for å ta i bruk eksisterende arealer mer effektivt. Kartlegging av bruksareal og arealeffektivitet et en mulig KPI for videre eiendomsforvaltning.

Figur 4.5 viser sammenhengen mellom bruttoareal og bruksareal for undervisnings- og forskningsbygg. Generelt er det lavere arealeffektivitet for mindre eiendommer enn for eiendommer over 3000 m². For eiendommer under 1000 m² viser kartleggingen at kun 66 % av det totale arealet er bruksareal. Totalt for alle undervisningsbygg er det en arealeffektivitet på 85 %. Den samme tendensen er også tydelig for kontorbygg. Kontorbygg har en gjennomsnittlig arealeffektivitet på 87 %. Ifølge Statsbygg står halvparten av kontorarbeidsplasser tomme til enhver tid, og effektivisering av kontorarealer er derfor svært relevant for å minimere klimagassutslipp og utnytte eksisterende arealer til rådighet på en bedre måte. Sammenhengen mellom BTA og BRA for kontorbygg er vist i figur 4.6.



Figur 4.5 – Kartlegging av korrelasjonen mellom bruttoareal og bruksareal for undervisningsbygg.

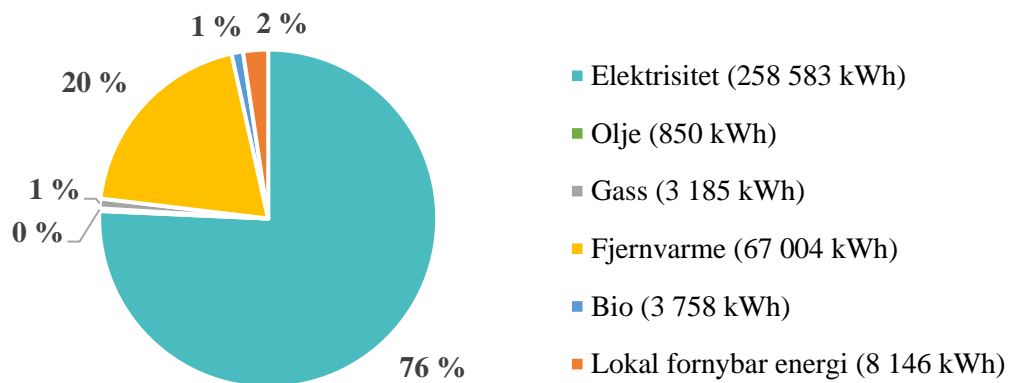


Figur 4.6 – Kartlegging av korrelasjonen mellom bruttoareal og bruksareal for kontoreiendom.

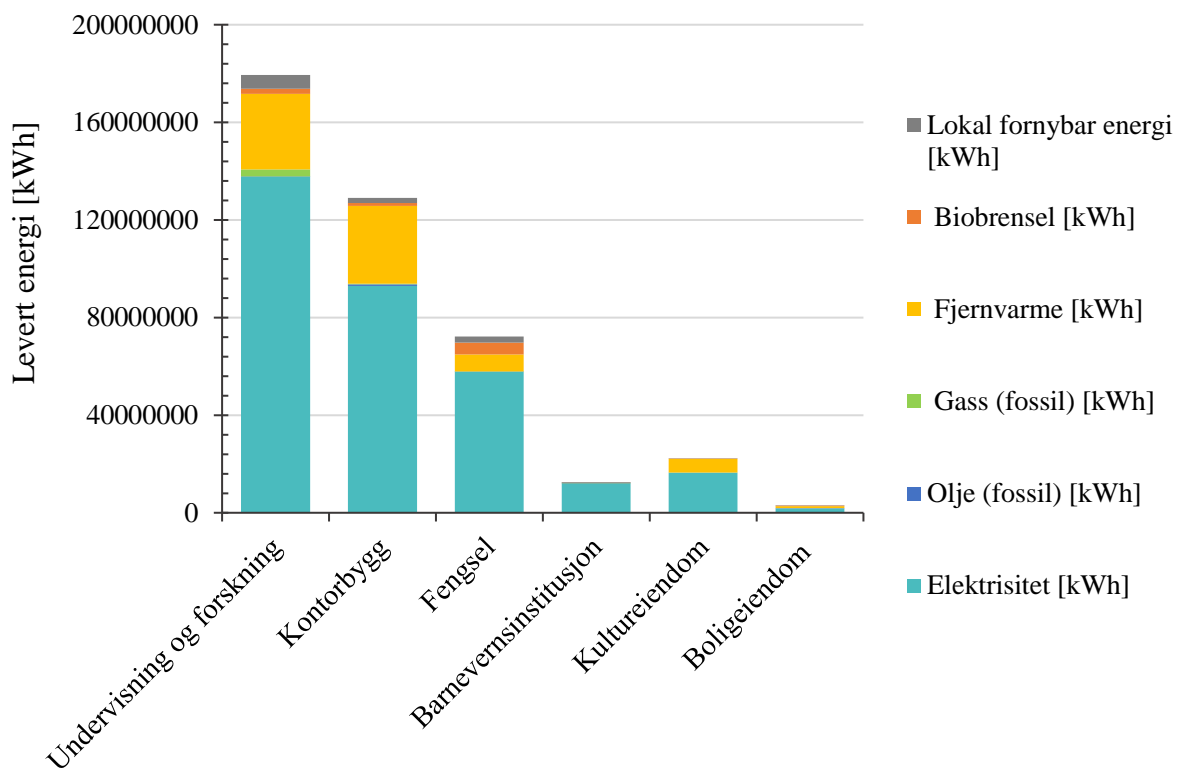
Arealeffektivitet er ikke nødvendigvis kun relatert til bruksareal, men antall personer per kvadratmeter. Statsbygg har derfor etablert en arealnorm som sier at kontorareal ikke bør overstige 23 kvadratmeter per ansatt. Videre kan det derfor være viktig å kartlegge bruken av hver enkelt eiendom for å bruke kvadratmeter per ansatt som indikator for arealeffektivitet istedenfor bruksareal. Det vil også være hensiktsmessig å undersøke om bruttoarealet kan utnyttes mer effektivt, spesielt for mindre eiendommer. Dette kan bli en viktig del av videre energikartlegging og eiendomsforvaltning.

4.1.2 Levert energi

Datasettet for eiendomsporteføljen skiller mellom levert og forbrukt energi. Levert energi gir et innblikk i bruk av ulike energivarer, noe som er viktig ved beregning av klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Levert energi i datasettet er fordelt over seks energivarer. Summert opp for hele porteføljen er elektrisitet og fjernvarme dominerende energivarer, ansvarlig for henholdsvis 76 % og 20 % av levert energi. Allokeringen av energivarer for hele bygningsmassen er vist i figur 4.7. Allokeringen av energivarer fordelt på ulike bygningskategorier er vist i figur 4.8. Ut ifra figuren er det tydelig at undervisningsbygg har de eiendommene med størst energibehov grunnet størst areal. Som sett er elektrisitet den dominerende energivaren for alle bygningskategorier. Dette samsvarer godt med resten av Norges bygningsmasse.



Figur 4.7 – Allokeringen av energivarer totalt for hele eiendomsporteføljen.



Figur 4.8 – Allokering av energivarer fordelt på ulike bygningskategorier i eiendomsporteføljen.

Et av satsningsområdene for Statsbygg for å redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen, er satsing på lokal produksjon av fornybar energi. Dette skal gjøres ved å installere solceller på tak der dette er hensiktsmessig. Verdier for 2020 viser at 2 % av levert energi er dekket av lokal fornybar energi, hovedsakelig i form av solenergi. Det vil videre satses på å øke denne andelen av lokal produsert energi som et tiltak for å redusere energibruken til eiendomsporteføljen. Scenariofremskrivning av eiendomsporteføljen vil gjøre det mulig å undersøke om dette er tilstrekkelig for å nå målsettingen om en klimanøytral eiendomsportefølje.

4.2 Analyse av alderskohorter

Bygningskategoriene er videre segmentert innenfor de utvalgte alderskohortene. På denne måten kan utbygging og spesifikk energibruk studeres i detalj. Tabell 4.2 viser sammenhengen mellom byggeperiode i forhold til antall kvadratmeter som ble bygget, og tilhørende gjennomsnittlig spesifikk energibruk. Resultatet av databehandlingen er videre presentert for hver bygningskategori. 30 % av arealet i eiendomsporteføljen er bygget før 1950. Fra tabellen er dette i hovedsak kontorbygg, fengsler og kultureiendom. Eksempelvis er 44 % av fengselsbyggene i eiendomsporteføljen bygget før 1950. For kultureiendom er hele 62 % av byggene bygget før 1950, hvorav det eldste er datert fra 1261.

Tabell 4.2 - Resultater for databehandling av alderskohorter for de seks utvalgte bygningskategoriene.

| | Eldre (- 1950) | 1950 - 1987 | 1988 - 2010 | 2011 - nå |
|----------------------------------|--|--|--|--|
| Undervisning og forskning | 33 203 m ² 170 kWh/m ² | 694 765 m ² 180 kWh/m ² | 306 278 m ² 201 kWh/m ² | 101 794 m ² 152 kWh/m ² |
| Kontorbygg | 143 341 m ² 182 kWh/m ² | 271 648 m ² 202 kWh/m ² | 307 773 m ² 156 kWh/m ² | 44 892 m ² 166 kWh/m ² |
| Fengsel | 177 051 m ² 215 kWh/m ² | 124 348 m ² 221 kWh/m ² | 61 317 m ² 201 kWh/m ² | 36 728 m ² 229 kWh/m ² |
| Barneverns-institusjon | 27 674 m ² 193 kWh/m ² | 17 569 m ² 173 kWh/m ² | 32 272 m ² 200 kWh/m ² | 2 253 m ² 181 kWh/m ² |
| Kultureiendom | 96 827 m ² 152 kWh/m ² | 5 134 m ² 147 kWh/m ² | 52 433 m ² 259 kWh/m ² | 1 810 m ² 108 kWh/m ² |
| Boligeiendom | 10 070 m ² 212 kWh/m ² | 19 477 m ² 122 kWh/m ² | 2 090 m ² 201 kWh/m ² | 0 m ² - |

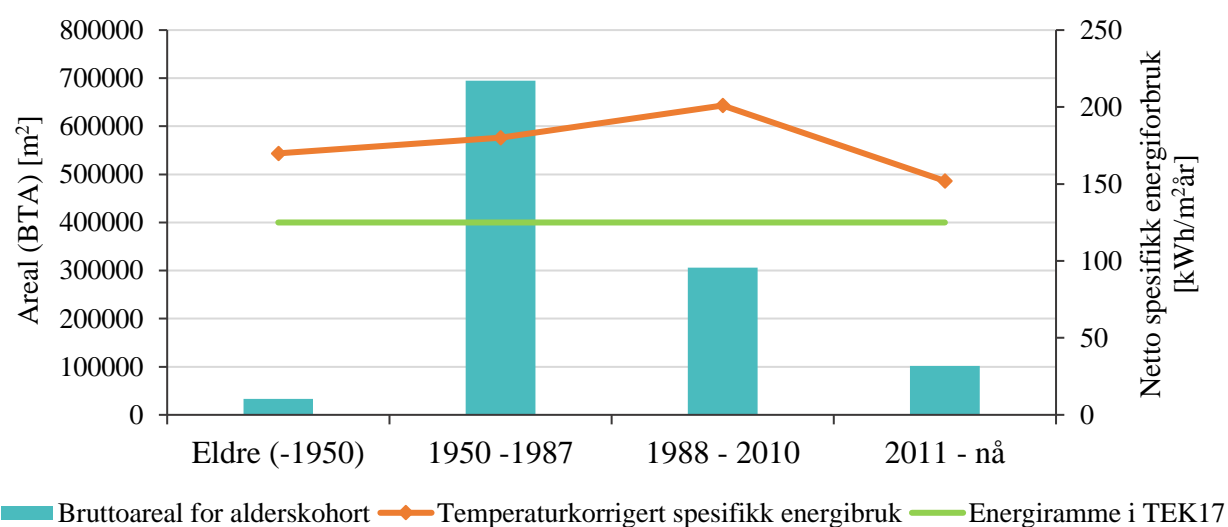
Videre har de to største bygningskategoriene blitt frekvensanalysert for å kunne beregne standardavviket fra gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk. Standardavviker forteller hvor langt de enkelte verdiene i samme kohort ligger fra gjennomsnittsverdien. Slike analyser er viktige for å undersøke variasjoner i eiendomsporteføljen. Beregningene er presentert i tabell 4.3. Tabellen viser også minimums- og maksimumsverdien for temperatur- og stedkorrigert spesifikt energibruk for hver alderskohort innenfor de to bygningskategoriene.

Tabell 4.3 - Frekvensanalyse av de to største bygningskategoriene.

| Bygningskategori | Kohort | Antall | Minverdi | Maksverdi | Standardavvik |
|--------------------------------|--------|--------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| Undervisning og forskning | C1 | 8 | 96 kWh/m ² | 292 kWh/m ² | ± 63 kWh/m ² |
| | C2 | 33 | 59 kWh/m ² | 541 kWh/m ² | ± 100 kWh/m ² |
| | C3 | 23 | 124 kWh/m ² | 697 kWh/m ² | ± 129 kWh/m ² |
| | C4 | 3 | 143 kWh/m ² | 157 kWh/m ² | ± 7 kWh/m ² |
| Kontor- og administrasjonsbygg | C1 | 24 | 60 kWh/m ² | 263 kWh/m ² | ± 41 kWh/m ² |
| | C2 | 49 | 22 kWh/m ² | 521 kWh/m ² | ± 100 kWh/m ² |
| | C3 | 44 | 11 kWh/m ² | 555 kWh/m ² | ± 92 kWh/m ² |
| | C4 | 8 | 112 kWh/m ² | 320 kWh/m ² | ± 67 kWh/m ² |

Undervisnings- og forskningsbygg

Den største arealandelen av Statsbygg sin eiendomsportefølje er undervisning- og forskningsbygg. I henhold til TEK kategoriseres skolebygg og universitetsbygg i ulike bygningskategorier. Under behandling av data er det ikke funnet store forskjeller i tilstand eller drift av disse eiendommene. Av de 98 skole- og undervisningsbyggene er det kun 10 som er definert som skolebygg i Statsbygg sin eiendomsportefølje. Det er derfor valgt å fusjonere disse kategoriene. I tillegg er forskningsinstitusjoner inkludert i denne kategorien. For denne bygningskategorien er det klart flest eiendommer som er bygget i perioden 1950 til 1987, altså før det ble stilt konkrete energieffektiviseringskrav til eiendommer. Samlet er spesifikk energibruk på 182 kWh/m². Dette gir et gap i spesifikk energibruk på 57 kWh/m². Eiendommer bygget i henhold til TEK 87 og TEK 97 har det høyeste energiforbruket. Dette skyldes blant annet to forskningsinstitusjoner som driver med svært energikrevende aktiviteter. Figur 4.9 viser undervisnings- og forskningsbygg fordelt på

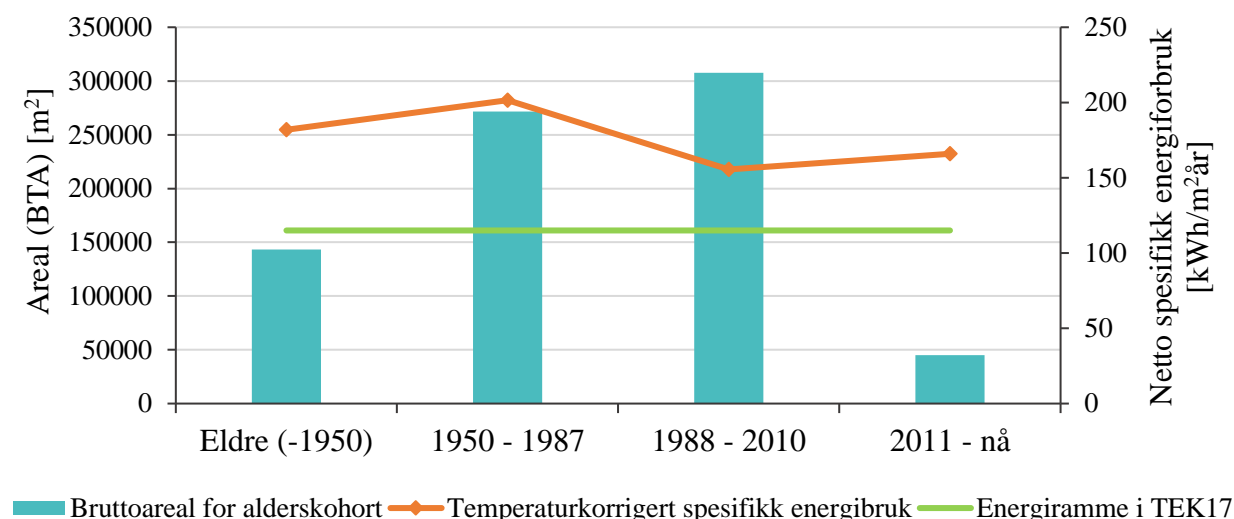


Figur 4.9 – Bruttoareal og gjennomsnittlig spesifikk energibruk for undervisnings- og forskningsbygg fordelt på ulike alderskohorter.

de ulike alderskohortene. Årlig spesifikk energibruk for hver alderskohort er vist i oransje. Dagens energiramme er gitt i grønt for å sammenligne gapet mellom faktiske verdier og krav. For den nyeste delen av bebyggelsen er målt energibruk og energiramme omtrent lik.

Kontorbygg

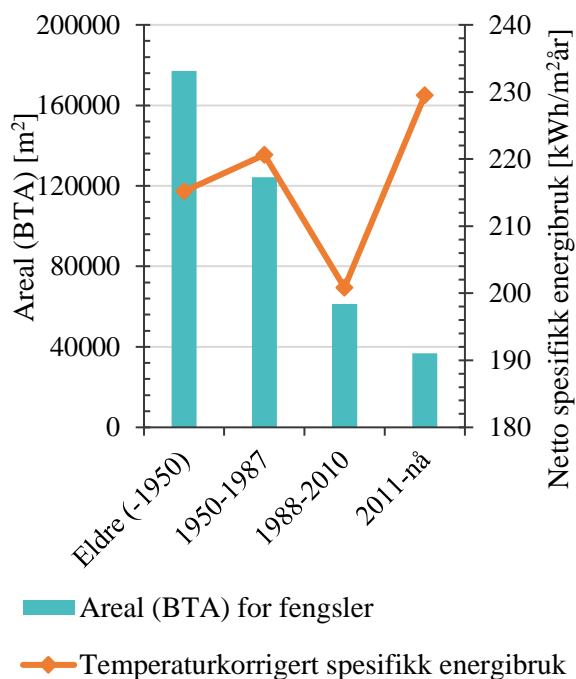
Kontor- og administrasjonsbygg er den største kategorien i eiendomsporteføljen med sine 125 eiendommer. Ved vekting av byggeår på bakgrunn av eiendommenes størrelse, er kontorbygg gjennomsnittlig datert fra 1973. Kategorien er svært sammensatt med tanke på eiendommenes størrelse. Figur 4.10 viser sammenheng mellom alderskohort, størrelse og arealbruk. Gjennomsnittlig areal for eiendommene er i overkant av 6 000 m², mens den største eiendommen er Politihuset i Oslo på 55 000 m². For kontorbygg er det store forskjeller i energibruk mellom 2019 og 2020 grunnet COVID 19-pandemien. Dette tilsier at flere av eiendommene har redusert oppvarming og energibruk i denne perioden. Alderskohorten med størst areal, datert fra perioden 1988 – 2010, har en temperatur- og stedskorrigert spesifikk energibruk på 202 kWh/m². Dette gir et gap på 87 kWh/m² i forhold til dagens krav i TEK. Denne delen av bygningskategorien vil ha størst energiforbruk.



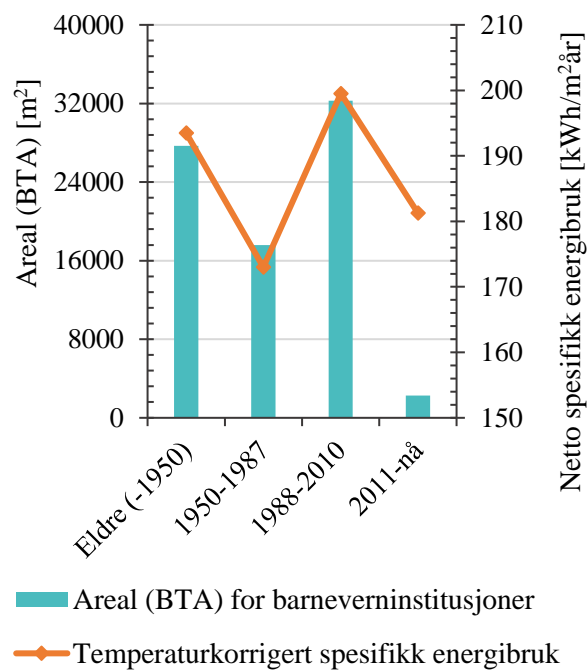
Figur 4.10 - Bruttoareal og gjennomsnittlig spesifikk energibruk for kontor- og administrasjonsbygg fordelt på ulike alderskohorter.

Resterende bygningskategorier

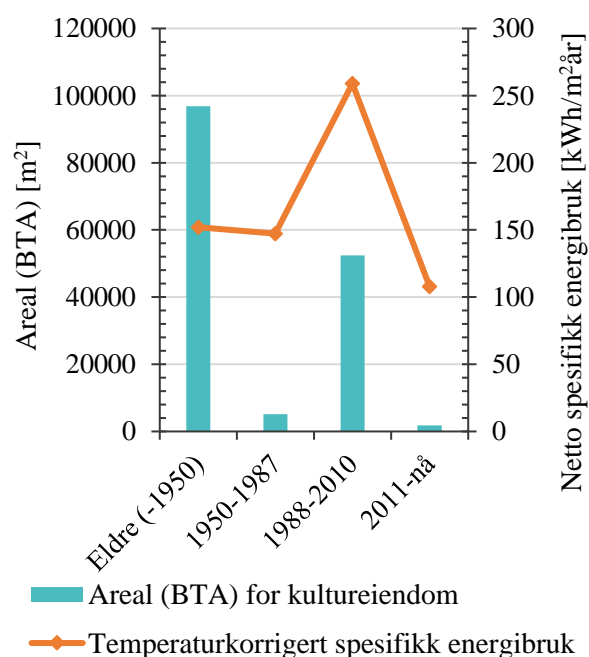
Oversikt over resterende fire bygningskategorier med tilhørende kohorter er vist i figur 4.11 til 4.14. Figur 4.11 og 4.12 viser henholdsvis bygningskategorien fengsler og barnevernsinstitusjoner. Disse kategoriene faller begge innenfor kategorien sykehjem i TEK. Grunnet ulikheter spesifikk energibruk er det valgt å skille disse kategoriene ved kartlegging. Likevel vil begge kategoriene klassifiseres som institusjoner ved scenariefremskrivning. Fengselsbygg skiller seg til dels ut fra resten av statistikken med en stor andel svært gamle bygg. For denne kategorien har det også vært en stor reduksjon i energibruk fra 2019 til 2020. Til tross for dette, er fengsler den kategorien med høyest spesifikt energibruk. Her er det viktig å presisere at Norges fengselsbygg ble overtatt av Statsbygg i 2009, og har derfor ikke blitt oppgradert i stor grad før dette.



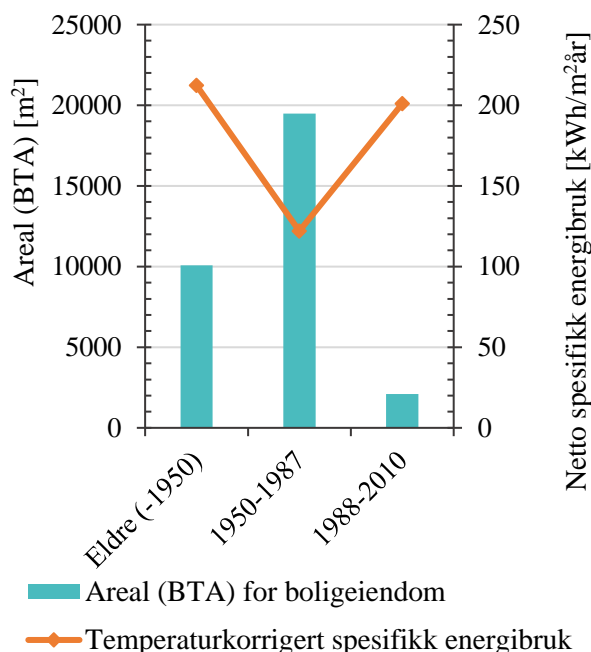
Figur 4.11 – Kartlegging av fengselsbygg.



Figur 4.12 – Kartlegging av institusjoner.



Figur 4.13 – Kartlegging av kultureiendom.

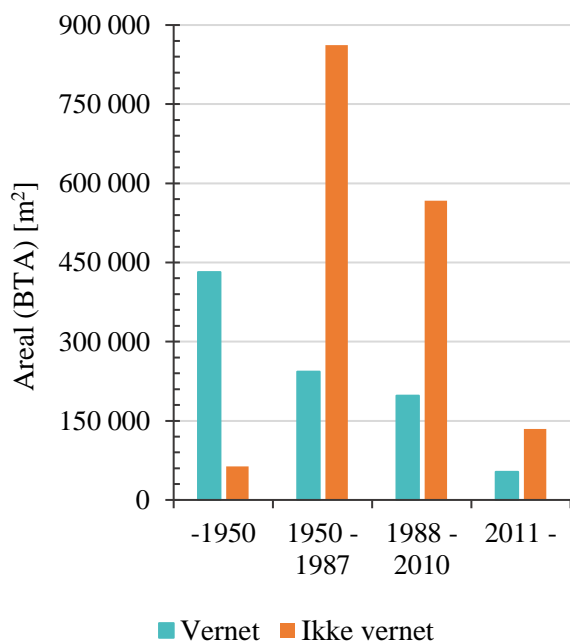


Figur 4.14 – Kartlegging av boligeiendom.

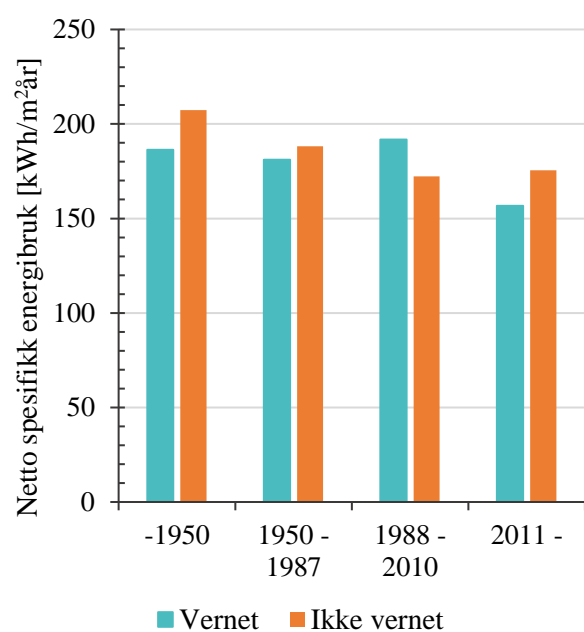
Øvrige kategorier er kultureiendom og boligeiendom. Spesifikk energibruk og areal er vist i figur 4.13 og 4.14. Grunnet mindre areal vil ikke tiltak på disse kategoriene bli prioritert. Likevel viser kartleggingen at også disse kategoriene har store gap mellom målt spesifikt energibruk og krav i TEK. Sammenhengen mellom byggealder og spesifikk energibruk viser at det ikke nødvendigvis er de eldste byggene som bør prioriteres ved energioppgraderinger.

4.3 Kulturminnevern i bygningsmassen

Som byggherre på vegne av staten, er Statsbygg ansvarlig for å forvalte flere eiendommer med kulturminneverdi. For verneverdige bygninger er det ikke like stort mulighetsrom for gjennomføring av effektiviseringstiltak, sammenlignet med andre bygninger. Det er klare tekniske utfordringer ved å gjennomføre energieffektive oppgraderinger som ikke går på bekostning av kulturminneverdien, eller overskrider kostnadsrammen. Derfor er det interessant å studere hvor stor andel av eiendomsporteføljen som er vernet. Andel av arealet som er vernet, vil bli viktig for fremskrivning av eiendomsporteføljen, da dette legger retningslinjer for rehabiliteringen av eiendommene. Det er også gjort undersøkelser av spesifikk energibruk for vernede eiendommer i forhold til bygninger uten vernestatus. På denne måten er det mulig å analysere behovet for energieffektivisering for denne delen av eiendomsporteføljen. Vernet areal står for 36 % av det totale arealet i eiendomsporteføljen, hvorav største delen av arealet dateres fra før 1950. Andelen av vernet areal innenfor hver alderskohort er vist i figur 4.15. Videre er temperatur- og stedskorrigert spesifikk energibruk vist i figur 4.16.



Figur 4.15 – Sammenligning av totalt areal for vernede og ikke vernede bygg fra ulike perioder.

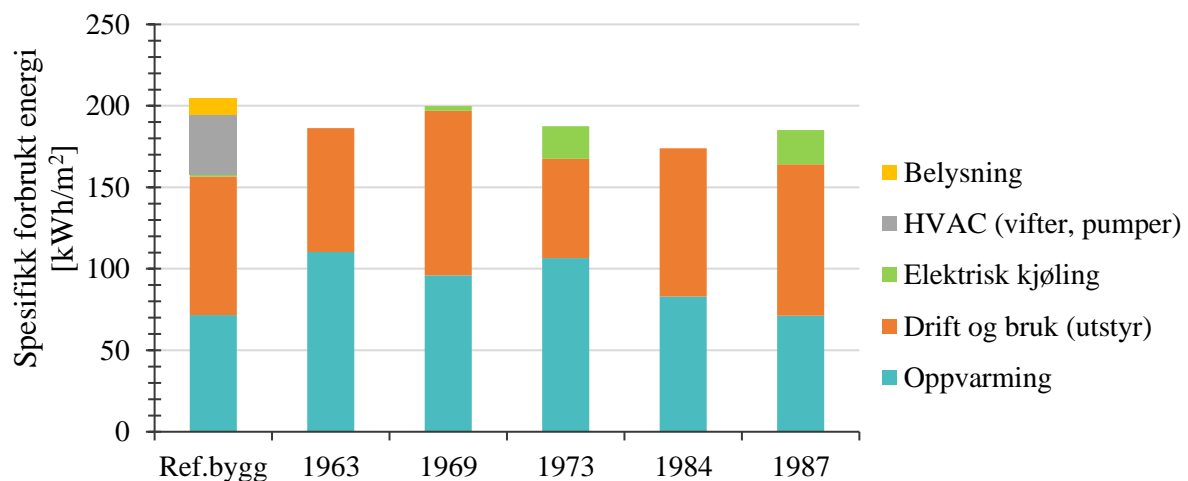


Figur 4.16 - Sammenligning av spesifikk energibruk for vernede og ikke vernede bygg fra ulike perioder.

Som sett i figur 4.15 og 4.16 er det i hovedsak de eldste byggene der en stor andel er vernet. Av byggene datert fra før 1950 er 87 % vernet. Gjennom behandling av datasettet er det ikke tatt hensyn til type verneklasse, kun om bygget er pålagt verneregler. Behandling av datasettet viser at gjennomsnittlig spesifikk energibruk for de vernede eiendommene er lavere enn resterende eiendommer for bygg fra tre aldersperioder. For de eldste bygningene kan dette ha sammenheng med at svært få av eiendommene er energioppgradert, eller at vernede eiendommer brukes mindre intensivt. Da alle vernede bygg er ulike og må studeres individuelt, er det ikke laget en generisk bygning for å representere denne bygningsmassen separat. Disse eiendommene er derfor satt som konstanter i fremskrivningen. Likevel viser verdiene at vernehensyn ikke nødvendigvis trenger å gå på bekostningen av byggets energieffektivitet. Da det ikke er funnet store forskjeller i spesifikk energibruk mellom vernede og ikke vernede bygninger, vil det ikke være fokus på kulturminnevern videre i oppgaven. Likevel er dette et interessant funn da vern ofte blir sett på som en stor hindring.

5. Etablering av referansebygg og resultater for energieffektiviseringstiltak

I dette kapitlet presenteres resultatet fra simuleringer av referansebygget gjennomført i IDA ICE. Her presenteres besparelsen ved enkelte tiltak og de ulike tiltakspakkene diskutert i metodekapitlet. Energilastprofilene vil videre brukes ved scenariefremskrivning av energiforbruket og klimagassutslippet i MFA-modellen. Hoveddelen av eiendomsporteføljen, 44 %, daterer fra perioden 1950 til 1987. Det er derfor valgt å ta utgangspunkt i eiendommer fra denne perioden ved etablering og kalibrering av referansebygget. Beregningene i oppgaven tar utgangspunkt i en tidligere referansemodell fra en masteroppgave gjennomført ved NTNU våren 2018. Oppgaven baserer seg på å lage et realistisk referansebygg for bygningskategorien undervisningsbygg, med utgangspunkt i Gløshaugen. Det originale referansebygget er et universitetsbygg basert på 18 bygninger datert fra perioden 1950 til 1968. Disse byggene er altså noe eldre enn for oppgavens alderskohort 2. Bygningene på Gløshaugen har i likhet med Statsbygg sin eiendomsportefølje store variasjoner i spesifikt energiforbruk, fra «Oppredning» med 121 kWh/m² til «Kjemi 4 og 5» med 460 kWh/m². Det er derfor sentralt å først undersøke hvor realistisk bygget er som grunnmodell for etablering av referansebygg for de eksisterende undervisningsbyggene til Statsbygg. Figur 5.1 viser spesifikt energiforbruk for referansebygg 2 simulert i gjeldende oppgave. Bygget er sammenlignet med fem representative eiendommer i porteføljen. Merk at porteføljen er formålsdelt ut ifra andre kategorier enn referansebygget. Spesifikk energibruk for referansebygget på 205 kWh/m² er noe høyere enn det eiendomsporteføljen viser, med et gjennomsnitt på 180 kWh/m².



Figur 5.1 – Spesifikt energiforbruk for referansebygg 2 sammenlignet med eiendommer fra porteføljen.

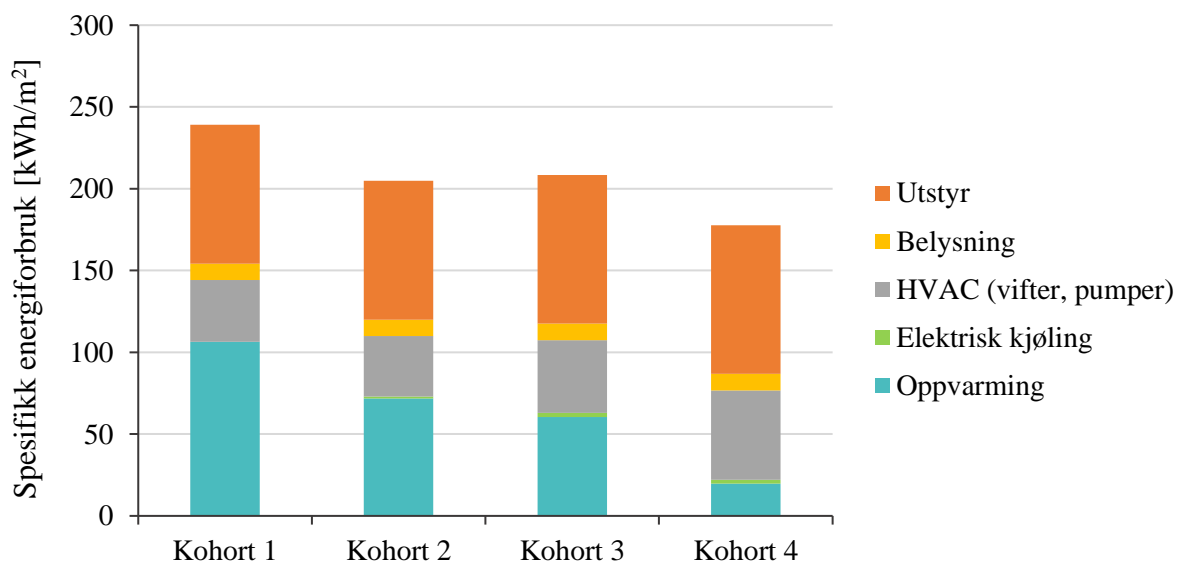
Grunnet COVID-19 pandemien er det undersøkt om en endring i bruksmønstre kan være grunnlaget for denne differansen. For kartlegging av energiforbruk er det tatt utgangspunkt i verdier fra Statsbygg sin energirapport for 2020. Her er energiforbruket formålsdelt, slik at det er mulig å sammenligne eksisterende eiendommer med simulerte resultater. Sammenligning av rådata mellom 2019 og 2020 gir en reduksjon i energibruk i 2020 på ca. 10 %. På denne måten kan det korrigeres for hjemmekontor og stengte universiteter ved kalibrering av referansebygget. Antagelsen har vært nødvendig da energidata fra 2019 ikke er formålsdelt slik at det er utfordrende å kartlegge hvor stor prosentandel som skyldes endrede bruksmønstre. 10 % korreksjon er derfor brukt, da modellen bør kalibreres opp mot et år med normal drift. Korreksjonen gir et gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk på 202 kWh/m² for undervisningsbygg datert fra perioden 1950 til 1987. Med et spesifikt energiforbruk på 204.9 kWh/m² for referansebygget, avviker simuleringen med kun 2.9 kWh/m² fra korrigert energiforbruk. Det kan derfor antas at referansebygget for kohort 2

representerer Statsbygg sin eiendomsportefølje på en tilfredsstillende måte gitt oppgavens formål. Referansebygget har et avvik på 13.8 % uten korreksjon, og 1.24 % med korreksjon for redusert bruk. Det er derfor sentralt å undersøke om forskjellen i energiforbruk faktisk skyldes en reduksjon i bruk, eller om referansebygget bør kalibreres videre. For å gjøre dette må målt energiforbruk for elektrisitet og fjernvarme gjøres tilgjengelig på timesbasis. Dette har ikke vært tilgjengelig ved gjennomføring av oppgaven.

For resterende kohorter er det i liket med masteroppgaven til Nesgård og Ngo fra 2018, tatt utgangspunkt i samme referansebygg for alle fire kohorter. Tidsrammen til oppgaven har gjort det nødvendig å etablere en felles bygningsgeometri, bruk og drift for alle kohorter. Disse referansebyggene er heller ikke sammenlignet med formålsdelt energibruk for reelle eiendommer, men antagelser rundt tilstand og slitasje er satt på bakgrunn av antagelser gjort av SINTEF Byggforsk og EPISCOPE prosjektet. Tabell 5.1 viser avviket mellom referansebygg og gjennomsnitt for eksisterende undervisningseiendommer. Forskjellen i energibruk på 10 % fra år 2019 til 2020 antas sekundært til endret bruksmønster på grunn av pandemien, og er vist i høyre kolonne i tabellen. Simulert energibruk for de tre siste alderskohortene har et avvik innenfor tilfredsstillende nivåer. Dette er fordi energilastprofilene skal undersøke om fremskrivningsmodellen kan brukes, ikke for å korrekt beregne levert energi.

Tabell 5.1 - Avvik mellom referansebyggene og reelle eiendommer korrigert for COVID-19.

| | Gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk | Korrigert for pandemi | Simulert spesifikt energiforbruk | Prosent avvik (ift. korrigert) |
|-----------------------------|---|--------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Kohort 1 -1949 | 170 kWh/m ² | 187 kWh/m ² | 239.1 kWh/m ² | + 27.8 % |
| Kohort 2 1950 - 1987 | 184 kWh/m ² | 202.4 kWh/m ² | 204.9 kWh/m ² | + 1.2 % |
| Kohort 3 1988 - 2010 | 201 kWh/m ² | 221.1 kWh/m ² | 208.3 kWh/m ² | - 5.8 % |
| Kohort 4 2011 - nå | 152 kWh/m ² | 167.2 kWh/m ² | 177.6 kWh/m ² | + 6.2 % |



Figur 5.2 - Simulert formål-delt spesifikt energiforbruk for referansebyggene.

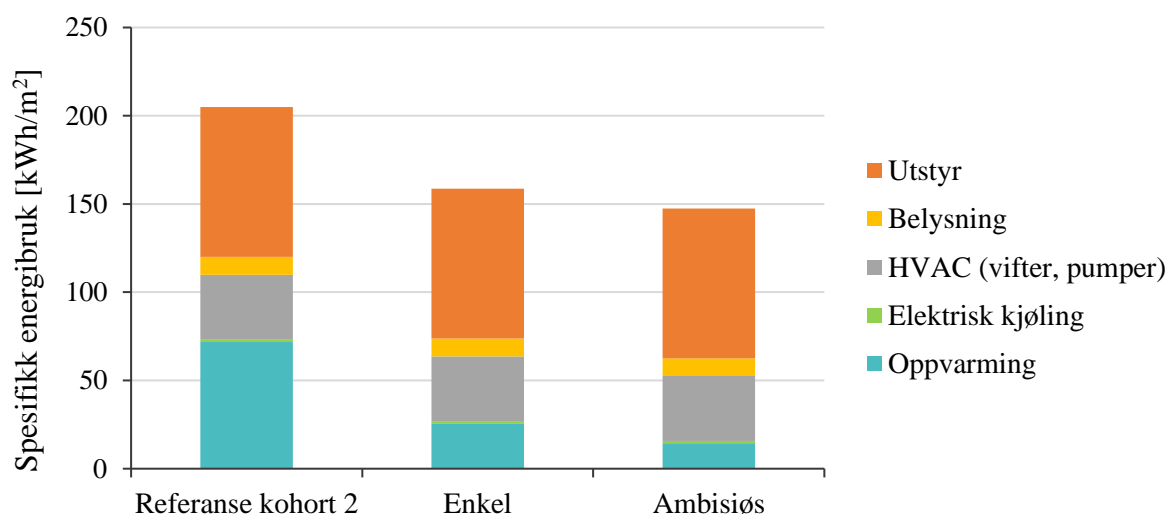
Figur 5.2 viser simulert formålsdelt spesifikt energiforbruk for de fire referansebyggene simulert i oppgaven. Resultatene viser at det er en god sammenheng mellom målt og simulert energibruk for kohort 2, 3 og 4. For kohort 1 er det et avvik på 28 % selv med korrigert energiforbruk. Dette kan skyldes at eldre eiendommer generelt har en lavere arealeffektivitet og personbelastning, enn nyere eiendommer. For korrekt simulering av eiendommer datert fra denne perioden, må det videre etableres forbedrede energilastprofiler. Datagrunnlaget fra Statsbygg har ikke vært tilstrekkelig for å gjennomføre dette.

Referansemodell for kohort 2, datert 1950 til 1987, er også brukt ved beregning av energibesparelser for ulike tiltak. For å undersøke de konkrete tiltakene er de først vurdert enkeltvis. Oversikt over de ulike tiltakene er vist i Tabell 5.2 sammen med prosent reduksjon ved simulering. Videre i figur 5.3 presenteres reduksjonen i energiforbruk for tiltakspakke enkel og ambisiøs. Resultatet fra simuleringer viser at energibruken reduseres med 22.6 % for enkel tiltakspakke, og 28 % for ambisiøs. Dette kan indikere at ambisiøs tiltakspakke burde inkludert ytterligere tiltak da forskjellen i reduksjon er mindre enn ventet.

Tabell 5.2 - Oversikt over energibesparelse for ulike ENØK-tiltak gjennomført på referansebygg 2.

| | Totalt energiforbruk | Prosent reduksjon |
|--|--------------------------|-------------------|
| Referansebygg | 204.9 kWh/m ² | - |
| T1: Varmegjenvinner 80 % | 161.3 kWh/m ² | 21.3 % |
| T2: Isolasjon 50 mm | 202.3 kWh/m ² | 1.4 % |
| T3: Isolere tak 50 mm | 202.8 kWh/m ² | 1.0 % |
| T4: Vinduer til passivhusnivå | 198.5 kWh/m ² | 3.1% |
| T5: Oppgradere bygningskropp til TEK17 | 191.6 kWh/m ² | 6.9 % |

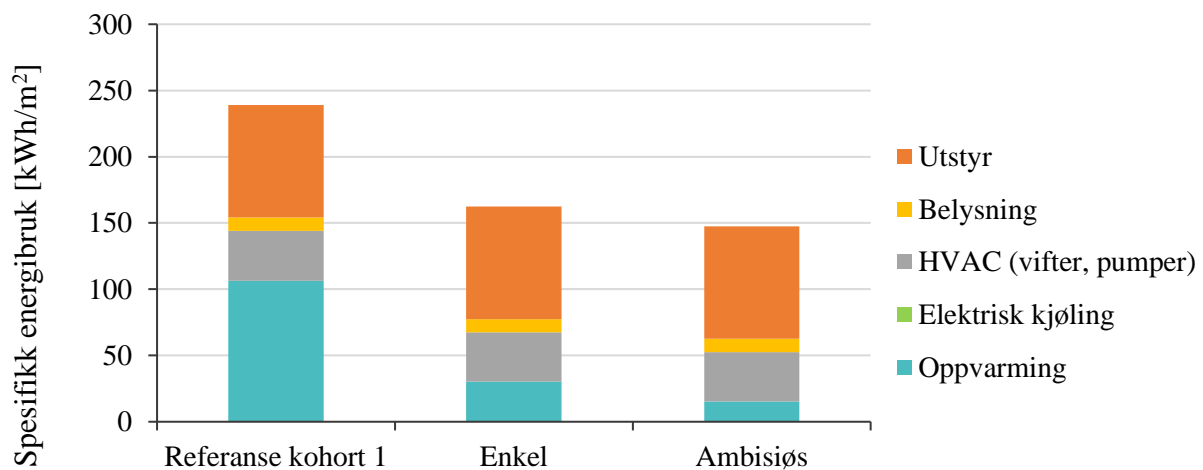
Den minimale forskjellen i energibruk mellom enkel og ambisiøs rehabilitering, skyldes at forbedring i effektivitet for en roterende varmeveksler i ventilasjonen har klart størst energibesparelse. Dette kommer også klart frem i Tabell 5.2, der T1 gir en reduksjon på 21.3 % av energiforbruket. Resultatene samsvarer godt med masteroppgaven til Nesgård og Ngo (Nesgård & Ngo, 2018). For videre simulering er det relevant å undersøke hvilke tiltak ambisiøs



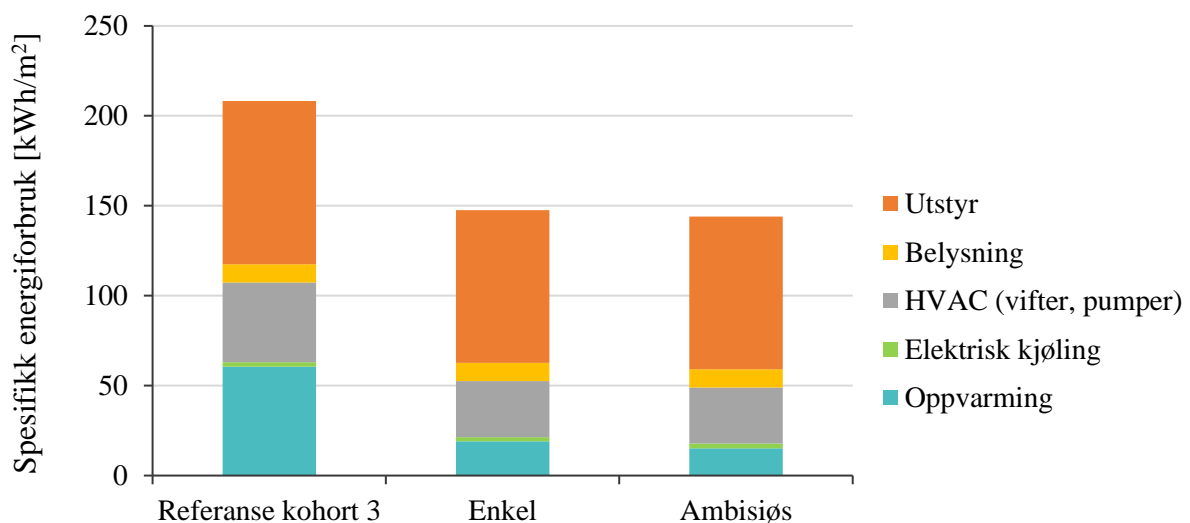
Figur 5.3 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 2.

rehabiliteringsbakke bør inkludere for at eiendommene skal nå TEK17 nivå. For ambisiøs rehabilitering er totalt netto energibehov på 22 kWh/m² høyere enn TEK 17 kravet. Økt effektivitet på brukerutstyr vil ha det største potensialet for reduksjon, da utstyrsposten er klart høyest med et simulert energiforbruk på 84.9 kWh/m². Dette skyldes i hovedsak at referansebygget er et universitet med flere energikrevende elementer.

Figur 5.4 og 5.5 viser simulering av tiltakspakker for henholdsvis kohort 1 og 3. Det er her tatt utgangspunkt i samme referansebygg, men verdier for tilstanden til bygningskroppen og tekniske systemer er endret i henhold til Tabell 3.3 fra metodekapitlet. Ved simulering er det antatt at brukerprofiler er like for alle eiendommer uavhengig av kohort. Som det framkommer i tabell 5.3 er ikke dette en tilstrekkelig antagelse for eldre bebyggelse da energiforbruket avviker betydelig fra verdier i porteføljen. Det er ikke foretatt beregninger for rehabilitering av kohort 4, da rehabiliteringer foregår i et 40 års perspektiv. Figurene viser en betydelig nedgang i levert energi for både referansebygg 1 og 3. Resultatene viser at skifte av varmegjenvinner er et effektivt tiltak selv for eiendommer bygget mellom 1988 og 2010.



Figur 5.4 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 1.



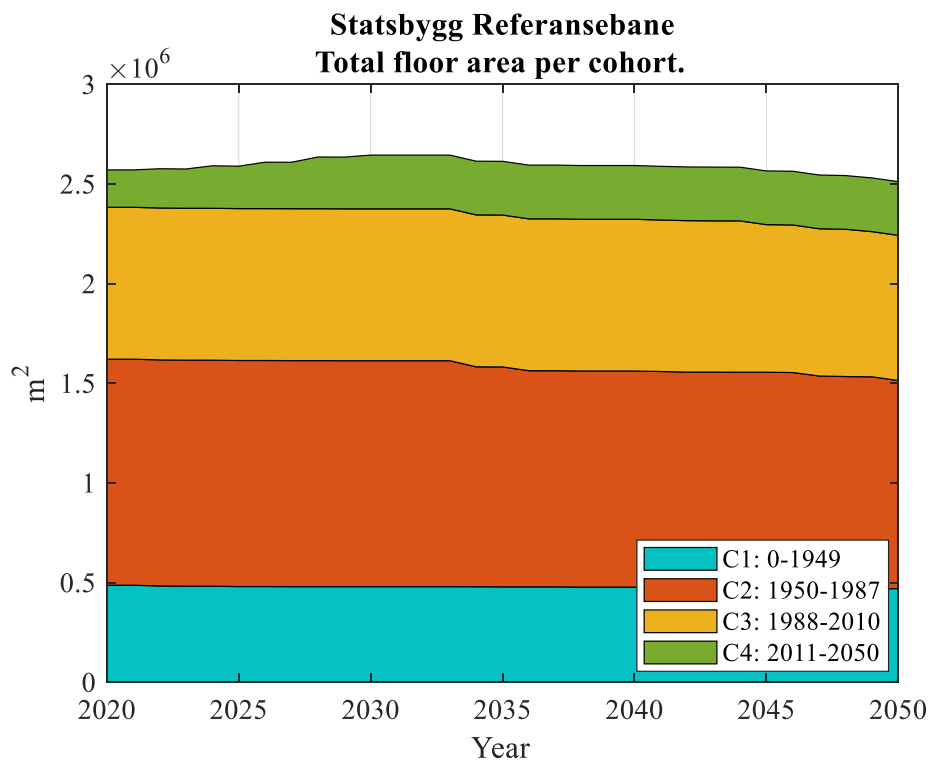
Figur 5.5 - Forskjell i energiforbruk for enkel og ambisiøs tiltakspakke for kohort 3.

6. Resultat fra scenariefremskrivning

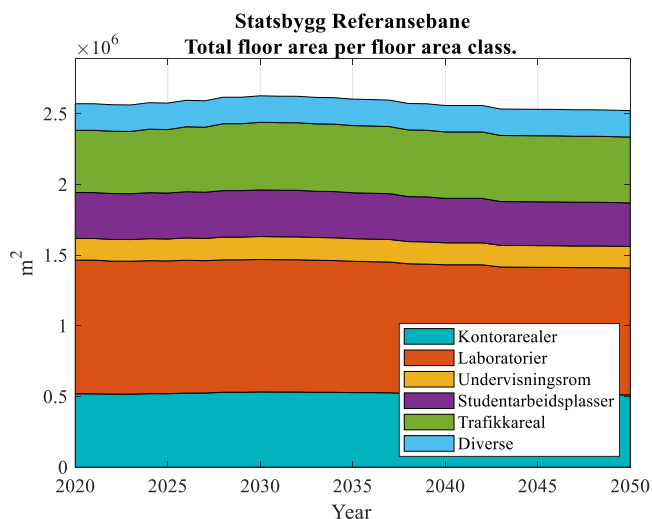
Energilastprofilene fra kapittel 5 er videre brukt i scenariomodellen for å simulere energibruk på timesbasis. Resultater for utvikling av bygningsmassen fram mot 2050 presenteres, før virkningen av referansebanen, ambisiøst scenario og hyppig scenario. Deretter presenteres fremskrivningen av energibruk for de resterende to scenarier, sammen med beregnet utvikling i klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Kapitlet avsluttes med en analyse rundt påvirkning av ulike klimagasskoeffisienter og valg av klimafilere.

6.1 Resultater for utvikling av eiendomsmassen

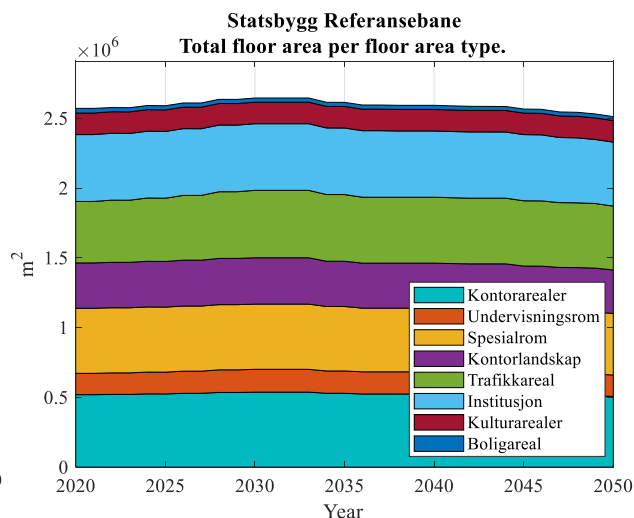
Ved å bruke antagelser fra metodekapitlet for arealutvikling, vil arealmessig utviklingen av Statsbygg sin eiendomsportefølje følge figur 6.1. Ifølge Nina Sandberg ved SINTEF er det ikke avgjørende å inkludere planlagte konstruksjoner ved fremskrivning av energibruk. Dette er fordi disse generelt har mindre påvirkning på levert energi enn eksisterende eiendommer, spesielt for større eiendomsporteføljer. Det er derfor valgt å ikke inkludere flere prosjekter enn utvidelse av NTNU Gløshaugen, som eksempelvis nytt nasjonalmuseum. Likevel viser fremskrivningen en redusert eiendoms masse i 2050 som ikke nødvendigvis vil være reell, da Statsbygg kjøper, selger og bygger eiendommer kontinuerlig. Eiendommer konstruert før 1950 er i stor grad vernet, og vil derfor ikke følge samme rivetakt som resterende kohorter. Ut fra resultatene i figur 6.1 er det eiendommer bygget i perioden 1950 til 1987 som vil rives i størst grad. Gitt en nasjonal rivningsparameter på 125 år, med en variasjon på 50 år, vil få eiendommer rives i perioden frem mot 2050. Reelt er det få av Statsbygg sine eiendommer som rives, da Statsbygg stort sett selger eiendommer de ikke lenger har bruk for. I realiteten vil derfor utskifting av eiendomsporteføljen skje noe hyppigere enn fremskrevet i oppgaven. Oppdatert rivningstakt er ikke konkretisert, og det er derfor valgt å følge nasjonal rivningsparameter.



Figur 6.1 – Utvikling av eiendomsmassen frem mot 2050 fordelt på ulike alderskohorter.



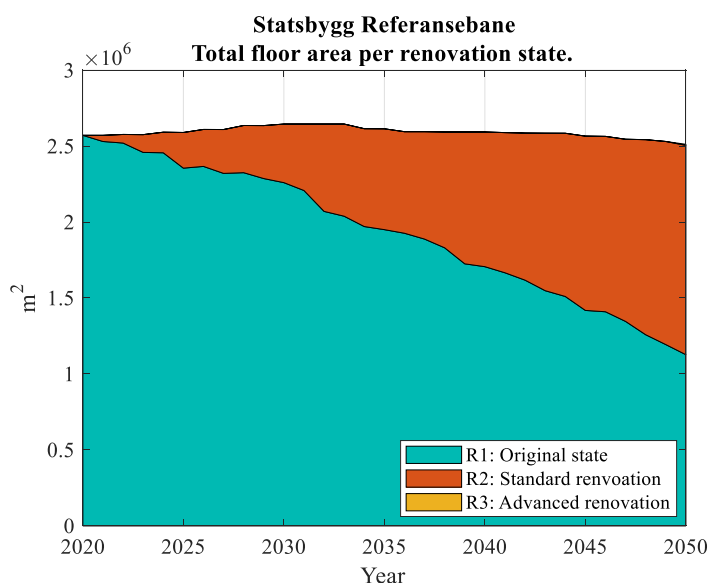
Figur 6.2 - Arealutvikling fordelt på arealklasser for Statsbygg sin eiendomsportefølje.



Figur 6.3 - Arealutvikling fordelt på arealtyper for Statsbygg sin eiendomsportefølje frem mot 2050.

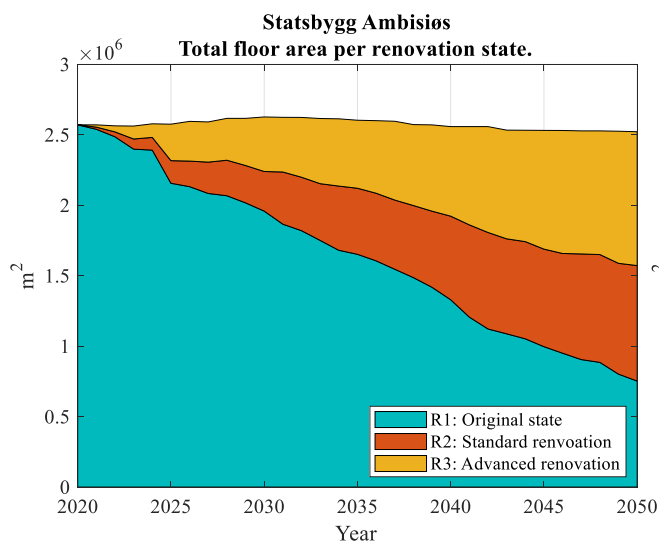
Figur 6.2 viser utviklingen av arealklasser for Statsbygg sin eiendomsportefølje frem mot 2050. Her er institusjoner simulert som laboratorieområder da disse har størst likhet i energiforbruk. Dette er ikke reelt, men nødvendig for å forenkle oppgaven. Disse arealene bør simuleres som egne arealklasser, og ikke med utgangspunkt i et undervisningsbygg. Flere ulike arealklasser vil være sentralt for å representere komplekse eiendomsporteføljer. Figur 6.3 viser arealutviklingen fordelt på de ulike arealtypene implementert i modellen. Utviklingen viser liten forskjell i eiendomsmasse i fremskrivningsperioden, men nye prosjekter og kjøp av eiendommer vil trolig føre til en økende eiendomsportefølje frem mot 2050.

Videre presenteres resultatet for utviklingen i rehabiliteringstakt, og andelen oppgraderte eiendommer for scenariene: Referansebane, ambisiøst scenario og hyppig scenario. Resterende to scenarier vil ta utgangspunkt i henholdsvis referansebanen og det rehabiliteringsalternativet som gir størst reduksjon i energibruk. Utviklingen er vist i henholdsvis figur 6.4, 6.5 og 6.6. For referansebanen antas det at eiendommene rehabiliteres hvert 45 år. Dette samsvarer med gjennomsnittlig alder for eiendommer som gjennomgikk en større oppgradering i løpet av 2020.

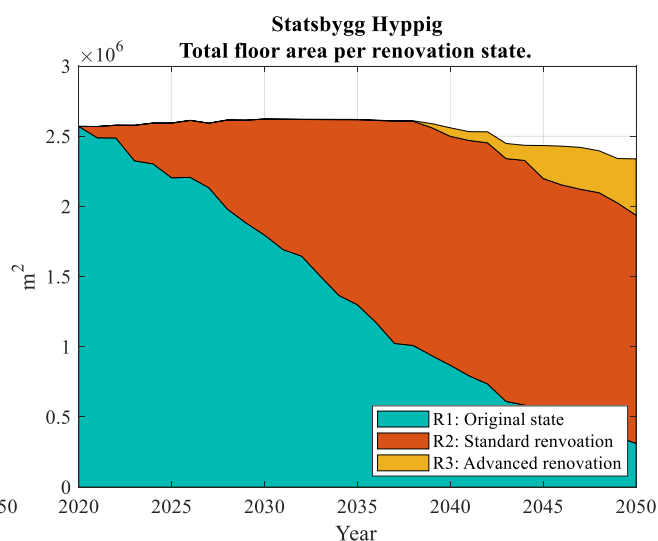


Figur 6.4 - Rehabiliteringstakt for Statsbygg sin referansebane i henhold til dagens utvikling.

Resultatene fra MFA-modellen viser at litt over halvparten av eiendommene, ca. 55 %, vil være oppgradert innen 2050. For scenario S1 Ambisiøst scenario er denne raten satt til nasjonal rehabiliteringstakt på 40 år. S1 resulterer i at ca. 70 % av eiendommene er oppgradert innen 2050. Nesten 40 % vil være totalrehabilitert i henhold til TEK 17. For Hyppig scenario (S2) er denne rehabiliteringstakten redusert ytterligere til hvert 30 år. Ved hyppig scenario vil ca. 80 % av eiendommene være oppgradert innen 2050. En mindre andel av disse vil oppnå oppgraderingsnivå 2, ambisiøs tiltakspakke, da disse vil oppgraderes for andre gang i løpet av fremskrivningsperioden. De ulike rehabiliteringstaktene vil ha stor påvirkning på energibruken, og det er derfor viktig å velge rehabiliteringstakter og tiltakspakker som er realiserbare.



Figur 6.5 - Rehabiliteringstakt for ambisiøst scenario (S1).



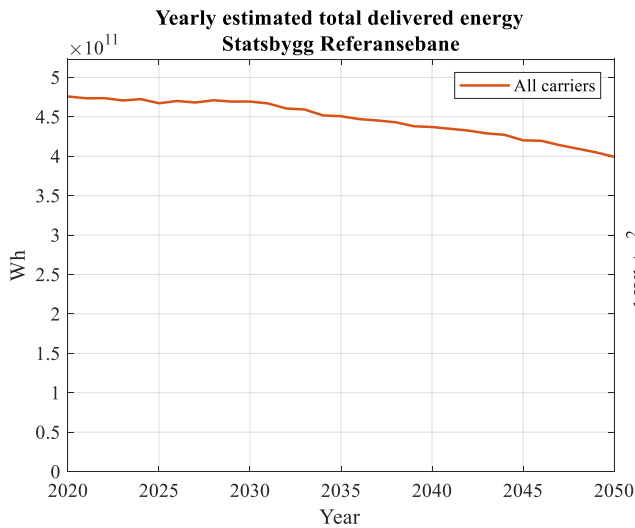
Figur 6.6 - Rehabiliteringstakt i henhold til hyppig scenario (S2).

6.2 Utvikling i energiforbruk for de ulike scenariene

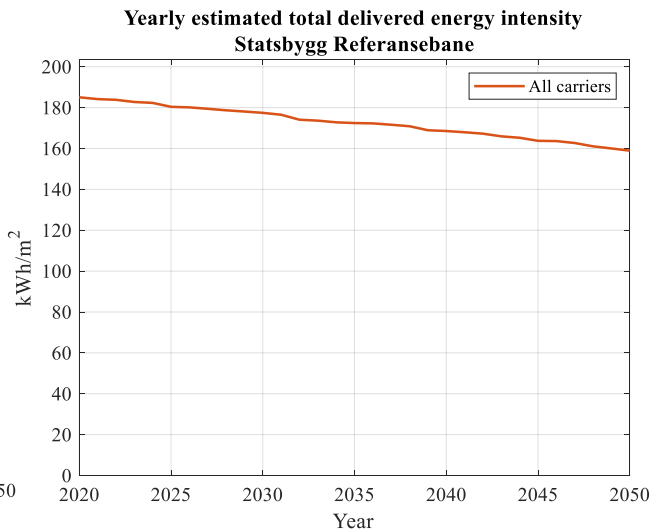
Ut fra bygningsmassemodellen beregnes energiforbruk for de ulike scenariene. Merk at energilastprofilene for eiendommene er generalisert for å forenkle oppgaven, det vil si at alle arealklasser fra samme tilstand vil simuleres likt. Om hver eiendom hadde blitt simulert nøyaktig, ville areal og energiprofilene vært mindre homogene gjennom fremskrivningsperioden. For undervisnings- og forskningsbygg, og kontorbygg vil disse være relativt nøyaktige på timesbasis, avhengig av reell arealsammensetning. For resterende fire bygningskategorier er energiforbruket kun en antagelse, men er likevel inkludert for å vise hvilke muligheter som ligger i MFA-modellen. Nedenfor presenteres fremskrevet levert energi for de fem scenariene.

S0 - Referansebane scenario

Datsettet fra Statsbygg viser at årlig energibruk for eiendomsporteføljen var på 408 485 MWh i 2020. Ut fra figur 6.7 har eiendomsporteføljen en energibruk på ca. 475 000 MWh i 2020. Dette avviker 66 515 MWh fra reelle verdier, noe som tilsvarer et avvik på 14 %. Da energilastprofilene er korrigert for COVID 19-pandemien bør også energiforbruket korrigeres tilsvarende med 10 %. Dette resulterer i at avviket reduseres til 5 %. Fra kapittel 5 framkommer det tydelig at disse resultatene kan skyldes avvikende energibruk for eiendommer bygget før 1950. Modellen vil derfor være tilfredsstillende for tilnærmet vurdering av eiendomsporteføljen. Datagrunnlaget fra IDA ICE bør likevel videreutvikles for å trekke konklusjoner rundt hvilke scenarier som er hensiktsmessige å gjennomføre.

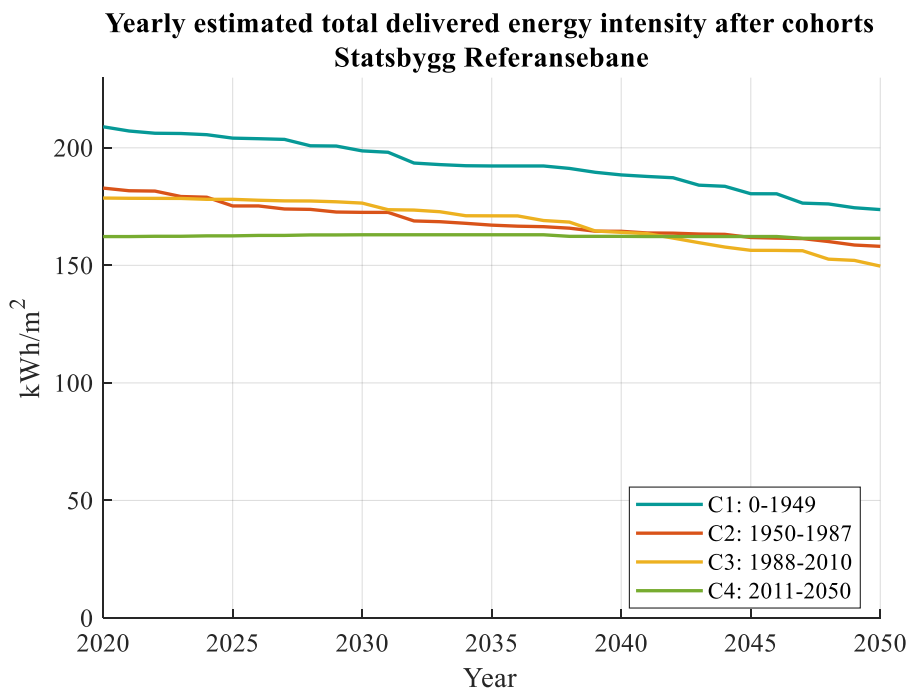


Figur 6.7 - Referansebane: Årlig levert energi til hele eiendomsporteføljen. Frem mot 2050.

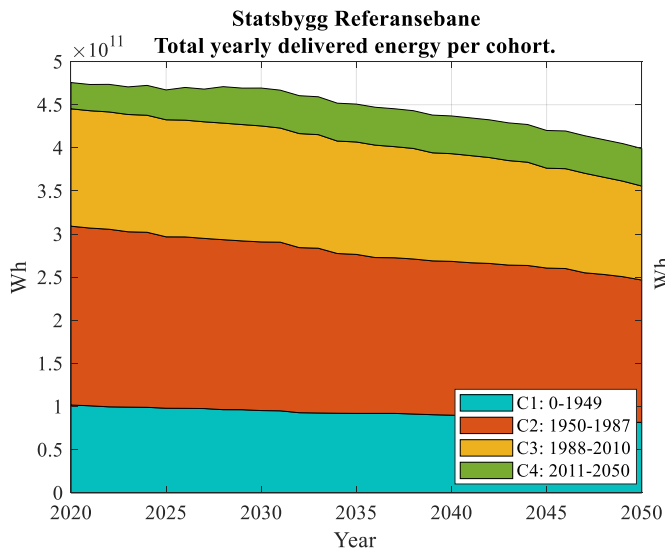


Figur 6.8 - Referansebane: Årlig spesifikk energibruk samlet for eiendomsporteføljen.

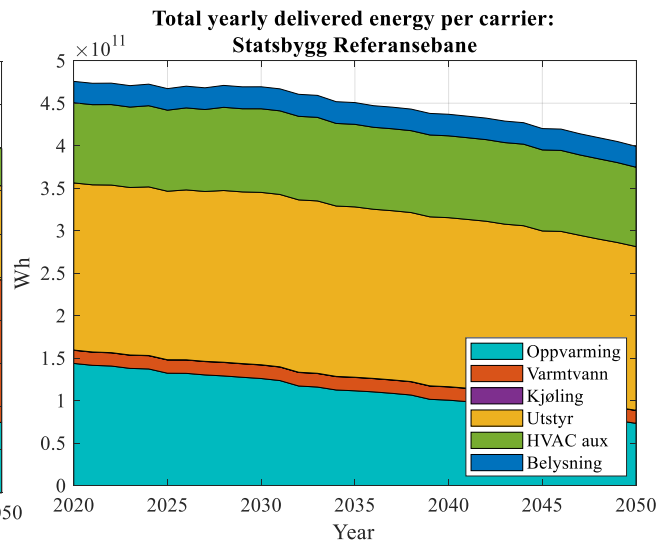
Figur 6.7 og 6.8 viser fremskrivning av henholdsvis samlet levert energi og spesifikk energibruk for referansebanen til eiendomsporteføljen i simuleringsperioden frem mot 2050. Oppgradering av eiendomsporteføljen som et resultat av referansebanen, gir en reduksjon i energibruk på ca. 75 000 MWh i løpet av fremskrivningsperioden på 31 år. Ut fra figur 6.8 gir referansebanen en reduksjon i spesifikk energibruk for eiendomsporteføljen på 23 kWh/m² i 2050. Figur 6.9 viser forskjellen i energiintensitet for de ulike kohortene. Eiendommer bygget før 1950 vil ha den største reduksjonen i spesifikk energibruk, fra 210 kWh/m² i 2020 til 180 kWh/m² i 2050. Energiintensiteten for eiendommer bygget etter 2011 vil forbli konstant da ingen av disse eiendommene vil rehabiliteres i fremskrivningsperioden.



Figur 6.9 – Referansebane: Årlig spesifikk energibruk for de ulike alderskohortene frem mot 2050.



Figur 6.10 - Referansebane: Levert energi fordelt på alderskohortene frem mot 2050.

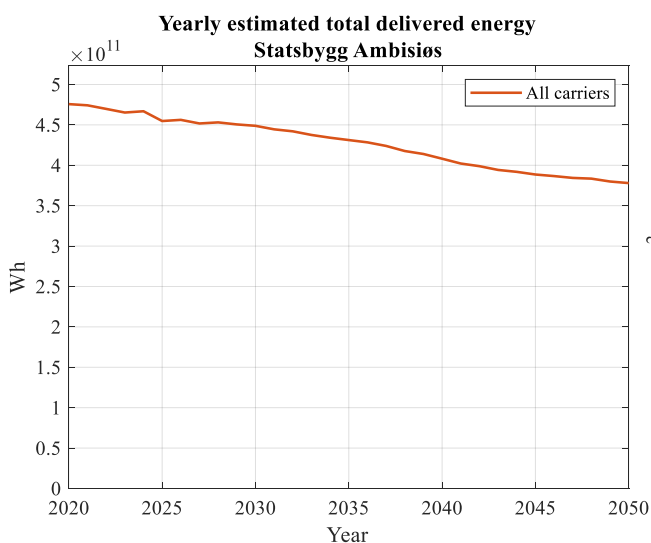


Figur 6.11 - Referansebane: Levert energi fordelt på porteføljens energiposter frem mot 2050.

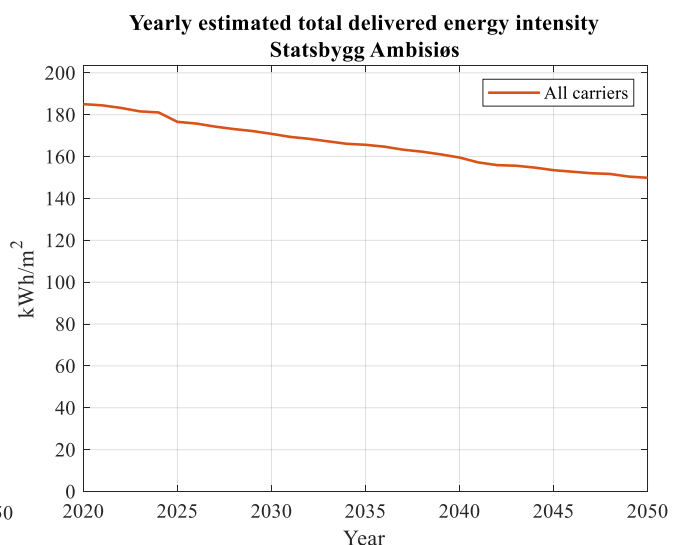
Figur 6.10 og 6.11 viser samlet levert energi fordelt på henholdsvis alderskohorter og energiposter. For energiposter er det i hovedsak oppvarming som reduseres gjennom tiltakspakkene. Dette samsvarer med resultatene fra kapittel 5. For alderskohortene er det kohort 2, 1950 – 1987 som har den største energibruken. Dette samsvarer godt med at hoveddelen av eiendomsmassen daterer fra denne perioden. Det er også utslippet fra denne delen av eiendomsporteføljen som reduseres mest ifølge fremskrivningsmodellen.

SI – Ambisiøst scenario

Ambisiøst scenario innebærer at 50 % av eiendommene som rehabiliteres årlig går igjennom en ambisiøs rehabilitering i henhold til TEK 17. Figur 6.12 og 6.13 viser hvordan dette påvirker henholdsvis totalt levert energi til eiendomsporteføljen, og utviklingen i årlig spesifikt energibruk i løpet av fremskrivningsperioden. Ut ifra resultatene reduseres spesifikk energibruk fra 183 kWh/m² for porteføljen i 2020, til ca. 150 kWh/m² i 2050. Dette er 10 kWh/m² lavere enn for referansebanen.

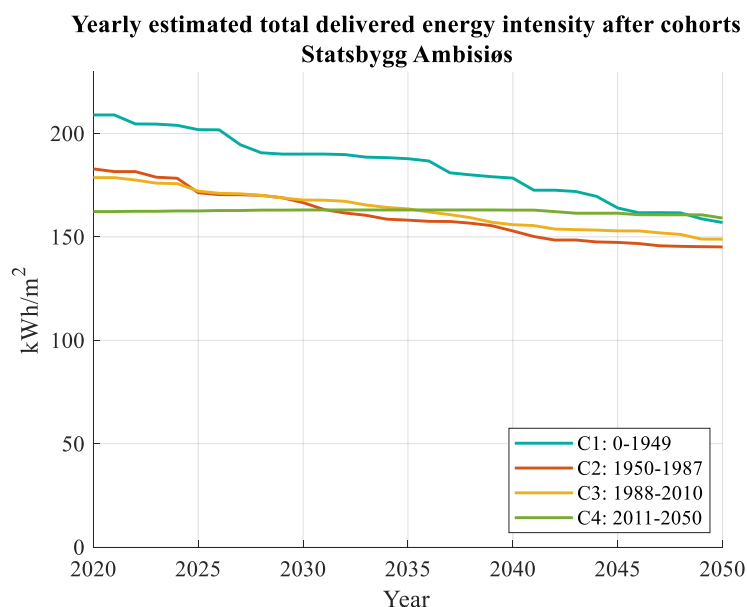


Figur 6.12 - Ambisiøst scenario: Samlet levert energi til eiendomsporteføljen.



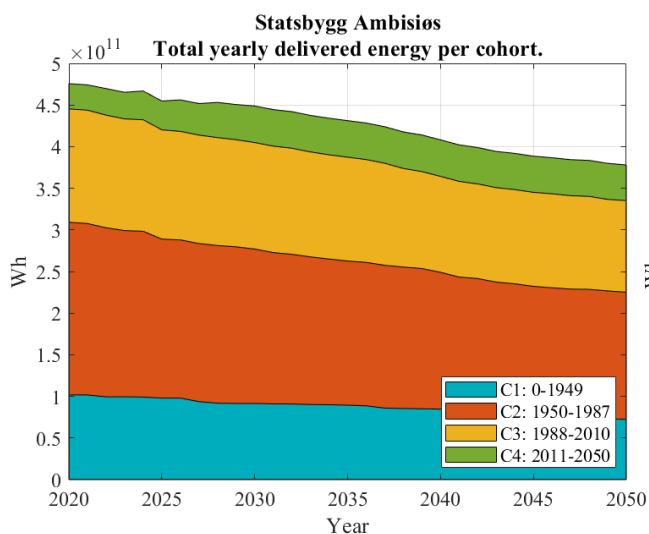
Figur 6.13 - Ambisiøst scenario: Spesifikk energibruk for eiendomsporteføljen mot 2050.

Dette tilsvarer et kutt i levert energi i 2050 på 21 % i forhold til levert energi i 2020. Ambisiøst scenario vil derfor ikke være tilstrekkelig for å nå klimamålene verken i 2030 eller i 2050. Dette er gitt at fornybarandelen ikke øker betydelig i fremskrivningsperioden. Dette innebærer at eiendommer som skal totalrehabiliteres bør oppnå en høyere energieffektivitet enn simulert i denne oppgaven. Figur 6.14 viser utvikling av spesifikt energiforbruk for hver alderskohort frem mot 2050. Figuren viser at alderskohort 1 til 3 vil ha lavere energiintensitet enn kohort 4 i 2050.

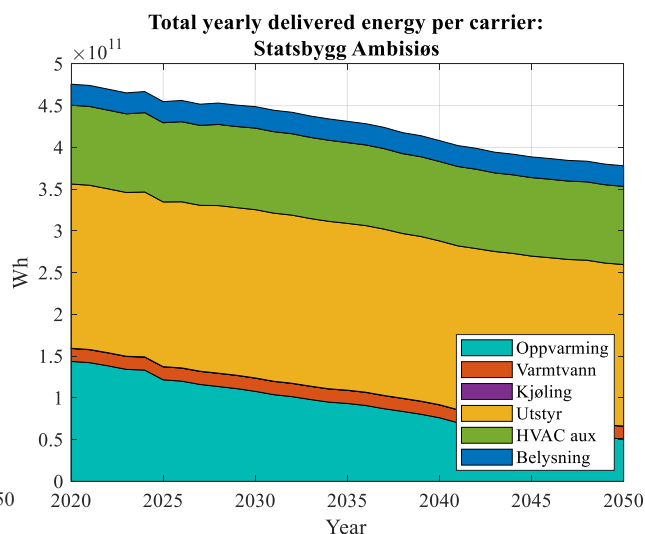


Figur 6.14 - Ambisiøst scenario: Spesifikk energibruk for ulike alderskohorter.

Figur 6.15 viser hvordan ambisiøst scenario påvirker total energibruk fra hver kohort. Her er det tydelig at det er eiendommene i perioden 1950 til 1987 som gjennomgår den største reduksjonen i levert energi, i likhet med referansebanen. Dette er et resultat av at flere eiendommer i den eldste alderskohorten er vernet og derfor ikke rehabiliteres i samme grad som resterende alderskohorter. Figur 6.16 viser hvordan energiforbruket er fordelt på eiendommens energiposter. Postene belysning, varmtvann og utstyr forblir konstant gjennom simuleringen.



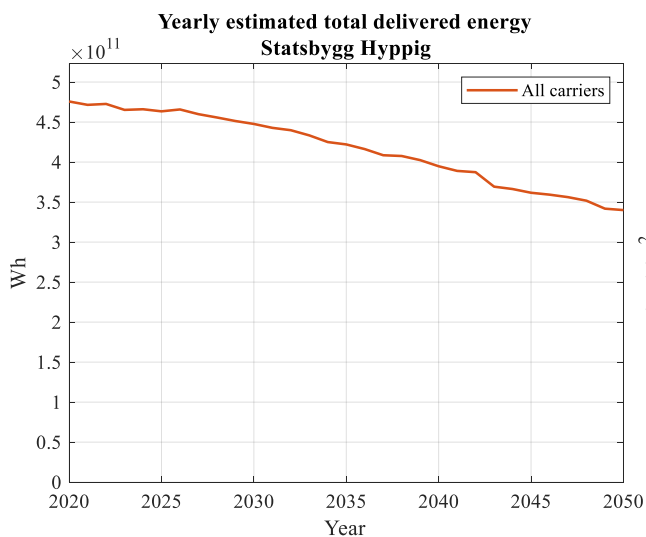
Figur 6.15 - Ambisiøst scenario: Levert energi fordelt på porteføljens alderskohorter.



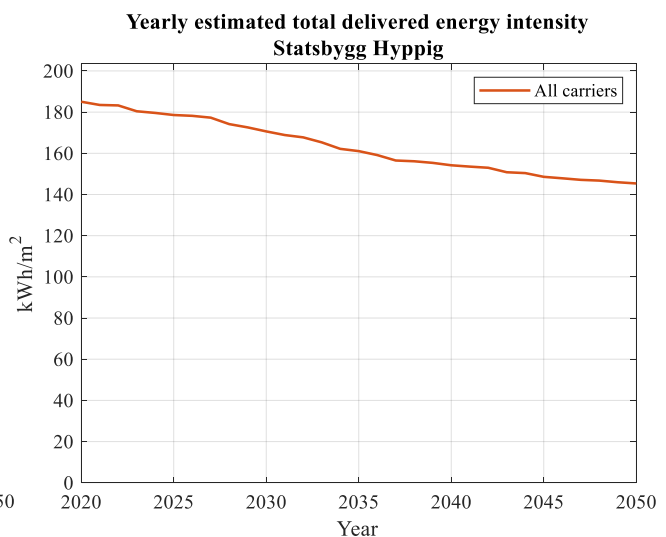
Figur 6.16 - Ambisiøst scenario: Levert energi fordelt på porteføljens energiposter.

S2 – Hyppig scenario

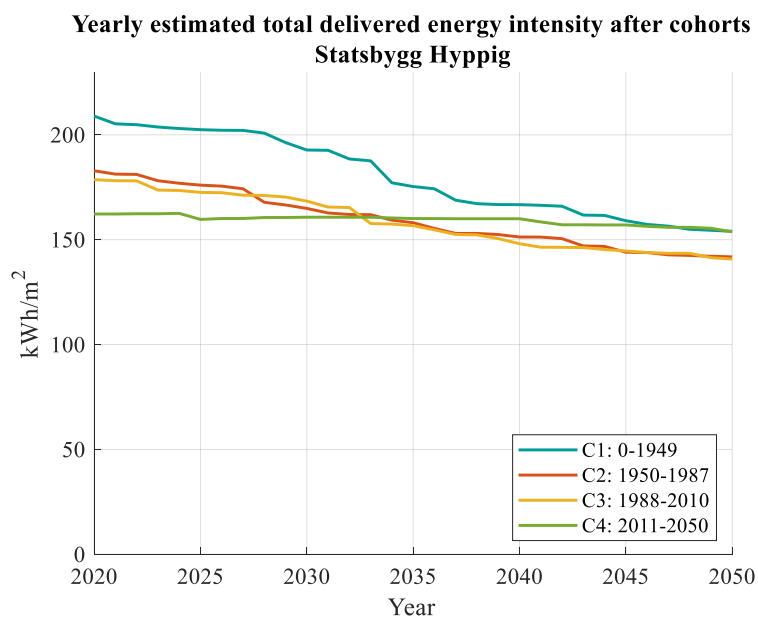
Hyppig scenario er basert på gjennomføring av en mindre rehabilitering for alle eiendommer etter 30 år. Figur 6.17 og 6.18 viser hvordan dette påvirker henholdsvis levert energi til eiendomsporteføljen og spesifikt energiforbruk for eiendomsporteføljen. Ut fra figur 6.18 reduseres spesifikt energiforbruk fra 183 kWh/m² for porteføljen i 2020, til ca. 143 kWh/m² i 2050. Dette er 17 kWh/m² lavere enn for referansebanen, og 7 kWh/m² lavere enn for ambisiøst scenario. Altså viser dette scenarioet at det lønner seg å rehabilitere flere eiendommer med enkle tiltak, fremfor å gjennomføre enkelte større totalrehabiliteringer. Dette er fordi enkle tiltak som skifte av varmegjenvinner og etterisolering av vegger, gir de største energibesparelsene. Dette er også tiltak som vil medføre mindre bundet energi, da større deler av eksisterende materialer kan gjenbrukes videre. Videre viser figur 6.19 spesifikt energiforbruk fordelt på de ulike alderskohortene. I forhold til foregående scenarier vil spesielt eiendommer fra alderskohort 3, 1988 til 2010, rehabiliteres i større grad for hyppig scenario.



Figur 6.17 - Hyppig scenario: Samlet levert energi for hele eiendomsporteføljen.

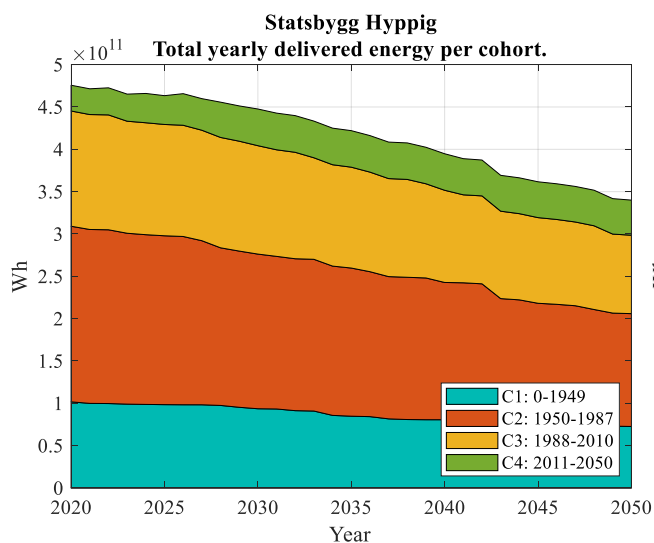


Figur 6.18 – Hyppig scenario: Spesifikk energibruk for hele eiendomsporteføljen.

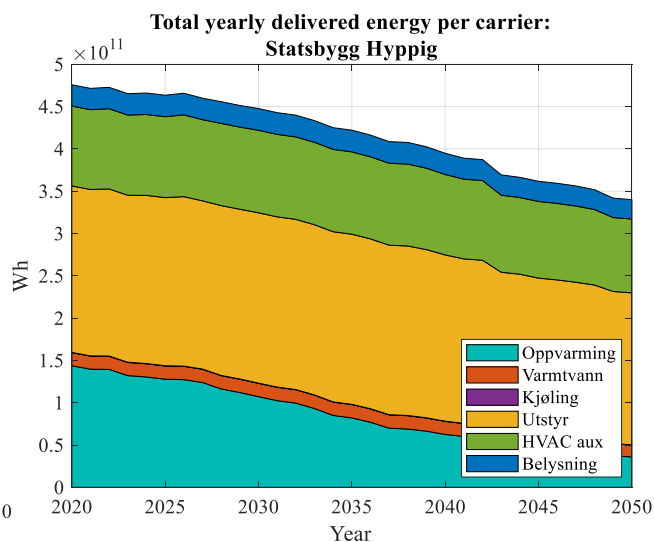


Figur 6.19 - Hyppig scenario: Spesifikk energibruk for de ulike alderskohortene frem mot 2050.

Figur 6.20 og 6.21 viser henholdsvis totalt levert energi fordelt på de ulike alderskohortene og energipostene for hyppig scenario. Ut fra figur 6.21 er det oppvarmingsbehovet som i hovedsak reduseres ved å rehabilitere eiendommene oftere. Dette er fordi enkel tiltakspakke utelukkende reduserer oppvarmingsbehovet, uten å ta hensyn til tiltak som forbedret vifteeffekt.



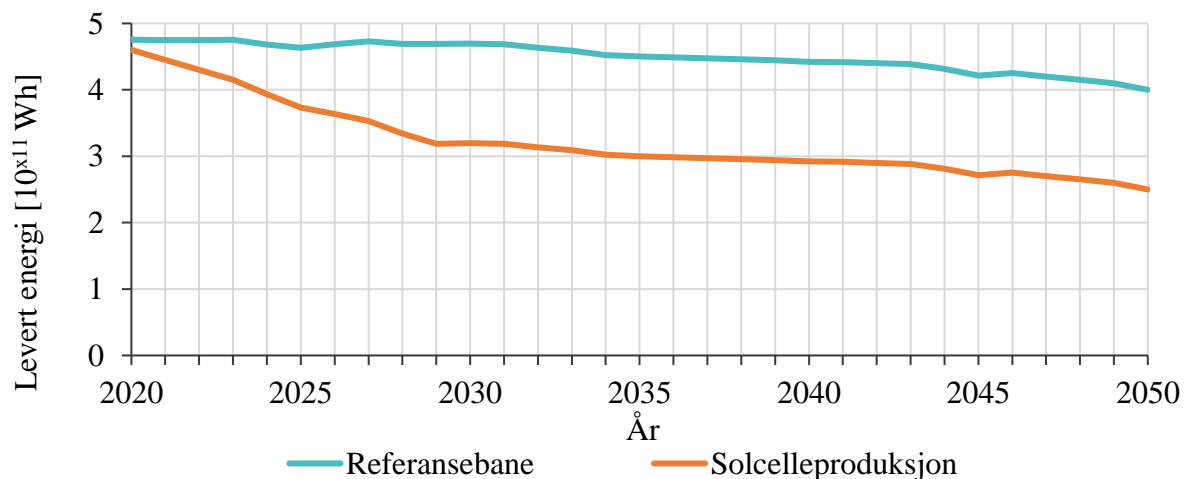
Figur 6.20 - Hyppig: Levert energi fordelt på ulike alderskohorter frem mot 2050.



Figur 6.21 - Hyppig: Levert energi fordelt på ulike energiposter frem mot 2050.

S3 - Omfattende lokal energiproduksjon (PV)

Gjennom samtaler med Statsbygg har det vært tydelig at målet om 15 millioner kWh fra solceller innen 2030 er svært ambisiøst. Allerede i år har flere prosjekter blitt skrotet grunnet dårlig bæring på eksisterende tak. Likevel har oppgaven tatt utgangspunkt i at dette er realiserbart. MFA-modellen vanskeliggjør etablering av solceller underveis i fremskrivningsperioden, da energibruk beregnes separat for hver alderskohort eller hver arealklasse. Implementering av solceller på eksisterende tak vil i modellen derfor utelukkende resultere i redusert energibruk for alderskohort fire. Implementering av solceller er derfor forenklet ved å bruke formel 3 og separate beregninger i Excel. Resultatet er gitt med mindre oppløsningen enn resterende scenarier, da resultatene i figuren baseres på årlig levert energi fra solceller til eiendomsporteføljen. Figur 6.22 viser levert energibruk for scenario 3 basert på antagelsen om 15 millioner kWh innen 2030. Her antas det at det installeres

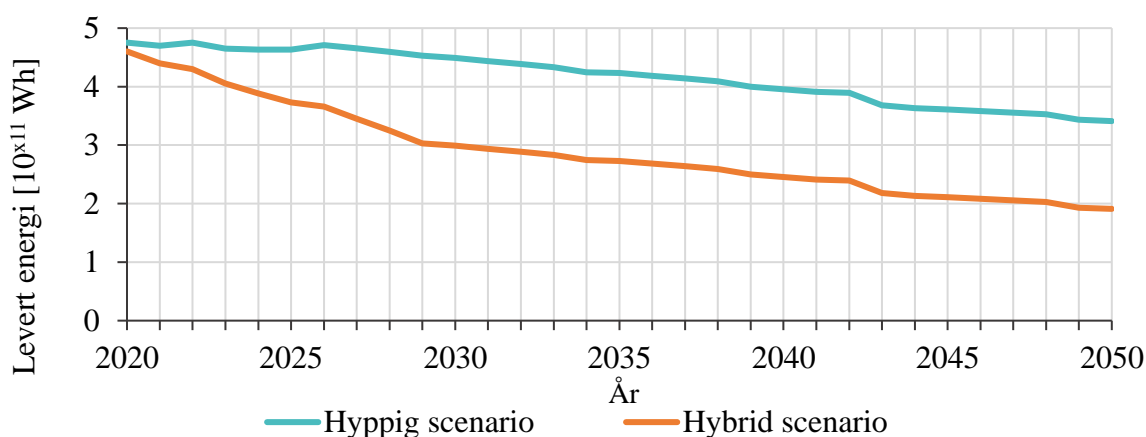


Figur 6.22 – S3: Levert energi for referansebanen og scenario S3 - Omfattende lokal energiproduksjon

solceller med strømproduksjon på 1 500 MWh årlig. Resultatet for scenario 3 er samlet energibruk på 320 GWh i 2030 og 250 GWh i 2050. Dette resulterer i en reduksjon i levert energi på 33 % og 47 %, i henholdsvis år 2030 og 2050.

S4 – Hybrid scenario

Ut fra resultatene vil rehabiliteringstiltaket hyppig scenario gi størst reduksjon i energibruk fra eiendomsporteføljen. Kombinert med omfattende installering av solcellepaneler for lokal energiproduksjon, er dette det mest ambisiøse scenarioet i oppgaven. Resultatet er vist i figur 6.23. Scenarioet er plottet sammen med scenarioet for hyppig rehabilitering for å illustrere betydningen av implementering av solceller for å redusere energibehovet. Hybrid scenario vil resultere i en reduksjon levert energi på 37 % og 60 %, i henholdsvis 2030 og 2050. For 2030 vil energibruken være 14 GWh høyere enn målet om 40 % reduksjon.



Figur 6.23 – Hybrid scenario: Årlig levert energi for fremskrivningsperioden frem mot 2050.

6.2.1 Sammenligning av levert energi for scenarier

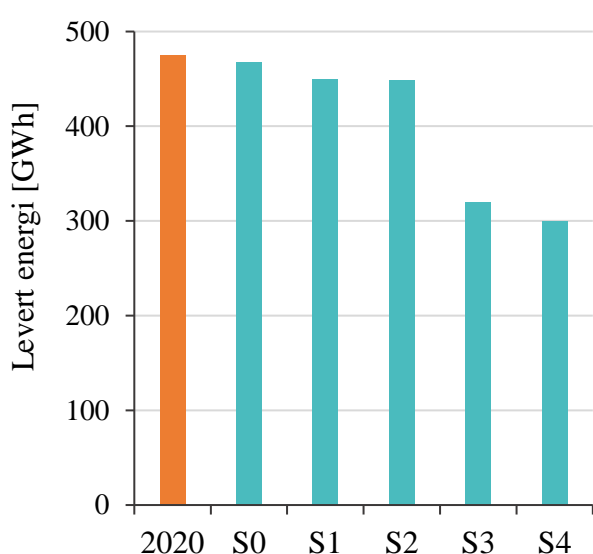
Statsbygg følger de samme ambisjonene som Norge, og har derfor satt konkrete klimamål for 2030 og 2050. Det er derfor relevant å undersøke energibruken fra de ulike scenariene spesielt for disse to årene. Igjen er det viktig å presisere at nye konstruksjoner i simuleringsperioden ikke er inkludert. I tillegg viser resultatene fra referansescenarioet noe avvik, spesielt for eiendommer bygget før 1950. Levert energi for 2030 og 2050 er plottet sammen med simulert levert energi i 2020 for referansebanen for å studere reduksjon i energibruk. Levert energi samt reduksjon er vist i Tabell 6.1, og plottet for 2030 og 2050 i figur 6.24 og 6.25.

Innen 2030 vil prosjektet for omfattende installering av solcellepaneler ferdigstilles. Dette vil redusere energibruken betydelig i forhold til resterende scenarier. Ifølge de nasjonale retningslinjene og Statsbygg sine ambisjoner, er målet med denne storsatsningen å redusere klimagassutslippet fra eksisterende eiendommer med 40 % i forhold til 2020 verdier. For eksisterende eiendommer vil klimagassutslippene i hovedsak være knyttet til energibruk i drift, slik at en reduksjon i klimagassutslipp på 40 % tilsvarer ca. 40 % lavere energibruk. Dette er gitt at energimiksen ikke får en betydelig økt fornybarandel i løpet av fremskrivningsperioden. Antagelsen vil være gjeldene så lenge klimagassutslipp fra materialer ikke tas med i beregning av utslipp. Ut fra scenariofremskrivningen vil ikke engang det mest omfattende scenarioet, S4 - Hybrid scenario, imøtekomme ambisjonene. Dette er til tross for at dette scenariet allerede bygger på installering av 50 % flere kvadratmeter solceller enn det som lar seg gjennomføre i 2021. Kjennskap til slike resultater er derfor viktig for å iverksette ytterligere tiltak slik at klimamålene kan nås. For 2050 har

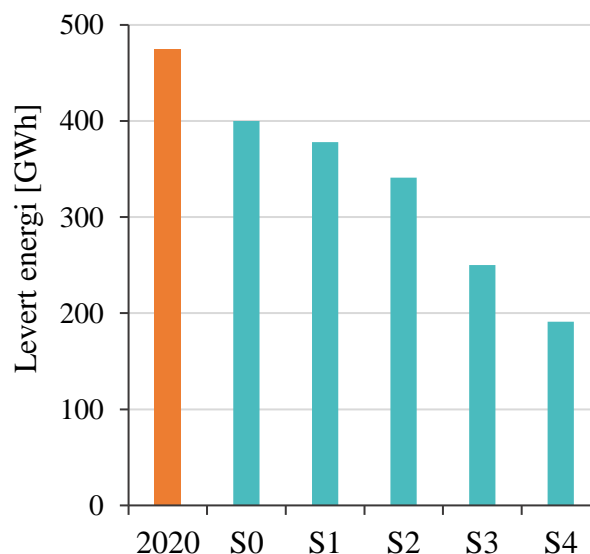
ikke Statsbygg konkrete klimamål, men som statlig byggherre vil Statsbygg følge nasjonale ambisjoner. Norge jobber for å bli et lavutslippssamfunn i tråd med Europeiske retningslinjer. Resultatet fra hybrid scenario innebærer en reduksjon på 60 % av energibruken for eksisterende eiendommer i 2050. For å redusere energibruken er det tydelig at installering av solceller er mer effektivt enn rehabilitering. Figur 6.24 viser at rehabilitering ikke vil ha stor påvirkning i et 10 års perspektiv. Likevel er det tydelig at periodevis oppgradering av eiendommene vil være en viktig bidragsyter for å nå klimamålene til Statsbygg, spesielt i 2050.

Tabell 6.1 - Levert energi for scenarier i 2030 og 2050. Prosent reduksjon er gitt i forhold til referansebanen i startår 2020.

| Scenario | | Levert energi 2030 | | Levert energi 2050 | |
|----------|---------------|--------------------|----------|--------------------|----------|
| S0 | Referansebane | 467 GWh | -1.46 % | 400 GWh | -15.82 % |
| S1 | Ambisiøs | 449 GWh | -5.49 % | 378 GWh | -20.45 % |
| S2 | Hyppig | 449 GWh | -5.57 % | 341 GWh | -28.22 % |
| S3 | Solcelle | 320 GWh | -32.70 % | 250 GWh | -47.39 % |
| S4 | Hybrid | 299 GWh | -37.06 % | 191 GWh | -59.78 % |



Figur 6.24 - Levert energi for de ulike scenariene i år 2030.

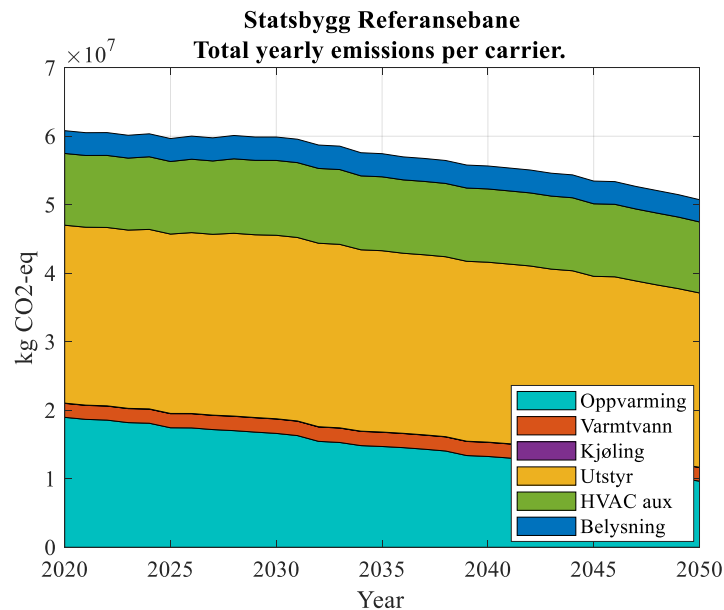


Figur 6.25 - Levert energi for de ulike scenariene i år 2050.

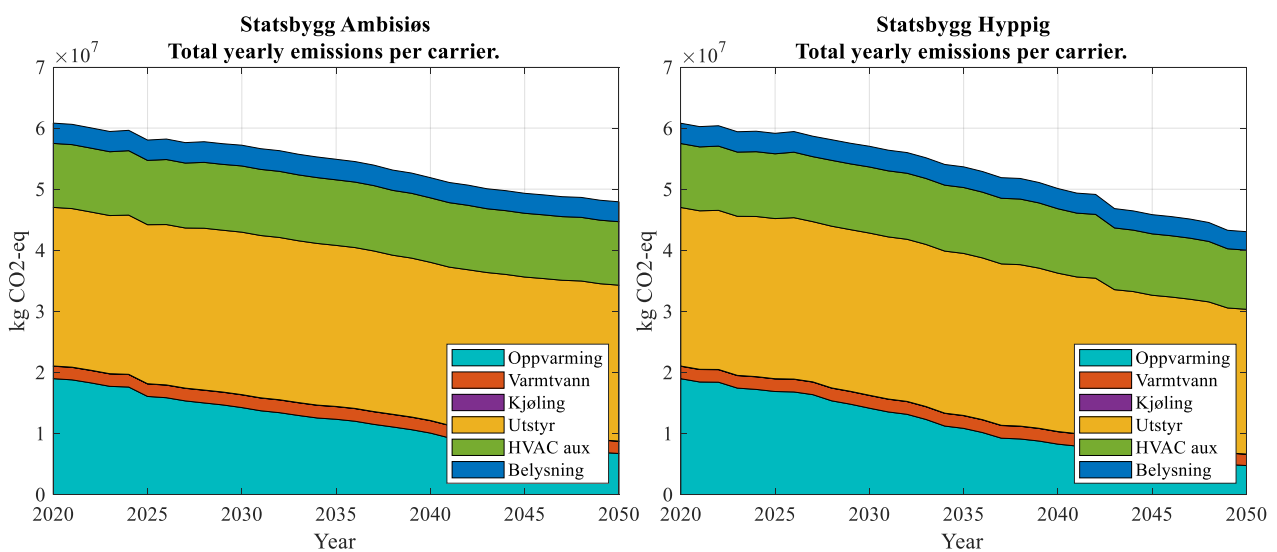
6.3 Klimagassutslipp for scenariene

Ett av forskningsspørsmålene i oppgaven er i hvilken grad Statsbygg sin eiendomsportefølje kan være klimanøytral innen 2050. Det er derfor viktig å beregne det konkrete klimagassutslippet til tross for uenigheter i bruk av klimagasskoeffisienter ved scenariefremskrivning. Gjennom oppgaven har det vært lite fokus på energivarer. Statsbygg har som mål å fase ut ikke-fornybare energikilder, men har ikke mål om å endre allokeringen av energivarer som en mekanisme for å redusere klimagassutslippet. Det er derfor antatt at mengden fjernvarme vil være konstant i løpet av fremskrivningen. Dette er ikke reelt, men da det ikke er lagt planer for å redusere mengden

fjernvarme er det en tilfredsstillende antagelse. Resultatet fra scenariofremskrivningen er vist i figur 6.26, 6.27 og 6.28 for de tre første scenariene. Utviklingen tilsvarer fremskrivning av levert energi fordelt på energiposter.



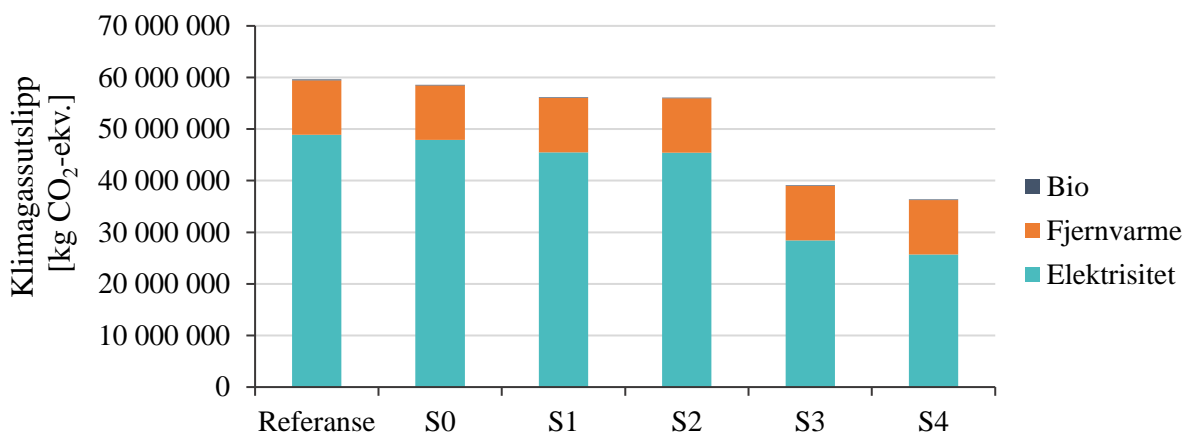
Figur 6.26 - Klimagassutslipp fra referansebanen fordelt på ulike energiposter.



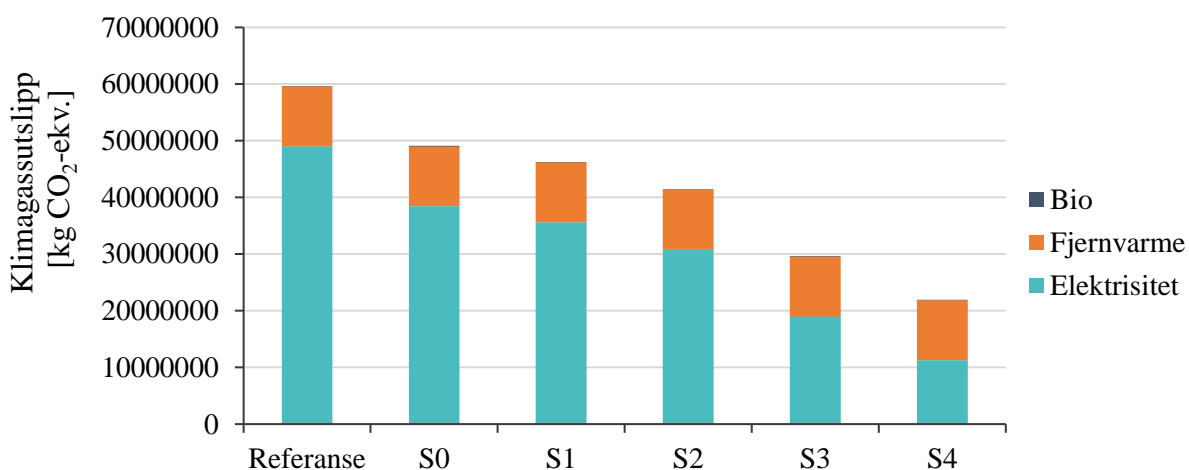
Figur 6.27 - Klimagassutslipp Ambisiøst scenario. Figur 6.28 - Klimagassutslipp Hyppig scenario.

I likhet med energibruk har det vært problemer med å kjøre MFA-modellen ved implementering av solcellepaneler. Energibruken fra de to siste scenariene er derfor beregnet manuelt ved hjelp av Excel. IDA ICE gjør det utfordrende å allokere deler av energibruken til elektrisitet og fjernvarme. Det gjør det vanskelig å simulere en større eiendomsmasse, da store deler av Statsbygg sine eiendommer ikke er koblet på fjernvarmenettet eller bruker andre energivarer som for eksempel biomasse. Det er derfor gjennomført flere simuleringer i IDA ICE for å manuelt allokere energivarene i tråd med metodikken fra kapittel tre. Manuell allokering gjør det tidkrevende å utnytte MFA-modellen da den krever timesprofiler. Resultatene for klimagassutslipp fra de ulike scenariene er sammenlignet i 2030 og 2050 i figur 6.29 og 6.30. I perioden 2030 til 2050 vil det ikke installeres nye solceller i henhold til Statsbygg sin nåværende strategi.

Fordeling av elektrisitet og fjernvarme vil påvirke hverandre gjensidig, der en reduksjon i klimagasskoeffisient fra en energibærer vil endre allokeringen. Dette er ikke tatt hensyn til i denne oppgaven, men er viktig om man skal kunne trekke konklusjoner rundt klimagassutslipp relatert til klimagasskoeffisienter. For å forenkle analysen er fjernvarme andelen konstant 20 % av referanseutslippet. Resterende energibruk er dekket av elektrisitet. Bio har svært lav klimagasskoeffisient i tillegg til å forsyne 1 til 2 % av levert energi. Andelen er derfor vanskelig å observere i figuren.



Figur 6.29 - Klimagassutslipp fra de ulike scenariene i 2030.



Figur 6.30 - Klimagassutslipp fra ulike scenarier i 2050.

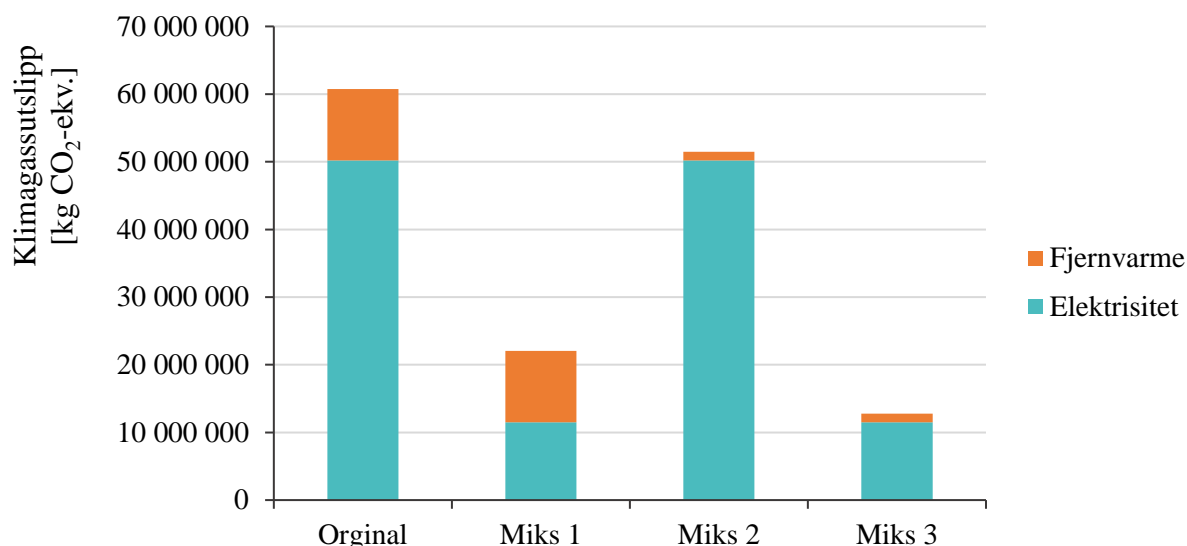
6.3.1 Påvirkningen av ulike klimagasskoeffisienter

Beregning av klimagassutslipp for scenariene er basert på ZEB-faktorer for klimagassutslipp. Dette er valgt i samtaler med Statsbygg, men det er likevel relevant å undersøke klimagassutslippet fra eiendomsporteføljen gitt andre klimagasskoeffisienter. En slik sensitivitetsanalyse viser påvirkningen fra ulike klimagasskoeffisienter. Utslippsfaktoren brukt for elektrisitet, 132 g CO₂/kWh, er som diskutert i teoribakgrunnen basert på at norsk elektrisitet er en del av et europeisk supergrid med gradvis økende fornybarandel. Innen 2054 vil el miksen være klimanøytral slik at koeffisienten gir et gjennomsnitt for fremskrivningsperioden. Da det ikke er konsensus om en fast klimagasskoeffisient, er det valgt å gjennomføre en sensitivitetsanalyse for å vise påvirkningen på klimagassutslipp for ulike koeffisienter. Det er valgt å endre både koeffisienten for elektrisitet og fjernvarme for å undersøke dette. For elektrisitet er det valgt å undersøke påvirkningen av norsk utslippsfaktor for de siste tre årene. Denne er ikke tilpasset fremskrivning da den kun er basert på

de foregående årene. For 2020 tilsvarer denne 30.2 g CO₂/kWh. For fjernvarme er utslippsfaktoren for fjernvarme i Oslo på 13.8 g CO₂/kWh brukt i analysens miks 2 og 3. Denne klimagasskoeffisienten er hentet fra LCA programmet OneClick LCA og må antas å være realistisk for dagens utslipp. Da flesteparten av eiendommer som utnytter fjernvarme er lokalisert i Oslo, er dette en tilfredsstillende antagelse for en sensitivitetsanalyse. Kombinasjoner av klimagasskoeffisienter for sensitivitetsanalysen er vist i Tabell 6.2. Beregningene er vist i figur 6.31 for modellens referanseår 2020. Miks 1 tilsvarer den utslippsmiksen som brukes innad i Statsbygg for beregning av egne klimagassutslipp i 2020. Antagelser rundt allokering av elektrisitet og fjernvarme vil være den samme som tidligere.

Tabell 6.2 - Kombinasjoner av ulike klimagasskoeffisienter for sensitivitetsanalysen.

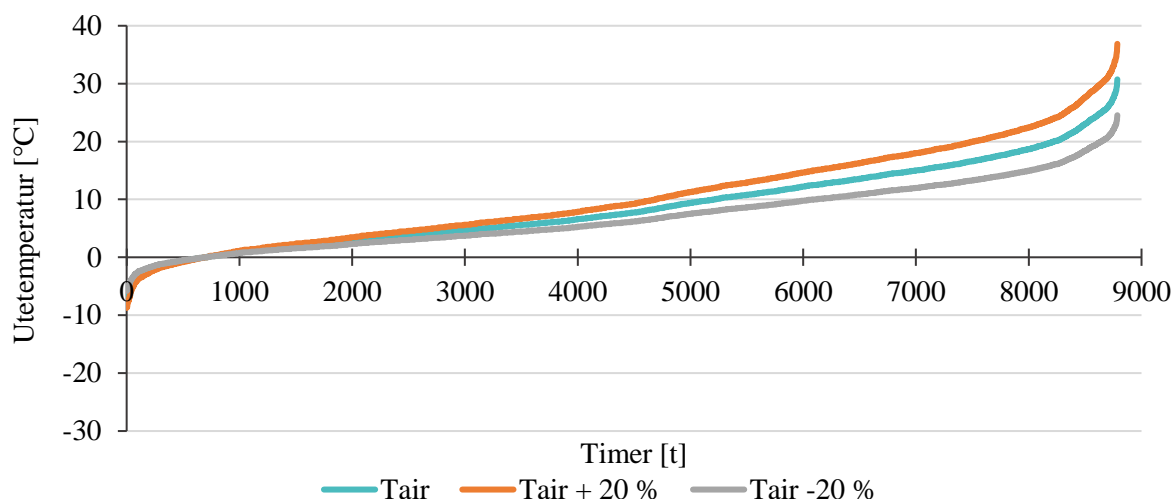
| | Original | Miks 1 | Miks 2 | Miks 3 |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Elektrisitet | 132 g CO ₂ /kWh | 30.2 g CO ₂ /kWh | 132 g CO ₂ /kWh | 30.2 g CO ₂ /kWh |
| Fjernvarme | 111 g CO ₂ /kWh | 111 g CO ₂ /kWh | 13.8 g CO ₂ /kWh | 13.8 g CO ₂ /kWh |
| Samlet klimagassutslipp | 60 730 560 kg CO ₂ -ekv. | 22 030 272 kg CO ₂ -ekv. | 51 492 672 kg CO ₂ -ekv. | 12 792 384 kg CO ₂ -ekv. |



Figur 6.31 - Klimagassutslipp for modellens referanseår 2020, for ulike klimagasskoeffisienter.

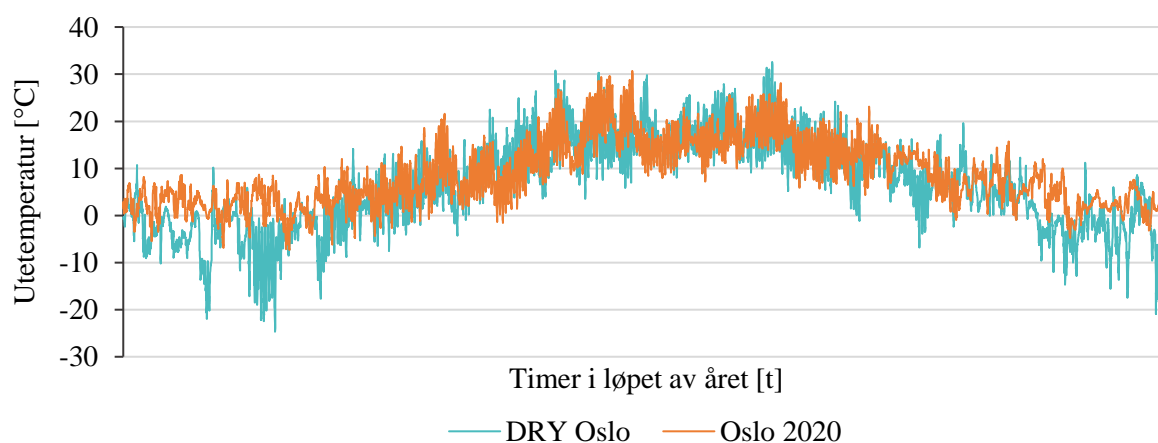
6.4 Klimadataanalyse

Ved gjennomføring av prosjektet er flere ulike klimafilere testet ut. Dette har vært viktig for å kalibrere referansebygget, da anbefalt klimafil for Fornebu 2016 ga 20 % avvik i spesifikt energibruk. For å undersøke følsomheten for endret utetemperatur for oppgavens egenproduserte klimafil, er temperaturdifferansen ved endringen av utetemperatur med ± 20 % plottet i figur 6.32. Følsomhetsanalysen viser at en endring på ± 20 % for utetemperatur gir en markant forskjell i temperaturnivå og byggets operativtemperatur. Denne endringen vil gi lavere temperatur om vinteren og høyere om sommeren, og vil derfor resultere i endringer i termisk komfort og energibehov. Dette gir signifikante forskjeller i resultater, og en gjennomsnittlig utetemperaturprofil bør derfor ligge til grunn dersom energibruken skal brukes som basis i fremskrivning av energiforbruket.



Figur 6.32 - Følsomhet for endret utetemperatur med +/- 20 °C.

For ulike klimaprofiler vil dette gi enda større utslag. Forskjellen i temperaturnivå mellom to ulike klimaprofiler for Oslo er vist i figur 6.33. Det er tydelig at dette spesielt gjelder for kalde utetemperaturen. Oslo DRY filen er en referansefil hentet fra en masteroppgave fra 2015, og er derfor ikke relatert til et bestemt år. Ut ifra figur 6.33 er det tydelig at DRY Oslo filen har større variasjoner i utetemperatur enn Oslo2020 profilen som er laget som en del av oppgaven. Resultatet av følsomhetsanalysen og simulering av referansebygg 2 med ulike klimafilene viser at klimafilene med store variasjoner i utetemperaturen vil påvirke byggets energibehov betydelig. Dette viser at utetemperaturen er en viktig påvirkende faktor, slik at det er avgjørende å etablere gode klimafilene. Den offisielle klimanormalen fornyes hvert 30 år. Gjeldende normal er fra perioden 1960 til 1990 og erstattes med ny klimanormal basert på værstatistikk fra perioden 1990 til 2020 som ferdigstilles i løpet av 2021. Denne kan gjøre resultatene fra fremtidige fremskrivninger mer reelle og pålitelige. Videre vil det være viktig å implementere utetemperatur i fremtidige fremskrivningsmodeller slik at det er mulig å måle og kartlegge reduksjon i energibruk fra ulike tiltak uavhengig av endret klima.



Figur 6.33 - Sammenligning av referansefil for Oslo (DRY) og klimadata for Blindern 2020.

7. Diskusjon

I dette kapitlet er den overordnede metoden diskutert, og de ulike aspektene og usikkerheten ved oppgaven er analysert. Oppgaven vil bli diskutert kronologisk i forhold til oppgavens to formål. Innledningsvis diskuteres datakvaliteten som danner grunnlag for resterende diskusjon. Begrunnelse for valg av MFA-modellen er gitt i delkapittel 7.2. Bruk av modellverktøyet for scenariefremskrivning vil danne grunnlaget for å besvare problemstillingen. Avslutningsvis diskuteres tiltakspakker og scenarier i 7.4, som igjen danner basis for å besvare de to forskningsspørsmålene introdusert innledningsvis.

7.1 Datagrunnlag

Statsbygg har bidratt med datagrunnlaget for oppgaven. Kvaliteten på datasettet har generelt sett vært dårlig, grunnet mangel på detaljert energioppfølging ved eiendommene. Ved oppgavens start ble det utgitt et ubehandlet datasett med flere mangler, grunnet blant annet opplagte feil i dataavlesning. Datasettet inkluderer samlet levert energibruk for alle eiendommer i 2019 og 2020, samt bygningsnavn, byggeår, bruttoareal og vernestatus. Beregningene i oppgaven ble først gjennomført med bakgrunn i det ubehandlede datasettet, før oppdatert datasett ble tilgjengeliggjort. Dette har forsinket oppgaven, da beregningene og kalibreringen av referansemodellen i IDA ICE ble gjennomført på nytt med basis i oppdaterte verdier. Behandlet datasett gir kun tilgang til formålsdelt energibruk for 2020. Det er derfor ikke mulig å kalibrere modellen opp mot flere år.

Sammenligning av rådata mellom 2019 og 2020 gir en reduksjon i energibruk i 2020 på ca. 10 %. Korreksjonen er brukt for å kalibrere referansebygget, men som nevnt i kapittel 5, er det interessant å undersøke om dette er en mulig antagelse. Energibruken til oppvarming avhenger av utetemperatur. Klimafilene for 2019 og 2020 viser forskjeller i utetemperatur slik at korreksjonen på 10 % ikke nødvendigvis er realistisk. Nøyaktig korreksjon av energibruk bør gjøres ved å graddagskorrigere andelen energibruk til oppvarming. Dette bør gjøres ut fra lokale meteorologiske klimadata for hver bygning. Sammenligning av energigraddagstall kombinert med 35 % energibruk til oppvarming for referansebygg 2, indikerer at ca. 3.5 % av reduksjonen skyldes kaldere utetemperatur i 2019. Beregningene er gjort på bakgrunn av energigraddagstall for seks lokasjoner i Norge. Dette har vært nødvendig da kjennskap til eiendommenes lokasjoner ikke har vært tilgjengelig. Resterende prosentandel, 6.5 %, kan tilskrives blant annet redusert bruksmønster i perioden med COVID-19. Grunnet følsomhet for endret utetemperatur, bør fremskrivningsmodeller likevel kalibreres opp mot flere år. Ved sammenligning av utetemperatur relatert til klimanormalen for 1991 til 2020, er det tydelig at 2020 var et varmt år. Se Klima sin oversikt viser et avvik fra middeltemperaturnormalen på mellom 1 til 2°C for undersøkte stasjoner. 2019 ligger betydelig nærmere klimanormalen. Korreksjonen på 3.5 % for utetemperatur kan derfor antas å være tilfredsstillende da resultatet er at energiprofilene ligger nærmere et normalår. Tabellene for energigraddagstall og middeltemperatur, samt beregningene, er gitt i vedlegg B.

7.2 Valg av MFA-modellen for eiendomsfremskrivning

Fleksibilitet er den største styrken til MFA-modellen, og grunnlaget for at den er valgt for fremskrivning av eiendomsporteføljen til Statsbygg. Litteraturstudien presenterer ytterligere to verktøy for scenariefremskrivning. Verktøyene er utprøvd som en del av oppgaven, men ikke brukt videre da de ikke lar seg tilpasse formålet i like stor grad. LEAP modellen er tilpasset nasjonale bygningsmasser, og bruker vekstfaktorer som befolkning og velstand for å fremskrive energibruken. Slike vekstfaktorer vil ikke være like gjeldende for eiendomsforvaltere. PI SEC

modellen er tilpasset områdenivå og krever detaljert informasjon i henhold til hvilke eiendommer som skal rehabiliteres for hvert scenario. Dette skiller seg fra MFA-modellen som bruker en randomiser-funksjon. PI SEC verktøyet kan derfor være hensiktsmessig for mindre eiendomsporteføljer der det er kjennskap til hvilke parametere som skal endres. For Statsbygg ville mengden antagelser resultert i dårlig kvalitet på resultater.

Ved hjelp av eksisterende data kan MFA-modellverktøyet i teorien modellere en hvilken som helst bygningsmasse både på områdebasis, på porteføljenivå og nasjonalt. Ved modellering av mindre eiendomsporteføljer er modellen unødvendig kompleks, spesielt over korte perioder. Denne fleksibiliteten er imidlertid veldig nyttig når man analyserer mer komplekse systemer. Modellen muliggjør modellering av svært komplekse egenskaper, samtidig som den legger til rette for forenklinger ved bruk av ulike areal typer og arealklasser. Ved hjelp av timesprofiler for arealklasser kan komplekse eiendommer bygges opp som legoklosser for å nøyaktig kunne fremskrive arealutvikling, levert energi og klimagassutslipp. Modellen gir høy oppløsning, slik at resultatene kan produseres på timesbasis. Imidlertid muliggjør også modellen fremskrivning selv om det kun er mindre detaljerte data tilgjengelig. Dette er fordi energibruken og klimagassutslippet kan simuleres på månedlig eller årlig basis, noe som forenkler bruken ved fremskrivning over lange tidsperioder. Dette ble utprøvd i oppgaven, men timesprofiler fra IDA ICE ga resultater av betydelig høyere oppløsning enn årsverdier i en fremskrivningsperiode på kun 31 år. Et annet viktig fleksibilitetstrekk, er valg av energibærere med tilhørende klimagassutslipp. Modellen muliggjør bruk av et ubegrenset antall brukerdefinerte energibærere. Klimagasskoeffisienten oppgis individuelt for hver energibærer på både måneds- og årsbasis. Slik er det mulig å undersøke innvirkningen av ulike klimagasskoeffisienter, og å forstå i detalj hvordan en endring i energimiks eller CO₂-faktor på et gitt tidspunkt påvirker resultatene.

En annen viktig fordel ved MFA-modellen er transparens. Inputvariabler og forutsetninger er tydelig gitt, slik at usikkerheten rundt dataene enkelt kan vurderes og endres ved behov. Modellen bruker energilastprofiler, som enten kan være eiendomsspesifikke og basert på empiriske data, eller bygningsklassespesifikke, basert på simuleringer eller antagelser. Til tross for at dette muliggjør fremskrivning av komplekse eiendomsmasser, er kravet om detaljerte inndata også en begrensning med modellen. Etablering av representative energibruksprofiler for alle gitte bygninger eller arealklasser, og for relevante rehabiliteringstilstander, er svært tidkrevende. Dette ble eksemplifisert med Statsbygg casen i denne oppgaven.

Metodikken presentert i oppgaven har ikke tidligere vært brukt for eiendomsporteføljer, noe som har krevd videreutvikling av koden. MFA-modellverktøyet har vist seg å være lite brukervennlig da det krever programmeringsferdigheter innenfor både MATLAB og objektorientert programmering. I tillegg stiller modellen krav til korrekt input fra store mengder standardiserte Excel ark i form av timesprofiler og informasjon rundt eiendommene. Dette krever nøyaktig kalibrering av bygningsmodeller for ulike bygningstyper og alderskohorter, samt korrekte inputvariabler i modellen for at programmet kan kjøre. Konsekvensen er at modelleringen inneholder flere usikkerheter og er tidkrevende, spesielt ved fremskrivning av komplekse eiendomsporteføljer. Utbedring av en mer effektiv og brukervennlig måte å modellere komplekse eiendomsporteføljer på, vil bli avgjørende for at dette skal bli et verktøy for eiendomsforvaltere i jobben med å redusere klimagassutslipp og energibruk. Det vil bli avgjørende med et enklere grensesnitt mellom modellen og brukere. En slik modell bør også inkorporere metoder for å rapportere på bærekraft i samsvar med EU taksonomien.

Videre er det knyttet usikkerhet til hvordan modellen simulerer rehabiliterings- og rivningsaktivitet. For mindre eiendomsporteføljer vil trolig ikke modellen kunne simulere en god randomisert fordeling grunnet mangel på aktivitet i form av rehabiliteringer eller rivning. For slike eiendomsporteføljer er det antagelig best å manuelt estimere rehabiliterings- og rivningsår individuelt for hver eiendom. Dette har ikke vært tilfelle i denne oppgaven, men det er viktig å være bevisst rundt størrelsen på eiendomsporteføljen om verktøyet skal brukes av mindre eiendomsforvaltere. For mindre eiendomsporteføljer vil spesifikke aktiviteter påvirke eiendommens tilstand mye mer enn det ville gjort hvis porteføljen var større. I tillegg bør modellen gi detaljert informasjon som kan knyttes opp mot planlegging, drift, vedlikehold og overvåking av eiendomsporteføljen.

7.2.1 Valg av klimagasskoeffisienter

Som presentert i avsnitt 2.2.2, er klimagasskoeffisienter for beregning av levert energi hyppig diskutert de siste årene. Det er som nevnt ingen felles konsensus, og derfor utfordrende å velge klimagasskoeffisient spesielt ved fremskrivning av utslipp. I dag er Norge en del av et felles nordisk kraftmarked med Sverige, Danmark og Finland. Fornybarandelen innad i dette kraftmarkedet er høy, men det nordiske kraftmarkedet er også integrert i det europeiske kraftmarkedet via overføringskabler til kontinentet (Energifakta Norge, 2021). En sterkere integrering av disse kraftmarkedene er essensielt for å redusere det totale klimagassutslippet fra levert energi i Europa. Norge er gjennom EU en del av EU sitt program for opprinnelsesgaranti (GOs) som garanterer fornybar energiproduksjon (Munch, 2021). Norsk energi er spesielt attraktiv for land med lav andel fornybar energiproduksjon, og grønn energi er og vil være en viktig eksportvare for Norge. Som et resultat av dette, vil den norske energimiksen ha et høyere klimagassutslipp i fremtiden. Ved fremskrivning av klimagassutslipp har det derfor vært nødvendig å velge en høyere klimagasskoeffisient enn for dagens Nordiske elmiks (30.2 g CO₂-ekv./kWh). Klimagasskoeffisienten er i denne oppgaven satt til 132 g CO₂-ekv./kWh, basert på en europeisk restmiks bestående av kull og kjernekraft. Denne er valgt i samråd med Statsbygg og beregnet i henhold til kapittel 2.2.2. Det kan likevel diskuteres hvor stor andel av den norske kraftmiksen som i realiteten er fossil. Dette vil avhenge av produksjons- og handelsaktivitet fra de ulike aktørene i kraftmarkedet. Det er også knyttet stor usikkerhet til fremtidig utvikling i fornybarandel og systemvirkningsgrad både innad i Norge og i Europa frem mot 2050. Norsk Industri er blant partene som kritiserer dette systemet fordi det undergraver den faktiske fornybarandelen i norsk elmiks. Det kan også stilles spørsmål om hvorvidt programmer som GOs stimulerer utviklingen av fornybar energiproduksjon i land preget av fossile energivarer.

Gjennom oppgaven er bundet utslipp fra eiendommer diskutert som argument for å rehabilitere istedenfor å bygge nytt. En norsk eller nordisk energimiks vil resultere i at denne konklusjonen forsterkes da utslippet fra materialer blir større i forhold til energibruk i drift. Nordisk elmiks vil også føre til at installering av solceller blir mindre attraktivt. Videre vil valg av klimagasskoeffisient ha stor betydning for hvilke tiltak som er mest effektive for å redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Ved lavere klimagasskoeffisient for fjernvarme, vil det være lite hensiktsmessig å redusere oppvarmingsbehovet gjennom rehabiliteringstiltak. Dette gjelder selvfølgelig kun for energibruk, da regelmessig vedlikehold er viktig for å opprettholde eiendomsverdien. I dette tilfellet vil solceller være svært attraktivt da bruken av elektrisitet er ansvarlig for størst andel av utslippet.

Oppgaven studerer også ulike klimagasskoeffisienter for fjernvarme. Relatert til fjernvarme er det ikke bare usikkerheten rundt fremtidig fornybarandel som er utfordrende. For fremskrivning av porteføljer der eiendommene er fordelt på ulike lokasjoner, er det også usikkerhet rundt allokeringen av energiressurser. Fjernvarme utnytter energien som er til overs i samfunnet for å redusere samfunnets totale bruk av energiressurser. I Norge er avfallsforbrenning den største energiressursen i fjernvarmenettet, og bidrar samlet til over halvparten av den totale fjernvarmeproduksjonen. Dette skyldes i hovedsak deponiforbudet i 2009 som resulterte i en økende utbygging av fjernvarmeanlegg. Til tross for klimagassutslipp ved avfallsforbrenning, er forbrenning av avfall mer energieffektivt enn å deponere avfallet på en miljøvennlig måte. Det er derfor diksjoner rundt klimagasskoeffisient for fjernvarme, da utslippene muligens vil forekomme uten å gjenvinne restvarmen. Det er derfor valgt å holde fjernvarmeandelen på 20 % av dagens energibruk gjennom hele fremskrivningsperioden ved manuelle beregninger. Dette er ikke realistisk, men er kun en antagelse for å forenkle beregningene.

ZEB-faktoren for fjernvarme er på 231 g CO₂-ekv./kWh, altså 120 g CO₂-ekv./kWh høyere enn valgt for denne oppgaven. ZEB-faktoren er basert på et gjennomsnittlig utslipp fra Norges fjernvarmeanlegg i 2011. I likhet med elektrisitet kan det antas at fjernvarmeselskapene også vil øke fornybarandelen i fremtiden, slik at ZEB-faktoren blir for høy i en fremskrivningsperiode på 31 år. Oppgaven baserer seg derfor på Hafslund fjernvarme i Oslo. Denne ressursmiksen har en høyere fornybarandel enn landsgjennomsnittet, men ikke like lav som Fortum fjernvarme med en fornybarandel på nesten 100 %. Fortum sin fjernvarme med utslipp på 13.8 g CO₂-ekv/kWh ble brukt i sensitivitetsanalysen for å vise påvirkningen av en høy fornybarandel. Fra kapittel 6.3.1 gir dette en reduksjon i klimagassutslipp i 2050 på 15 % i forhold til originalt valgte klimagasskoeffisienter. Videre vil valg av klimagasskoeffisient ha stor betydning for hvilke tiltak som er mest effektive for å redusere klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen.

7.3 Behov for scenariefremskrivning av eiendomsporteføljer

Oppgaven har som formål å svare på følgende problemstilling:

«Hvordan kan scenariefremskrivning brukes til strategisk porteføljeforvaltning mot et bærekraftsmål?».

I henhold til dagens utvikling vil stadig flere eiendomsforvaltere ha et ønske om å realisere høye energi- og miljøambisjoner. Dette er fordi myndighetene i stadig større grad forventer dette, men også fordi det etterspørres fra markedet. Eiendomsforvaltere har stor interesse av å forvalte egen portefølje på en bærekraftig måte, både for å oppnå god energimerking, lønnsomhet blant leietakere og som en del av EU taksonomien som gjør bærekraftige investeringer attraktive. For Statsbygg som eiendomsforvalter vil ikke sistnevnte argumenter være like avgjørende da eiendommene ikke omsettes i samme grad som i privat sektor. Likevel har oppgaven vist at scenariefremskrivning av eiendomsporteføljer kan gjøre det mulig å undersøke om klimagassreduksjonstiltak er tilstrekkelige i et lengre perspektiv.

En fundamental del av høye energi- og miljøambisjoner er konkret informasjon rundt tilstanden til eiendomsporteføljen, og å sette mål i forhold til realiserbare scenarier. Scenariefremskrivning av eiendomsporteføljen hjelper eiendomsforvaltere å kartlegge gapet mellom faktiske utslipp og miljøambisjoner, eksempelvis mål om en klimanøytral portefølje. Som en del av Statsbygg sine bærekraftsmål, ønsker de også å utnytte mulighetene i eksisterende bebyggelse på en bedre måte. Dette skal de gjøre ved å få mer funksjonelle, vedlikeholdte bygg og eiendommer. Dette innebærer

en tilstandsgrad 1 på 70 % av eiendomsporteføljen. Om de skal realisere dette innen planlagt tid, i dette tilfellet 2024, vil de ha behov for ambisiøs rehabilitering i en helt annen grad enn i dag. Statsbygg sitt nåværende målkart samsvarer derfor i liten grad med den faktiske tilstanden til eiendomsporteføljen. Det er nettopp slike gap fremskrivningsverktøy kan identifisere. Ved bruk av fremskrivningsverktøy for eiendomsporteføljer, vil det være mulig å forvalte, drifte og videreutvikle eiendomsporteføljer i henhold til en egen plan basert på bærekraftsmålene. Dette gjøres ved å etablere bærekraftplaner og identifisere hvilke tiltak som vil være tilstrekkelige for å nå et fremtidig klimamål. På denne måten får eiendomsforvaltere kjennskap til hvilke strategier som vil være mest effektive, og det vil være mulig å investere i de tiltakene som gir størst klimagassreduksjon i fremtiden. Modellen kan videre brukes som målkart for å forsikre eiendomsforvaltere om at porteføljen utvikles i riktig retning.

Oppgaven har fokusert på parameteren levert energi i større grad enn direkte klimagassutslipp. Dette har vært bevisst da usikkerheten ved klimagasskoeffisient har vært stor, spesielt ved fremskrivning av klimagassutslipp over lengre perioder. Likevel har oppgaven vist at energiintensitet er svært følsom for temperaturforandringer, slik at byggets oppvarmingsbehov bør registreres separat for å ha detaljert kjennskap til denne korrelasjonen. I tillegg er levert energi spesielt viktig for eiendomsforvaltere fordi mindre energibruk gir lavere driftskostnader for eiendommen. En annen svært viktig faktor ved å redusere energiforbruk fra bygningsmassen, er frigjøring av energi slik at andre sektorer kan elektrifiseres, eller at Norges fornybare elektrisitet kan distribueres til andre land på kontinentet. Det reviderte bygningsenergidirektivet fremhever dette som en viktig faktor for å realisere overgangen til en elektrisk bilpark. Levert energi til bygningsmassen er og vil være dominert av direkte elektrisitet, slik at energibesparelse i bygningssektoren vil være avgjørende for å kunne frigjøre elektrisitet til andre sektorer. På denne måten kan fornybar vannkraft erstatte fossil energiproduksjon både i Norge og i Europa.

7.4 Valg av tiltakspakker og scenarier

Ifølge Sandberg ved SINTEF er det viktig å definere realistiske scenarier, da overambisiøse scenarier kan gjøre at analysen og resultatene blir mindre interessante enn de ellers ville ha blitt. Dette er spesielt viktig for en statlig aktør da velbegrunnede scenarier er essensielt for resultatenes kvalitet. På denne måten kan resultatene enklere brukes som underlag for å trekke konklusjoner rundt virkemiddelbruk. Valg av tiltakspakker er gjort på bakgrunn av tiltakslisten til Statsbygg for 2019/2020. Tiltakene antas derfor gjennomførbare. Potensialet for smale tiltak som økt fleksibilitet og regulering, er ikke analysert.

Gjennom eiendommens levetid vil rehabilitering forekomme flere ganger. Ulike rehabiliteringsaktiviteter vil normalt forløpe ved ulike intervaller, slik at rehabiliteringstakten i modellen representerer gjennomsnittstiden mellom rehabiliteringer av en gitt type. Definerings av rehabiliteringsaktiviteter i form av tiltakspakker og intervall mellom hver oppgradering bør være casespesifikt. Ved simulering av referansebanen er det derfor valgt å ta utgangspunkt i gjennomsnittsalderen for eiendommer som ble oppgradert i 2020. Om dette er et godt estimat, er usikkert, da eldre eiendommer sjelden oppgraderes. I tillegg vil en reell fremskrivning av Statsbygg sitt utslipp inkludere flere nye eiendommer i fremskrivningsperioden.

Installering av energioppfølgingsystemer har vist seg svært hensiktsmessig for å redusere energibruken. Dette gjelder også for Statsbygg sin eiendomsportefølje, men tiltaket er ikke inkludert i oppgaven da EOS er tidkrevende å implementere i IDA ICE. Ved å ha konkret informasjon rundt hvilke deler av bygget som bruker energi, kan brukerne bli mer bevisste rundt egne vaner og

bruksmønstre. Bevissthet rundt energibruk er spesielt viktig for undervisningsbygg da oppgaven viser at store deler av energibruken skyldes utstyr og brukerrelatert aktivitet. Installering av EOS vil også gjøre det lettere å foreta energioppgraderinger, da det er tilgang til detaljerte energidata. I tillegg viser litteraturstudien at dette er spesielt fordelaktig for eiendomsforvaltere som leier ut sine eiendommer. Rapporten fra OECD/IEA viser at energibruken per kvadratmeter i Norge er 20 % høyere i lokaler som man leier, enn når brukeren selv eier bygget. Kontorlokaler er en sentral bygningskategori i de fleste eiendomsporteføljer, slik at en reduksjon av brukerstyring vil kunne gi store besparelser for eiendomsforvaltere både økonomisk og miljømessig.

7.5 Diskusjon av resultater fra casestudien

Gjennom oppgaven har det vært sentralt å undersøke hvor godt referansemodellen og fremskrivningsmodellen representerer den faktiske eiendomsporteføljen. For kohort 1 er det store avvik mellom faktisk energibruk og simulert energibruk. Det er viktig å være bevisst på dette ved diskusjon rundt måloppnåelse, og bruk av resultater videre. For kohort 1 er avviket mellom referansebygg og gjennomsnittet for eiendomsporteføljen på hele 28 %, selv korrigert for endret brukermønster som et resultat av COVID-19 pandemien. For resterende tre kohorter var avviket innenfor tilfredsstillende nivåer i forhold til at fremskrivningsmodellen er forenklet og ikke skal brukes som et korrekt måleverktøy. Målet er heller å bruke resultatene for å skape bevisstgjøring rundt gapet mellom ambisjoner og realiteten, i tillegg til å identifisere viktige tiltak og strategier.

Kartlegging av Statsbygg sin eiendomsportefølje viser at 63 % av Statsbyggs eiendomsportefølje daterer fra før 1987. Dette er før det ble etablert byggeforskrifter med fokus på energieffektivitet i bygg. Kartlegging av eiendomsporteføljen viser at kjennskap til porteføljens tilstand er avgjørende for å modellere klimagassutslipp og trekke konklusjoner rundt reduksjonspotensial. Sammenhengen mellom byggealder og spesifikk energibruk i kapittel 4 viser at det ikke nødvendigvis er de eldste byggene som bør prioriteres ved energioppgraderinger. Resultatene fra modelleringen viser at det i hovedsak er eiendommer bygget i perioden 1950 til 1987 som oppgraderes og rives underveis i fremskrivningsperioden. Dette er den største alderskohorten i oppgaven, med en arealandel på 44 %. Store deler av den eldste alderskohorten er vernet, noe som gjør at eiendommer datert før 1950 i mindre grad påvirkes. Antagelser og arealutvikling danner grunnlaget for å svare på forskningsspørsmålene.

Forskningsspørsmål 1: Hvilke faktorer er de viktigste, og hvilke strategier er mest lovende, for reduksjon i energibehov og klimagassutslipp for Statsbygg sin eiendomsportefølje frem mot 2050?

Oppgaven har tatt for seg tre ulike tiltakspakker. Statsbygg har som mål å være en pådriver i omstillingen til sirkulærøkonomi. Det er derfor valgt å inkludere en enkel tiltakspakke som har som mål å gjenbruke størst del av eiendommens materialer. Dette innebærer blant annet gjenbruk av kanalnettet for ventilasjonen ved bytte av varmegjenvinner med høyere virkningsgrad. Ambisiøs tiltakspakke er valgt på bakgrunn av Statsbyggs sine mål om at deres eiendomsportefølje skal bestå av funksjonelle, vedlikeholdte bygg og eiendommer. Med dette ønsker de at flesteparten av eiendommene skal imøtekomme tilstandsgrad 1 (TG 1) eller bedre.

Ved inngripende tiltak på et bygg kreves ofte totalrehabilitering, og ambisiøs tiltakspakke vil derfor tilsvare denne typen oppgradering. Gjennom simulering av energieffektiviserings tiltak, er det klart et tiltak som skiller seg ut. Installering av en mer effektiv varmeveksler er definitivt det mest energibesparende tiltaket, med redusert energibruk på 21 % for referansebygg 2. Tiltaket er en del

av begge tiltakspakker. Resultatet fra simuleringer av de to første tiltakspakkene viser en mindre forskjell i levert energi enn først antatt, med en reduksjon på 23 % for enkel tiltakspakke og 28 % for ambisiøs. Det er tydelig at økt rehabiliteringstakt vil være viktigere enn å imøtekomme TEK 17. I tillegg vil tiltak relatert til bevisstgjøring av brukeratferd og utstyr ved eiendommer være viktige, da disse energipostene kan bli mer dominerende i fremtiden ved redusert oppvarmingsbehov.

Oppgavens to rehabiliteringsscenarier, scenario 1 (Ambisiøs) og scenario 2 (Hyppig), vil i tillegg til redusert energibruk søke å motvirke verdiforringing i statlig sektor. Ut fra resultatene viser oppgaven at det er mer effektivt å øke andelen enkle rehabiliteringer, enn å rehabilitere eiendommene i henhold til nåværende byggtekniske standard. Scenario 2 (Hyppig) viser er reduksjon i levert energi på 8 % i 2050, i forhold til scenario 1 (Ambisiøs). Spesielt viser rehabilitering av eiendomsporteføljen et stort potensial for reduksjon i varmebehov. Fremskrivning viser at omfattende installasjon av solcellepaneler vil være nødvendig. De to resterende scenariene innebærer derfor tiltakspakke 3: Omfattende lokal energiproduksjon ved installering av solcellepaneler på eksisterende eiendommer. Scenariene innebærer ikke materialutslipp ved konstruksjon av selve solcellepanelene, men gir kun en redusert energibruk i drift. Dette er i utgangspunktet Statsbygg sin hovedstrategi for klimagassreduksjon. Fremskrivningsmodellen gir en reduksjon i levert energi for 2050 på henholdsvis 47 % og 60 % for scenario S3 (PV) og S4 (Hybrid). Det vil derfor kreves ytterligere investeringer om Norge ønsker at den statlige eiendomsmassen skal fungere som et fyrtårn for realisering av klimagassutslipp fra bygningsmassen. Gjennom samtaler med Statsbygg kommer det også klart frem at økonomi er en viktig faktor, da nasjonal målsetting ikke imøtekommer investeringene fra staten. Her er det viktig at disse korresponderer slik at planlagte tiltak er gjennomførbare. Kunnskap rundt potensialet for redusert energibruk kan være avgjørende i tildeling av finansielle midler. På denne måten kan midler brukes effektivt for at eksisterende eiendommer kan fungere i lavutslippssamfunnet.

Forskningsspørsmål 2: I hvilken grad kan Statsbygg sin eiendomsportefølje være klimanøytral innen 2050?

Resultatene fra scenarioanalysen viser at Statsbygg sin eiendomsportefølje er langt fra å nå klimanøytralitet i 2050. Dette er til tross for at betydelig nybyggaktivitet ikke er inkludert i fremskrivningsperioden. Referansebanen (scenario S0) i oppgaven viser en reduksjon i levert energi på 16 % i 2050. Dette innebærer en rehabiliteringstakt i henhold til dagens utvikling, men uten fokus på solcellepanelinstallasjoner. Heller ikke det mest ambisiøse scenariet, altså Hybrid scenario, er ambisiøst nok til å nå 40 % reduksjon i 2030 eller klimanøytralitet i 2050. Da modellen kun inkluderer energibruk i drift, har oppgaven antatt at en reduksjon i levert energi tilsvarer en reduksjon i klimagassutslipp. Antagelsen vil være gjeldende gitt at energimiksen ikke får en betydelig økt fornybarandel i løpet av fremskrivningsperioden. Resultatene viser at det samlede klimagassfotavtrykket til eiendomsporteføljen avtar gradvis mot 2050. Dette gjelder spesielt ved installering av 150 GWh fra solcellepaneler som er et viktig tiltak.

Oppgradering av eiendommer vil ikke bare påvirke reduksjon i levert energi og klimagassutslipp, det vil også øke verdien til eiendommene. Dette gjelder også for installering av solcellepaneler, da fornybar energiproduksjon vil bedre eiendommens energimerke. Statsbygg sine eiendommer derimot skal ikke omsettes på det private markedet i samme grad som for private eiendomsforvaltere. I tillegg leier Statsbygg ut sine eiendommer til statlige bedrifter. Derfor er ikke bedret energimerke på grunn av solcellepanel et like godt argument som i privat sektor. Oppgaven forsøker ikke å kritisere bruk av finansielle midler i statlig sektor. Derimot viser oppgaven at det er

viktig å ha en helhetlig og langsiktig tilnærming ved planleggingen av fremtidig energibruk relatert til klimagassutslipp.

7.5.1 Usikkerhet knyttet til resultater

Det er knyttet høy usikkerhet til enhver fremskrivning av arealutvikling, levert energi og klimagassutslipp. Denne usikkerheten blir større ved fremskrivninger lengre frem i tid, men antas å være akseptabel i perioden på 31 år frem mot 2050. I tillegg er det knyttet usikkerhet til andre deler av modellen. Omfanget av antatt fremtidig konstruksjon, rehabilitering og rivning, vil ikke nødvendigvis tilsvare den reelle utviklingen til eiendomsporteføljen. Dette gjelder spesielt for bygningene beskrevet i denne oppgaven, da Statsbygg sin eiendomsportefølje hovedsakelig er preget av kjøp og salg, og ikke rivning av eiendommer, slik som på områdenivå. Den antatte levetiden og rehabiliteringstakten til bygningene er også høyst usikker, samt forutsetningene om hvilke energieffektiviseringstiltak som vil bli implementert ved rehabilitering i fremtiden.

En annen sentral usikkerhet ved metodikken er allokering av arealklasser, der denne er satt konstant i henhold til figur 3.2 og 3.3. Ved en tidligere kartlegging av Gløshaugen campus ble det observert en stor forskjell i arealklassedeling mellom ulike alderskohorter. Da arealplaner for Statsbygg sine eiendommer ikke har vært tilgjengelig, er det valgt å forenkle modellen ved å anta lik arealfordeling for alle kohorter. I realiteten vil ikke dette være representativt da konstruksjon og original bruk legger føringer for arealplaner videre. Likevel viser kartlegging av Gløshaugen at andelen trafikkareal er relativt konstant for alle kohortgrupper, og utgjør omtrent en fjerdedel av det totale gulvarealet. For resterende arealklasser vil det være nødvendig å etablere egne representative arealklassedistribusjoner for ulike alderskohorter.

Den virkelige energibruken i en bygning kan avvike vesentlig fra energilastprofilene som brukes. Det er tydelig ved beregning av standardavvik i kapittel 4. Selv om energilastprofilene fra IDA ICE beskriver referansebygningens energibehov på en nøyaktig måte, vil parametere som brukeradferd og allokering av fjernvarme og elektrisitet variere betydelig. Spesielt for kohort 1 er det store avvik mellom simulert og faktisk energibruk. Dette vil ha stor påvirkning da energilastprofilene er like for alle eiendommer fra samme alderskohort. Det er viktig å være bevisst på den underliggende usikkerheten i inputvariablene og modellantagelsene ved evaluering av modellresultatene.

Størrelsen på arealet som er egnet for produksjon av fornybar energi, er også en usikkerhet. I tillegg er solceller en intermitterende kilde til elektrisitet, slik at det også er knyttet usikkerhet til det faktiske energiuttaket. Til tross for at Statsbygg eier og forvalter nærmere 800.000 kvadratmeter takflate med potensial for energiproduksjon, er ikke bæringen tilstrekkelig for å utnytte hele potensialet. Allerede i 2020 ble flere planlagte prosjekter skrotet på grunn av manglende bæring. Av 15 000 m² som skulle installeres, ble det i realiteten kun installert ca. 7000 m². Dette vil være en viktig faktor for om Statsbygg kan nå de nasjonale målsettingene om reduksjon i energibehov og klimagassutslipp. I samtaler med Statsbygg er det også presisert at problemene med bæring og mulige lekkasjer reduseres om solcellepaneler installeres i forbindelse med takskifte. Potensialet for ytterligere reduksjon ved installering av solceller er usikkert, men resultatene antyder at lokal energiproduksjon fra solcelleanlegg ikke dekker resterende energibehov. Denne utviklingsveien vil derfor ha begrenset potensial for å redusere levert energi og klimagassutslipp for hele porteføljen.

8. Konklusjon

Oppgaven har hatt som mål å undersøke nytteverdien av å bruke fremskrivningsmodeller tilpasset eiendomsforvaltere som ønsker å redusere klimagassutslipp fra egen eiendomsportefølje. Statsbygg sin eiendomsportefølje er brukt som eksempel for å prøve en mulig metodikk og verktøy for scenariefremskrivning. Flere verktøy er vurdert, og valgt metodikk for gjennomføring av oppgaven er hentet fra en materialflytanalyse (MFA)-modell for områdefremskrivning. Modellen fungerer godt som utgangspunkt for scenariefremskrivning av eiendomsporteføljer, da den er svært fleksibel. Ved hjelp av eksisterende data kan MFA-modellen i teorien modellere en hvilken som helst bygningsmasse både på områdebasis, på porteføljenivå og nasjonalt. Simulering av et referansebygg i IDA ICE er brukt til å etablere timesprofiler for MFA-modellens arealklasser og tilstander. Oppgaven har kalibrert referansmodellen opp mot gjennomsnittsverdier for Statsbygg sin eiendomsportefølje. Timesprofilene antas representative for eiendommer bygget etter 1950, men for porteføljens eldste eiendommer viser resultatene et betydelig avvik mellom referansmodellen og gjennomsnittlig energibruk i porteføljen. Eiendommene er fremskrevet i MFA-modellen ved å sette sammen kombinasjoner av arealklasser for å representere eiendommene på best mulig måte.

Resultatene fra scenarioanalysen viser at Statsbygg sin eiendomsportefølje er langt fra å nå klimanøytralitet i 2050. Dette til tross for at betydelig nybyggaktivitet ikke er inkludert i fremskrivningsperioden. Oppgaven har identifisert at det er mer effektivt å øke andelen enkle rehabiliteringer, enn å rehabilitere eiendommene i henhold til nåværende byggetekniske standard. Oppgaven har sett på et begrenset utvalg av tiltak i IDA ICE, der alle er hentet fra tiltakslisten til Statsbygg for 2019/2020. Enkel og ambisiøs tiltakspakke gir en energibesparelse på henholdsvis 23 % og 28 %. Begge tiltakspakkene innebærer skifte av varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg. Dette tiltaket er det desidert mest effektive, med en reduksjon i enerbruk på 21 % for referansebygg 2.

Resultatene fra oppgavens fem scenarier viser at det samlede klimagassfotavtrykket til eiendomsporteføljen avtar gradvis mot 2050. Dette gjelder spesielt ved installering av 150 GWh fra solcellepaneler, som viser seg å være et viktig tiltak. Likevel er det et stort gap mellom resultater fra fremskrivningen og Statsbygg sine miljøambisjoner. For oppgavens mest ambisiøse scenario, å øke hyppigheten på enkle rehabiliteringer kombinert med omfattende energiproduksjon fra solcellepaneler, gir fremskrivningsmodellen en reduksjon i levert energi på 37 % i 2030 og 60 % i 2050. Resultatene viser at Statsbygg sitt nåværende målkart i liten grad samsvarer med dagens planlagte tiltak. Til tross for usikkerhet og oppgavens avgrensninger, fremstår konklusjonene fra MFA-modellen robuste. Oppgaven viser derfor at scenariefremskrivning er et nyttig verktøy for porteføljevaltning mot et bærekraftsmål, eksempelvis å redusere energibruken. Bruk av MFA-modellen gjør det mulig å undersøke hvordan planlagte energieffektiviseringstiltak påvirker fremtidig energibruk og klimagassutslipp fra eiendomsporteføljen. Dette er viktig for å realisere økte energi- og miljøambisjoner, og utvikling av eiendomsporteføljer mot et mer bærekraftig samfunn.

9. Videre arbeid

Oppgaven har undersøkt og diskutert nytteverdien av scenariefremskrivning for strategisk porteføljevaltning mot ulike bærekraftsmål. Metodikken har vist seg svært hensiktsmessig som underlag for bruk på komplekse eiendomsporteføljer, men vil som nevnt kreve videreutvikling for detaljert simulering og fremskrivning av eiendommene. Utbedring av en mer effektiv og brukervennlig måte å modellere komplekse eiendomsporteføljer på, vil bli avgjørende. Et enklere grensesnitt mellom bruker og modellen, vil være viktig for at verktøyet skal kunne brukes av eiendomsforvaltere i jobben mot å redusere energibruken og klimagassutslippet. Dette innebærer spesielt etablering av energilastprofiler for flere ulike arealklasser og tilstandsgrader. Videreutvikling av modellverktøyet bør også inkorporere metoder å rapportere på hensiktsmessige KPIer i forhold til bærekraftsmål. Forslag til KPIer er eksempelvis energiintensitet, økt tilstandsgrad og andel lokal fornybar energiproduksjon.

Innføring av lavenergibygging vil som nevnt endre eiendommers miljøpåvirkning fra operasjonelle utslipp til en større andel materialutslipp. Det vil derfor være viktig å studere materialeffektivitet for å redusere klimagassutslippene ytterligere. For å kunne kvantifisere dette utslippet fra nybygg, rehabiliteringer og rivning, vil det være viktig å studere materialflyten relatert til bundet energi. Dette er kun diskutert kort i denne oppgaven, men det vil være behov for konkrete analyser for å fatte konklusjoner rundt materialbruk i konstruksjons- og rehabiliteringsaktiviteter.

Behovet for videre arbeid er konkretisert i punktene nedenfor:

- Inkludere flere tiltak for å minimere energibruken, spesielt for ambisiøs tiltakspakke. Dette kan for eksempel inkludere installasjon av varmpumper, eller smale tiltak som økt fleksibilitet og regulering.
- Lage detaljerte simuleringer for flere arealklasser for å tilpasse modellverktøyet til flere typer bygningskategorier. Her er det viktig å finne representative arealsammensetninger for bygningskategoriene, for å sette sammen riktig kombinasjon av arealklasser. Dette tilsvarer det som er gjort for undervisningsbygg og kontorbygg i denne oppgaven. Det kan også være aktuelt å etablere arealsammensetninger tilpasset bygg datert fra ulike perioder.
- Forenkle MATLAB koden i MFA-modellen for å gjøre den mer brukervennlig. Eventuelt bør det etableres et enklere grensesnitt mellom bruker og modellen.
- Inkorporere KPIer for å kunne vurdere måloppnåelsen hvert enkelt år. På denne måten kan man undersøke om virkemiddelbruk må endres for å imøtekomme ambisjonsnivået. Dette vil bli avgjørende for eiendomsforvaltere som vil rapportere på klimagassutslipp og bærekraft i henhold til EU taksonomien. Energiintensitet er i denne oppgaven foreslått for indikator, med vedlegg D presenterer tiltak innenfor 15 av 17 bærekraftsmål (Norsk eiendom, 2019).
- Innlemme bundet klimagassutslipp i modellen for å kvantifisere utslippet fra nybygg, rehabilitering og rivningsprosessen.
- Konkretisere kostnaden av å vedlikeholde og rehabilitere eiendomsporteføljer. Kostnad for 13 tiltak med tilhørende levetid kan innhentes fra NVE sin rapport på synliggjøring av tiltak (NVE, 2021). Informasjonen kan brukes til å videreutvikle modellen.

Litteraturliste

- Asplan Viak. (2018). *Utredning av livsløpsbaserte miljøkrav i tek*. DiBK. Hentet Oktober 2, 2020 fra https://dibk.no/globalassets/02.-om-oss/rapporter-og-publikasjoner/utredning_av_livsløpsbaserte_miljøkrav_i_tek_asplan_viak_2018.pdf
- Asplan Viak. (2019). *Bygg- OG Anleggssektoren klimagassutslipp*. Sandvika: Asplan Viak. Hentet August 30, 2020 fra https://www.bnl.no/siteassets/dokumenter/rapporter/klimautslipp_bae_2019.pdf
- Bernhard, P., & Jørgensen, P. (2007). *Notat - Klimagassutslipp fra byggesektoren*. Byggemiljø. Hentet September 20, 2020 fra <https://www.byggemiljo.no/wp-content/uploads/2015/01/Notat-klimagassutslipp-fra-byggesektoren>
- BPIE. (2020). *97% of buildings in Europe needs to be upgraded*. Building Performance Institute Europe. Hentet September 1, 2020 fra http://bpie.eu/wp-content/uploads/2017/12/State-of-the-building-stock-briefing_Dic6.pdf
- BPIE. (2020). *Recovery investment in deep renovation*. Buildings Performance Institute Europe. Hentet September 1, 2020 fra http://bpie.eu/wp-content/uploads/2020/05/Recovery-investments-in-deep-renovation_BPIE_2020.pdf
- Brattebø, H., O'Born, R., Sartori, I., Klinski, M., & Nørstebø, B. (2016). *Typologier for norske boligbygg - Eksempler på tiltak for energieffektivisering*. Trondheim: EPISCOPE. Hentet April 13, 2021 fra https://sintef.brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/2456621/NO_TABULA_TypologyBrochure_NTNU.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Byggordboka. (2017). *Tiltak i eksisterende bygninger - begreper*. Byggordboka. Hentet Mars 3, 2021 fra <https://www.byggordboka.no/artikkel/les/tiltak-i-eksisterende-bygninger-begreper>
- Bøhn, T., Palm, L., Bakken, L., Nossum, Å., & Jordell. (2012). *Studie av potensialer og barrierer: Energieffektivitet i norske næringsbygg*. Enova bakgrunnsrapport. Hentet September 19, 2020
- Centre for Sustainable Energy Studies. (2019). *CenSES Final Report 2019*. Trondheim: Cen SES. Hentet Mars 11, 2021 fra <https://www.ntnu.edu/documents/1261967833/1270231594/FERDIG+-+CENSES+FINAL+REPORT+18.10.19-KORT-versjon.pdf/df90e1a1-7e18-262d-5cd9-7b56366580d7?t=1572441424743>
- Corgnati, S., Fabrizio, E., Filippi, M., & Monetti, V. (2014). *Reference building for cost optimal analysis: Method of definition and application*. Applied energy . Hentet Februar 8, 2021
- DiBK. (2017, Juli 1). *De mest sentrale endringene fra TEK10 til TEK17*. Hentet September 5, 2020 fra Webområde for DiBK: <https://dibk.no/om-oss/Nyhetsarkiv/her-er-de-mest-sentrale-endringene-i-tek17/>
- DiBK. (2020, August 15). *Om Direktoratet for byggkvalitet*. Hentet fra DiBK: <https://dibk.no/om-oss/>
- Energifakta Norge. (2021). *Kraftmarkedet*. Hentet Mai 19, 2021 fra Energifakta Norge: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftmarkedet/>
- Enova. (2005). *Bygningsnettverkets energistatistikk 2004*. Trondheim: Enovas Bygningsnettverk. Hentet Mai 22, 2021 fra https://www.enova.no/upload_images/36B76584E64046FEA4B2E12096DEFAC0.pdf
- Enova. (2012). *Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering i norske bygg*. Enova. Hentet August 18, 2020
- Enova. (2015). *Rehabilitering og energioppgradering av boliger - Drøfting av begreper og måling av omfang*. Oslo: Enova. Hentet Mars 9, 2020
- Enova. (2019). *Enovas byggstatistikk 2017*. ENOVA. Hentet September 5, 2020

- Enova. (u.d.). *Graddagstall gjør det mulig å sammenligne energibruk i bygg*. Hentet 2021 fra Enova Kunnskap: <https://www.enova.no/kunnskap/graddagstall/>
- EPISCOPE. (2016). *EPISCOPE*. Hentet fra EPISCOPE and TABULA Website: <https://episcope.eu/welcome/>
- European Commission. (2021, Mai 17). *A European Green Deal*. Hentet Mai 25, 2021 fra European Commission: Strategy 2019-2024: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Parliament. (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings*. Official Journal of the European Union. Hentet Februar 8, 2021 fra <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>
- Finansdepartementet. (2005). *Veileder til gjennomføring av evalueringer*. Oslo: Finansdepartementet. Hentet Mai 25, 2021 fra https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/veileder_til_gjennomfoering_av_evalueringer.pdf
- FN. (2021, Januar 8). *FNs bærekraftsmål*. Hentet Februar 8, 2021 fra FN-Sambandet: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal>
- Fufa, S. M., Flyen, C., & Venås, C. (2020). *Grønt er ikke bare en farge: Bærekraftige bygninger eksisterer allerede*. Oslo: Sintef lag. Hentet Januar 10, 2021
- Goubran, S., & Cucuzzella, C. (2019, August 30). Integrating the Sustainable Development Goals in Building Projects. *Hapres - Journal of Sustainability Research*. Hentet Januar 28, 2021 fra https://www.hapres.com/htmls/JSR_1089_Detail.html
- Grini, G., & Oksvold, I. (2019). *Potensial for varmpumper i eksisterende bygninger*. Gehør. Hentet November 1, 2020 fra <https://www.novap.no/uploads/media/5d0732425cfa4/potensial-for-varmpumper-i-eksisterende-bygningsmasse.pdf>
- Grønn Byggallianse. (2019). *Tenk før du river*. Oslo: Grønn Byggallianse. Hentet August 25, 2020 fra <https://byggalliansen.no/publikasjoner/tenk-deg-om-for-du-river>
- Grønn Byggallianse og Norsk Eiendom. (2020). *Innspill til klimakur 2030*. Grønn Byggallianse. Hentet August 25, 2020 fra <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2020/05/200430-Innspill-til-Klimakur-2030-fra-Gr%C3%B8nn-Byggallianse-og-Norsk-Eiendom.pdf>
- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). *Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction*. Building and Environment. Hentet Februar 12, 2021 fra <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360132319304287?token=E31E0891A287D29FB0B0C78CBFD001A9155DFCA65B733AA74E30C7C668A94F3BA9B35C89228A8C446BCA003494934118>
- Hong, T., Chou, S., & Bong, T. (2000). *Building simulation: an overview of developments and*. Building and environment. Hentet Februar 8, 2021 fra <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0360132399000232?token=5719D98755C93DC3E922BB10ED8316A0A399D1792143AB4C41E3D3422A1A9BFDC39EEAEA683739F549A86AC7AD3884FB>
- Ibenholt, K., & Fiksen, K. (2011). *Energieffektivisering*. Vista Analyse/THEMA consulting. Hentet November 5, 2020 fra https://www.vista-analyse.no/site/assets/files/5862/va-rapport_2011_energieffektivisering_i_eksisterende_bygg.pdf
- IEA. (2020). *Buildings - A source of enormous untapped efficiency potential*. Hentet fra IEA: <https://www.iea.org/topics/buildings>
- IPCC. (2018). *SPECIAL REPORT: GLOBAL WARMING OF 1.5 °C*. IPCC. Hentet November 16, 2020 fra <https://www.ipcc.ch/sr15/>

- Jahren, S., Nørstebø, V., Simas, M., & Wiebe, K. (2020). *Reduserte klimagassutslipp og overgang til lavutslippssamfunn gjennom strategier for sirkulær økonomi*. SINTEF. Hentet September 2020 fra <https://www.sintef.no/prosjekter/reduerte-klimagassutslipp-og-overgang-til-lavutslippssamfunn-gjennom-strategier-for-sirkular-okonomi/>
- Jakobsen, I., Kallbekken, S., & Lahn, B. (2020, November 18). *Parisavtalen*. Hentet Januar 19, 2021 fra SNL: <https://snl.no/Parisavtalen>
- Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, Arbeidsmiljøloven § 4–4 (Lovdata.no Januar 1, 2006).
- Klima- og miljødepartementet. (2020, Mai 4). *Regjeringen.no*. Hentet fra Handlingsplan for sirkulær økonomi: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2020/jan/veikart-for-sirkular-okonomi-2019/id2691183/>
- Larsen, A. F., Bramslev, K., & Hammer, E. (2013). *Nullutslippsbygg - er det mulig?* Grønn Byggallianse. Hentet Mai 20, 2021 fra <https://byggalliansen.no/wp-content/uploads/2018/11/Nullutslippsbygg-Veileder.pdf>
- Lien, S. K. (2017). *Innvirkning av Norges energipolitikk på fremtidig energibruk i norsk bygningsmasse*. Institutt for energi- og prosessteknikk. Trondheim: NTNU. Hentet November 10, 2020
- Lindberg, K. B. (2017). *Impact of Zero Energy Buildings on the Power System*. Trondheim: NTNU. Hentet Mai 3, 2021 fra <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2450566>
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., & Napolitano, A. (2011). *Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies*. Energy and Buildings.
- Miljødirektoratet. (2020, 11 16). *Miljøstatus: Klimagassutslipp fra oppvarming av bygg*. Hentet Desember 1, 2020 fra Miljødirektoratet: <https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/klimagassutslipp-fra-oppvarming-av-bygg/>
- Multiconsult. (2009). *Levetider i praksis - Prinsipper og bruksområder*. Oslo: DiBK. Hentet April 13, 2021 fra https://dibk.no/globalassets/eksisterende-bygg/publikasjoner/levetider_i_praksis.pdf
- Multiconsult. (2013). *Tilstand og vedlikeholdsstatus i kommunal og fylkeskommunal bygningsmasse*. Oslo: Multiconsult. Hentet Mars 9, 2021
- Multiconsult, Analyse & Strategi. (2011). *Potensial og barrierestudie: Energieffektivisering i norske næringsbygg*. Multiconsult. Hentet Februar 9, 2021 fra <https://www.multiconsult.no/assets/EnergieffektiviseringINorskeN%C3%A6ringsbygg.pdf>
- Munch, P. (2021). *Guarantees of Origin (GOs)*. Hentet Mai 19, 2021 fra ECOHZ: <https://www.ecohz.com/renewable-energy-solutions/guarantees-of-origin/>
- Nakstad, S., & Engebakken, F. (2019). *En undersøkelse av rehabilitering av eksisterende bygg i et bærekraftig perspektiv*. Trondheim: NTNU. Hentet August 2020
- Nesgård, E., & Ngo, M. (2018). *Framtidens energiveier for bygninger - muligheter for energieffektivisering og konvertering til fornybar energikilde i bygningsmasse*. Trondheim: NTNU. Hentet September 1, 2020
- Norsk eiendom. (2019). *Bærekraftsstrategi - Eiendomsbransjens rolle i å nå bærekraftsmålene til FN*. Norsk eiendom. Hentet Mai 25, 2021 fra <https://www.norskeiendom.org/wp-content/uploads/2019/10/baerekraftspolitik-norsk-eiendom-2019.pdf>
- Norsk Klimaservicesenter. (2021, Mars 1). *SeKlima*. Hentet fra SeKlima - Observasjoner og værstatistikk: <https://seklima.met.no/observations/?fbclid=IwAR38M3JW4hr1wzgoRohhZfG7hSqWtmlAqOyf2Lgx6BUGYw6We4iK3ur2Vno>

- Norsk Kommunalteknisk Forening. (2015). *Tekniske krav ved tiltak i eksisterende bygg*. Oslo: DiBK. Hentet September 1, 2020 fra Tekniske krav ved tiltak i eksisterende bygg
- Norsk solenergiforening. (2021). *Om solenergi - Solceller*. Hentet Mai 3, 2021 fra Webområde for Norsk solenergiforening: <https://www.solenergi.no/solstrm>
- NVE. (2020, Oktober 27). *Energibruk i bygg*. Hentet November 2020, 10 fra Webområde for NVE: <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/?ref=mainmenu>
- NVE. (2021). *Synliggjøring av energieffektivisering*. NVE. Hentet Mai 10, 2021 fra <https://www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energieffektivisering/>
- Næss, J. S., Sandberg, N. H., Nord, N., Vestrum, M., Lausset, C., Woszczek, A., . . . Brattebø, H. (2018). *Neighbourhood building stock model for long term dynamic analyses of energy and ghg emissions - General model description and case studies*. Trondheim: ZEN Forskningscenter. Hentet Februar 11, 2021
- Olerud, K. (2016, April 2011). *Kyotoprotokollen*. Hentet Januar 19, 2021 fra SNL: <https://snl.no/Kyotoprotokollen>
- Olerud, K., & Kallebekken, S. (2019, September 30). *Klimakonvensjonen*. Hentet Januar 19, 2021 fra SNL: <https://snl.no/Klimakonvensjonen>
- Regjeringen. (2012). *Meld. St. 21 (2011–2012) - Norsk klimapolitikk*. Oslo: Regjeringen. Hentet Januar 15, 2021 fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-21-2011-2012/id679374/>
- Regjeringen. (2012). *Meld. St. 28 (2011–2012) - Gode bygg for et bedre samfunn*. Oslo: Regjeringen. Hentet Februar 22, 2021 fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-28-20112012/id685179/>
- Regjeringen. (2020). *Direktiv om endringer i bygningsenergidirektivet*. Oslo: Regjeringen. Hentet Mars 10, 2020 fra <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2016/des/revisjon-av-direktiv-om-bygningers-energiytelse/id2540198/>
- Regjeringen. (2020, September 11). Klimaforliket. *Regjeringen: Klima- og miljødepartementet*. Hentet Februar 3, 2021 fra <https://www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimaforliket/id2076645/>
- Regjeringen. (2021). *Meld. St. 13 (2020–2021) - Klimaplan for 2021–2030*. Oslo: Regjeringen. Hentet Januar 13, 2021 fra <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld.-st.-13-20202021/id2827405/>
- Reppe, L. C. (2016). *Bærekraftig og konkurransedyktig eiendomsforvaltning i kommunal sektor*. Nesodden: NTNU. Hentet Mai 25, 2021 fra https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2422743/2016_EVU_Masteroppgave_Linn%20Christin%20Reppe.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rock, Saade, & m.fl., B. (2019, November 28). Embodied GHG emission of buildings – The hidden challenge for effective climate change mitigation. *Science Direct*.
- Rogelj, J., Shindell, D., Jiang, K., Fife, S., Forster, P., Ginzburg, V., . . . Vilariño, M. (2018). *Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development*. IPCC. Hentet April 19, 2021 fra https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_Chapter2_Low_Res.pdf
- Sandberg, N., Sartori, I., Vestrum, M., & Brattebø, H. (2017). *Using a segmented dynamic dwelling stock model for scenario analysis of future energy demand: The dwelling stock of Norway 2016 - 2050*. Energy and buildings. Hentet November 12, 2020

- Sartori, I., Sandberg, N., & Brattebø, H. (2016). *Dynamic building stock modelling: General algorithm and exemplification for Norway*. Oslo: Energy and Buildings. Hentet Februar 11, 2021
- Schjølset, S. (2020, November 3). *Etterlysning: Klimaplan i tråd med Paris-avtalen*. Hentet 10 November, 2020 fra Energi og klima: <https://energiogklima.no/kommentar/etterlysning-klimaplan-i-trad-med-paris-avtalen/>
- SINTEF Byggforsk. (2011). *Energibruk i bygninger - Nasjonal database og sammenligning av beregnet og målt energibruk*. SINTEF. Hentet Februar 10, 2021
- Skrautvol, O., & Eliassen, S. (2016). *Energiveier for framtidige bygningsområder*. Trondheim: NTNU. Hentet Mai 8, 2021 fra <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2408932>
- Soto, A., & Jentsch, M. (2016). *Comparison of prediction models for determining energy demand in the residential sector of a country*. Elsevier. Hentet April 20, 2021
- Spilde, D. (2017). *Energibruk i Fastlands-Norge: Historisk utvikling og anslag på utvikling mot 2020*. NVE. Hentet November 1, 2020 fra https://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_25.pdf
- SSB. (2011). *Energibruk i tjenesteytende næringer*. SSB. Hentet Februar 9, 2021 fra <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/entjeneste/hvert-3-aar/2012-12-19>
- Standard Norge . (2018, September 1). NS 3720 - Metode for klimagassberegninger for bygninger.
- Standard Norge . (2020, Mars 31). NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse.
- Standard Norge. (2013). *NS 3454 - Livssyklus kostnader for byggverk*. Standard Norge. Hentet April 1, 2021
- Stub, S. Ø., & Brenna, K. A. (2017). *Zerorapport 2017- Slik kutter vi energibruken i bygg*. Zero Emission Resource Organisation. Hentet November 4, 2020
- Tangen, S. (2015). *Muligheter for bedre inn klima og lav energibruk i bygninger med doble fasader*. Trondheim: NTNU. Hentet April 20, 2021
- UN Environment Programme. (2020). *Emissions Gap report 2020*. UNEP DTU partnership. Hentet Januar 10, 2021
- Walnum, H. T., Lien, S. K., Hauge, Å. L., & Lindberg, K. B. (2019). *Brukerveiledning PI-SEC scenario calculator*. SINTEF. Hentet Januar 10, 2021 fra https://www.ntnu.edu/documents/21392748/0/PI-SEC_brukerveiledning_Scenario_calc_des2019.pdf/09647741-be31-c608-2cb9-1cf771870d0a?t=1578659383573
- Woszczek, A. (2018). *Analysis of energy use and greenhouse gas emissions at the future building stock at the NTNU campus Gløshaugen*. Trondheim: NTNU. Hentet Januar 10, 2021
- Yoshino, H., T. Hong, T., & Nord, N. (2017, Juli). Total energy use in buildings – Analysis and evaluation methods. *Science Direct*.
- ZEB. (2016, Februar 18). Nullutslippsbygg bidrar til grønt skifte. *Teknisk Ukeblad*. Hentet September 16, 2020 fra <https://www.zeb.no/index.php/en/news-and-events/247-nullutslippsbygg-bidrar-til-gront-skifte>
- Aarstrand, A. (2019). *Referansemodell for pålitelig estimering av energi- og effektbehov for kontorbygninger på områdenivå*. Trondheim: NTNU. Hentet September 24, 2020

Vedlegg A – Behandling av datasett

Datasettet har blitt sortert avhengig av byggeår og segmentert innenfor de ulike byggetekniske forskriftene i Norge. Tabell A.1 viser informasjon rundt antall bygg, samlet totalt areal og energibruk innenfor hver enkelt byggeperiode. Dette er brukt som bakgrunn ved valg av kohorter basert på antall eiendommer og likhet i krav ved byggeår. Informasjonen er beregnet på bakgrunn av behandlet datasett fra 2020. Antagelser gjort for ubehandlet energidata fra 2019 er videre gitt i vedlegg B.

Tabella.1 - Systematisert informasjon brukt ved utvelgelse av kohorter.

| | Periode | Antall | Sum areal (BTA) | Gjennomsnittlig spesifikk energibruk |
|---------------|-------------|--------|------------------------|--------------------------------------|
| Eldre | Før 1950 | 107 | 486 874 m ² | 188,33 kWh/m ² år |
| BF 49 | 1950 – 1069 | 56 | 351 951 m ² | 204,5 kWh/m ² år |
| BF 69 | 1970 – 1987 | 75 | 782 282 m ² | 180,62 kWh/m ² år |
| BF 87 | 1988 – 1997 | 59 | 421 512 m ² | 163,5 kWh/m ² år |
| TEK 97 | 1998 – 2007 | 42 | 295 653 m ² | 195,1 kWh/m ² år |
| TEK 07 | 2008 – 2010 | 8 | 44 996 m ² | 218,32 kWh/m ² år |
| TEK 10 | 2011 – 2017 | 13 | 148 191 m ² | 154,53 kWh/m ² år |
| TEK17 | 2018 – nå | 4 | 8 078 m ² | 229,13 kWh/m ² år |

Videre presenteres systematisert informasjon innenfor hver bygningskategori. Datasettet er behandlet slik at spesifikk energibruk er beregnet samt temperatur- og stedskorrigert. Informasjonen er her gitt som summen eller vektet gjennomsnitt for hver kohort. Dette er gjort for å anonymisere konkrete eiendommer som ikke vil bli vist i vedlegget. Dataene er brukt for å generere informasjon brukt i kapittel 4. I tillegg viser disse tabellene oversikt over eksisterende produksjon av fornybar elektrisitet samt CO₂ belastningen fra hver kohort. Dette er kun utslipp relatert til direkte utslipp, altså fra energibruk i drift. Informasjon om datasettet er gitt i Tabell A.2-A7 for bygningskategoriene presentert i kapittel 4.

Undervisningsbygg og forskning: Tabell A.2 viser detaljert informasjon etter behandling av eiendommer innfor undervisning og forskning.

Tabell A.2 - Undervisning og forskning.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m ²] | Spesifikk energibruk [kWh/m ²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO ₂ -belastning [kg] |
|----------------------|--------|-----------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------------------|
| Totalt | 65 | 1136040 | 182 | 5621795,787 | 11744045 |
| Eldre (-1950) | 8 | 33203 | 170 | 0 | 208543 |
| 1950 -1987 | 31 | 694765 | 180 | 1127762,951 | 6196606 |

| | | | | | |
|--------------------|----|--------|-----|-------------|---------|
| 1988 - 2010 | 23 | 306278 | 201 | 2455420,072 | 4972973 |
| 2011 - nå | 3 | 101794 | 152 | 2038613 | 365924 |

Offentlig administrasjon og tjenesteyting, kontorbygg: Tabell A.3 viser detaljert informasjon etter behandling av eiendommer innfor offentlig administrasjon og tjenesteyting. Disse er videre kalt kontorbygg for å forenkle.

Tabell A.3 - Kontorbygg.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m²] | Spesifikk energibruk [kWh/m²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO₂-belastning [kg] |
|----------------------|---------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Totalt | 125 | 767654 | 177 | 2048480 | 9294688 |
| Eldre (-1950) | 24 | 143341 | 182 | 265107 | 1607180 |
| 1950 - 1987 | 49 | 271648 | 202 | 341297 | 3882624 |
| 1988 - 2010 | 44 | 307773 | 156 | 1016411 | 3491506 |
| 2011 - nå | 8 | 44892 | 166 | 425664 | 313378 |

Fengsel: Tabell A.4 viser detaljert informasjon etter behandling av fengselseiendommer. Denne bygningskategorien har vist seg å ha den høyeste spesifikke energibruken.

Tabell A.4 - Fengselsbygg.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m²] | Spesifikk energibruk [kWh/m²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO₂-belastning [kg] |
|----------------------|---------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Totalt | 49 | 399445 | 216 | 2547563 | 3279953 |
| Eldre (-1950) | 21 | 177051 | 215 | 419208 | 1297617 |
| 1950-1987 | 19 | 124348 | 221 | 329616 | 1340317 |
| 1988-2010 | 6 | 61317 | 201 | 2195 | 480498 |
| 2011-nå | 3 | 36728 | 229 | 1796543 | 161520 |

Barnevernsinstitusjon: Tabell A.5 viser detaljert informasjon etter behandling og systematisering av barnevernsinstitusjoner. Kategorien er videre kalt institusjoner og er i likhet med fengselsbygg definert som sykehusbygg i TEK17.

Tabell A.5 - Institusjoner.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m²] | Spesifikk energibruk [kWh/m²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO₂-belastning [kg] |
|----------------------|---------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Totalt | 77 | 79768 | 192 | 839107 | 390419 |
| Eldre (-1950) | 23 | 27674 | 193 | 598862 | 143874 |
| 1950-1987 | 22 | 17569 | 173 | 73333 | 71822 |

| | | | | | |
|------------------|----|-------|-----|--------|--------|
| 1988-2010 | 30 | 32272 | 200 | 144727 | 164812 |
| 2011-nå | 2 | 2253 | 181 | 22185 | 9911 |

Kultureiendom: Tabell A.6 viser detaljert informasjon etter behandling og systematisering av kultureiendom. Kultureiendom innebærer også kongelig eiendom og monumenter ved behandling av datasettet.

Tabell A.6 - Kultureiendom.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m²] | Spesifikk energibruk [kWh/m²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO₂-belastning [kg] |
|----------------------|---------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Totalt | 26 | 156203 | 187 | 47459 | 1540014 |
| Eldre (-1950) | 21 | 96827 | 152 | 0 | 584706 |
| 1950-1987 | 1 | 5134 | 147 | 0 | 1685 |
| 1988-2010 | 3 | 52433 | 259 | 0 | 948801 |
| 2011-nå | 1 | 1810 | 108 | 47459 | 4823 |

Boligeiendom: Tabell A.7 viser detaljert informasjon etter behandling av Statsbygg sine boliger. Boligeiendommer består også av en blokk og flere hybler. Denne kategorien er derfor sammensatt. Det yngste boligbygget i Statsbygg sin portefølje daterer fra 1999, og bygningskategorien består av både helårsboliger og sesongboliger. I tillegg er også fjellstuene eid av Statsbygg en del av denne kategorien.

Tabell A.7 - Boligeiendom.

| | Antall | Sum areal (BTA) [m²] | Spesifikk energibruk [kWh/m²] | Produksjon av fornybar energi [kWh] | CO₂-belastning [kg] |
|----------------------|---------------|--|---|--|---------------------------------------|
| Totalt | 20 | 31637 | 156 | 128489 | 832791 |
| Eldre (-1950) | 12 | 10070 | 212 | 128489 | 576077 |
| 1950-1987 | 5 | 19477 | 122 | 0 | 245418 |
| 1988-2010 | 3 | 2090 | 201 | 0 | 11297 |
| 2011-nå | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Vedlegg B – Korreksjon av energibruk relatert til utetemperatur

Oppgaven bruker rådata for å korrigere for COVID-19, men antagelsene er svært usikre. Vedlagte sammenstilling viser at energigraddagstallet var 9.9 % lavere i 2020 i forhold til 2019. Ut ifra kapittel 5 er 35 % av energibruken til referansebygg 2 relatert til oppvarming. Hvis ca. 35 % av energibruken er utetemperaturavhengig, vil varmere vær i 2020 kunne tilskrives 3.5 % av reduksjon i energibruk. Resterende differanse, 6.5 %, kan tilskrives blant annet brukerendringer relatert til COVID-19. Tabell B.1 viser oversikt over energigraddagstall i 2019 og 2020 for seks representative lokasjoner. Da eiendommene til Statsbygg er plassert rundt om i landet vil det være for omfattende å kartlegge energigraddagstall for alle meteorologiske lokasjoner. I tillegg er ikke lokasjonene kjent (Norsk Klimaservicesenter, 2021).

Tabell B.1 - Oversikt over energigraddagstall i 2019 og 2020 for representative lokasjoner.

| Lokasjon | Stasjon | Energigradtall 2019 (17 °c (år)) | Energigradtall 2020 (17 °c (år)) | Prosentvis reduksjon fra 2019 til 2020: |
|--------------------|-----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
| Oslo | SN 187000 | 3626.3 | 3167.4 | 12.7 % |
| Bergen | SN50540 | 3037 | 2855 | 6.0 % |
| Trondheim | SN68230 | 4320.8 | 3846.3 | 11.0 % |
| Lillehammer | SN12680 | 4507.1 | 3980.8 | 11.7 % |
| Mo i Rana | SN79600 | 5042.3 | 4524 | 10.3 % |
| Tromsø | SN90450 | 5135.5 | 4734 | 7.8 % |

Resterende energibruk, altså 3.5 % er utetemperaturavhengig. Avviket mellom årsmiddeltemperaturen og en klimanormal for 1991 til 2020 er derfor bruk. Tabell B.2 viser at 2019 ligger betydelig nærmere et normalår enn 2020. På denne måten vil resterende korreksjon på 3.5 % resultere i at energilastprofilene til referansemodellen ligger nærmere et normalår.

Tabell B.2 – Årsmiddeltemperatur og avvik fra klimanormalen for 2019 og 2020.

| Lokasjon | Middeltemperatur 2019 | Avvik fra normalen | Middeltemperatur 2020 | Avvik fra normalen |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Oslo | 7.3 | + 0.3 | 8.7 | + 1.7 |
| Bergen | 8.8 | + 0.4 | 9.4 | + 1 |
| Trondheim | 5.3 | - 0.1 | 6.7 | + 1.3 |
| Lillehammer | 4.8 | + 0.4 | 6.3 | + 1.9 |
| Mo i Rana | 3.3 | + 0.1 | 4.7 | + 1.5 |
| Tromsø | 2.9 | - 0.5 | 4.1 | + 0.7 |

Vedlegg C – Etablering av det opprinnelige referansebygget

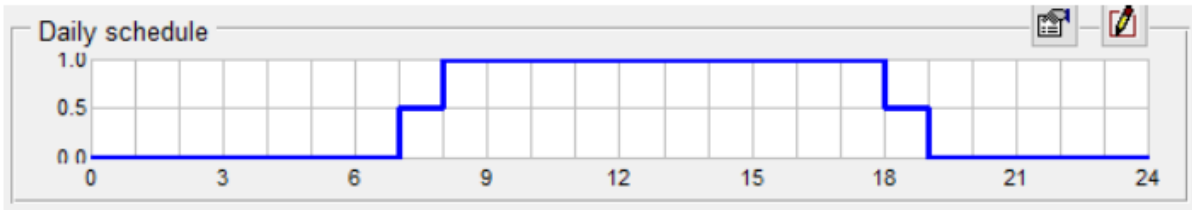
Det opprinnelige referansebygget ble etablert og kalibrert av Nesgård og Ngo i deres master fra 2018 (Nesgård & Ngo, 2018). Bygget er brukt som utgangspunkt for nye simuleringer der det i hovedsak kun er gjort endringer i U-verdier og andre parameter grunnet nye alderskohorter. I tillegg er det etablert en ny klimafil. Videre presenteres informasjon samlet av Nesgård og Ngo som dannet grunnlag for deres simuleringer av NTNU Gløshaugen. Verdiene har vært viktige da timesprofiler til Statsbygg sine eiendommer ikke har vært tilgjengelig. Det totale gulvarealet samt antall etasjer og etasjehøyde ble valgt på bakgrunn av gjennomsnittsverdier for campus Gløshaugen, NTNU. Gjennomsnittlig areal samsvarer godt med verdiene for Statsbygg sin eiendomsportefølje, slik at størrelsen og geometrien er antatt lik. Generell informasjon og bygningsstørrelse for referansemodellen er gitt i tabell C.1.

Tabell C.1 - Informasjon angående bygningsstørrelse for referansemodellen.

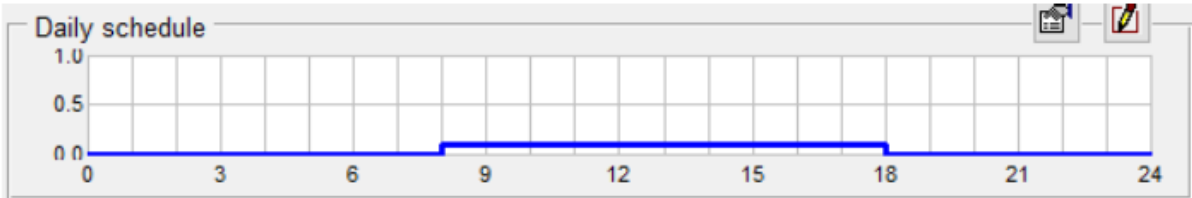
| Bygningsgeometri | Parameter | Referansemodell |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| Generelt | Totalt areal | 7 220,00 m ² |
| | Oppvarmet BRA | 7 159,20 m ² |
| | Etasjeareal | 1 805,00 m ² |
| | Antall etasjer | 4 |
| Totalt soneareal | Kontor | 1 967,60 m ² |
| | Lesesal | 545,20 m ² |
| | Forelesningssal | 282,00 m ² |
| | Spesialrom | 2 321,20 m ² |
| | Trafikkareal | 2 043,20 m ² |

C.1 Drift og bruksmønstre

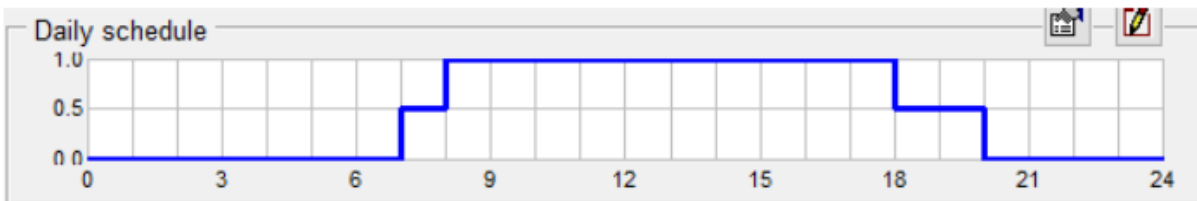
Ved gjennomføring av oppgaven er det bestemt å beholde bruksmønsteret fra den opprinnelige referansemodellen. Disse ble i 2018 bestemt ut fra samtaler med NTNU Drift. Bruksmønsterprofiler brukes i modellen for å simulere andelen av brukerraten som er til stede i de ulike sonene i løpet av et døgn. Dette er tilgjengelig både for helger og ukedager, for de ulike sonene. Aktivitetsnivået for sonene Kontor, Lesesal, Forelesning og Spesialrom er angitt til å være 1 met, tilsvarende 58 W/pers. For Trafikk er aktivitetsnivået satt til 1.9 met, tilsvarende 110.2 W/pers. Bruksmønsteret for referansemodellens fem soner er vist i figur C.1 – C.8. Det er blitt lagt til påskeferie, fellesferie og juleferie i modellen.



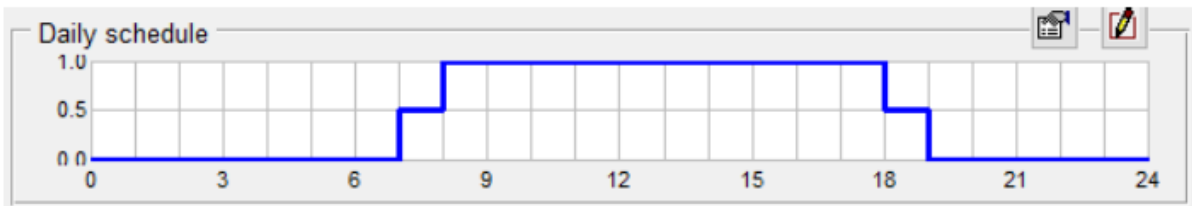
Figur C.1 - Bruksmønster for sonen Kontor i ukedagene.



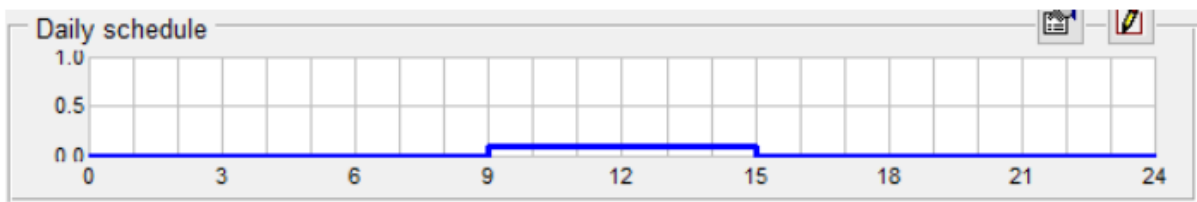
Figur C.2 - Bruksmønster for sonen Kontor i helg og ferier.



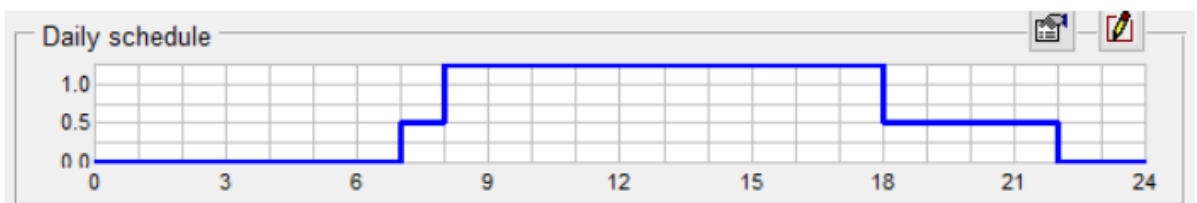
Figur C.3 - Bruksmønster for sonen Spesialrom i ukedager. Sonen antas å ikke være i bruk i henger og ferier.



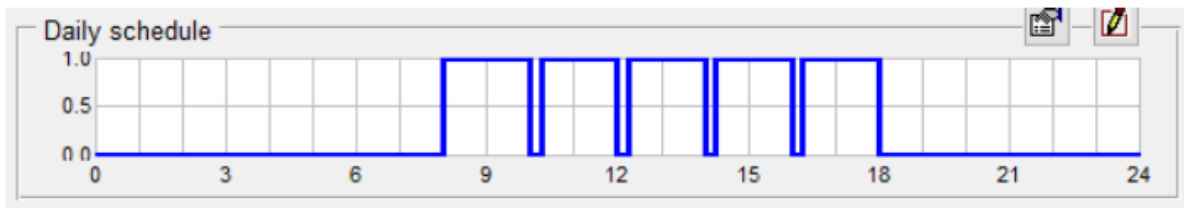
Figur C.4 - Bruksmønster for sonen Lesesal i ukedager.



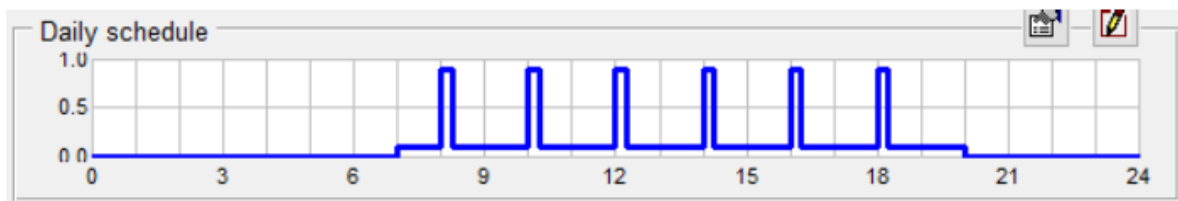
Figur C.5 - Bruksmønster for sonen Lesesal i helger.



Figur C.6 - Bruksmønster for sonen Lesesal under eksamensperioder.



Figur C.7 - Bruksmønster for sonen Trafikk i ukedager. Sonen Trafikk er ikke i bruk i helger og ukedager.



Figur C.8 - Bruksmønster for sonen Forelesning i ukedager. Sonen antas å ikke være i bruk utenom ukedager.

Bruksmønster for forelesninger og trafikkområder vil variere mellom universiteter avhengig av antall forelesninger og tidspunkter. Likevel antas dette å være representativt for universitetene i Statsbygg sin portefølje. For forskningsinstitusjonene må det antas noe avvik. I oppgaven er brukerprofilene også brukt for å simulere kontorbygg. Dette vil by på noe avvik spesielt i forhold til sonen Trafikk. Trafikk ved et standard kontor vil ikke korrelere med møter på samme måte som trafikkområde korrelerer med forelesninger. Dette bør forbedres ved videre bruk av modellen. Mer varierte brukerprofiler vil være viktig ved komplekse eiendomsporteføljer.

Det er ikke foretatt endringer på det opprinnelige ventilasjonsanlegget for referansebygget. Verdier fra energiattester og NTNU Drift er brukt for å etablere et ventilasjonssystem for referansemodellen i IDA ICE. Ventilasjonen i referansemodellen består totalt av fem luftbehandlingssenheter der tre har CAV (constant air volume) og to har VAV (variabel air volume). CAV blir brukt for sonene Kontor, Trafikk og Spesialrom, mens sonene Lesesal og Forelesning blir betjent av VAV. Luftbehandlingssenheter har forskjellige varmegjenvinnere, rekuperativ eller regenerativ, dette er fordi de fleste ventilasjonssystemene tilhørende et laboratorium på NTNU har rekuperative varmegjenvinner for å unngå blanding av inneluft og utluft. For de andre ventilasjonssystemene er det simulert en regenerativ varmegjenvinner, da dette er den vanligste gjenvinneren for referansebyggene, gjerne i form av en roterende gjenvinner. Det er også ventilasjonssystemer i referansebyggene som ikke har varmegjenvinner, dette gir lav gjennomsnittlig vektet varmegjenvinner-effektivitet.

B.2 Brukerrate i referansemodellen

NS 3031 - Beregning av bygningers energiytelse (Standard Norge, 2020) gir standardverdier for årsgjennomsnittlig varmetilskudd fra personer i W/m^2 . Med et aktivitetsnivå på 1 met, avgir ett menneske 58 W. Tabell C.2 viser brukerraten for de ulike sonene brukt for beregning i IDA ICE. For forelesninger er det tatt utgangspunkt i antall plasser og areal til en av forelesningssalene i Sentralbygget på NTNU. Det antas at dette er et generisk auditorium som fungerer godt som referanse med tanke på størrelse.

Tabell C.2 - Brukerraten for ulike soner for referansemodellen i IDA ICE.

| Sone | W/m ² | m ² | W | Personer | Pers/m ² | m ² /Pers |
|-----------------|------------------|----------------|--------|----------|---------------------|----------------------|
| Lesesal | 12 | 136,3 | 1635,6 | 28,20 | 0,2069 | 4,83 |
| Kontor | 4 | 492,0 | 1967,6 | 33,92 | 0,0690 | 14,50 |
| Lab | 6 | 580,3 | 3481,8 | 60,03 | 0,1034 | 9,67 |
| Forelesningssal | | 70,5 | | 61,98 | 0,8791 | 1,14 |
| Trafikk | | 510,8 | | 90,18 | 0,1765 | 5,66 |

C.3 NS 3031:2014 – Tabell A.1

Figur C.9 viser netto effekt- og energibehov gitt ut fra standardverdier for gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden og årlig energibehov for belysning, utstyr og varmtvann. Verdiene er brukt i den opprinnelige masteroppgaven for å bygge opp referansemodellen i IDA ICE.

| Bygningskategori | Belysning ^a | | Utstyr ^b | | Varmtvann ^{b, c} | |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | W/m ² | kWh/(m ² ·år) | W/m ² | kWh/(m ² ·år) | W/m ² | kWh/(m ² ·år) |
| Småhus ^d | 1,95 | 11,4 | 3,00 | 17,5 | 5,1 | 29,8 |
| Boligblokk | 1,95 | 11,4 | 3,00 | 17,5 | 5,1 | 29,8 |
| Barnehage | 8 | 21 | 2 | 5 | 3,8 | 10 |
| Kontorbygning | 8 | 25 | 11 | 34 | 1,6 | 5 |
| Skolebygning | 10 | 22 | 6 | 13 | 4,5 | 10 |
| Universitets- og høyskolebygning | 8 | 25 | 11 | 34 | 1,6 | 5 |
| Sykehus | 8 | 47 | 8 | 47 | 5,1 | 30 |
| Sykehjem | 8 | 47 | 4 | 23 | 5,1 | 30 |
| Hotellbygning | 8 | 47 | 1 | 6 | 5,1 | 30 |
| Idrettsbygning | 8 | 21 | 1 | 3 | 10,9 | 50 |
| Forretningsbygning | 15 | 56 | 1 | 4 | 2,7 | 10 |
| Kulturbygning | 8 | 23 | 1 | 3 | 3,5 | 10 |
| Lett industribygning, verksted | 8 | 19 | 10 | 23 | 4,3 | 10 |

^a Verdiene for belysning skal som hovedregel benyttes ved kontrollberegning mot offentlige krav. Dersom det benyttes styringssystem for utnyttelse av dagslys eller styringssystem basert på tilstedeværelse, kan energibehovet til belysning reduseres med 20 %. Eventuelt kan andre verdier for belysning dokumenteres gjennom beregninger etter NS-EN 15193 eller tilsvarende. Varmetilkuddet fra belysning i tabell A.2 skal da reduseres tilsvarende.

^b Verdiene for utstyr og varmtvann brukes for kontrollberegning mot offentlige krav.

^c Dersom det benyttes avtrekksvarmepumpe, kan netto energibehov til varmt tappevann reduseres etter reglene i tillegg N.

^d Småhus omfatter enebolig, to- til firemannsbolig og rekkehus.

MERKNAD 1 Verdiene i tabellen er utarbeidet for kontrollberegning mot offentlige krav og representerer ikke nødvendigvis reelle forhold.

MERKNAD 2 Årlig energibehov for belysning og utstyr er gitt som gjennomsnittlig effektbehov i driftstiden multiplisert med driftstiden, gitt i tabell A.3.

Figur C.9 – NS 3031:2014 Tabell A.1

Vedlegg D – Oversikt over tiltak og relevante bærekraftsmål

Informasjonen i vedlegg D er innhentet som en del av litteraturstudiet. Informasjonen er svært nyttig for eiendomsforvaltere som vil etablere egne strategier for bærekraftig oppgradering og eiendomsforvaltning. Tabell D.1 gir oversikt over relevante bærekraftsmål for eiendomsforvaltere. Fargen ved hvert mål indikerer hvilket bærekraftsaspekt målet omhandler. Fargen rødt tilsier sosial bærekraft, gul tilsier økonomisk bærekraft, mens grønne mål omhandler miljø. Standard er inkludert for å vise hvordan Norges regelverk for standarder jobber med å implementere bærekraftsmålene. Det er kun 7 av 17 mål som er inkludert i norsk standard. Det er altså et forbedringspotensial for etablering av retningslinjer for norsk industri.

Tabell D.1 – Oppsummering av bærekraftstiltak for eiendomsforvaltere (Norsk eiendom, 2019).

| Bærekraftsmål | Standard | Øvrige tiltak |
|---------------------------------------|---|--|
| 1. Fattigdom | NS-ISO 20400 Bærekraftige innkjøp | <ul style="list-style-type: none">▪ Rimeligere boenheter med kvalitet (Oslo kommunes kompaktboligstandard)▪ Kommersiell «leie til eie» |
| 3. Helse | | <ul style="list-style-type: none">▪ Fjerne mulige utslippskilder på byggeplasser▪ Fossilfri transport under bygging og av bruker |
| 4. Utdanning | | <ul style="list-style-type: none">▪ Lærlingkrav▪ Predikantordning i egen virksomhet▪ Samarbeide med forskningsmiljøer |
| 5. Likestilling | | <ul style="list-style-type: none">▪ Øke kvinneandelen i styrer og på alle beslutningsområder▪ LDOs «Håndbok for arbeidslivet. Likestilling og mangfold. |
| 6. Vann og sanitær | | <ul style="list-style-type: none">▪ Fjerne mulige utslippskilder på byggeplasser |
| 7. Ren energi | NS_EN ISO 52000-serien, NS 6430 og SN/TS 2021 | <ul style="list-style-type: none">▪ Installere fornybar energiproduksjon i bygg▪ Krav om energiledelse i leieavtalene |
| 8. Arbeid og økonomi | NS_ISO 20400 Bærekraftige innkjøp | <ul style="list-style-type: none">▪ Seriøsitetskrav i kontrakter▪ Bruke seriøsitetsregister▪ Styrke oversikten over underleverandører |
| 9. Innovasjon og infrastruktur | CEN/TS 16555 | |
| 11. Byer og samfunn | NS-EN ISO 37101 | <ul style="list-style-type: none">▪ «Håndbok for bærekraftig stedsutvikling»▪ BREEAM Communities |

| | | |
|----------------------------------|-----------------------------|---|
| 12. Forbruk og produksjon | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Etterspørre avfallsfrie byggeplasser ▪ Veileder: «Tenk deg om for du river.» |
| 13. Klima | NS 3720, NS 3700 og NS 3701 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tilrettelegge for miljøvennlig transport |
| 14. Livet under vann | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fjerne mulige utslippskilder på byggeplasser |
| 15. Liv på land | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fjerne mulige utslippskilder på byggeplasser ▪ Vektlegge biologisk mangfold og økosystemer ved planlegging av byggeprosjekter ▪ Krav mot fremmede arter |
| 16. Fred og rettferdighet | NS-ISO 37001 | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Medvirkningsprosessveileder |
| 17. Samarbeid | | <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inngå miljøpartnerskap mellom offentlige og private aktører |

