



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



ENERGIANALYSE FOR BYGNINGSMASSEN I OSLO

Scenarioanalyse av energibruk og klimagassutslipp 2009–2040.

ZEN RAPPORT NR. 14 – 2019



Nina Holck Sandberg, Jan Sandstad Næss, Arild Gustavsen, Inger Andresen og Helge Brattebø | NTNU



Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES

ZEN Rapport nr. 14

Nina Holck Sandberg^a, Jan Sandstad Næss^a, Arild Gustavsen^b, Inger Andresen^b og Helge Brattebø^a

^a Program for industriell økologi/Institutt for energi- og prosesseteknikk, NTNU | <http://www.ntnu.edu/indecol>

^b Institutt for arkitektur og teknologi | www.ntnu.no/iat

Energianalyse for bygningsmassen i Oslo. Scenarioanalyse av energibruk og klimagassutslipp 2009–2040.

Nøkkelord: Energibruk, klimagassutslipp, bygningsmasse, Scenarioanalyse, Oslo kommune

ISBN 978-82-536-1619-3

Forsidefoto: VISITOSLO/NLE Film

Norwegian University of Science and Technology (NTNU) | www.ntnu.no

SINTEF Building and Infrastructure | www.sintef.no

<https://fmezen.no>

Forord

Denne studien er gjennomført ved NTNU høsten 2018. Studien er finansiert av Klimaetaten i Oslo kommune og skal brukes som del av faggrunnlaget til Oslo kommunes oppdaterte klimastrategi.

Denne analysen av energibruk og klimagassutslipp i bygningsmassen i Oslo kommune bygger videre på og er direkte relatert til pågående forskning ved NTNU innen EnergiX-prosjektet ExPOSe og FME ZEN (Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities).

Sammendrag

Det sies ofte at det er et stort potensial for energisparing og reduksjon i klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen. Som innspill til sin oppdaterte klimastrategi ønsker Oslo kommune en forskningsbasert vurdering av potensialet for energisparing og reduksjon av klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen framover mot 2040.

Bygg som allerede finnes i dag, vil utgjøre en stor andel av bygningsmassen i mange tiår fremover. Det er mulig å redusere energibruken i eksisterende bygg gjennom rehabilitering og energioppgradering. Nybygg bygget i fremtiden vil være langt mer energieffektive enn gjennomsnittlig eksisterende bygningsmasse. Men om disse bygges etter dagens krav, som passivhus eller nullutslippsbygg, har betydning for det samlede framtidige energibehovet. Hvilket omfang kan vi vente oss av framtidig nybygging og rehabilitering, og hva er det samlede potensialet for energisparing og reduksjon i klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen i Oslo?

Ved bruk av en modell som simulerer bygningsmassens utvikling – gulvareal i ulike bygningstyper, andeler bygget etter eller rehabilitert til ulike tekniske standarder – prøver vi å forstå hvordan Oslos bygningsmasse vil utvikles mot 2040. Trender i bruk av ulike energibærere og omfang av lokal energiproduksjon brukes videre for å estimere det samlede behovet for levert energi til bygningsmassen. Ved bruk av utslippsintensiteter estimerer vi til slutt de totale klimagassutslippene fra energibruk i bygningsmassen i Oslo.

To alternative scenarier studeres for å vurdere hvilken utvikling som kan forventes; et referanse-scenario der vi antar en fortsettelse av trender og videre utvikling med gradvis forbedret energitilstand på nybygg og rehabiliterte bygg, og et scenario som ser på hvilke tilleggsbesparelser i energibruk og klimagassutslipp som vil følge av en mer ambisiøs innfasing av nullutslippsbygg, mer energieffektive rehabiliterte bygg og større omfang av lokal energiproduksjon.

Estimerte utslipp av klimagasser fra energibruk avhenger i stor grad av hvilke utslippsintensiteter man velger å bruke for elektrisitet. I denne analysen presenterer vi tre alternative beregningsmetoder der vi antar a) norsk forbruksmiks, b) europeisk forbruksmiks og c) en marginalbetraktning der reduksjoner i norsk forbruk på lang sikt fører til at fossil elektrisitetsproduksjon i Europa reduseres.

Det er et stort potensial for energisparing og reduksjoner i klimagassutslipp ved ambisiøs innfasing av lokal energiproduksjon, nullutslippsbygg og mer energieffektive rehabiliterte bygg i Oslo.

Resultatene viser at selv om det samlede gulvarealet i bygningsmassen i Oslo er ventet å øke med 35 % i perioden 2009-2040, så er levert energi til bygningsmassen i referansescenarioet stabilt i perioden 2020-2040 på grunn av energieffektivisering gjennom nybygging og rehabilitering. Valg av utslippsintensitet har stor betydning for utslippenes størrelse og utvikling sammenliknet med referanseåret 2009. Resultatene viser imidlertid at det uavhengig av beregningsmetode er et stort potensial for energieffektivisering og utslippsreduksjoner. I det ambisiøse scenarioet er både total levert energi og klimagassutslipp fra energibruk i 2040 omtrent 20 % lavere enn i referansescenarioet.

Innhold

Forord.....	3
Sammendrag.....	4
1. Innledning.....	6
2. Metode.....	7
2.1 Modellbeskrivelse.....	7
2.2 Case-beskrivelse.....	7
2.3 Scenariobeskrivelse.....	10
3. Resultater og diskusjon.....	13
3.1 Bygningsmassens utvikling.....	13
3.2 Energibruk i Oslos bygningsmasse.....	14
3.3 Klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen i Oslo.....	17
4. Konklusjon.....	20
Referanseliste.....	21
Vedlegg 1: Datagrunnlag for boligmassemodellen.....	23
Befolkning 1800-2040.....	23
Antall personer per bolig.....	23
Andel av småhus som er eneboliger.....	24
Gjennomsnittlig areal per segment.....	24
Vedlegg 2: Datagrunnlag yrkesbygg.....	26
Areal per person i ulike typer bygg.....	26
Alderssammensetning eksisterende bygningsmasse.....	26
Vedlegg 3: Energimiks.....	28
Energimiks per segment eller arketype.....	28
Vedlegg 4: Boligmassens utvikling.....	29
Vedlegg 5: Resultater klimagassutslipp.....	30

1. Innledning

I Oslo kommune er det 130 000 bygninger (Statistisk sentralbyrå, 2018d). Det er et stort potensial for energieffektivisering og reduksjoner i klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen. Det reelle potensialet for endringer i bygningsmassen er imidlertid direkte relatert til dynamikken i systemet, det vil si hvordan bygningsmassens størrelse, sammensetning og energitilstand endres over tid som følge av nybygging, rehabilitering, rivning og ulike strategier for energioppgradering.

Bygg som allerede finnes i dag, vil utgjøre en stor andel av bygningsmassen i mange tiår fremover. Det er mulig å redusere energibruken i eksisterende bygg gjennom rehabilitering og energioppgradering. Nybygg bygget i fremtiden vil være langt mer energieffektive enn gjennomsnittlig eksisterende bygningsmasse. Men om disse bygges etter dagens krav, som passivhus eller nullutslippbygg, har betydning for det samlede framtidige energibehovet. Hvilket omfang kan vi vente oss av framtidig nybygging og rehabilitering, og hva er det samlede potensialet for energisparing og reduksjon i klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen i Oslo?

Vi presenterer her en analyse av energibruken i bygningsmassen i Oslo i perioden fremover mot 2040. Fremtidig utvikling sammenliknes med 2009, som er referanseåret Oslo kommune bruker for klimagassutslipp. Studien tar i bruk scenariomodeller som tidligere er utviklet ved NTNU. En dynamisk boligmassemodell som er utviklet gjennom mange års forskning (Müller, 2006; Sartori *et al.*, 2008; Sandberg *et al.*, 2016, 2017; Sartori *et al.*, 2016) tar utgangspunkt i hvordan befolkningens etterspørsel etter boliger endres over tid på grunn av endring i befolkningens mengde og levestandard. I forbindelse med en evaluering av potensielle effekter av en overgang til bruk av nullutslippshus (Zero Emission Buildings, ZEB) som følge av en innarbeidelse av ZEB-definisjonen i den norske bygningsmassen (Sandberg *et al.*, 2019) ble modellen utvidet til å omfatte yrkesbygg i tillegg til boliger. Modellen estimerer utviklingen i antall kvadratmeter bygningsmasse av ulike segmenter som er definert av bygningstype og aldersklasse. Energiintensiteter (målt i kWh/m²/år) og energimiks (målt i andel av levert energi) er definert per segment. Modellen tillater endring i energitilstand ved rehabilitering. Modellen tar derfor utgangspunkt i dynamikken i bygningsmassesystemet og kobler denne med segmentspesifikk informasjon om energibruk og energimiks for å estimere utviklingen i total energibruk i systemet. En scenarioanalyse blir brukt for å studere potensialet for energieffektivisering av bygningsmassen ved omfattende innfasing av svært energieffektive bygg gjennom nybygging og avansert rehabilitering. Ulike ambisjonsnivåer benyttes for nybygg og rehabilitering. Tre ulike beregningsmetoder blir brukt for å studere utviklingen i klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen.

2. Metode

2.1 Modellbeskrivelse

En dynamisk bygningsmassemodell utgjør kjernen i modellen. Scenariomodellen tar utgangspunkt i befolkningens etterspørsel etter bygninger og hvordan denne utvikler seg over tid.

For boliger brukes en dynamisk boligmassemodell som er utviklet gjennom mange års forskning ved Program for industriell økologi ved NTNU. Boligmassemodellen er beskrevet i detalj i Sartori *et al.* (2016) og brukt i scenarioanalyser av energibruk i den norske boligmassen i Sandberg *et al.* (2016, 2017).

I boligmassemodellen kombineres befolkningsstørrelse med livsstilparametere som antall personer per bolig og andelen av befolkningen som bor i ulike boligtyper. En sannsynlighetsfordeling for boligenes levetid brukes for å estimere riveaktivitet og nybygging for å erstatte det som rives. Bygninger har også et naturlig behov for vedlikehold gjennom sin levetid. Den dynamiske boligmassemodellen simulerer rehabiliteringsaktiviteten ved hjelp av en sannsynlighetsfordeling og antakelser om gjennomsnittlig antall år mellom hver gang det er behov for rehabilitering.

I Sandberg *et al.* (2019) ble den dynamiske modellen utvidet til å omfatte alle typer bygg. For yrkesbygg tar modellen utgangspunkt i befolkningsprognoser og det gjennomsnittlige behovet for gulvareal per person i bygg av ulike typer. Sammen med informasjon om alderssammensetningen til dagens bygningsmasse og antakelser om rive- og rehabiliteringsaktivitet simuleres den framtidige utviklingen i bygningsmassen.

Bygningsmassen segmenteres etter bygningstype og alder både for boliger og yrkesbygg. Gjennomsnittlig energiintensitet per kvadratmeter i de ulike segmentene multipliseres med antall kvadratmeter i segmentene for å estimere samlet energibruk. Når modellen simulerer rehabilitering, er det mulig å legge inn energieffektivisering, slik at energibruken blir lavere etter rehabilitering.

Modellen kan også brukes til å estimere klimagassutslipp ved at man legger inn utslippsintensiteter for klimagassutslipp (målt i kg CO₂-eq/kWh) for ulike energibærere. Man kan enten ha én fast utslippsintensitet for hver energibærer, eller la disse variere over tid.

Modellen kan brukes til scenarioanalyser der man sammenlikner et referansescenario med ett eller flere scenarioer for alternativ utvikling med sikte på å studere de aggregerte effektene av ulike tiltak i systemet og dermed å identifisere hva som er gode strategier for å nå klimamål fremover.

2.2 Case-beskrivelse

I denne studien simulerer vi utviklingen i bygningsmassen i Oslo kommune i perioden 2009-2040. Bygningsmassen omfatter boligbygg og yrkesbygg.

2.2.1 Boligmassen

Boligmassens utvikling simuleres med boligmassemodellen som er omtalt ovenfor. Boligmassen er segmentert etter 3 typer og 8 byggeperioder (kohorter), der typene er eneboliger, andre småhus og

leiligheter. Kohortinndelingen er boliger bygget 1) før 1956, 2) 1956-1970, 3) 1971-1980, 4) 1981-1990, 5) 1991-2000, 6) 2001-2010, 7) 2011-2020 og 8) 2021-2040.

På grunn av bygningers lange levetid, er boligmassen et system som endres tregt. Boligmassemodellen starter i år 1800 for å kunne simulere boligmassens størrelse og sammensetning og ta hensyn til langtidsdynamikken i systemet på en best mulig måte.

Datagrunnlaget som er brukt i boligmassemodellen er beskrevet i detalj i Vedlegg 1: Datagrunnlag for boligmassemodellen.

2.2.2 Yrkesbygg

Yrkesbygg blir også segmentert etter bygningstype og byggeperiode. I modellen deles yrkesbygg inn i kontorbygg, forretningsbygg, industribygg, undervisningsbygg og andre bygg. Andre bygg omfatter sykehus, sykehjem, hotell, idrettsbygg og kulturbygg. Modellen estimerer antall kvadratmeter bygg av ulike typer, og tillater derfor at bygg i realiteten har flere funksjoner, som for eksempel kombinert forretningsbygg og kontorbygg. Byggeperiodene som er brukt for yrkesbygg tilsvarer periodene for ulike tekniske standarder: i) eldre enn TEK 49, ii) TEK49, iii) TEK69, iv) TEK 87, v) TEK97, vi) TEK97, vii) TEK 10 og viii) TEK 17. Nybygging etter 2020 er enten TEK17, passivhus, ZEB-O minus EQ eller ZEB-O (Fufa *et al.*, 2016), avhengig av antakelser i scenario.

Vi har ikke datagrunnlag til å kunne simulere den historiske utviklingen i etterspørsel etter yrkesbygg tilbake og frem i tid på tilsvarende måte som for boliger. Modellen tar derfor utgangspunkt i en detaljert beskrivelse av type- og alderssammensetningen til bygningsmassen i et gitt år og simulerer videre utvikling etter dette året.

Modellen for utviklingen i yrkesbygg i Oslo tar utgangspunkt i stående bygningsmasse i 2010.

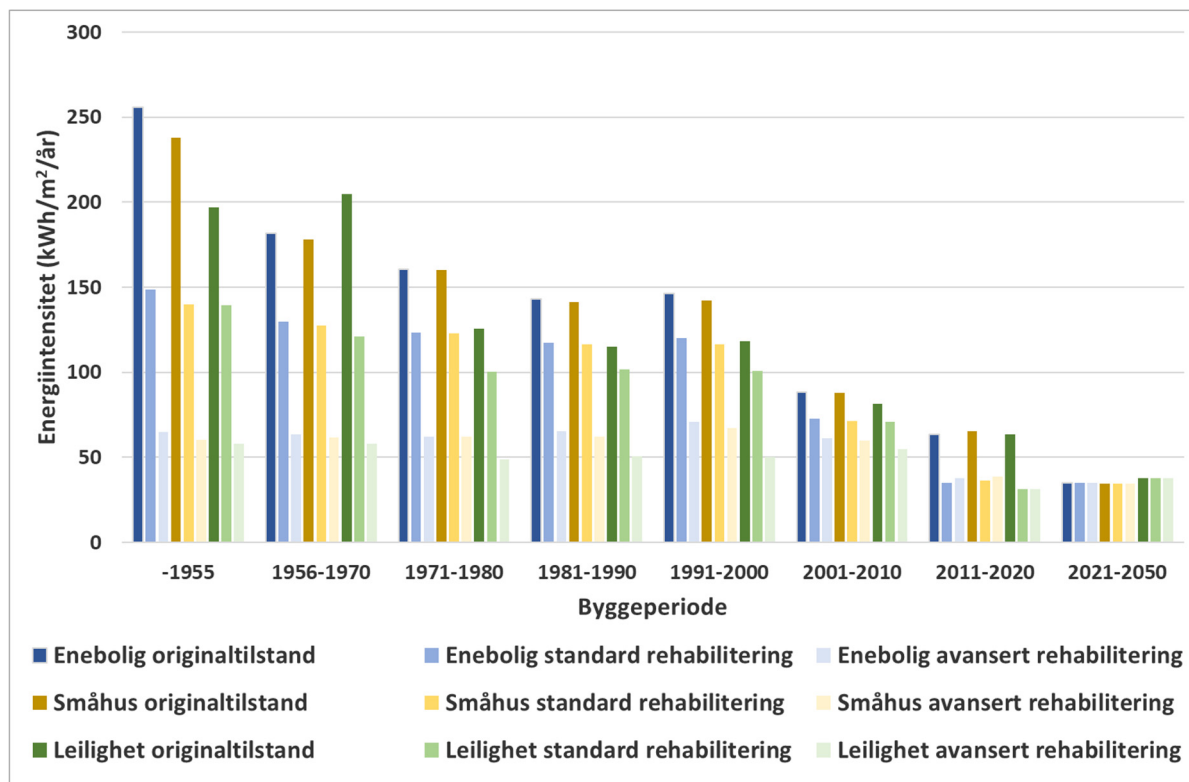
Utviklingen over tid er koblet til befolkningsendringer slik at antall kvadratmeter bygningsmasse av ulike typer per person i hele perioden 2009-2040 er antatt å være likt som i 2010.

Datagrunnlaget som er bruk i modellering av yrkesbygg er beskrevet i detalj i Vedlegg 2: Datagrunnlag yrkesbygg.

2.2.3 Energiintensiteter

Simuleringen av energibruk i bygningsmassen begynner i 2009, som er referanseåret Oslo kommune bruker for klimagassutslipp.

Segmenterte resultater fra bygningsmassemodellen brukes for å estimere totalt energibruk. I boligmassemodellen er hvert segment delt videre inn i tre arketyper, der boligenes energitilstand kan være i) tilsvarende originaltilstanden for boligen, ii) oppgradert i henhold til en standard rehabiliteringspakke, eller iii) oppgradert i henhold til en avansert rehabiliteringspakke. Energiintensiteten for hver arketype er hentet fra TABULA typologibrosjyre (Brattebø *et al.*, 2016) og er vist i Figur 1, der SFH (single family house) er eneboliger, TH (terraced house) er andre småhus og MFH (multi-family house) er leilighetsblokker og boligbygg med tre eller flere etasjer.



Figur 1 Energiintensiteter for netto energibehov for oppvarming og varmtvann per arketype av boliger.

For yrkesbygg antar vi at fremtidig rehabilitering fører til en endring i byggets energitilstand slik at det tilsvarer at bygget hadde vært bygget etter en nyere og bedre teknisk forskrift (TEK).

Tabell 1 gir en oversikt over hvilke antakelser som er gjort for henholdsvis standard og avansert rehabilitering i ulike perioder. For yrkesbygg tilsvarer derfor arketyperne ulike segmenter som er definert av bygningstype og TEK. Scenarioantakelsene bestemmer om vi antar standard eller avansert rehabilitering.

Tabell 1 Antatt energitilstand etter hhv standard og avansert rehabilitering i ulike tidsperioder.

Rehabiliteringsperiode	Standard rehabilitering	Avansert rehabilitering
2020-2024	TEK 97	TEK 07
2025-2034	TEK 07	TEK 10
2035-2040	TEK 10	TEK 17

I energimodellen for denne studien blir energiintensiteter (kWh/m²/år) for hver arketype multiplisert med det simulerte antall kvadratmeter av hver arketype for hvert år. Segment- eller arketypespesifikk energimiks som er beskrevet i Vedlegg 3: Energimiks blir brukt for å estimere bruken av ulike energibærere.

2.2.4 Utslippsintensitet per energibærer og år

2.2.4.1 Elektrisitet

NS 3720: Metode for klimagassberegninger for bygninger (Standard Norge, 2018) sier at det skal benyttes to ulike scenarioer for beregning av klimagassutslipp for elektrisitet:

- a) **Norsk forbruksmiks**
- b) **Europeisk (EU28+NO) forbruksmiks**

Gjennomsnittlig utslippsfaktor for perioden 2015-2075 er angitt til 18 g CO₂-eq/kWh for norsk forbruksmiks og 136 g CO₂-eq/kWh for europeisk forbruksmiks.

Klimagassutslipp fra bygningsmassen i Oslo vil selvsagt være mye påvirket av hvilken utslippsfaktor som antas for elektrisitet. Om man skulle bestemme et klimagassregnskap for bygningsmassen i Oslo ville det være mest korrekt å benytte den faktiske forbruksmiksen slik den er i sone NO1 på Østlandet, og hvordan denne vil utvikle seg fremover. Dette ville være nært opp til den norske forbruksmiksen. I denne studien er imidlertid formålet å estimere potensielle aggregerte besparelser i energibruk og klimagassutslipp ved omfattende energieffektivisering av nybygg og rehabiliterte bygg, sammenliknet med et referansescenario med moderat energieffektivisering. Vi ser altså på effekten av en endring, som vil påvirke direkte og indirekte klimagassutslipp på marginen av hvilke teknologier som trengs for å generere elektrisitet, gitt en endring i behovet for kraft. I en situasjon der det blir en betydelig endring i elektrisitetsbehovet fra et så stort system som bygningsmassen i Oslo, vil det trolig være riktigere å anta at marginen er representert ved Europeisk forbruksmiks, eller ved elektrisitet fra fossile kilder som man ønsker å fase ut fremover, eksempelvis naturgass. Vi får derfor også et tredje alternativ for utslippsfaktor:

- c) **Marginal elektrisitet er naturgass**

Utslippsfaktoren som er brukt for elektrisitet fra naturgass er 530 g CO₂-eq/kWh (Gibon *et al.* 2017). Vi presenterer resultater gitt alle disse tre beregningsmetodene.

2.2.4.2 Fjernvarme

NS 3720 sier videre at klimagassutslipp fra avfallsforbrenning, som leverer varme inn i et fjernvarmesystem, skal allokere til avfallssystemet og ikke til fjernvarmesystemet. Det innebærer at klimagassutslippene fra avfallsvarmeandelen i Oslos fjernvarmesystem settet lik null.

Andelen av ulike energikilder brukt i Fortum Oslo Varmes fjernvarmeproduksjon (Hafslund, 2009; Norsk Fjernvarme, 2018) brukes for å estimere klimagassutslipp fra fjernvarmeproduksjon i ulike år. Vi antar at andelen av ulike energikilder i 2017 er konstante også for hele perioden framover mot 2040. Vi bruker utslippsfaktor lik 0 g CO₂-eq/kWh for avfallsforbrenning og de tre alternativene a, b og c for elektrisitet. Utslippsfaktor for andre energibærere i fjernvarmeproduksjon er følgende: 20 g CO₂-eq/kWh for pellets, 210 g CO₂-eq/kWh for LNG, 50 g CO₂-eq/kWh for bioolje/dieselolje og 285 g CO₂-eq/kWh for fossil fyringsolje (Fufa *et al.*, 2016).

2.3 Scenariobeskrivelse

Vi studerer to ulike scenarioer for å kunne vurdere den aggregerte effekten av ulike ambisjonsnivå for energieffektivisering av bygningsmassen i Oslo frem mot 2040. Referansescenariotet antar en utvikling som kan tenkes å finne sted dersom det ikke gjennomføres spesielle energieffektiviseringstiltak utover det som naturlig følger av en gradvis forbedring av energiintensiteten til nybygg og rehabiliterte bygg. I det ambisiøse scenariotet antar vi en raskere og mer omfattende innfasing av svært energieffektive bygninger, samt bruk av ZEB-tiltak for nybygg og delvis også i utstyr for rehabilitering av bygg.

Detaljerte antakelser for de ulike scenarioene er oppsummert i Tabell 2. ZEB – O-EQ og ZEB-O er to alternativer i henhold til ZEB-definisjonen (Fufa *et al.*, 2016) som vist i Tabell 3. Her innebærer ZEB-O en ambisjon om bruk av løsninger som gir nullutslipp medregnet utslippene fra energibruk i drift (modul B6), dvs. energibruk til romoppvarming, ventilasjon, varmtvann og elektrisk utstyr i driftsfasen over 60 års tidshorisont fremover. ZEB – O-EQ er en ambisjon om bruk av løsninger som gir nullutslipp medregnet utslippene som i ZEB-O, men nå fratrukket energibruk til elektriske installasjoner i byggene.

Tabell 2 Scenariodefinsjon.

	Periode	Referansescenario	Ambisiøst scenario: Omfattende energieffektivisering
Nybygg	2020-2024	TEK 17	TEK 17
	2025-2034	Passivhus	ZEB – O-EQ
	2035-2040	Passivhus	ZEB-O
Rehabilitering	2020-2024	Standard rehabilitering	Standard rehabilitering
	2025-2034	Standard rehabilitering	Avansert rehabilitering av bygningskropp. Lokal fornybar og energieffektivisering av utstyr som i ZEB – O-EQ
	2035-2040	Avansert rehabilitering	Avansert rehabilitering av bygningskropp. Lokal fornybar og energieffektivisering av utstyr som i ZEB-O

Tabell 3 Tabell 2.1 fra ZEB-definisjonen (Fufa *et al.*, 2016).

	System Boundary NS-EN 15978:2011														D Benefits and loads		
	A1-3 Product Stage			A4-5 Construction Process Stage		B1-7 Use Stage							C1-4 End of Life				
	A1: Raw Material Supply	A2: Transport to Manufacturer	A3: Manufacturing	A4: Transport to building site	A5: Installation into building	B1: Use	B2: Maintenance (incl. transport)	B3: Repair (incl. transport)	B4: Replacement (incl. transport)	B5: Refurbishment (incl. transport)	B6: Operational energy use	B7: Operational water use	C1: Deconstruction / demolition	C2: Transport to end of life		C3: Waste Processing	C4: Disposal
ZEB - O/EQ											*						
ZEB - O																	
ZEB - OM									**								
ZEB - COM								***									
ZEB - COME																	
ZEB - COMPLETE																	

* Does not include operational energy of electrical equipment

** Does not include transport to building site (A4), installation into building (A5) or end of life treatment of the replaced materials

*** Does not include end of life treatment of the replaced materials

NB: Biogenic carbon should only be included at a ZEB-COME or ZEB-COMPLETE level

2.3.1 Nybygg

Referansescenarioet antar at nybygg fram til 2024 bygges etter TEK 17, og etter passivhusstandard for perioden 2025-2040. I det ambisiøse scenarioet antas innfasing av ZEB-teknologi og at nybygg i perioden 2025-2034 bygges som ZEB-O-EQ og i perioden 2035-2040 som ZEB-O, jfr. Tabell 3 og ZEB-definisjonen (Fufa *et al.*, 2016).

2.3.2 Rehabilitering

Omfanget av rehabilitering antas likt i alle scenarioer. For boligbygg antar vi en normalfordelt rehabiliteringssyklus på 40 år. For yrkesbygg antar vi en rehabiliteringsrate på 1,5 %. Energisparing som oppnås ved rehabilitering varierer imidlertid i de ulike scenarioene.

For boliger brukes rehabiliteringsnivåer som beskrevet i TABULA typologibrosjyre (Brattebø *et al.*, 2016) for hvert segment. I referansescenarioet antas at fremtidig rehabilitering i perioden 2020-2034 følger det som nå tilsvarer en standard rehabilitering. For perioden 2035-2040 antas en mer avansert rehabilitering. I det ambisiøse scenarioet antas standard rehabilitering for perioden 2020-2024 og avansert rehabilitering fra 2024 til 2040.

For yrkesbygg antas standard rehabilitering i referansescenarioet og avansert rehabilitering i det ambisiøse scenarioet. Standard og avansert rehabilitering er beskrevet i Tabell 1.

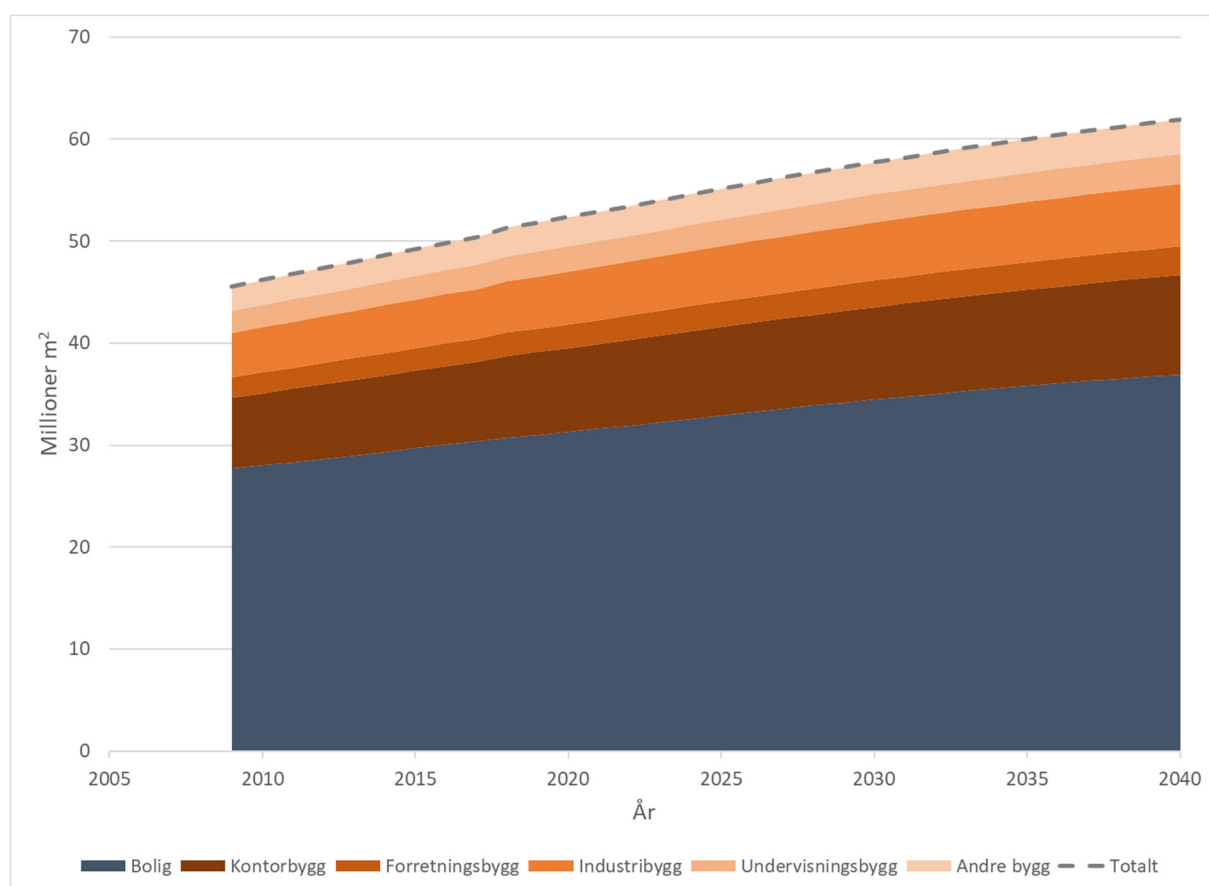
I tillegg antas bruk av lokal fornybar energi og energieffektivisering av utstyr som i nybygg i de ulike periodene.

3. Resultater og diskusjon

3.1 Bygningsmassens utvikling

Figur 2 viser modellresultatene for utviklingen i bygningsmassen i Oslo kommune i perioden 2009-2040. Bygningsmassens utvikling er koblet til befolkningsutvikling og –prognoser. Samlet areal i bygningsmassen øker fra 46 millioner m² i 2009 til 62 millioner m² i 2040 på grunn av kraftig befolkningsvekst i perioden, dvs. en økning med 35%.

Gjennom hele perioden utgjør boliger omtrent 60 % av det samlede arealet i bygningsmassen i Oslo. Kontorbygg utgjør omtrent 15 % og industribygg 10 %. Forretningsbygg, undervisningsbygg og andre bygg utgjør omtrent 5 % hver.

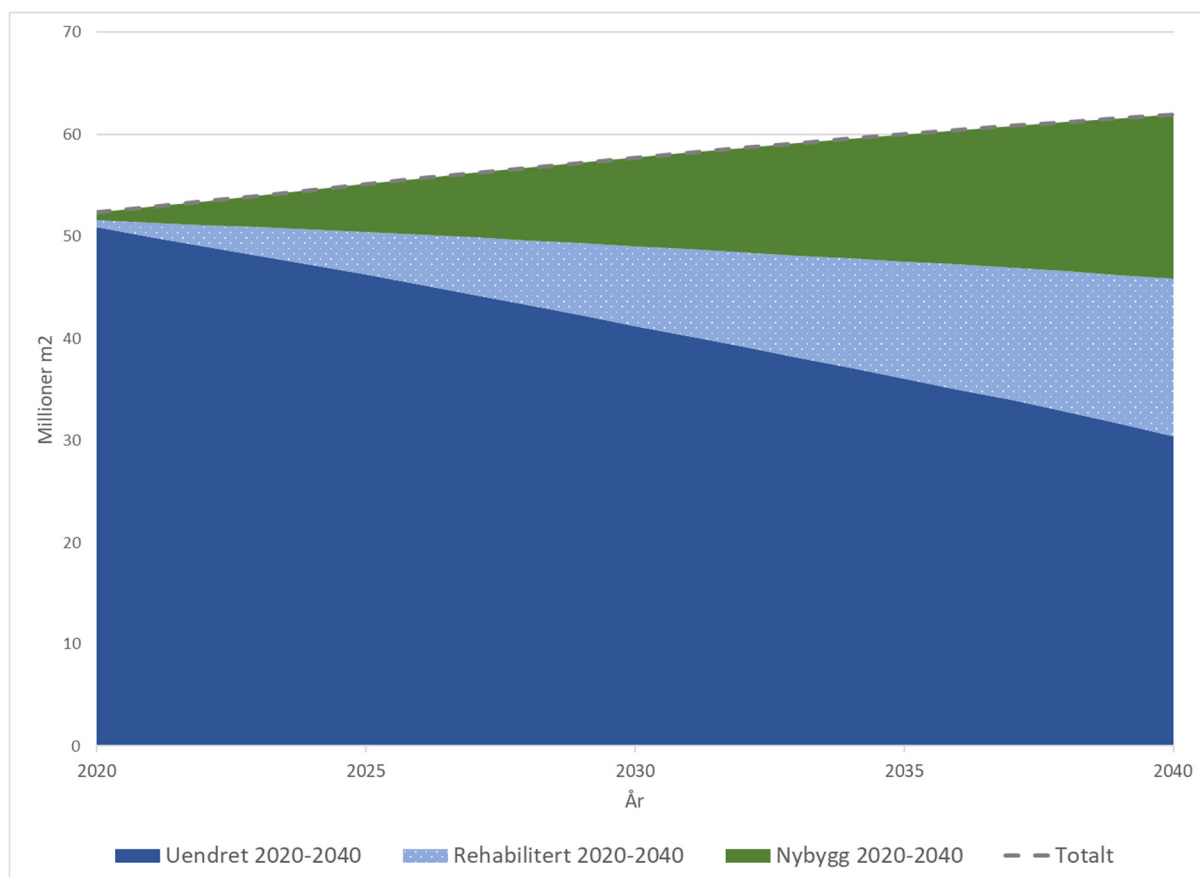


Figur 2 Bygningsmassens utvikling i Oslo i perioden 2009-2040. Størrelse og sammensetning av ulike bygningstyper.

Figur 3 viser bygningsmassens utvikling fra 2020 til 2040. Bygningsmassens samlede størrelse er lik det som er vist i Figur 2, men Figur 3 viser hvordan dette fordeler seg på areal som blir nybygget etter 2020, areal som blir rehabilitert etter 2020 og areal som er uendret i perioden. Arealet som er uendret er bygget før 2020, men antas å ikke bli rehabilitert innen 2040. Det har derfor samme energitilstand som i 2020. Størrelsen på dette arealet avtar fremover. Modellen simulerer det naturlige behovet for rehabilitering som følge av behov for vedlikehold. Det er ikke realistisk at en bygning skal gjennomgå omfattende energieffektiviserings tiltak dersom den ikke uansett skal gjennomgå en rehabilitering på grunn av behov for vedlikehold. Energieffektiviseringspotensialet i bygningsmassen er derfor begrenset til arealene som er vist i kategoriene Nybygg 2020-2040 og Rehabiliteret 2020-2040. Av bygningsmassen

i 2040 vil halvparten av arealet være uendret fra 2020, 25 % vil være rehabilitert etter 2020 og 25 % vil være bygget etter 2020. Faktisk energibesparelse i systemet avhenger av hvilken energitilstand som oppnås ved rehabilitering og nybygging.

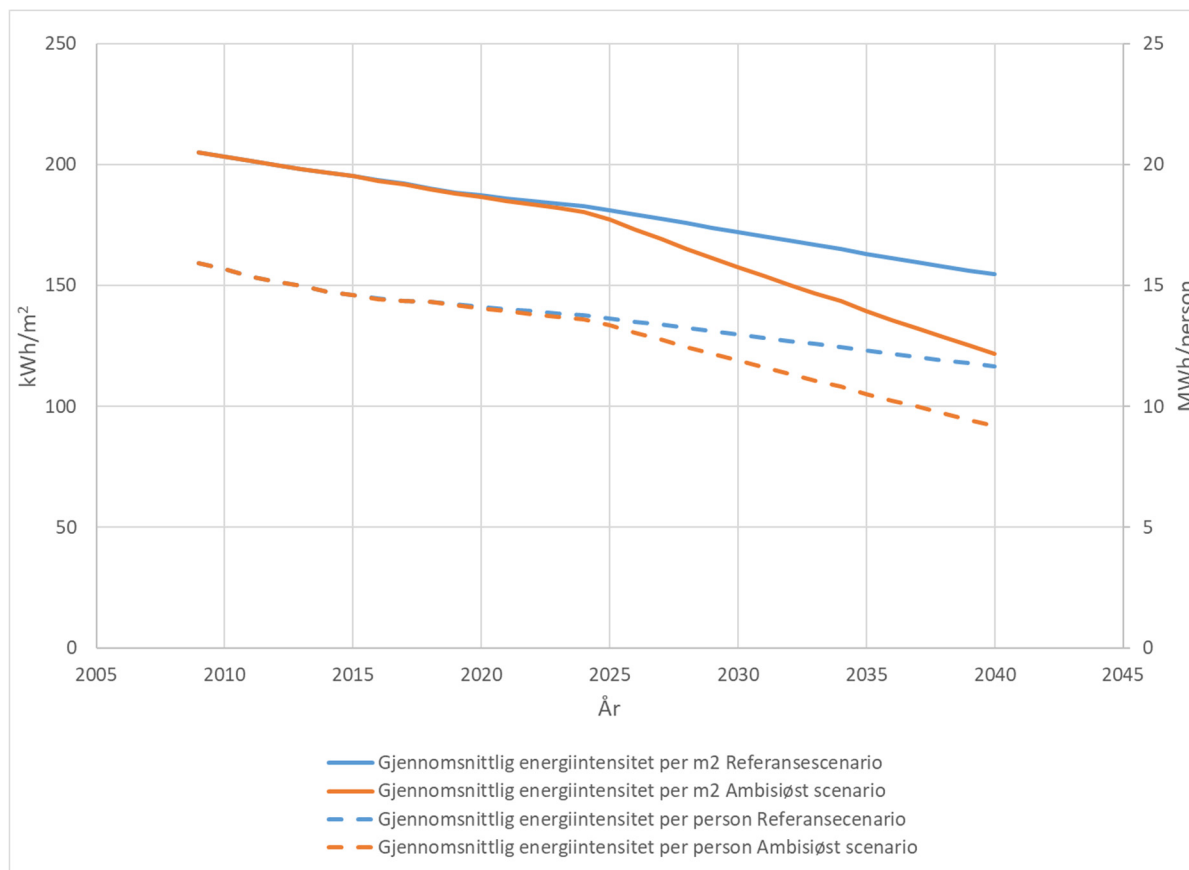
Detaljerte resultater for boligmassens utvikling er vist i Vedlegg 4: Boligmassens utvikling.



Figur 3 Bygningsmassen i Oslo 2009-2040. Nybygg, rehabiliterte bygg og uendrede bygg.

3.2 Energibruk i Oslos bygningsmasse

Figur 4 viser utviklingen i gjennomsnittlig energiintensitet per kvadratmeter og per person fra 2009 til 2040 i de to scenarioene. Utfasing av gamle bygg med høy energiintensitet, gjennom rivning og rehabilitering, og bygging av energieffektive nybygg fører samlet til en betydelig energieffektivisering i systemet i begge scenarioene. Gjennomsnittlig energiintensitet per kvadratmeter i hele bygningsmassen var 205 kWh/m² i 2009 og reduseres til henholdsvis 155 og 122 kWh/m² i de to scenarioene i 2040. Energieffektiviseringen i bygningsmassen vises også tydelig nå vi ser på energiintensitet per person. I 2009 var gjennomsnittlig levert energi til bygningsmassen 16 MWh per person. Dette reduseres betydelig til henholdsvis 12 og 10 MWh per person i de to scenarioene i 2040.



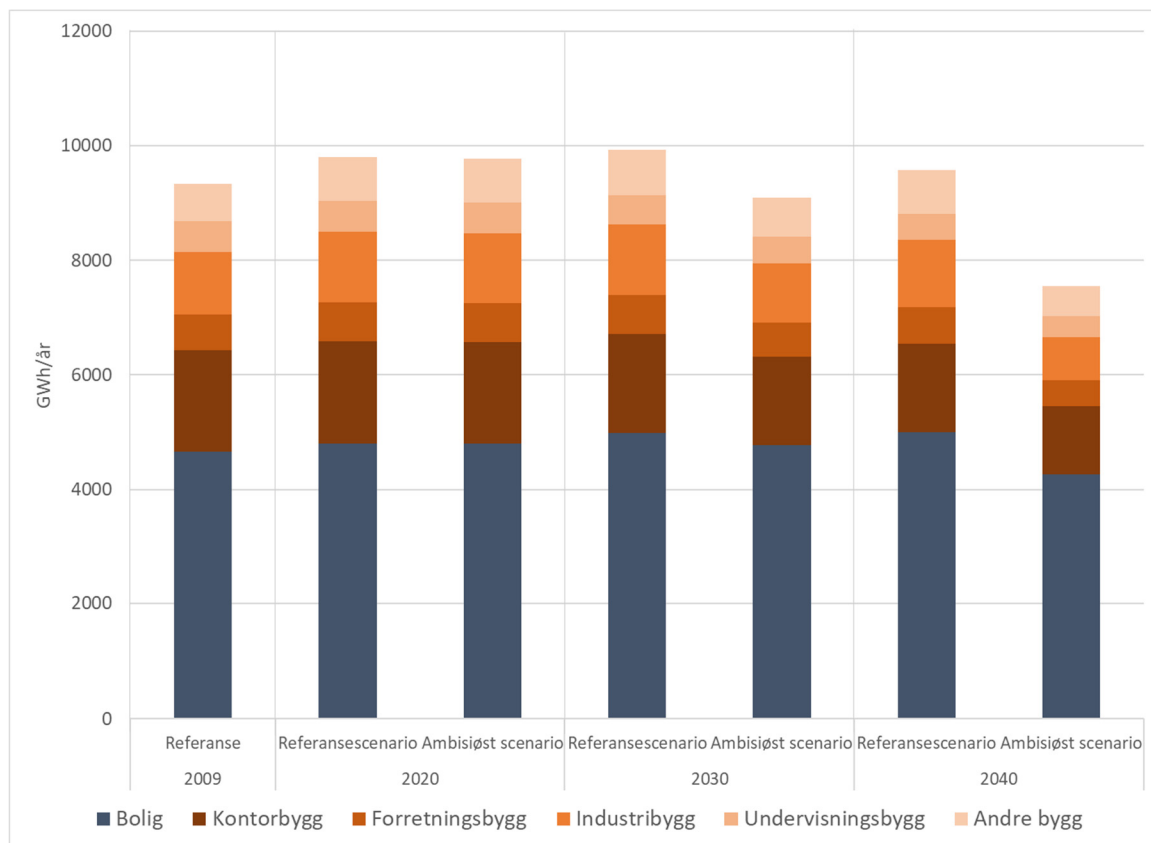
Figur 4 Gjennomsnittlig energiintensitet per kvadratmeter og per person 2009-2040.

Figur 5 viser modellresultatene for levert energi til bygningsmassen og hvordan denne fordeler seg på ulike bygningstyper i 2009 og i henhold til de to scenarioene i år 2020, 2030 og 2040. Total levert energi i 2009 var 9,3 TWh. Fra 2009 til 2020 øker total levert energi med 5 % til 9,8 TWh. I referansescenarioet øker total levert energi til systemet til omtrent 10 TWh i perioden 2024-2029, før det reduseres til 9,6 TWh i 2040.

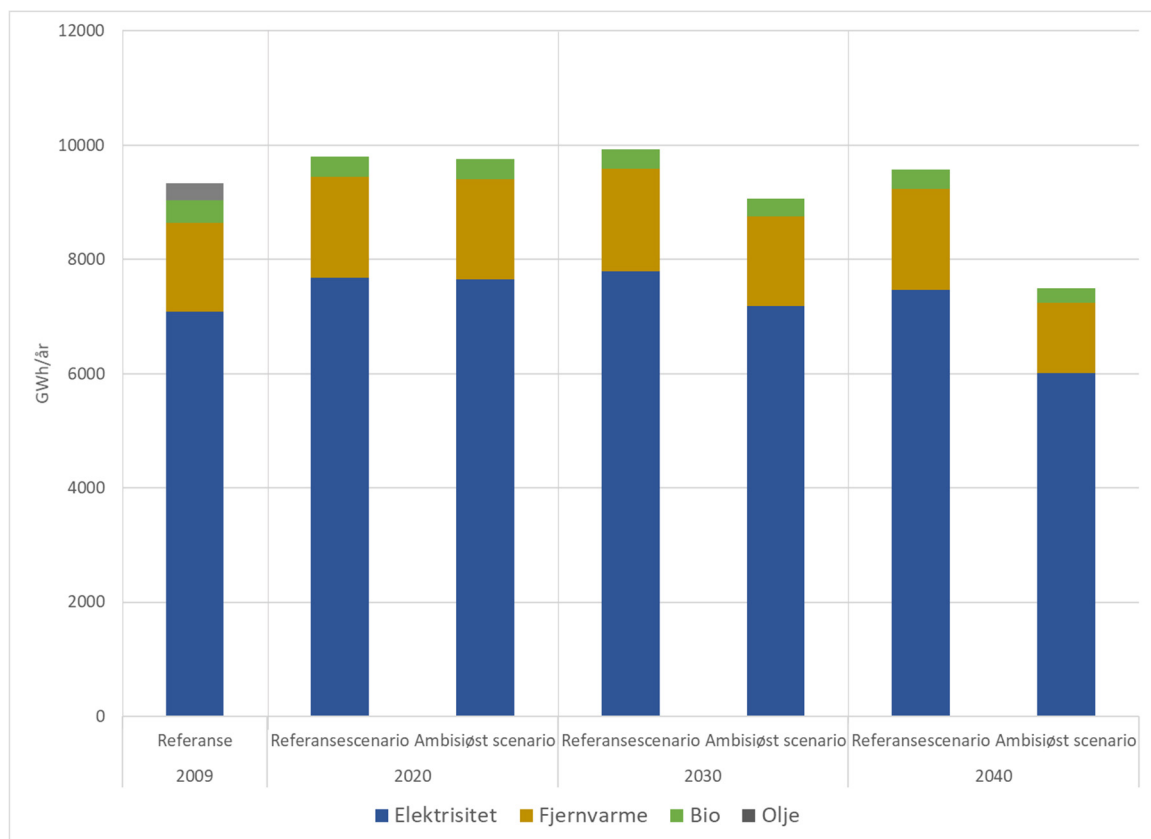
I det ambisiøse scenarioet er det en reduksjon i levert energi til 9,1 TWh i 2030 og 7,5 TWh i 2040. Total levert energi i 2040 er 20 % lavere i det ambisiøse scenarioet enn i referansescenarioet. De store reduksjonene i levert energi oppnås til tross for at bygningsmassen målt i kvadratmeter gulvareal i denne perioden øker med 35 %. Dette viser at det er et betydelig energieffektiviseringspotensial i systemet.

Figur 5 viser også at boliger og yrkesbygg hver står for omtrent 50 % av total energibruk.

Figur 6 viser hvordan energibruken som er vist i Figur 5 fordeler seg på ulike energibærere. Elektrisitet dominerer med en andel på 76 % i 2009 og svakt økende til 78 % i referansescenarioet og 80 % i det ambisiøse scenarioet i 2040. I 2009 bidro fyringsolje med 3 % av levert energi, men fases ut mot 2020. Fjernvarme har en andel som er svakt økende fra 17 % i 2009 til 19 og 16 % i de to scenarioene i 2040. Bio har en andel som er svakt synkende fra 4 % i 2009 til 3 % i 2040 i begge scenarioer.



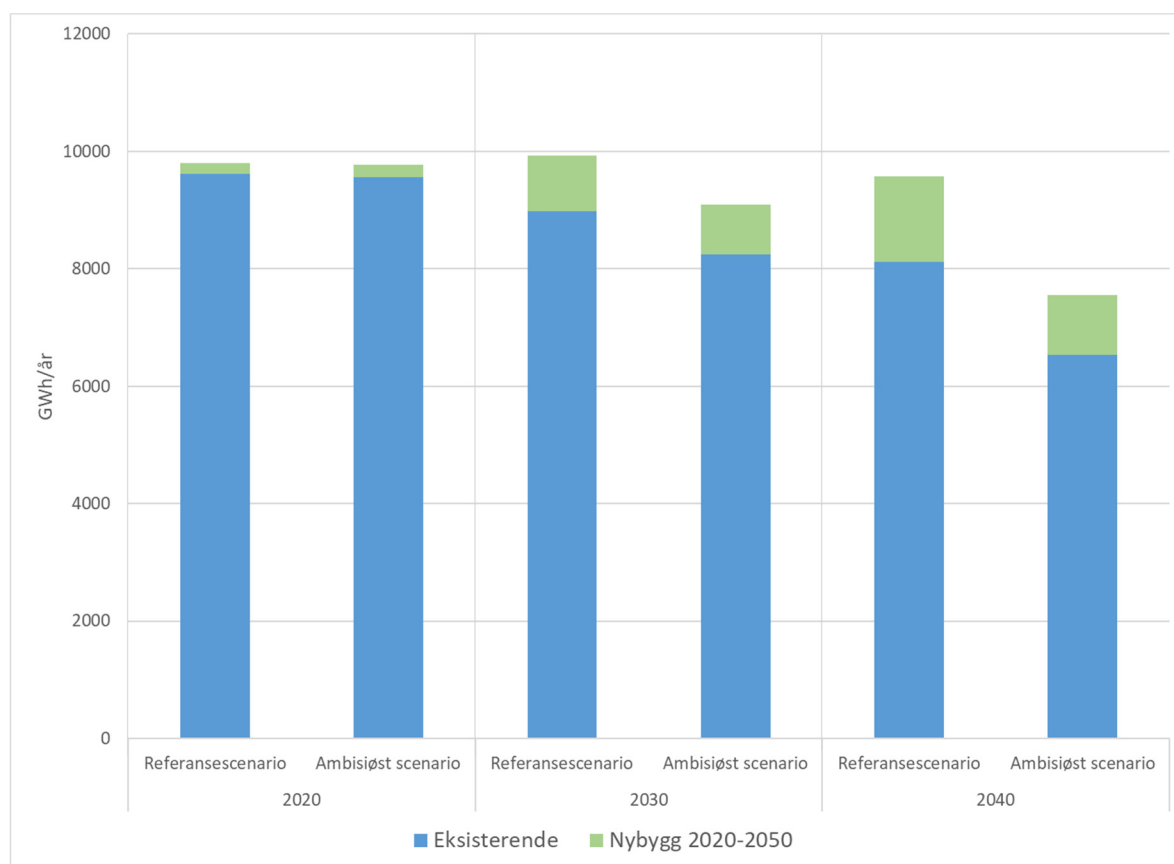
Figur 5 Levert energi i 2009, 2020, 2030 og 2040 fordelt på bygningstyper for begge scenarier.



Figur 6 Levert energi i 2009, 2020, 2030 og 2040 fordelt på energibærere for begge scenarier.

Fortum Varme Oslo har som mål å bygge ut fjernvarmeproduksjonen til i overkant av 2 TWh/år (Fortum Oslo Varme, 2018). Figur 6 viser at hvis andelen av oppvarmingsbehovet i bygningsmassen som dekkes av fjernvarme er konstant, vil det ikke bli noen vekst i etterspørselen etter fjernvarme i bygningsmassen i Oslo. I referansescenarioet er etterspørselen stabil på 1,8 TWh i perioden fram mot 2040, og i det ambisiøse scenarioet reduseres etterspørselen etter fjernvarme til i underkant av 1,2 TWh i 2040 på grunn av lavere oppvarmingsbehov som følge av omfattende energieffektivisering i bygningsmassen.

Figur 7 viser hvordan levert energi til bygningsmassen i Oslo fordeler seg på bygg bygget før 2020 og nybygg etter 2020. Det er en reduksjon i energibruk i bygninger bygget før 2020, både på grunn av rivning og energieffektivisering gjennom rehabilitering. Forskjellen mellom de to scenarioene viser at ambisiøs rehabilitering samlet kan føre til 20 % reduksjon i energibruken i 2040 i bygg som er bygget før 2020, sammenliknet med standard rehabilitering. For nybygg bygget etter 2020 er det samlede potensialet for besparelse på 30 % dersom man følger det ambisiøse scenarioet heller enn referansescenarioet.

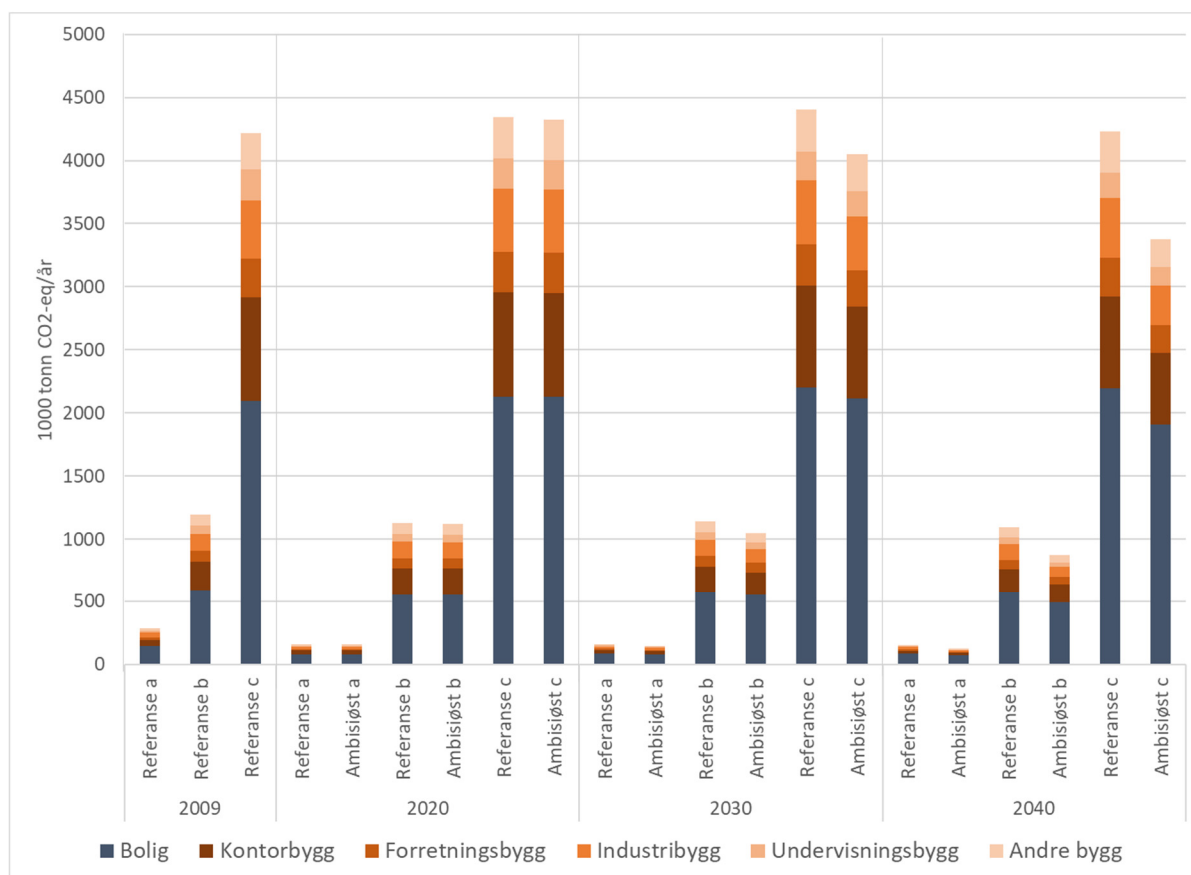


Figur 7 Levert energi i 2009, 2020, 2030 og 2040 fordelt på bygg bygget før 2020 og nybygg etter 2020 for begge scenarioer.

3.3 Klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen i Oslo

Figur 8 viser estimerte klimagassutslipp i årene 2009, 2020, 2030 og 2040 for de to scenarioene og i henhold til de tre beregningsmetodene a, b og c som ble beskrevet i kapittel 2.2.4.1. Utslippsintensiteten

for elektrisitet er av ulik størrelsesorden i de tre variantene, og dette fører til tilsvarende store forskjeller i utslipp beregnet ved hjelp av de tre metodene. Dette vises tydelig i Figur 8.



Figur 8 Klimagassutslipp fra levert energi til bygningsmassen i Oslo i henhold til beregningsmetode a, b og c i årene 2009, 2020, 2030 og 2040.

Tabell 4 viser de prosentvise endringene i klimagassutslipp fra 2009 til 2020. Det er stor forskjell mellom de tre beregningsmetodene. I 2009 er utslippene beregnet med metode b (europeisk forbruksmiks) og c (marginal) henholdsvis 4 og 15 ganger større enn utslippene beregnet med metode a (norsk forbruksmiks). Etter at fyringsolje er faset ut, fra 2020, gir metode b og c utslipp som er henholdsvis 7 og 27 ganger høyere enn metode a.

Når vi i metode a antar gjennomsnittlig norsk forbruksmiks, så fører dette til en reduksjon på 44 % i klimagassutslipp allerede fra 2009 til 2020. Dette skyldes utfasing av fyringsolje, som i denne beregningsmetoden har mye høyere utslippsintensitet enn de andre energibærerne. I henhold til beregningsmetode b er det en reduksjon i klimagassutslipp fra 2009 til 2020 på henholdsvis 6 % i begge scenarioene. I henhold til beregningsmetode c er det en økning på 3 % i den samme perioden.

I referansescenarioet er utslippene relativt stabile fra 2020 til 2030 i henhold til alle tre beregningsmetodene. Fra 2030 til 2040 er det en liten reduksjon i utslipp i henhold til alle tre beregningsmetodene i referansescenarioet.

I det ambisiøse scenarioet er det en økning i besparelsene i henhold til alle tre beregningsmetodene. Den høyre kolonnen i Tabell 4 viser den relative forskjellen mellom de to scenarioene i årene 2020, 2030 og

2040. Denne forskjellen er tilnærmet lik for alle tre beregningsmetodene. I 2030 og 2040 er det henholdsvis 8 % og 20 % lavere klimagassutslipp i det ambisiøse scenarioet enn i referansescenarioet.

Utslippsintensitetene for hver energibærer er antatt å være konstant over tid i hver av de tre beregningsmetodene. Variant a og b antar henholdsvis norsk og europeisk forbruksmiks, og NS 3720 (Standard Norge, 2018) oppgir gjennomsnittsfaktorer for perioden 2015-2075. Disse gjennomsnittsfaktorene er brukt for hele perioden i vår analyse. I variant a antar vi at faktoren ikke vil endres mye over tid, fordi fornybar elektrisetsproduksjon dominerer gjennom hele perioden. Andelen fornybar elektrisetsproduksjon vil trolig endres betydelig i Europa, og det hadde derfor vært bedre å bruke en dynamisk utslippsfaktor. Innenfor rammen av dette arbeidet hadde vi dessverre ikke mulighet til å utarbeide en slik dynamisk faktor. I variant c har vi en marginalitetsbetraktning der vi ser på effekten av en endring, og hvordan dette påvirker elektrisetsproduksjonen i Europa. Det man på lang sikt ønsker å fase ut, er elektrisitet fra fossile kilder, og dette vil trolig være tilfellet gjennom hele perioden i vår studie. En konstant utslippsfaktor beskriver derfor denne marginalitetsbetraktningen på en god måte.

Detaljerte resultater for de tre beregningsmetodene er vist i Vedlegg 5: Resultater klimagassutslipp.

Tabell 4 Prosentvise endringer i klimagassutslipp fra 2009 og forskjell mellom de to scenarioene i henhold til variant a, b og c.

		Endring fra 2009	Forskjell mellom ambisiøst og referanse
2020	Referanse a	-44 %	
	Ambisiøst a	-44 %	0 %
	Referanse b	-6 %	
	Ambisiøst b	-6 %	0 %
	Referanse c	3 %	
	Ambisiøst c	3 %	0 %
2030	Referanse a	-43 %	
	Ambisiøst a	-48 %	-8 %
	Referanse b	-4 %	
	Ambisiøst b	-12 %	-8 %
	Referanse c	4 %	
	Ambisiøst c	-4 %	-8 %
2040	Referanse a	-46 %	
	Ambisiøst a	-57 %	-21 %
	Referanse b	-8 %	
	Ambisiøst b	-27 %	-20 %
	Referanse c	0 %	
	Ambisiøst c	-20 %	-20 %

4. Konklusjon

Oslo kommune gjennomgår en kraftig befolkningsvekst, og som følge av dette er bygningsmassen i Oslo estimert til å vokse med ca. 35 % i perioden 2009-2040. Boliger utgjør omtrent 60 % av det samlede arealet i bygningsmassen.

Energieffektiviseringspotensialet i bygningsmassen er begrenset til det arealet som blir bygget eller rehabilitert. Av bygningsmassen i 2040 vil halvparten av arealet være uendret fra 2020, 25 % vil være rehabilitert etter 2020 og 25 % vil være nybygget etter 2020. Faktisk energibesparelse i systemet avhenger av hvilken energitilstand som oppnås ved rehabilitering og ved nybygging. Til tross for at en stor andel av bygningsmassen i 2040 vil være i samme energitilstand som i 2020, er det et betydelig energisparepotensial i systemet. I referansescenarioet er total levert energi til bygningsmassen stabilt på omtrent 10 TWh per år fra 2020 til 2030, og deretter er det en liten reduksjon mot 2040, til tross for at bygningsmassen øker kraftig i perioden. Det ambisiøse scenarioet viser et ytterligere potensial for energieffektivisering, da total levert energi i 2040 er 21 % lavere enn i referansescenarioet.

De tre beregningsmetodene for klimagassutslipp viser at valg av utslippsfaktor har veldig mye å si for hvilke utslipp som beregnes å komme fra energibruk i bygningsmassen, og for hvordan disse utslippene utvikler seg over tid. Man skal derfor være veldig bevisst hvilke utslippsfaktorer man velger å legge til grunn i slike analyser av klimagassutslipp fra energibruk i bygningsmassen. Resultatene viser imidlertid at det uavhengig av beregningsmetode er et stort potensial for energieffektivisering og utslippsreduksjoner i bygningsmassen i Oslo. I det ambisiøse scenarioet er både total levert energi og klimagassutslipp i 2040 20 % lavere enn i referansescenarioet.

Referanseliste

- Brattebø, H., O'Born, R., Sartori, I., Klinski, M. & Nørstebø, B. (2016) *Typologier for norske boligbygg - Eksempler på tiltak for energieffektivisering*. Tilgjengelig fra: http://episcopus.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/NO_TABULA_TypologyBrochure_NTNU.pdf. NTNU og SINTEF.
- Fortum Oslo Varme (2018) *Om fjernvarme*. Tilgjengelig fra: <https://www.fortum.no/Om-fjernvarme>.
- Fufa, S. M., Schlanbusch, R. D., Sørnes, K., Inman, M. & Andresen, I. (2016) *A Norwegian ZEB Definition Guideline*. ZEB Project report 29 - 2016. SINTEF Academic Press.
- Hafslund (2009) *Kraft til å forandre. Årsrapport 2009*.
- Ingeberg, K. & Moengen, T. (2012) *STREK-2020. Hovedrapport: Underlag for Strategi for mer energieffektive og klimanøytrale bygg i Oslo i 2020*. XRGIA analyse & rådgivning.
- Langseth, B. (2016) *Analyse av energibruk i yrkesbygg*. Rapport nr 24-2016. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Müller, D. B. (2006) *Stock dynamics for forecasting material flows—case study for housing in The Netherlands*, Ecological Economics, 59(1).
- Multiconsult AS & Analyse og Strategi AS (2012) *Potensial- og barrierestudie. Energieffektivisering av norske yrkesbygg*. Enova-rapport 2012:01.2.
- Norsk Fjernvarme (2018) *Fjernkontrollen.no*. Tilgjengelig fra: <http://www.fjernkontrollen.no/fortum-oslo-varme/>.
- Sandberg, N., Næss, J. S., Brattebø, H., Andresen, I., Gustavsen, A. (2019) *Estimating the aggregated energy savings from large-scale introduction of zero emission buildings in the Norwegian building stock* (Sendes inn til Energy and Buildings våren 2019).
- Sandberg, N. H., Sartori, I., Vestrum, M. I. & Brattebø, H. (2016) *Explaining the historical energy use in dwelling stocks with a segmented dynamic model: Case study of Norway 1960–2015*, Energy and Buildings, 132. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.099.
- Sandberg, N. H., Sartori, I., Vestrum, M. I. & 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, 146. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.04.016.
- Sartori, I., Bergsdal, H., Müller, D. B. & Brattebø, H. (2008) *Towards modelling of construction, renovation and demolition activities: Norway's dwelling stock, 1900-2100*, Building Research and Information, 36(5). doi: 10.1080/09613210802184312.
- Sartori, I., Sandberg, N. H. & Brattebø, H. (2016) *Dynamic building stock modelling: General algorithm and exemplification for Norway*, Energy and Buildings, 132. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.05.098.
- Standard Norge (2018) *NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger*.
- Statistisk sentralbyrå (2018a) *Befolkning*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/07459/tableViewLayout1/>.

Statistisk sentralbyrå (2018b) *Befolkningsframskrivinger*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/aar>.

Statistisk sentralbyrå (2018c) *Boliger*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statbank/table/06513/>.

Statistisk sentralbyrå (2018d) *Bygningsmassen*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/statbank/table/03158/tableViewLayout1/>.

Statistisk sentralbyrå (2018e) *Energibruk i tjenesteytende næringer*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/statbank/table/09743>.

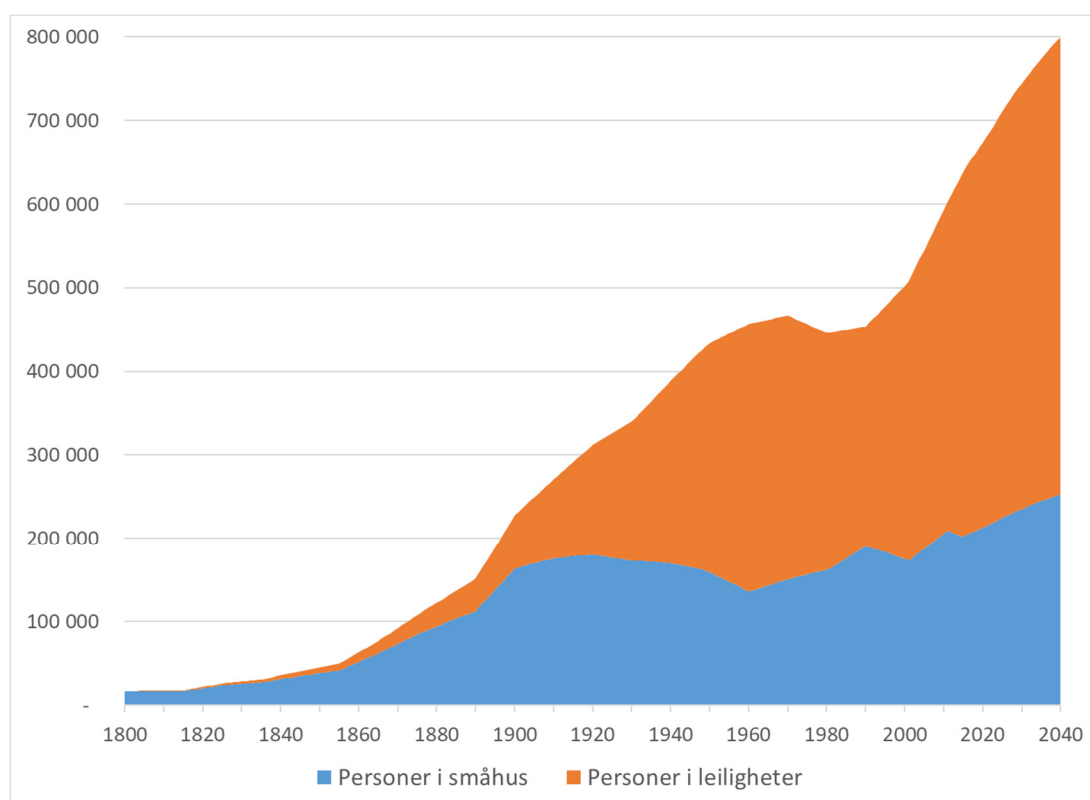
Statistisk sentralbyrå (2018f) *Norske folketeljingar*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ssb.no/a/folketellinger/>.

Vedlegg 1: Datagrunnlag for boligmassemodellen

Modelleringen av boligmassen i Oslo bygger på modellen som er presentert i Sartori *et al.* (2016). I dette vedlegget beskriver vi datagrunnlaget som er spesifikt for studien for Oslos bygningsmasse. Øvrige inputdata og antakelser er antatt likt som for Norge samlet og beskrevet i detalj i Sandberg *et al.* (2017).

Befolkning 1800-2040

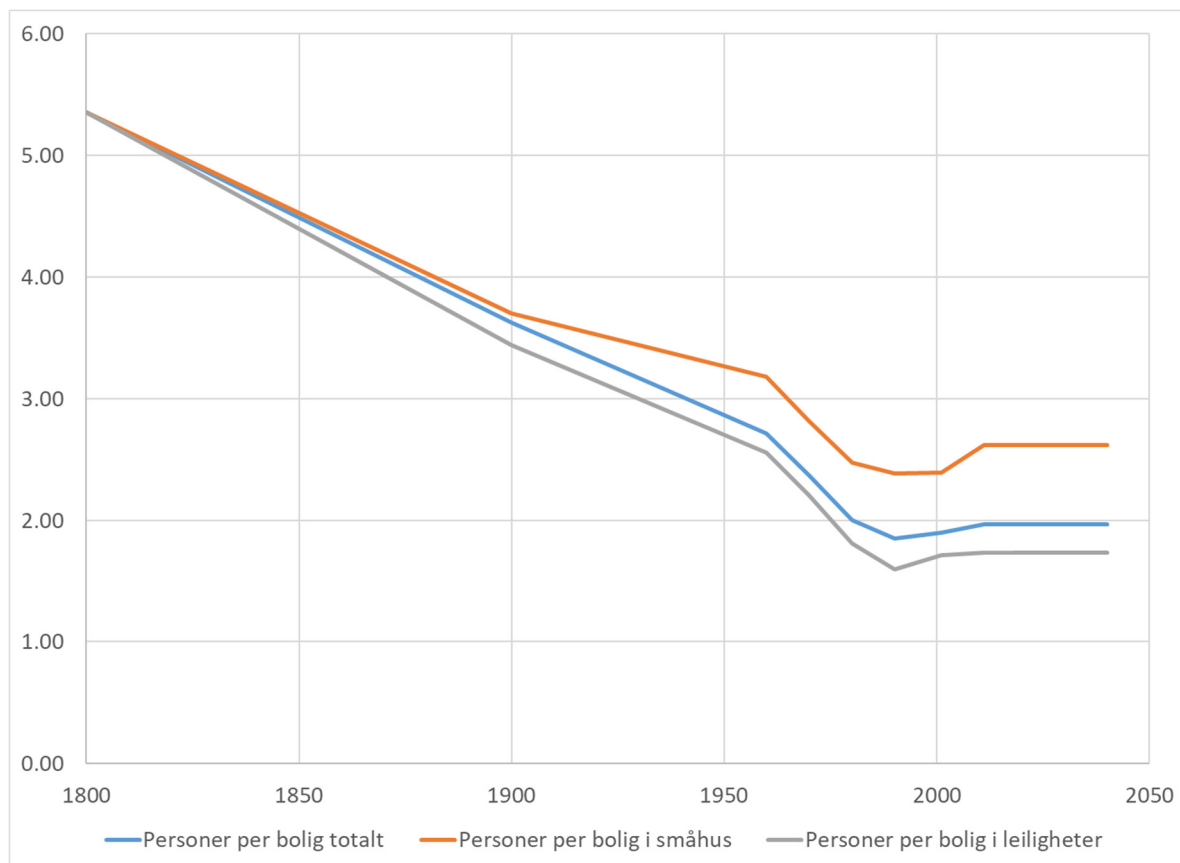
Befolkningsstatistikk og –framskriving for Oslo er hentet fra SSB (Statistisk sentralbyrå, 2018f, 2018a, 2018b) og vist i Figur 9. Befolkningsstatistikken for Oslo brukes som datagrunnlag for å estimere bygningsmassens størrelse i ulike år, både for boliger og yrkesbygg. Boligmassemodellen trenger inputdata for boligtypene «småhus» og «leiligheter». Befolkningen er derfor fordelt på de to typene. Andelen personer som bor i småhus har variert mellom 30 og 42 % i perioden 1960-2018. De siste årene har den ligget på 32 %, og vi har antatt samme andel fremover mot 2040.



Figur 9 Befolkning i Oslo. Statistikk og framskriving (Statistisk sentralbyrå, 2018f, 2018a, 2018b).

Antall personer per bolig

Antall personer per bolig i henholdsvis småhus, leiligheter og totalt er hentet fra SSB (Statistisk sentralbyrå, 2018f) og vist i Figur 10. Fra 1960 har vi antall personer per bolig fra folketellingene. Utviklingen før 1960 er basert på statistikk for hele Norge og antakelser.



Figur 10 Gjennomsnittlig antall personer per bolig i Oslo 1800-2040 i henholdsvis småhus, leiligheter og totalt.

Antall personer per bolig ble kraftig redusert fra 1800 til ca. 1990. Deretter har det vært en liten økning til dagens verdi på 1,97 totalt, 2,62 i småhus og 1,74 i leiligheter. Dagens verdier er antatt også framover mot 2040.

Andel av småhus som er eneboliger

I energimodellen blir kategorien «småhus» fordelt på eneboliger og andre småhus, og vi har energiintensitet og areal per bolig for hver av disse underkategoriene. I Oslo er andelen av småhus som er eneboliger i underkant av 40 %. I Norge samlet er andelen av eneboliger mye høyere på omtrent 70 %. Andelen av eneboliger har vært synkende, og vi antar at den fortsetter å synke til 20 % for nybygg bygget i perioden 2021-2040.

Gjennomsnittlig areal per segment

Gjennomsnittlig areal per boligtype i 2018 i Norge samlet og i Oslo er estimert fra statistikk (Statistisk sentralbyrå, 2018c) og vist i Tabell 5. Oslo skiller seg fra resten av landet på flere måter. Andelen av boliger som er leiligheter er mye større i Oslo; 76 % i Oslo sammenliknet med 29 % i Norge totalt. Vektet gjennomsnittlig areal per bolig er 128 m² i Norge samlet og 88 m² i Oslo. Likevel er gjennomsnittsarealet for eneboliger (SFH) og andre småhus (TH) er betydelig større i Oslo enn i Norge totalt. Gjennomsnittlig størrelse på leiligheter er 4 % mindre i Oslo enn i Norge totalt.

Tabell 5 Gjennomsnittlig areal per bolig i ulike boligtyper i Norge og Oslo i 2018.

		Gjennomsnittlig areal	Andel
Eneboliger	Norge	169	50 %
	Oslo	203	8 %
Småhus	Norge	112	21 %
	Oslo	127	15 %
Leiligheter	Norge	70	29 %
	Oslo	67	76 %
Vektet gjennomsnitt	Norge	128	
	Oslo	88	

I boligmassemodellen kan man bruke gjennomsnittlig areal per boligtype og byggeperiode. For Norge samlet har vi statistikk på dette fra 2013. Tilsvarende statistikk finnes ikke på kommunenivå. Siden størrelsen på boligene i Oslo i stor grad skiller seg fra boligene i Norge, bruker vi det gjennomsnittlige arealet for alle boliger av hver type, og skiller ikke på byggeperiode.

Vedlegg 2: Datagrunnlag yrkesbygg

Areal per person i ulike typer bygg

Data fra STREK2020 (Ingeberg & Moengen, 2012) gir bebygget areal i ulike bygningstyper i Oslo for hvert år i perioden 2010-2015. Tilsvarende tall for Norge samlet er tilgjengelig for 2010 (Langseth, 2016). Areal tallene for 2010 dividert på befolkningstallet for samme år er vist i Tabell 6. Det er betydelige forskjeller mellom Oslo og Norge totalt.

I Oslo er det større andel leiligheter og mindre andel småhus. Dette gjenspeiles i gjennomsnittlig antall kvadratmeter per person i de to bygningstypene. Denne forskjellen håndteres av boligmassemodellen der vi antar andel av befolkningen som bor i henholdsvis småhus og leiligheter.

For yrkesbygg er det også store forskjeller med et langt større antall kvadratmeter kontorbygg og industribygg per person og mindre antall kvadratmeter forretningsbygg per person i Oslo sammenliknet med Norge totalt. Antall kvadratmeter per person i undervisningsbygg (barnehage, skole og universitet) og «andre bygg» (sykehus, sykehjem, hotell, idrettsbygg og kulturbygg) er helt likt i Oslo og Norge.

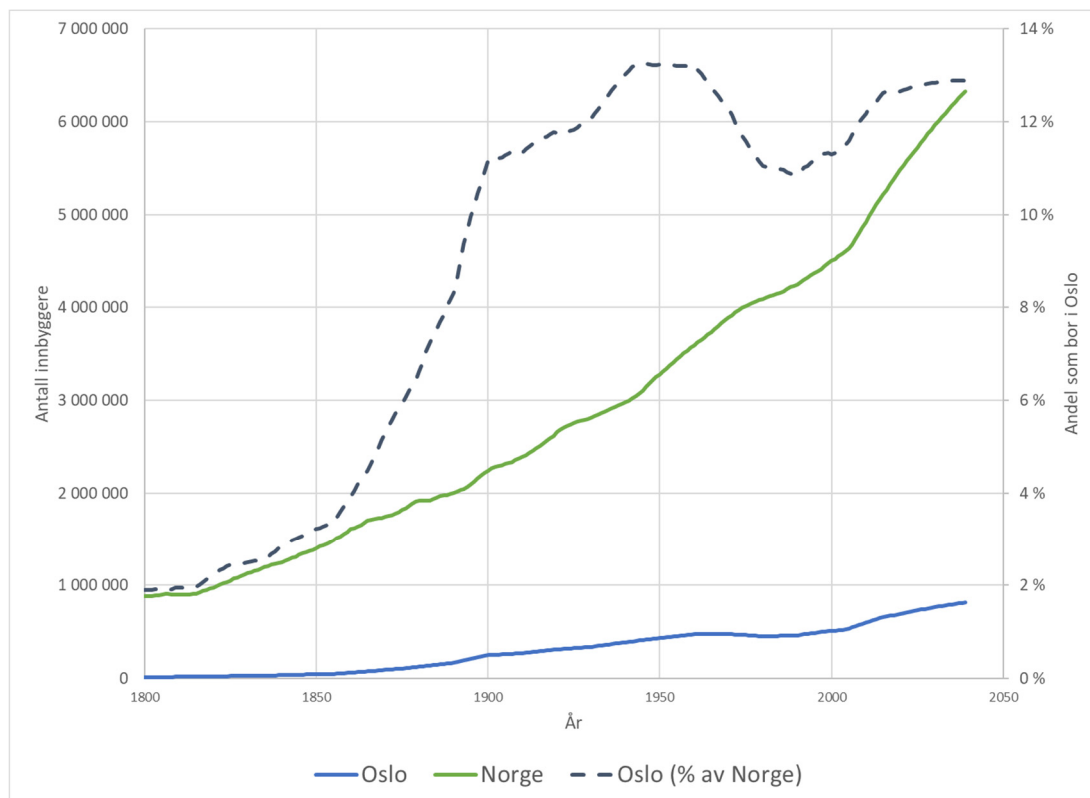
Tabell 6 Gjennomsnittlig antall kvadratmeter gulvareal i ulike bygningstyper per person i 2010 i henholdsvis Oslo og Norge.

Bygningstype	Oslo	Norge
Småhus	17.8	51.2
Boligblokk	24.7	8.11
Kontorbygg	12.0	5.5
Forretningsbygg	3.4	6.3
Industribygg	7.5	2.0
Undervisningsbygg	3.6	3.6
Andre bygg	4.2	4.3

I modellen antas gjennomsnittlig areal per person i de ulike typene yrkesbygg å være lik verdiene i Tabell 6 og å være konstant over tid. Disse gjennomsnittsarealene multipliseres med befolkningsprognosene for hvert år for å estimere behovet for bygningsmasse framover.

Alderssammensetning eksisterende bygningsmasse

Vi har ikke informasjon om alderssammensetningen til eksisterende yrkesbygg i Oslo, men for Norge totalt har vi tilsvarende informasjon fra (Multiconsult AS & Analyse og Strategi AS, 2012). Figur 11 viser befolkningen i henholdsvis Oslo og Norge (Statistisk sentralbyrå, 2018a) og andelen av Norges befolkning som bor i Oslo. Andelen av Norges befolkning som bor i Oslo har vært stabil på 11-13 % siden 1900. Vi antar derfor at andelen yrkesbygg bygget i henhold til ulike TEK er tilsvarende som i Norge totalt, siden modellen uansett samler bygg bygget før TEK49 i én kategori.



Figur 11 Befolkning i Oslo og Norge (venstre akse) og andel av Norges befolkning som bor i Oslo (høyre akse).

Vedlegg 3: Energimiks

Energimiks per segment eller arketype

Det er lite empiriske data på energibruk i bygningsmassen i Oslo og bruker derfor andre kilder som grunnlag for antakelser om energimiksen i henholdsvis boliger og yrkesbygg.

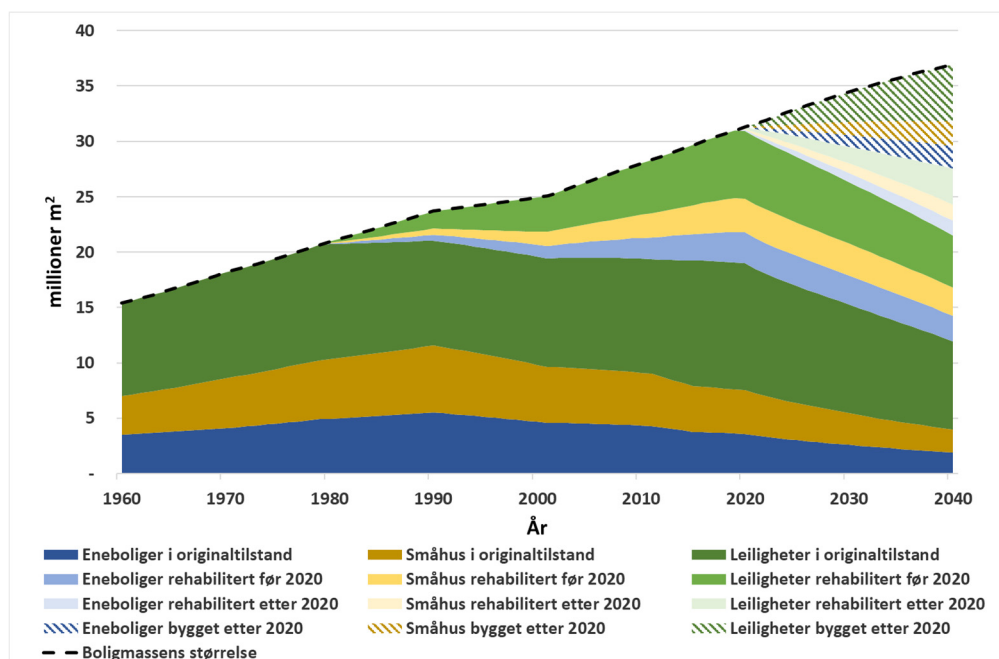
Modellen kalibreres mot empiriske data for fjernvarmeproduksjon for året 2017 (Norsk Fjernvarme, 2018; Fortum Oslo Varme, 2018). Fjernvarme er brukt i yrkesbygg og boligblokker. Fjernvarmeandelen i småhus er neglisjerbar.

Fjernvarme estimeres til å dekke 50 % av levert energi til oppvarming og varmtvann i yrkesbygg. Fra referanseåret 2009 var det en viss andel av fyringsolje i yrkesbygg. Det er ikke statistikk for bruk av fyringsolje i yrkesbygg på kommunenivå. Nasjonal statistikk (Statistisk sentralbyrå, 2018e) viser en andel på 4 % fyringsolje i yrkesbygg i 2011. Vi antar at andelen i Oslo er tilsvarende som i resten av landet, og en lineær utvikling mot utfasing i 2020. Vi starter derfor med en antakelse om 5 % fyringsolje i yrkesbygg i 2009.

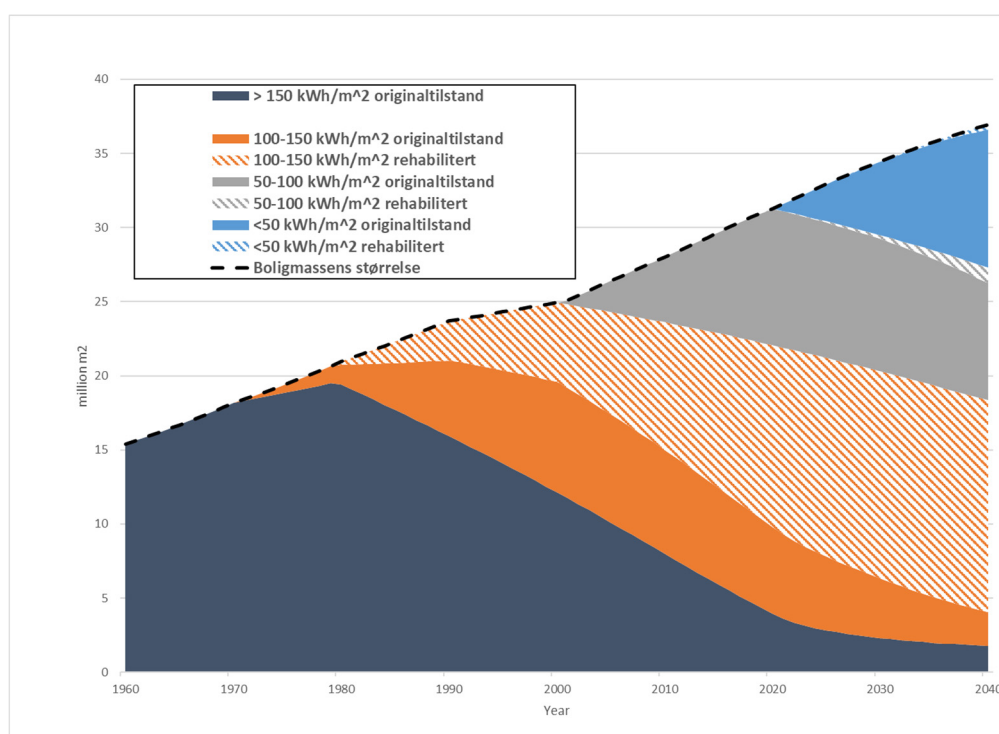
For boliger brukes samme energimiks per segment som for Norge samlet, men andelen fjernvarme er økt ved hjelp av kalibrering i året 2017.

Vedlegg 4: Boligmassens utvikling

Figur 12 og Figur 13 viser detaljerte modellresultater for boligmassens utvikling i perioden 1960-2040. I denne perioden mer enn doubles boligmassen fra 15 millioner til 37 millioner kvadratmeter. Figur 12 viser hvordan boligmassen fordeler seg på eneboliger, andre småhus og leiligheter og arketyperne originaltilstand, historisk rehabilitering, framtidig rehabilitering og nybygg etter 2020.



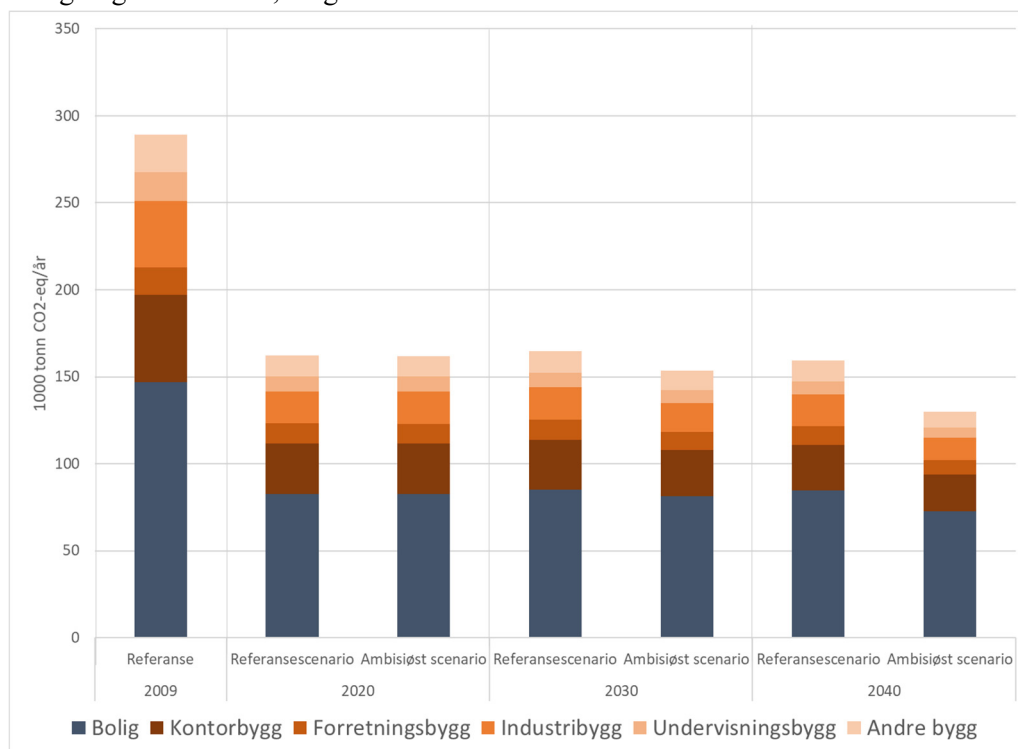
Figur 12 Boligmassens utvikling i Oslo i perioden 1960-2040.



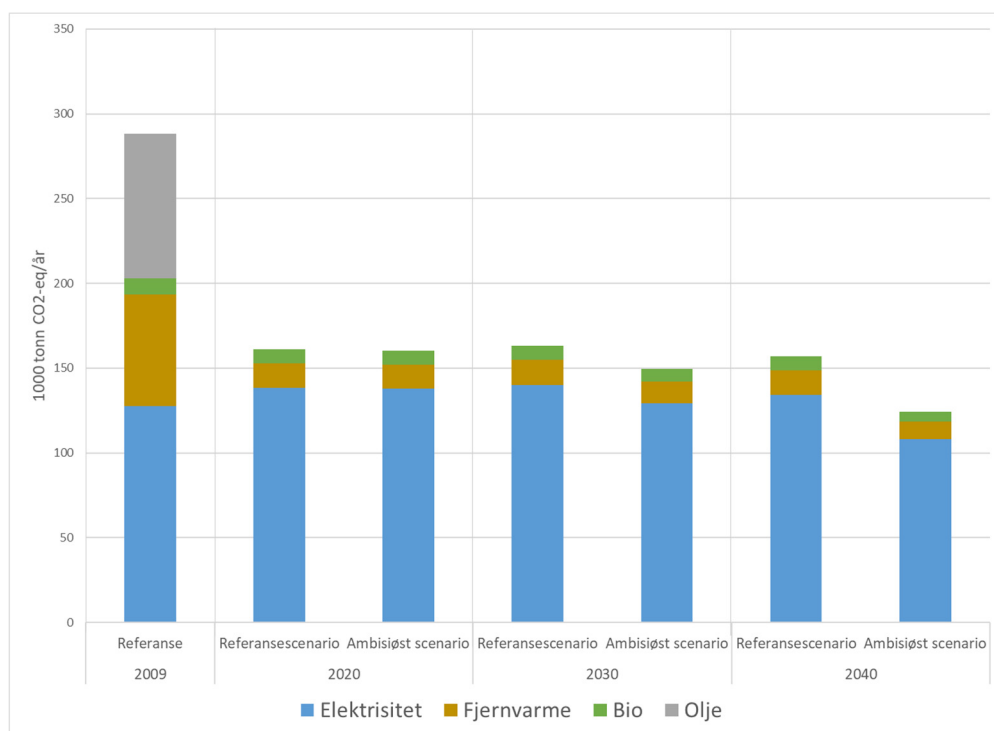
Figur 13 Boligmassens utvikling i perioden 1960-2040. Fordelt på energiintensitet.

Vedlegg 5: Resultater klimagassutslipp

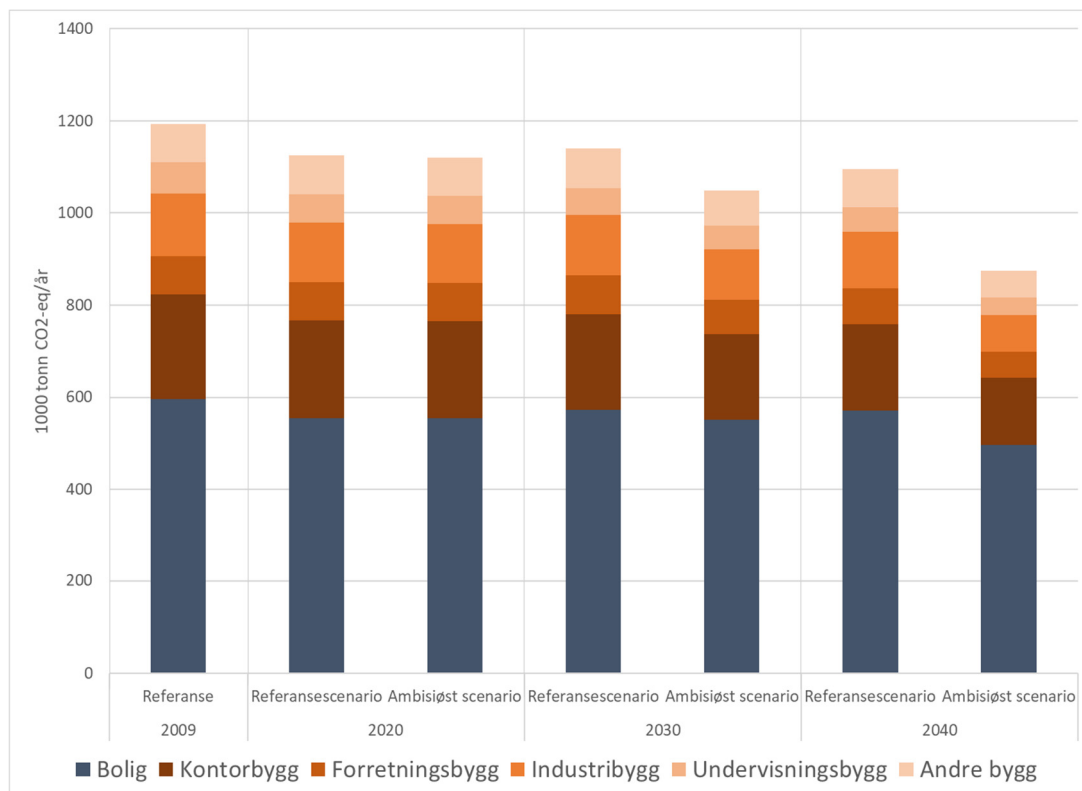
Figur 14-Figur 19 viser detaljerte resultater for klimagassutslipp fra levert energi til bygningsmassen i Oslo i 2009, 2020, 2030 og 2040 fordelt på ulike bygningstyper og energibærere og i henhold til de tre beregningsmetodene a, b og c.



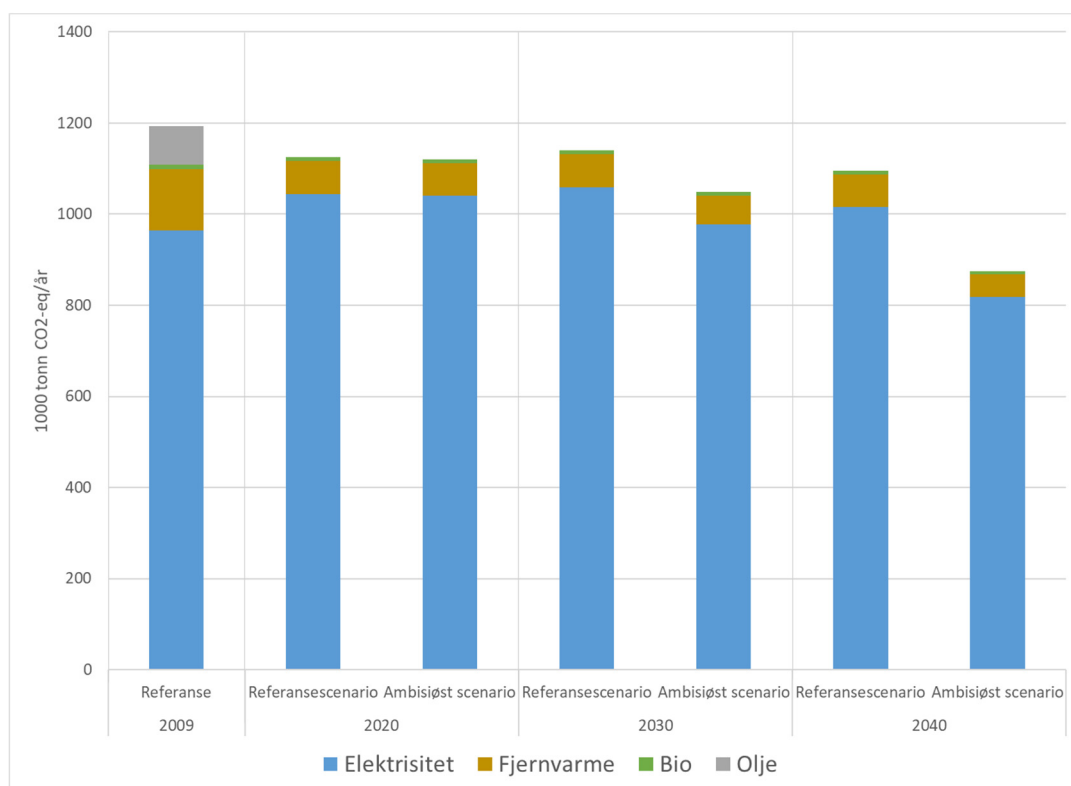
Figur 14 Klimagassutslipp fra levert energi til ulikebygningstyper i utvalgte år for begge scenarioer. Beregningsmetode a: norsk forbruksmiks.



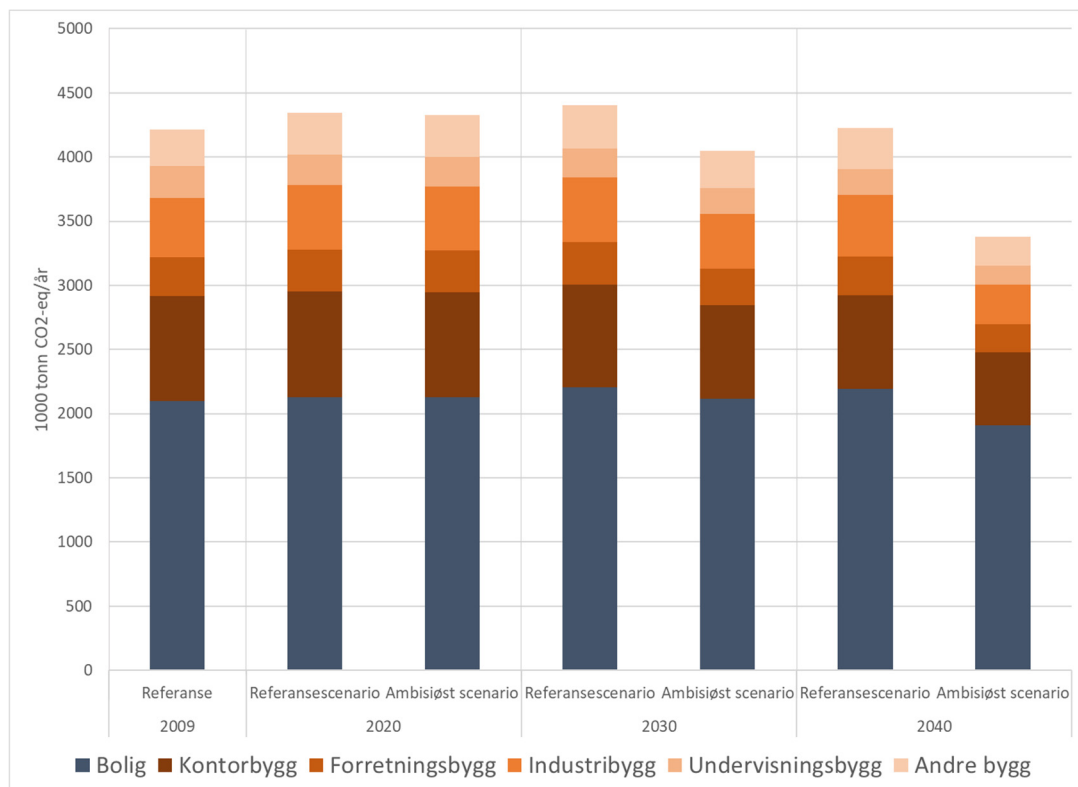
Figur 15 Klimagassutslipp fra levert energi fordelt på ulike energibærere. Variant a: norsk forbruksmiks.



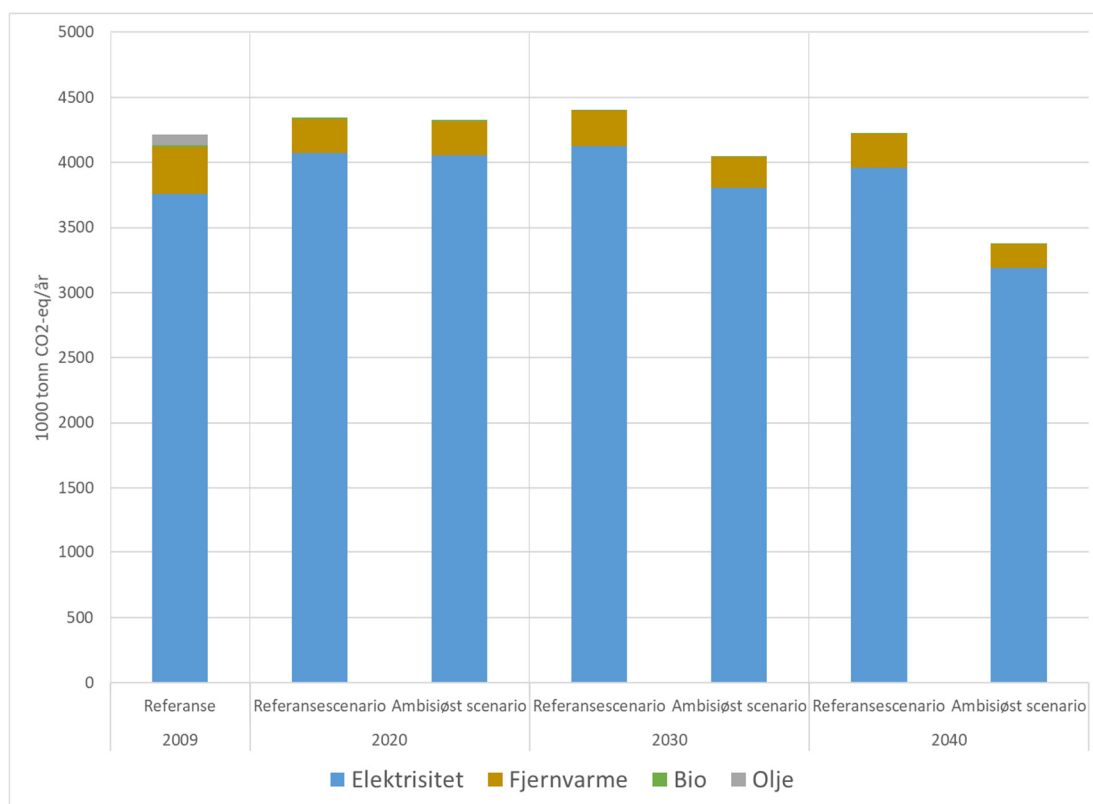
Figur 16 Klimagassutslipp fra levert energi til ulikebygningstyper i utvalgte år for begge scenarioer. Beregningsmetode b: europeisk forbruksmiks.



Figur 17 Klimagassutslipp fra levert energi fordelt på ulike energibærere. Variant b: europeisk forbruksmiks.



Figur 18 Klimagassutslipp fra levert energi til ulikebygningstyper i utvalgte år for begge scenarioer. Beregningsmetode c: marginal elektrisitetsproduksjon.



Figur 19 Klimagassutslipp fra levert energi fordelt på ulike energibærere. Variant c: marginal elektrisitetsproduksjon.



VISION:

**«Sustainable
neighbourhoods
with zero
greenhouse gas
emissions»**

Z E N

Research Centre on
ZERO EMISSION
NEIGHBOURHOODS
IN SMART CITIES



<https://fmezen.no>