

Ingrid Sølverud Larsen

Konsekvens av klimaendringer for bygninger

Endring i behov for oppvarming og varmeisolasjon i et fremtidig klima

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Tore Kvande

Medveileder: Jørn Emil Gaarder

Juni 2021

Ingrid Sølverud Larsen

Konsekvens av klimaendringer for bygninger

Endring i behov for oppvarming og varmeisolasjon i et fremtidig klima

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Tore Kvande
Medveileder: Jørn Emil Gaarder
Juni 2021

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for bygg- og miljøteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

Temperaturen i Norge stiger på grunn av global oppvarming. Siden år 1900 har årsmiddeltemperaturen steget med omtrent 1°C. Forskning fra FNs klimapanel (IPCC) tyder på at det vil bli enda varmere i årene som kommer. Disse endringene skyldes hovedsakelig utslipp av klimagasser fra menneskelig aktivitet.

Byggteknisk forskrift (TEK) stiller krav til energieffektivitet i bygninger. Det er ikke krav om bruk av lokale eller fremtidige klimadata i dokumentasjon av tilstrekkelig ytelse. En skjerping av kravene de siste tyve årene har resultert i økt mengde varmeisolasjon. Det er foreslått en ytterligere innstramning av kravene og EU ønsker at alle nybygg skal være nesten nullenergibygg.

Ved dimensjonering for tilstrekkelig energieffektivitet i bygninger må det tas hensyn til klima. Det gjøres gjennom klimanormaler fra Meteorologisk institutt som representerer et gjennomsnittsklima over en periode på tretti år. Fra januar 2021 er normalperioden 1991-2020 gjeldende, og erstatter 1961-1990.

IPCC har utviklet avanserte modeller for å forutse hvordan klima kan utvikle seg i fremtiden. Det er publisert fire utviklingsbaner (RCP) for potensielle scenarioer for klimaendring. Ved RCP8.5 anslår IPCC og Meteorologisk institutt en økning på 4,5°C av norsk middeltemperatur innen 2100. Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvilken effekt dette vil ha på energibehovet i bygninger. Beregningene er gjort på en bestemt bolig på 11 steder.

Temperaturøkningen vil føre til en reduksjon av energibehov til oppvarming for alle elleve plasseringene av boligen. Energiforbruket ved temperatur fra normalperioden 1961-1990 er sammenliknet med fremtidsscenarioet 2071-2100 (RCP8.5). Reduksjonen varierer mellom 21-41% for stedene beregnet i oppgaven, og er størst i Nord-Norge og Innlandet.

Reduksjon i energibehov til oppvarming gir mulighet for å redusere mengden varmeisolasjon og fortsatt bygge energieffektive bygninger. Det er utført en livssyklusanalyse for å finne den mest gunstige isolasjonstykkelsen med tanke på klimagassutslipp. Resultatene viser at med norsk strømforbruk (17 g CO₂e/kWh) lønner det seg ikke å øke isolasjonsmengden over en viss tykkelse. Med energibehovet fra 1961-1990 beregnes 350 mm i yttervegg til optimal mengde. I perioden 2071-2100 kan dette reduseres til 300 mm. Dette gjelder for isolasjonsmaterialet Glava. Rockwool har et noe høyere CO₂-avtrykk, og optimal tykkelse reduseres fra 300 mm til 200 mm.

Valg av utslippsfaktor for energi er avgjørende for beregning av optimal isolasjonsmengde. I Europa forventes en gjennomsnittlig faktor til elektrisitet på 130 g CO₂e/kWh de neste 60 årene. Legges denne utslippsfaktoren til grunn gir ikke resultatene en optimal tykkelse. Økt isolasjonstykkelse i yttervegg (fra 100 mm til 500 mm) gir redusert totalt klimagassavtrykk.

Abstract

The temperature in Norway is rising due to global warming. Since year 1900, the mean annual temperature has increased by approximately 1°C. Research from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicates that it will continue to rise in the future and that greenhouse gas emissions from human activities are the main cause of these changes.

Byggteknisk forskrift (TEK17) includes minimum requirements for energy efficiency in buildings, but it is not required to use local or future climate data when designing. In the last twenty years, the minimum requirements have become stricter. This leads to an increased use of thermal insulation. It has been proposed to implement even stricter requirements in the future.

The energy use is strongly affected by the outdoor temperature and has to be taken into account when designing. The Norwegian Meteorological Institute produces climate normals which represent the average climate in a thirty-year period. The current normal period is 1991-2020 and replaced the former 1961-1990 at the start of 2021.

IPCC has developed four Representative Concentration Pathways (RCP) to predict potential scenarios for climate change. With RCP8.5 the mean annual temperature in Norway will increase by 4,5°C by the end of the 21st century. The purpose of this thesis was to investigate how this will impact energy use in buildings.

The increase in temperature will result in a reduced need for heating for all eleven locations of the specific house. The energy use calculated with climate normal 1961-1990 has been compared to the future scenario 2071-2100 (RCP8.5). The size of the reduction varies between 21% and 41% for the eleven locations.

Reduced energy for heating provides an opportunity to reduce the amount of thermal insulation and still build energy-efficient buildings. A life cycle analysis has been performed to calculate the most favorable insulation thickness concerning greenhouse gas emissions. The results show that with the use of Norwegian electricity with low emissions (17 g CO₂e/kWh) the optimal amount of insulation in external walls is about 350 mm with temperatures from 1961-1990. This can be reduced to 300 mm in the future if Glava is the chosen material. Rockwool gives slightly higher emissions and the optimal thickness is reduced from 300 mm to 200 mm.

The chosen emission factor is crucial for calculating the optimal insulation thickness. The average CO₂-factor for the next sixty years is expected to be 130 g CO₂e/kWh for European electricity. This number results in no optimal insulation thickness because increased insulation in external walls reduces the total greenhouse gas emissions for all walls calculated (100-500 mm).

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet våren 2021 for Institutt for bygg- og miljøteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet i Trondheim. Oppgaven utgjør det avsluttende arbeidet ved femårig sivilingeniørutdanning og tilsvarer 30 studiepoeng.

I forbindelse med arbeidet med masteroppgaven har jeg fått mulighet til å skrive to artikler til Byggeindustrien, et blad for byggenæringen. Det var både lærerikt og givende å konsentrere funnene fra prosjekt- og masteroppgave til en liten og informativ artikkel. Begge artiklene er vedlagt i oppgaven som vedlegg A og B. Resultatene ble også presentert på digital temasamling *Klimanormaler, referanseperioder og konsekvenser av klimaendringer* for Klima 2050 i slutten av mai.

Jeg vil først og fremst rette en stor takk til hovedveileder Tore Kvande som har vært til stor hjelp med både givende diskusjoner, konstruktiv kritikk og oppmuntring gjennom hele prosessen. En stor takk rettes også til medveileder Jørn Emil Gaarder som har gitt meg mye god hjelp underveis i arbeidet.

Takk til Hans Olav Hygen ved Meteorologisk institutt for klimadatafiler og gode innspill rundt behandling av klimadata. Jeg vil også takke Norgeshus for bruken av boligen Trend2 som beregningsobjekt, og for tilgang på material- og mengdelister.

Til slutt vil jeg takke Trondheim for at du er verdens beste studentby!

8. juni 2021

Ingrid Sølverud Larsen

Ingrid Sølverud Larsen

Innhold

Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innholdsfortegnelse	vii
Figurer	x
Tabeller	xi
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Prosjektoppgave - Fremtidige frostdybder i Norge	3
1.3 Formål	4
1.4 Begrensninger	4
1.5 Leserveiledning	5
1.6 Definisjoner	6
2 Teori	9
2.1 Energibruk i bygninger	9
2.1.1 Krav til energieffektivitet	10
2.1.2 Beregning av energibruk i bygninger	12
2.1.3 Krav til oppvarming og kjøling i Norge	13
2.2 Bruk av klimadata ved energiberegninger	14
2.2.1 Nødvendig klimadata for oppvarmingsbehov	14
2.2.2 Normalperioder	15
2.3 Global oppvarming	17
2.3.1 Temperaturøkning i verden frem til i dag	17
2.3.2 Temperaturøkning i Norge frem til i dag	18
2.3.3 Utviklingsbanene fra IPCC	21
2.3.4 Utslippskutt og fremtidsutsikter	23
2.3.5 Fremtidig temperaturendring i Norge	24
2.4 Klimatilpasning av bygninger	26
2.4.1 Energibruk i bygninger i et fremtidig klima	27
2.5 Utslippsfaktor for strøm	28

3	Metode	31
3.1	Litteraturstudie	31
3.2	Prosjektoppgave - Fremtidige frostdybder i Norge	32
3.3	Trend2 fra Norgeshus	32
3.4	Energiberegninger	35
3.4.1	Klimadata	35
3.4.2	Energiberegninger med SIMIEN	37
3.5	Optimal isolasjonsmengde i vegg	39
3.5.1	Livssyklusanalyse	39
3.5.2	Totalt klimagassutslipp med ulike veggtykkelser	42
3.6	Styrker og svakheter ved metoden	44
4	Resultater	47
4.1	Beregnet energibehov til oppvarming	47
4.2	Optimal isolasjonsmengde	51
5	Diskusjon	55
5.1	Kontroll av energiberegning og klimadata	55
5.1.1	Validering av beregningsprogram	55
5.1.2	Sensitivitetsanalyse av klimadata i SIMIEN	56
5.1.3	Kontroll av fremtidige datasett	58
5.1.4	Kontroll av historiske datasett	59
5.1.5	Kontroll av metode for konstruksjon av datasett	60
5.1.6	Konstruert historisk klimadata for Oslo (Blindern)	63
5.1.7	Oppsummering	63
5.2	Diskusjon av resultat	64
5.2.1	Redusert energibehov til oppvarming	64
5.2.2	Bruk av klimadata	65
5.2.3	Forventet klimaendring	67
5.2.4	Energimiksens utslippsfaktor	68
5.2.5	Bærekraftig isolasjonsmengde	69
5.3	Videre arbeid	72
6	Konklusjon	73
	Referanser	75

Vedlegg	81
A Byggeindustrien - Reduserte frostdybder i Norge	82
A.1 Reduserte frostdybder i Norge	82
A.2 Forfatterbidrag	83
B Byggeindustrien - Bærekraftig varmeisolering	84
B.1 Bærekraftig varmeisolering	84
B.2 Forfatterbidrag	85
C Utvikling i energiforbruk i norske husholdninger	86
D Energikrav i TEK17	87
D.1 Krav ved energiltak	87
D.2 Krav til netto energibehov for ulike bygningskategorier	88
E Krav og anbefalinger til energiytelse passivhus	89
F Norgeshus Trend2	90
G Inndata SIMIEN	92
H Beregnet energibehov for Trend2	119
I Historisk og fremtidig årsmiddeltemperatur	125
J Resultater - Livssyklusanalyse for Trend2 i Oslo	126
J.1 Resultater fra One Click LCA	126
J.2 Klimagassutslipp fra bygging og strømforbruk	127
J.3 Grafer for samlet klimagassavtrykk over levetiden	129
J.3.1 Utslippsfaktor 17 g CO ₂ e/kWh	129
J.3.2 Utslippsfaktor 31 g CO ₂ e/kWh	130
J.3.3 Utslippsfaktor 74 g CO ₂ e/kWh	131
J.3.4 Utslippsfaktor 130 g CO ₂ e/kWh	132
J.3.5 Utslippsfaktor 17 g CO ₂ e/kWh og 130 g CO ₂ e/kW	133
J.3.6 Alle utslippsfaktorer samlet	134
K Kontroll av metode for konstruksjon av datasett	135
K.1 Historiske kontrollserier	135
K.2 Fremtidige kontrollserier	135

Figurer

1	Energibruk til oppvarming i Norge, NVE	9
2	Inndeling av varmebehov i bygninger	13
3	Årsmiddeltemperatur i Norge fra 1900-2020	15
4	Utvikling av global middeltemperatur fra 1880 til 2020	17
5	Månedsmiddeltemperatur for gammel og ny normalperiode samt for 2020.	19
6	Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til perioden 1961-1990.	20
7	Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til perioden 1991-2020.	20
8	Karakteristiske trekk ved de fire utviklingbanene.	21
9	Forventet økning i global middeltemperatur innen 2100.	22
10	Forventet endring i gjennomsnittlig overflatetemperatur ved RCP2.6 og RCP8.5	22
11	Norges totale klimagassutslipp i 2019.	23
12	Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til 1971-2000.	24
13	Potensielle utviklingsbaner for CO ₂ -faktor g CO ₂ e/kWh	29
14	Trend2 fra Norgeshus	32
15	Detaljtegning av yttervegg for bolighuset Trend2 fra Norgeshus	34
16	Årsmiddeltemperatur for 1961-1990 og 2071-2100 ved RCP8.5.	47
17	Energibehov til oppvarming av Trend2 for 1961-1990 og 2071-2100 ved RCP8.5	49
18	Klimagassutslipp fra Trend2 ved de ulike veggkonstruksjonene, målt i k g CO ₂ e	51
19	Klimagassutslipp knyttet til oppvarming med CO ₂ -faktor 0,130 g CO ₂ e/kWh	52
20	Klimagassutslipp knyttet til oppvarming med CO ₂ -faktor 0,017 g CO ₂ e/kWh	53
21	Klimagassutslipp knyttet til oppvarming med to ulike CO ₂ -faktorer	54
22	Sensitivitetsanalyse for ulike klimaparametre	57
23	Sammenlikning av timesdata for temperatur, historisk mot fremtidig år	58
24	Sammenlikning av timesdata for temperatur, historisk mot fremtidig januar.	58
25	Beregnet historisk energibruk til oppvarming mot kontrollserier	62
26	Beregnet fremtidig energibruk til oppvarming mot kontrollserier	62

Tabeller

1	Relevante definisjoner	6
2	Minimumskrav i TEK17	11
3	Fordeling av oppvarmet og uoppvarmet rom i Trend2.	33
4	Sentral bygningsteknisk informasjon om boligen Trend2 fra Norgeshus	33
5	Tabell for presentasjon av totalt netto energibehov	38
6	Veggtykkelsene som er beregnet med tilhørende tabellerte U-verdier i 471.401	40
7	Beregning av U-verdi til bindingsverk med isolasjon med $\lambda_d=0,034 \text{ W/m}^2\text{K}$	40
8	Oppbygning, materialer og mengder brukt i LCA av yttervegg	41
9	Endring i energibehov til oppvarming av Trend2 fra 1961-1990 til 2071-2100	49
10	Beregnet energibehov for Trend2 i Oslo (Blindern), 1961-1990 mot 2071-2100	50
11	Kontrollberegning av Trend2 i Oslo med TEK-Sjekk Energi mot SIMIEN .	56
12	Endring i energibehov ved konstant endring av timestemperatur	57
13	Kontroll av effekten av flatere historiske datasett	59

1 Introduksjon

Den største trusselen menneskeheten står ovenfor er klimaendringer, i følge FNs generalsekretær (Guterres, 2020). Gjennom internasjonale avtaler, klimatoppmøter, klima-konvensjoner og rapporter har FN satt fokus på temaet siden slutten av 80-tallet. Leder av FNs klimapanel, Hoesung Lee, har uttalt at dersom vi ikke tar grep umiddelbart vil endringene akselerere til et nivå hvor det ikke lenger blir mulig å tilpasse seg (IPCC, 2016). Det er forventet at endringene som kommer i fremtiden vil gi betydelige konsekvenser for mange aspekter av samfunnet. Det gjelder også dimensjoneringsgrunnlaget for det bygde miljø (DiBK, 2021b).

1.1 Bakgrunn

Klimaet er i endring og det råder liten tvil om at menneskelig aktivitet er en del av årsaken. FNs klimapanel sier med 95% sikkerhet at dette er hovedårsaken til den raske oppvarmingen som er observert fra 50-tallet og frem til i dag (Pachauri og Mayer, 2014). Det registreres en økning i ekstremvær, temperatur og nedbørsmengde samt stigende havnivå i hele verden, også i Norge (Klima- og miljødepartementet, 2020). Mye tyder på at dette bare er starten, og at klimaet vil endre seg raskere i fremtiden enn hva som er observert frem til nå (Pachauri og Mayer, 2014). Samfunnets robusthet ovenfor disse endringene er derfor viktigere enn noen gang.

Bygge- og anleggsnæringen står for 40% av både klimagassutslipp og energiforbruk i Norge (RIF, 2019). Med dette følger både et ansvar og et stort potensiale for å bidra til det grønne skiftet. Rådgivende Ingeniørers Forening (RIF) anbefaler i sin rapport *Norges tilstand 2019* at det skal bygges fremtidsrettet og stilles strengere krav til energieffektivitet og levetidskostnader (RIF, 2019). Det finnes per dags dato ingen offisielle krav til levetiden til bygninger i Norge (Kampesæter, Bjørnberg og Listerud, 2009). Det er likevel praksis med en dimensjonerende levetid på 50-60 år. Klimaendringer kan føre til at bebyggelse som oppfyller dagens krav ikke har tilfredsstillende kvalitet i fremtiden (NVE, 2015a). Klimatilpassning av samfunnet som helhet trekkes også frem som et nasjonalt mål fra myndighetenes side (Miljødirektoratet, 2019).

Ved prosjektering av bygninger er det viktig å ha kunnskap om fremtidens klima for å kunne ta gode valg for fremtidig påkjenning fra vær og temperatur. Dette vil sikre levedyktige og bærekraftige bygninger som tilfredsstillende krav til komfort. Det må i løpet av levetiden påberegnes vedlikehold av ulike komponenter, men det er ønskelig at byggets funksjon skal opprettholdes uten store utskiftninger. Dette er fordelaktig for å redusere klimabelastningen fra materiell gjennom bygningens levetid, men vil også ofte være økonomisk gunstig.

Med hastigheten på klimaendringene som forventes vil et bygg som bygges i dag gjennomgå vesentlige klimaendringer gjennom 60 års levetid. Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) har besluttet at klimanormalene skal oppdateres hvert 10. år fra og med 2021 på grunn av de hurtige endringene (WMO, 2014). Når klimanormalene har behov for hyppigere oppdatering tyder det på at dimensjonering av bygninger også har det.

Energieffektivitet er en viktig del av egenskapene til et bygg, og i Norge er det oppvarming som utgjør hovedandelen av det totale energibehovet (Stagrum mfl., 2020). Kravene til energieffektivitet fra byggteknisk forskrift har gradvis blitt strengere de siste tjue årene, som del av planen om å redusere samfunnets totale klimautslipp. Det medfører blant annet bedre varmeisolerte bygninger for å redusere energibehovet. EUs bygningsdirektiv har vedtatt at alle nye bygninger skal være nesten nullenergibyg (nZEB) fra 2020 (EU, 2018). Dette er ikke implementert i norsk regelverk, men gir en indikasjon på hvilken retning utviklingen går.

Målet med skjerpede krav til energieffektivitet og økt varmeisolering er en reduksjon av bygningsmassens totale klimabelastning. Det stilles derimot få krav til den klimapåkjenningen som kommer fra materialer og bygging. Økt veggtykkelse gir økning i materialbruk som igjen gir et økt klimagassutslipp. I tillegg følger andre ulemper ved tykkere vegger, som tap av innvendig areal samt økt kompleksitet i byggefasen. Det er derfor interessant å undersøke hvordan energibehovet påvirkes av klimaendringer og hvorvidt økte isolasjonsmengder i kombinasjon med et stadig varmere klima er hensiktsmessig for den totale klimapåkjenningen.

1.2 Prosjektoppgave - Fremtidige frostdybder i Norge

I forkant av denne masteroppgaven ble det skrevet en prosjektoppgave som omhandlet beregning av frostdybde (H_0) i Norge i perioden 2071-2100 ved hjelp av predikerte frostmengder (F_d). F_d og H_0 benyttes ved dimensjonering av blant annet gulv- og markisolasjon. Gulvisolasjonen reduserer varmetapet gjennom gulvet og medfører redusert energibehov til oppvarming. Markisolasjon og ringmursisolasjon er tiltak for å redusere kuldebro ved fundamentet og å sikre bygningen mot teleskader som følge av frost i grunnen.

Frostdybden i prosjektoppgaven ble beregnet for administrasjonssentrene i alle landets kommuner, og baserte seg på de samme klimafremskrivingene fra IPCC som denne masteroppgaven. Utviklingsbane RCP4.5 og RCP8.5 ble brukt som klimadatagrunnlag, og Meteorologisk institutt har beregnet fremtidige frostmengder og årsmiddeltemperatur på ulike steder i landet. Beregningene ble gjort etter norsk standard, *NS-EN ISO 13793 Bygningers termiske egenskaper - Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv*. Endringene, i forhold til frostdybde fra 1971-2000, ble presentert i form av norgeskart med fargekoder.

Resultatene viste en signifikant endring i frostdybde de aller fleste stedene i Norge om disse utviklingsbanene legges til grunn. For RCP4.5 og RCP8.5 vil henholdsvis 70% og 85% av landets kommuner få en reduksjon i dimensjonerende frostdybde på minst 0,5 meter innen 2100. Enkelte kommuner vil ha rundt én meter reduksjon av frostdybde. De største reduksjonene er i Troms og Finnmark, Nordland og noen kommuner i Innlandet. En av de største endringene beregnes i Vadsø. Normalperiode 1971-2000 gir $H_0 = 2,3$ m. For RCP4.5 og RCP8.5 vil denne reduseres med henholdsvis 0,9 m og 1,2 m innen slutten av dette århundret.

Noen av resultatene fra prosjektoppgaven ble som en del av arbeidet med masteroppgaven bearbeidet og presentert i en artikkel i Byggindustriens 2.utgave i 2021. Artikkelen er vedlagt i denne oppgaven som vedlegg A.

1.3 Formål

Etter å ha undersøkt endringen i dimensjonerende frostdybde er det interessant å videreføre effekten av temperaturøkning til andre aspekter av et bygg. Det er valgt å fokusere på energibruk i bygninger.

Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvordan energibruk til oppvarming av bygninger i Norge vil påvirkes av klimaendringer. I tillegg undersøkes det hvilken isolasjonstykkelse som gir det teoretisk laveste klimagassutslippet gjennom bygningens levetid.

Forskningsspørsmålene er:

1. *Hvordan bruker vi klimadata for å beregne forventet energibruk i bygninger?*
2. *Hvordan vil energibruk til oppvarming variere i landet og i et fremtidig klima?*
3. *Finnes det en optimal isolasjonstykkelse i vegg med tanke på klimagassutslipp?*

1.4 Begrensninger

Omfanget av oppgaven må begrenses på grunn av tid. Energiberegninger og livssyklusanalyse er kun utført for ett bestemt bolighus, som begrenser resultatene til å gjelde denne typen bolig, nemlig Trend2 fra Norgeshus. Energiberegningene for fremtidig situasjon benytter predikerte klimadata med utgangspunkt i nedskalerte globale klimamodeller. Usikkerheten i disse fremskrivingene er ikke vurdert. Av de fire utviklingsbanene IPCC presenterer er det kun sett på RCP8.5, ofte kalt *business as usual*.

Beregning av energibehov er begrenset til elleve steder i Norge og miljøbetraktningene rundt optimal isolasjonsmengde er kun gjort for Oslo (Blindern). Studien av optimal isolasjonsmengde med hensyn til klimagassutslipp er kun utført med varierende varmeisolasjonsmengde i vegg. Isolasjonsmengde i andre bygningsdeler er beholdt som for TEK17-varianten av huset. Det er heller ikke tatt hensyn til andre faktorer enn klimagassutslipp, som for eksempel økonomi eller komfort.

1.5 Leserveiledning

Oppgaven består av seks kapitler med tilhørende vedlegg. En kort oversikt over innhold i de ulike delene presenteres nedenfor.

- Kapittel 1** Introduksjon. Presenterer bakgrunn og formål med oppgaven, samt forsknings- spørsmål og overordnede begrensninger ved oppgavens omfang.
- Kapittel 2** Teori. Inneholder teori om ulike tema som anses som sentrale med tanke på å forstå grunnlaget for oppgaven. Teorien er også relevant for helhets- forståelse av problemstillingen og resultatene, samt medvirker til å svare på forskningsspørsmålene.
- Kapittel 3** Metode. Beskrivelse av metode som er benyttet, både for innhenting av bakgrunnsteori og metode for utførte beregninger.
- Kapittel 4** Resultater. Presentasjon av de mest sentrale resultatene fra beregninger som er utført. Flere og mer detaljerte resultater presenteres som vedlegg.
- Kapittel 5** Diskusjon. Inndelt i to delkapitler hvor det første omhandler diskusjon av metode. Det innebærer kontroller og sensitivitetsanalyser som er utført i forbindelse med klimadata og energiberegninger. Del to er diskusjon av resultater, mulige feilkilder og implikasjoner av resultatene.
- Kapittel 6** Konklusjon. Gir en oppsummering av hvilke resultater oppgaven har kommet frem til og de mest sentrale effektene av dette.
- Vedlegg** Inneholder noe supplement til teorikapitlet, inndata til beregninger som beskrives i metodekapitlet samt fullstendige beregningsresultater som understøtter det som er presentert i resultatkapitlet. Vedlegget innehol- der også to artikler publisert i Byggeindustrien som omhandler resultater fra prosjekt- og masteroppgave.

1.6 Definisjoner

Det er hensiktsmessig å definere noen grunnleggende begrep i forbindelse med oppgaven.

Bruksareal:	(BRA) areal innenfor omsluttende vegger (NS 3031, 2020).
Driftstid:	andelen av tiden bygningen har normal personbelastning (NS 3031, 2020).
Flerfunksjonsbygg:	en bygning som faller innenfor mer enn én av de 13 bygningskategoriene definert av NS 3031 (NS 3031, 2020).
Fyringssesong :	perioden av året med behov for oppvarming av boliger. Defineres i Norge fra når døgnmiddel synker under 11°C om høsten til den stiger over 9°C om våren (Byggforsk, 1990).
Klimanormal:	gjennomsnitt av været i løpet av en periode på tretti år (Meteorologisk institutt, 2021)
Klimatologisk sommer:	når døgnmiddeltemperaturen er over 10°C (Tajet, 2021)
Klimatologisk vinter:	når døgnmiddeltemperaturen er under 0°C (Tajet, 2021)
Kuldebro:	(ψ) differanse mellom varmetap gjennom tilslutningen mellom bygningsdeler og varmetap gjennom bygningsdelen i seg selv (Byggforsk, 2019a).
Levetid:	tiden som bygningen eller bygningsdelen oppfyller krav til ønsket funksjon (Byggforsk, 2017).
Netto energibehov:	bygningens energibehov uten å ta hensyn til virkningsgrad til energisystemet eller tap i energikjeden (NS 3031, 2020).
Normalperiode :	definerte trettiårsperioder for klima fra WMO (Meteorologisk institutt, 2021)
nZEB:	nearly Zero Energy Building (nesten nullenergibygg) (EU, 2018)

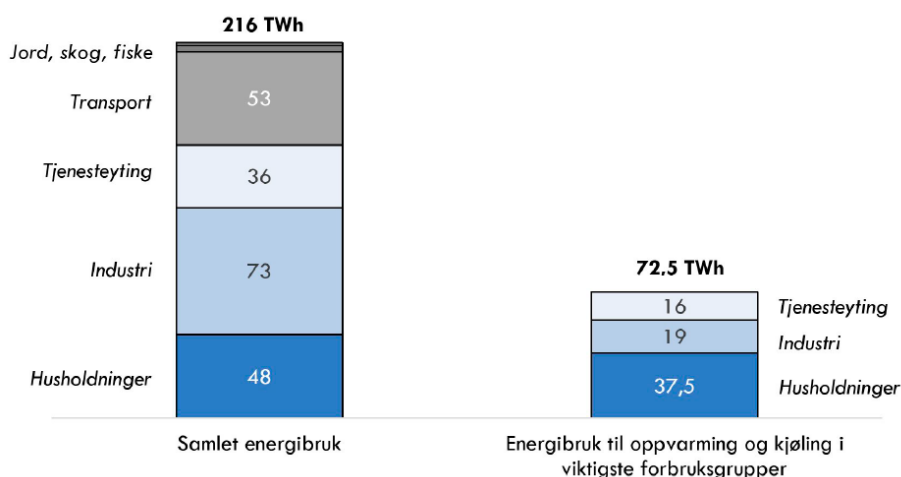
Oppvarmet BRA:	areal innenfor omsluttende vegger som tilføres varme eller kjøling fra byggets systemer (NS 3031, 2020).
Frostdybde:	(H_0) frostnedtrengningsdybde i grunnen (Byggforsk, 2018a).
Frostmengde:	(F_d) 24 ganger summen av differansen mellom 0°C og daglig midlere utetemperatur i frostsesongen. Måles i h°C (Byggforsk, 2018a).
Markisolasjon:	isolasjon som plasseres i grunnen og føres et stykke utenfor konstruksjonen som telesikres, for å hindre at frost trenger ned under konstruksjonen (Byggforsk, 2019b).
RCP	Representative Concentration Pathways, eller utviklingsbaner for fremtidig klima (Pachauri og Mayer, 2014).
Standard referanseår :	referanseår med klimadata fra Oslo-området (NS 3031, 2020).
Strålingspådriv	økningen i differansen mellom varmestråling jorden mottar fra solen og varmestråling jorden sender ut. [W/m^2] (Bjørnæs, 2013).
Varmekonduktivitet:	(λ) materialets evne til å lede varme. Lav varmekonduktivitet betyr god isoleringsevne (Byggforsk, 2020).
Varmekapasitet:	hvor mye energi som tas opp eller avgis ved temperaturendringer (Byggforsk, 2018b)
ZEB:	Zero Emission Building, bygg som produserer nok fornybar energi til å kompensere for klimagassutslipp (Fufa mfl., 2016).
Årsmiddeltemperatur:	(θ_m) gjennomsnittlig døgnmiddeltemperatur over en trettiårsperiode (Byggforsk, 2018a).

2 Teori

2.1 Energibruk i bygninger

I 2018 var samlet innenlands energibruk 216 TWh i Norge, hvor 48 TWh gikk til private husholdninger (Magnussen, 2020). I følge Statistisk sentralbyrå (SSB) var gjennomsnittlig energibruk til oppvarming per husholdning i 2012 omtrent 20 000 kWh (Bøeng, 2014). Det er store regionale forskjeller i energibruken, noe som skyldes både lokalt klima og hvilken boligtype som er dominerende. Eneboliger har et høyere spesifikt energiforbruk enn mindre leiligheter (Bøeng, 2014).

Det skilles mellom grunnlast, som inkluderer alle tekniske systemer, og energi til kjøling og oppvarming av rom og varmtvann (Byggforsk, 1991). Oppvarming er den største energi-posten, og utgjør omtrent 80% (37,5 TWh) av totalt forbruk i norske husholdninger. Se figur for fordeling av energi på ulike sektorer 1 (NVE, 2019b). Varmtvann står for omtrent 1/3 av dette, som betyr 2/3 til romoppvarming. Nye boliger er som regel bedre isolert, og bruker mindre energi til oppvarming av rom (Asplan Viak, 2016). Oppvarmingsbehovet avhenger hovedsakelig av utforming av boligen, klima på det aktuelle stedet, systemer for oppvarming samt beboerens vaner (Byggforsk, 1990). Energien går til å opprettholde tilfredsstillende inneklima (Byggforsk, 1991). Norske boliger bruker i hovedsak ikke energi til kjøling, og neglisjeres i rapportering av energibruk fra Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) (Magnussen, 2020).



Figur 1: Fordeling av energibruk i Norge på ulike sektorer og mengde som går til oppvarming og kjøling. Tall for 2018 (Magnussen, 2020).

Omtrent 80% av energien forbrukt i norske boliger kommer fra elektrisitet, som ligger langt over gjennomsnittet på 20% i verden (Magnussen, 2020). På verdensbasis er oppvarming av boliger primært drevet av olje og gass (Li, Yang og Lam, 2012). I følge tall fra Miljødirektoratet utgjør klimagassutslipp knyttet til oppvarming av bygninger 2% av Norges samlede utslipp (Miljødirektoratet, 2020).

I likhet med de andre skandinaviske landene har energibruken per husholdning i Norge gått ned siden 90-tallet (Bøeng, 2014). Strengere krav til bygninger fører til mer energieffektive bygg, både på grunn av redusert varmetap gjennom bygningsskallet og økt bruk av energieffektiv belysning, varmepumper eller liknende (Bøeng, 2014). SSB påpeker også at et mildere klima er noe av grunnen til den redusert energibruken. Fra 2001 til 2012 har andelen husholdninger i Norge med varmepumper steget fra tilnærmet 0 til 27%. Se vedlegg C for figur som viser utviklingen i energibruk, hentet fra SSB. Det er i samme periode vært en økende mengde boligblokker og leiligheter i forhold til eneboliger, sammenliknet med tidligere (Bøeng, 2014). På verdensbasis er energibruken per husholdning relativt uendret. Totalt sett har den samlede energibruken til husholdninger i Norge gått opp, men det skyldes blant annet en økning i antall boliger (Aanensen og Holstad, 2018).

2.1.1 Krav til energieffektivitet

Byggteknisk forskrift (TEK17) stiller krav til ulike minimumsverdier knyttet til en bygningens energiytelse. Kravene gjelder både for nybygg og ved ombygging. Minstekrav til energieffektivitet er angitt i forskriftens kapittel 14, som generelt krever at det skal tilrettelegges for forsvarlig energibruk i bygningene (TEK17, 2017).

Dokumentasjon av oppfylte krav kan gjøres på to måter; ved energiltak eller energiramme. For boligbygninger kan det velges fritt mellom de to metodene, men for mer komplekse bygg skal energirammemetoden benyttes (DiBK, 2018). Energiltaksmetoden oppfylles ved å følge en rekke definerte krav til bygningskomponenter og systemer gitt av TEK17. Metoden gir mindre valgfrihet enn ved energiramme, men er enklere å gjennomføre da den ikke krever beregninger (Byggforsk, 2016). Se vedlegg D.1 for hvilke krav som må oppfylles for å tilfredsstille energiltaksmetoden. Rammekravsmetoden oppfylles ved å dokumentere at bygningens netto energibehov per kvadratmeter oppvarmet bruksareal (BRA) ikke overskrider en maksimalverdi gitt i gjeldende byggtekniske forskrift (TEK17, 2017). Beregningene skal gjøres i henhold til NS 3031 eller med beregningsprogram validert etter samme standard.

Netto energibehov omhandler energibehovet til romoppvarming og -kjøling, ventilasjonsvarme og -kjøling, varmtvann, vifter, pumper, belysning og teknisk utstyr. Det tallfestede kravet er avhengig av bygningskategori. For boligbygg er det følgende maksimale verdier som er gjeldende;

- Småhus og fritidsbolig: $100 \text{ kWh/m}^2 + 1600 \text{ kWh/oppvarmet BRA [m}^2\text{] per år}$.
- Boligblokk: $95 \text{ kWh/m}^2 \text{ oppvarmet BRA per år}$.

Det andre leddet i kravet til småhus justerer for det relativt store arealet av yttervegg i forhold til gulvareal (DiBK, 2018). Se vedlegg D.2 for krav til resterende bygningskategorier. I tillegg til dokumentasjon av tilstrekkelig energieffektivitet skal minimumskrav til U-verdi og lekkasjetall overholdes. Dette er for å sikre at byggets ytelse er over en minstestandard. Grenseverdiene vises i tabell 2.

U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	U-verdi tak [W/(m ² K)]	U-verdi gulv på grunn og mot det fri [W/(m ² K)]	U-verdi vindu og dør inkludert karm/ramme [W/(m ² K)]	Lekkasjetall ved 50 Pa trykkforskjell (luftveksling per time)
≤ 0,22	≤ 0,18	≤ 0,18	≤ 1,2	≤ 1,5

Tabell 2: Minimumskrav for gjennomsnittlige verdier til bygningskomponenter. Kravene gjelder for gjennomsnittsverdier (TEK17, 2017).

Et passivhus eller en lavenergibygning er et bygg med vesentlig lavere energibehov til oppvarming og kjøling, samt lavere varmetapstall enn andre bygninger. Passivhusstandarden for boligbygninger, NS 3700, stiller krav til utførelse av passivhus i Norge. Den angir maksimalt netto energibehov til oppvarming og kjøling, men ikke til bygningens totale energibehov. Øvre grense justeres dersom årsmiddeltemperatur er lavere enn 6,3°C og for oppvarmet BRA mindre enn 250 m² (NS 3700, 2013). I tillegg angir standarden minstekrav til ulike egenskaper som er strengere enn minstekrav i TEK17. Hvilke krav og anbefalinger som gjelder er gitt i vedlegg E.

2.1.2 Beregning av energibruk i bygninger

Både beregning av energibehov og dokumentasjon av resultatet skal gjøres etter NS 3031 *Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning*. I den norske spesifikasjonen kan det velges fritt mellom å følge beregningsmetoder gitt i de europeiske standardene (EPD-standarder) eller ved beregningsprogram som tilfredsstilles av NS-EN 15265:2007 (NS 3031, 2020). Energiforbruket avhenger av bygningsskallets fysiske egenskaper i samspill med de tekniske systemene i bygningen. Hvilke inndata som kreves i beregningen angis av NS 3031, og omhandler blant annet;

- Areal og U-verdi til yttervegg, tak, gulv, vinduer/dører
- Oppvarmet BRA og luftrom
- Normalisert kuldebroverdi
- Lekkasjetall (n_{50})
- Solfaktor (g_t)
- Ventilasjonsmengder
- Energiforbruk til belysning og utstyr
- Energiforbruk til varmtvann
- Interne varmetilskudd
- Innnetemperatur
- Virkningsgrad til systemene
- Klimadata, omtales i del 2.2.1.

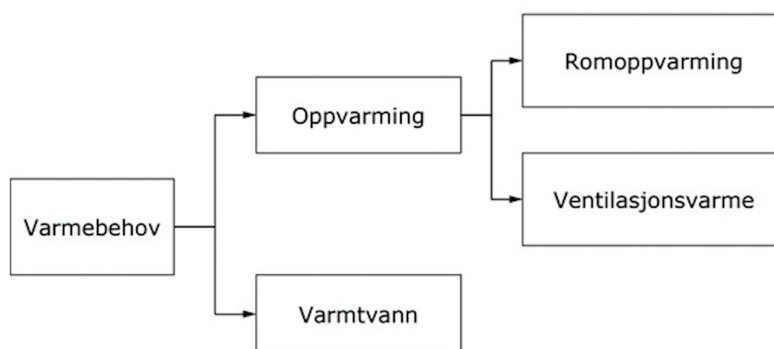
Normerte inndata kan brukes ved mangel på data om det spesifikke tilfellet (NS 3031, 2020). Resultatet kan da ikke sammenliknes med det reelle forbruket til en bygning på et gitt sted, men det er tilstrekkelig for dokumentasjon av bygningens energiytelse (NS 3031, 2020).

Beregning av energibehov til oppvarming gjøres etter kapittel 7.1.1 i NS 3031. Flerfunksjonsbygg skal beregningsmessig deles inn i soner ut i fra bygningskategori (NS 3031, 2020). Bygget skal også inndeles i soner dersom det er vesentlige forskjeller i oppvarmingsbehov, soltilskudd, ventilasjonsmengde eller internt varmetilskudd (NS 3031, 2020). En bolig kan i det fleste tilfeller beregnes som én sone (NS 3031, 2020).

2.1.3 Krav til oppvarming og kjøling i Norge

§13 i TEK17 stiller krav til inneklimate for å hindre helseskader og nedsatt komfort (TEK17, 2017). Termisk inneklimate er avgjørende både for komfort og vekst av mikroorganismer i boligen (TEK17, 2017). Dagens standard krever at inneklimate i boliger skal være lite påvirket av klima ute, både når det gjelder temperatur, vindhastighet og fuktnivå (SINTEF og NTNU, 2007).

For å opprettholde tilfredsstillende termisk inneklimate anbefaler TEK17 at lufttemperaturen er 19-26°C i rom beregnet for lett arbeid. Nedre grense bør alltid kunne overholdes, men det anses som akseptabelt at øvre grense overskrides dersom lufttemperaturen ute er over det som kun overskrides av 50 timer i et normalår (TEK17, 2017). For boligbygg uten kjøling aksepterer forskriften en høyere temperaturer i perioder, fordi det antas at brukeren kan regulere temperaturen ved åpning av vinduer og andre passive tiltak. I de fleste tilfeller vil det øvre kravet til innetemperatur kunne overholdes ved å kun benytte seg av passive tiltak for kjøling i Norge, i følge TEK17 (2017). Byggteknisk forskrift stiller ikke krav til at boliger skal utføres uten behov for mekanisk kjøling, men det gjør passivhusstandarden NS 3700 (Byggforsk, 2013).



Figur 2: Varmebehov i bygninger deles inn i oppvarming, med romoppvarming og ventilasjonsvarme, og varmtvann (TEK17, 2017)

Varmebehovet i bygninger deles inn i oppvarming og varmtvann, som vist i figur 2. Etter TEK er det ikke tillatt å installere varmesystemer drevet på fossilt brensel (TEK17, 2017). Dette kravet ble innført med TEK10. For bygninger med BRA større enn 1000 m² er det i tillegg krav om flere tilgjengelige oppvarmingskilder, samt tilrettelegging for lavtemperatur løsninger for oppvarming (TEK17, 2017). Med lavtemperatur varmeløsninger menes oppvarming gjennom utnyttelse av blant annet spillvarme og grunnvann (TEK17, 2017).

2.2 Bruk av klimadata ved energiberegninger

For å kunne gjøre tilpasset og realistisk modellering og beregning av bygningers ytelse er det nødvendig å ta hensyn til klima der bygningen befinner seg. Klima og vær kan variere mye fra år til år, som skaper et behov for å konstruere et referanseår som representerer den typiske klimasituasjonen over en lengre periode (Kim mfl., 2017). Referanseåret skal gjenspeile den normale klimasituasjonen et gitt geografisk sted. NS 3031 stiller krav til klimadata som benyttes i energiberegningene.

2.2.1 Nødvendig klimadata for oppvarmingsbehov

Energibruk til oppvarming av bygninger er sterkt avhengig av utendørs klima og nøyaktighet av klimadataene er avgjørende for kvaliteten på energiberegningene (NS 3031, 2020).

Dersom formålet kun er å dokumentere bygningens energiytelse, som blant annet ved energi-klassifisering, er det tillatt å benytte standard referanseklimate (NS 3031, 2020). Standard referanseklimate inneholder data fra Oslo, og kan lastes ned fra Standard Norge. Datasettet inneholder timesverdier for ett kalenderår (8760 timer). For beregning av reelt energibehov må det benyttes lokale klimadata for bygningens geografiske plassering (NS 3031, 2020).

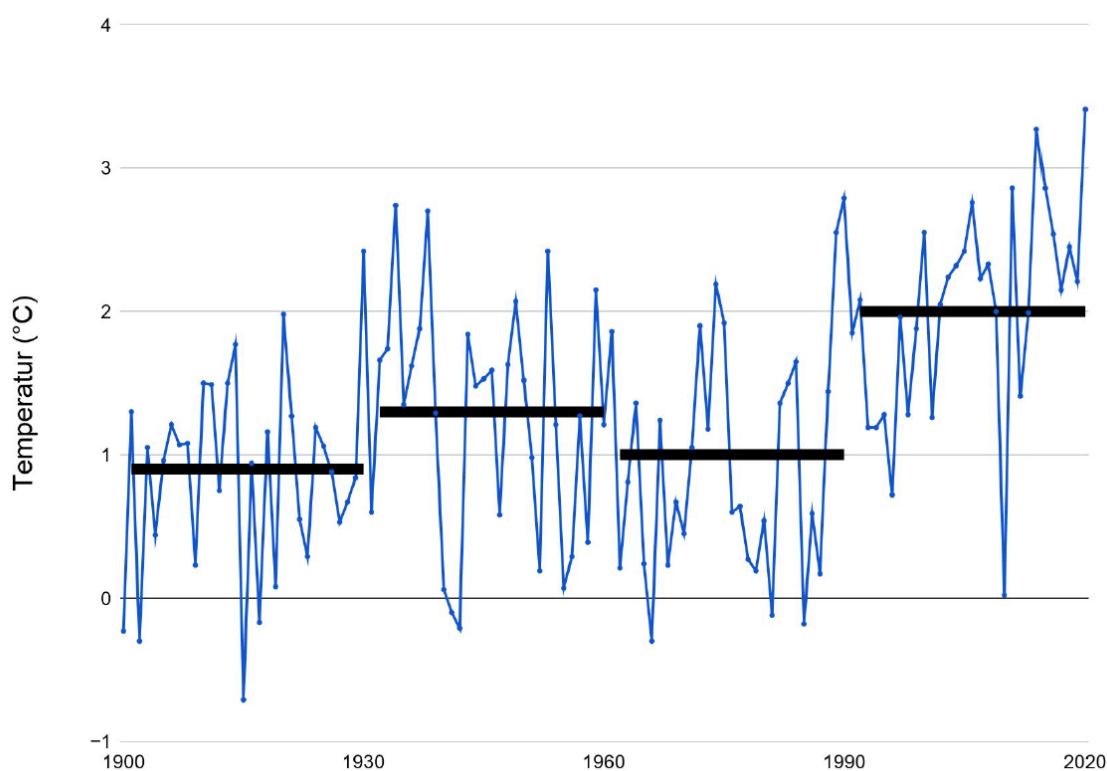
Klimadata skal beregnes og presenteres etter NS-EN ISO 15927 *Bygningers hygrotermiske egenskaper - Beregning og presentasjon av klimadata*. Standarden presenterer metode for å konstruere et referanseår for beregning av årlig gjennomsnittlig energibehov til oppvarming og kjøling (ISO 15927-4, 2005). Referanseåret skal inneholde timesdata for et helt år for følgende klimatologiske elementer:

- Lufttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]
- RF [%]
- solstråling (direkte og diffus) [W/m^2]
- vindhastighet [m/s] - *mindre viktig for energiberegning (ISO 15927-4, 2005)*

Dersom det ikke eksisterer timesdata skal det benyttes lineær interpolasjon eller annen godkjent metode for estimering (ISO 15927-4, 2005). Plutselige, store avvik fra normalen skal undersøkes og eventuelt korrigeres.

2.2.2 Normalperioder

For å uttrykke hva som kan regnes som normalt klima i et område er det opprettet klimanormaler. En normalperiode er en periode på 30 år hvor gjennomsnittlige verdier av meteorologisk data, som temperatur, vind og nedbør, er beregnet (Meteorologisk institutt, 2019). Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) bestemmer hvilke 30-årsperioder som skal være standard normalperioder (Meteorologisk institutt, 2019). Tidligere normalperioder har vært 1901-1930, 1931-1960 og 1961-1990. Figur 3 viser gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur fra de tre foregående normalperiodene, samt den nye perioden 1991-2020. Den nye normalperioden trådte i kraft januar 2021. WMO har bestemt at klimanormalene skal oppdateres hvert tiende år heretter (Tajet, 2021).



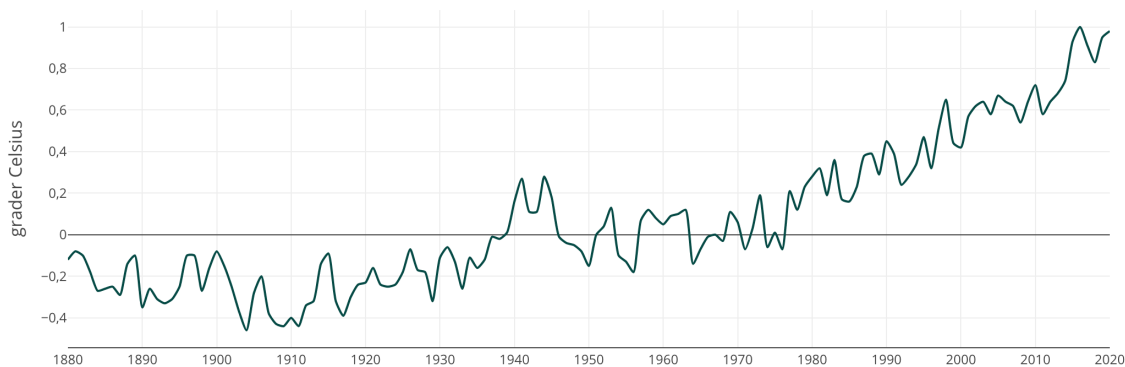
Figur 3: Årsmiddeltemperatur fra 1900 frem til 2020. Gjennomsnittlig temperatur for de tre tidligere samt den nye normalperioden 1991-2020 er indikert med rette linjer (Tajet, 2021)

Normaler er nyttig for å beskrive klimaet og brukes som en felles referanseperiode for været (Tajet, 2021). Normalene brukes blant annet ved dimensjonering, men også for å kunne kommunisere hva som er normalt og unormalt vær (Tajet, 2021). Normalperiodene er på 30 år for å unngå at enkeltår med store avvik fra gjennomsnittet påvirker datasettet i stor grad (Meteorologisk institutt, 2021).

Det er i utgangspunktet relativt enkelt å lage klimanormaler, så lenge datagrunnlaget er godt (Meteorologisk institutt, 2019). Det er derimot ikke alle værstasjoner som har kontinuerlig data fra de siste 30 årene. Dette gjør jobben betydelig mer komplisert, da det må interpoleres mellom måledata (Meteorologisk institutt, 2019). Dette er hovedårsaken til at klimanormalene ikke oppdateres hvert år (Tajet, 2021). Det ble imidlertid beregnet ny normal for perioden 1971-2000 i Norge, til tross for at dette ikke er en offisiell normalperiode fra WMO (Meteorologisk institutt, 2019). 1971-2000 er brukt som referanseperiode i flere klimarapporter, blant annet *Klima i Norge 2100*.

2.3 Global oppvarming

Mennesker har påvirket sine omgivelser i årtusener, og nå kan innvirkningen virkelig sees på globalt nivå. På verdensbasis har årsmiddeltemperaturen steget med tilnærmet 1°C siden 1850, som regnes som førindustriell tid (Pachauri og Mayer, 2014). Mesteparten av økningen har foregått etter 1950, og utviklingen vises i figur 4.



Figur 4: Utvikling av global middeltemperatur fra 1880 til 2020 relativt til gjennomsnittstemperaturen i perioden 1900-1999 (Miljødirektoratet, 2021).

FNs klimapanel slår fast at menneskelig aktivitet er en stor medvirkende årsak, og at konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren aldri har vært høyere (Pachauri og Mayer, 2014).

2.3.1 Temperaturøkning i verden frem til i dag

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ble stiftet i 1988 av FN og WMO (Pachauri og Mayer, 2014). Oppgaven til IPCC er å utarbeide rapporter basert på vitenskapelig, teknologisk og samfunnsøkonomisk informasjon om klimaendringenes årsak, størrelse, fremtidige utfordringer. De har også oppgaven å undersøke hvordan verden kan takle det. Informasjonen skal være til hjelp for verdens ledere når beslutninger som angår klima skal tas (Pachauri og Mayer, 2014). Det er svært mange faktorer som påvirker utfallet av et klima i endring, og IPCC benytter seg av flere komplekse modeller for å kunne gi et nyansert bilde av situasjonen verden befinner seg i.

Den forrige hovedrapporten, Fifth Assessment Report (AR5) ble publisert i 2014. Den fastslo at trettiårsperioden 1982-2012 var den varmeste noensinne registrert på den nordlige halvkule, hvor det i tillegg ble gradvis varmere innad i perioden (Pachauri og Mayer, 2014). I følge AR5 er det, med 95% sikkerhet, utslipp av klimagasser fra menneskelig aktivitet som er hovedårsaken. Det må også forventes at den globale middeltemperaturen vil stige i årene fremover (Pachauri og Mayer, 2014). 2020 tangerte 2016 når det gjelder varmeste år registrert på jorda (WMO, 2021). Den globale middeltemperaturen ble registrert til $14,9^{\circ}\text{C}$, som er $1,2^{\circ}\text{C}$ over førindustriell tid. De seks varmeste årene som er registrert har alle vært etter 2014 WMO (2021).

Det er de arktiske områdene som opplever den mest drastiske stigningen i temperatur, og i følge IPCC vil det fortsette å være slik i fremtiden. Klimamodellene som klimapanelet benytter seg av viser også en tendens til økning av veldig kalde og varme perioder (Pachauri og Mayer, 2014).

AR6 er foreløpig under arbeid, og forventes publisert i juni 2022 (IPCC, 2021).

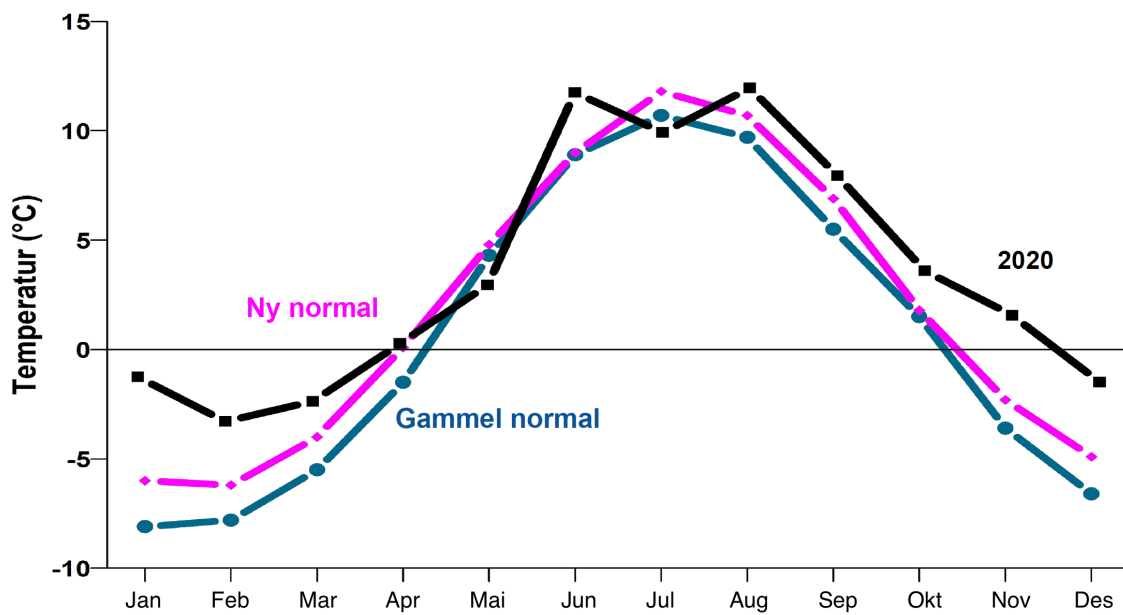
2.3.2 Temperaturøkning i Norge frem til i dag

Siden 1900 har gjennomsnittstemperaturen i Norge økt med omtrent 1°C , og spesielt de siste 40 årene er en markant økning i temperatur observert (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Størrelsen på temperaturøkningen varierer rundt om i landet, og økningen er ikke lik for alle årets sesonger. Etter 1987 er det et fåtall vintre som har vært kaldere enn hva normalklima fra perioden 1961-1990 tilsier (Bøeng, 2014). Det er spesielt de kalde månedene som blir varmere, og endringen er størst der klimaet er kaldest. Det vil si størst i Finnmark og minst på Vestlandet (Hanssen-Bauer mfl., 2015).

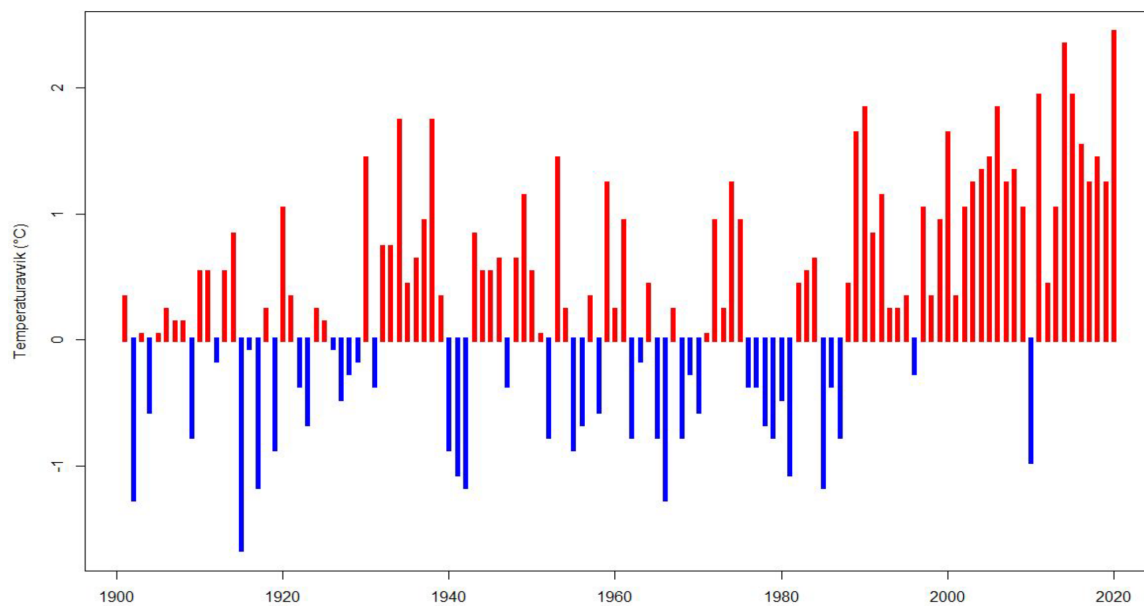
2020 ble historisk med den høyeste registrerte middeltemperaturen noensinne; $2,4^{\circ}\text{C}$ over normalen fra 1961-1990 (Wahl, Heiberg og Kuya, 2021). Det ble registrert ny nasjonal varmere rekord for januar i Sunndalsøra med 19°C , og gjennomsnittet for november har aldri vært registrert varmere. Mai var derimot den kaldeste på over 20 år, og det ble satt kulderekord i Jotunheimen i juli (Wahl, Heiberg og Kuya, 2021). Se figur 5 for månedlig gjennomsnittstemperatur på landsbasis i 2020, sammen med den gamle og den nye normalperioden.

Den nye klimanormalen (1991-2020) ligger i snitt 1°C over forrige normalperiode fra 1961-1990. Endringen varierer mellom $0,8^{\circ}\text{C}$ og $1,2^{\circ}\text{C}$ rundt om i landet (Grinde mfl., 2020). Den nye normalen har litt kortere klimatologisk vinter (-22 dager) og litt lengre klimatologisk sommer (+12 dager) (Berger, 2021). Den er også våtere enn den forrige. Som vist i figur 5 lå månedsmiddeltemperaturene i 2020 høyere enn den nye normalperioden i de aller fleste månedene.

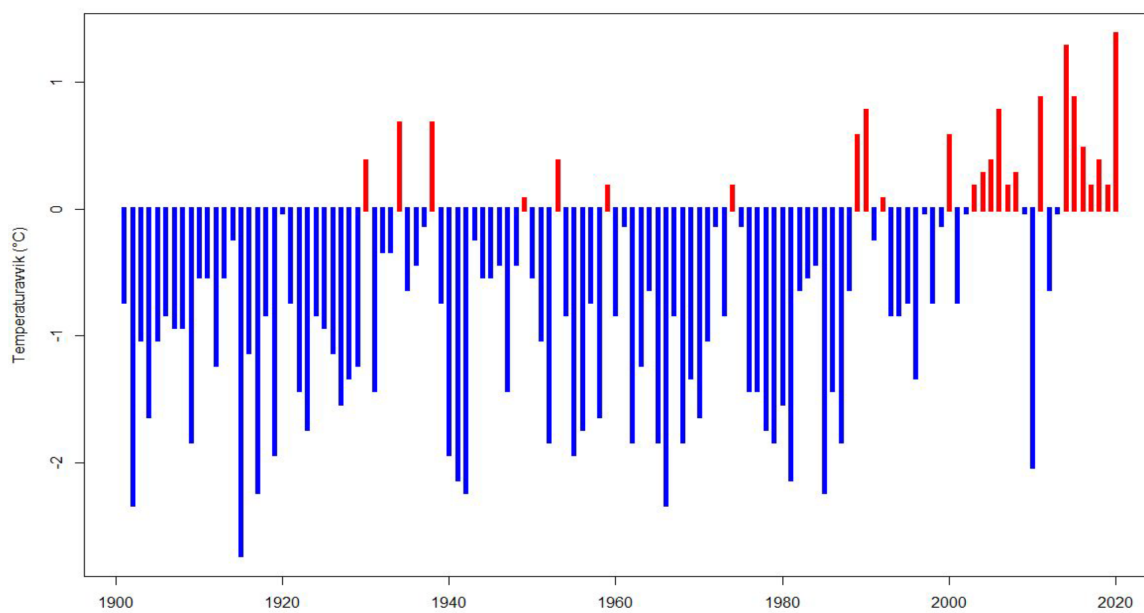
Etablering av ny klimanormal medfører blant annet at dimensjoneringsgrunnlaget for bygninger endres. Med ny normal dimensjoneres bygninger for et klima som likner mer på dagens klimasituasjon (Meteorologisk institutt, 2019). Dette endrer ikke på klimadataene, men referansepunktet flytter seg. Årsmiddeltemperatur de siste 120 årene i forhold til den gamle og den nye normalen vises i figur 6 og 7.



Figur 5: Månedsmiddeltemperatur for gammel (1961-1990) og ny (1991-2020) normalperiode sammen med månedsmiddel for 2020 (Wahl, Heiberg og Kuya, 2021)



Figur 6: Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til middeltemperaturen i normalperioden 1961-1990. (Tajet, 2021)



Figur 7: Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til middeltemperaturen i normalperioden 1991-2020. (Tajet, 2021)

2.3.3 Utviklingsbanene fra IPCC

Det er mange usikkerheter knyttet til fremtidig situasjon når det gjelder størrelsen på klimagassutslippet, men også befolkningsvekst og utvikling av økonomi og teknologi. IPCC presenterer derfor fire ulike utviklingsbaner (Representative Concentration Pathways, RCP) for å forutsi mulige fremtidige klimasituasjoner (Pachauri og Mayer, 2014).

Utviklingsbanene er utarbeidet av ulike forskningsgrupper rundt om i verden ved hjelp av Integrated Assessment Models som tar hensyn til den komplekse situasjonen (Pachauri og Mayer, 2014). De gis karakteristiske navn etter antatt strålingspådriv i år 2100. Strålingspådriv er differansen mellom solenergi som treffer jorden og varmeenergi som jorden stråler ut til verdensrommet (Bjørnæs, 2013). Strålingspådriv måles i watt per kvadratmeter. Økt strålingspådriv fører til oppvarming.

De fire utviklingsbanene omtalt i Fifth Assessment Report er:

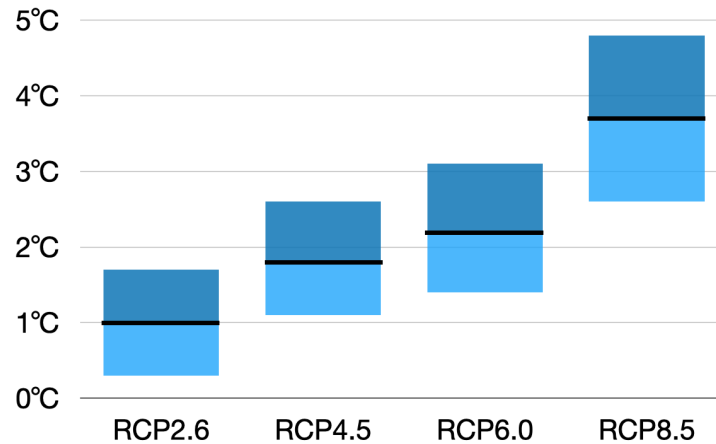
- RCP2.6
- RCP4.5
- RCP6.0
- RCP8.5

RCP2.6 er den eneste utviklingsbanen som klarer togradersmålet nedfelt i Parisavtalen (FN, 2015). RCP8.5 er ofte kalt *business as usual*, og gjenspeiler situasjonen IPCC forventer i 2100 dersom utviklingen fortsetter som i dag, uten tiltak for å bremse den. RCP4.5 og RCP6.0 representerer to scenarioer med middels utslipp av klimagasser. En forenklet oversikt over hva som karakteriserer de ulike banene er presentert i figur 8.

RCP2.6 - Lavt utslipp	RCP4.5 - Middels utslipp	RCP6.0 - Middels utslipp	RCP8.5 - Høyt utslipp
Klimagassutslipp halveres innen 2040 og når null innen 2080	Utslipp øker frem mot 2040 før de avtar	Utslipp øker med 75% frem til 2060 før de reduseres	Utvikling i utslipp fortsetter som nå
Negativt CO ₂ -utslipp fra 2080 til 2100		CO ₂ -utslippene er 25% over dagens nivå i 2100	CO ₂ -utslippet er tredoblet dagens nivå innen 2100
Reduserer metanutslipp med 40%	Stabile metanutslipp	Stabile metanutslipp	Økning i metanutslipp
Befolkning på 9 milliarder i 2100			Befolkning på 12 milliarder i 2100
Ambisiøse utslippsreduksjoner og svært streng klimapolitikk	Redusert areal til dyrket mark og høy skogplanting	Noe økning i areal til dyrket mark	Økt areal til dyrket mark som følge av befolkningsvekst
	Streng klimapolitikk	Tar i bruk teknologi og ulike strategier for å bedre klima	Totalt fravær av klimapolitikk
Midlere global oppvarming 1°C	Midlere global oppvarming 1,8°C	Midlere global oppvarming 2,2°C	Midlere global oppvarming 3,7°C

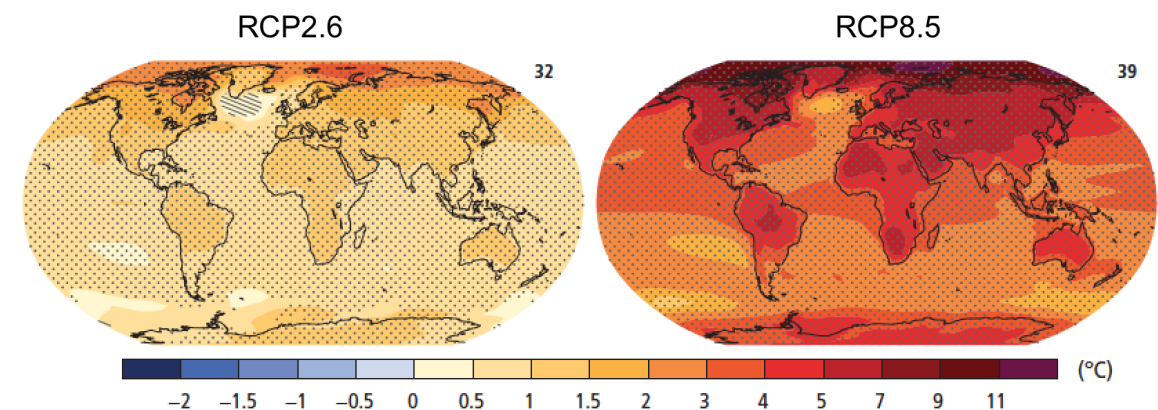
Figur 8: Karakteristiske trekk ved de fire utviklingsbanene. Global oppvarming er gitt som et intervall om middelveidien. Informasjon hentet fra AR5 av Pachauri og Mayer (2014).

Samtlige utviklingsbaner gir en ytterligere økning i middeltemperatur på 0,3-0,7 °C frem mot 2035 (Pachauri og Mayer, 2014). Etter dette øker forskjellene i forventet global oppvarming. Global oppvarming betyr ikke at alle steder på jorden vil oppleve den samme økningen i temperatur, men at den globale gjennomsnittstemperaturen nær jordoverflaten vil øke på sikt (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Figur 9 viser et intervall for forventet temperaturøkning ved de ulike utviklingsbanene.



Figur 9: Forventet økning i global middeltemperatur innen 2100, relativt til perioden 1986-2005 ved de ulike utviklingsbanene. Sort linje indikerer medianverdien og det blå området viser variasjon i estimatet. Informasjon hentet fra AR5 av Pachauri og Mayer (2014).

Dersom utslipp av klimagasser øker tilsvarende dagens situasjon (RCP8.5) forventer IPCC at global middeltemperatur vil øke med omtrent 0,2°C hvert tiår (Miljødirektoratet, 2018). Det vil si at verden vil passere målet om maksimalt 1,5°C temperaturøkning innen 2050. Det vil være store variasjoner i størrelsen på temperaturøkningen rundt omkring i verden, og figur 10 illustrerer hvordan oppvarmingen varierer med geografi.

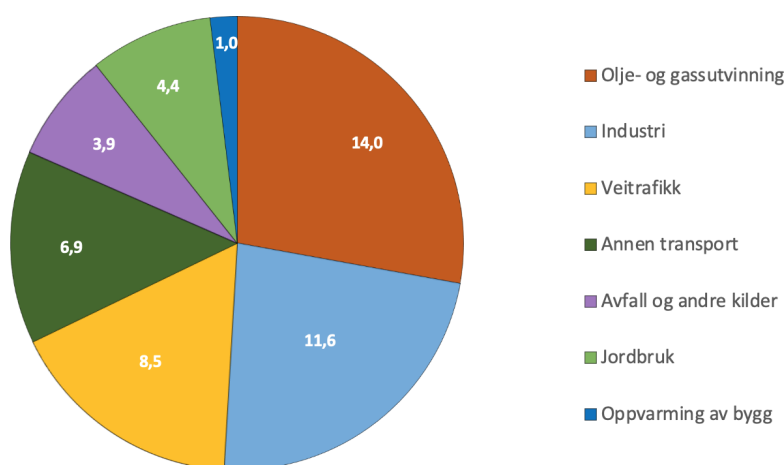


Figur 10: Forventet endring i gjennomsnittlig overflatetemperatur ulike steder i verden i år 2081-2100 ved RCP2.6 og RCP8.5, relativt til perioden 1986-2005. [Figur SPM. 7 fra Pachauri og Mayer (2014)]

2.3.4 Utslippskutt og fremtidsutsikter

Gjennom Parisavtalen har de aller fleste land forpliktet seg til å bidra til å begrense global oppvarming til 2°C, og helst holde den under 1,5°C (FN, 2015). Det tilsvarer forløpet til utviklingsbane RCP2.6. For å oppnå dette har EU satt som mål at klimagassutslippene skal reduseres med 55% innen 2030, relativt til 1990. Det inkluderer klimagassopptak fra skog (Andreassen, Farstad og Kallbekken, 2021). Dette er et steg i planen mot at verden skal bli klimanøytrale innen 2100 (FN, 2015). Alle landene forplikter seg til å sette nasjonale utslippsmål og legge frem en plan for å nå dem. Planen skal oppdateres hvert femte år fra og med 2020, og fra 2024 skal fremdriften rapporteres inn (FN, 2015). Av den grunn finnes det foreløpig lite offentlig tilgjengelig dokumentasjon på hvordan landene ligger an.

I Norge er det olje- og gassutvinning som står for den største andelen CO₂-utslipp, tett etterfulgt av industri og transport. I følge tall fra SSB ga oppvarming av bygninger et utslipp i underkant av 1 million tonn CO₂-ekvivalenter i 2019, som tilsvarer omtrent 2% av Norges totale utslipp. Siden 1990 er denne utslippsposten redusert med 65% (Miljødirektoratet, 2020). Figur 11 viser fordelingen av det totale klimagassutslippet i Norge i 2019.



Figur 11: Norges totale klimagassutslipp i 2019 oppgitt i millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Totalt utslipp er beregnet til 50,3 millioner tonn CO₂-ekvivalenter. Informasjon hentet fra Miljødirektoratet (2020).

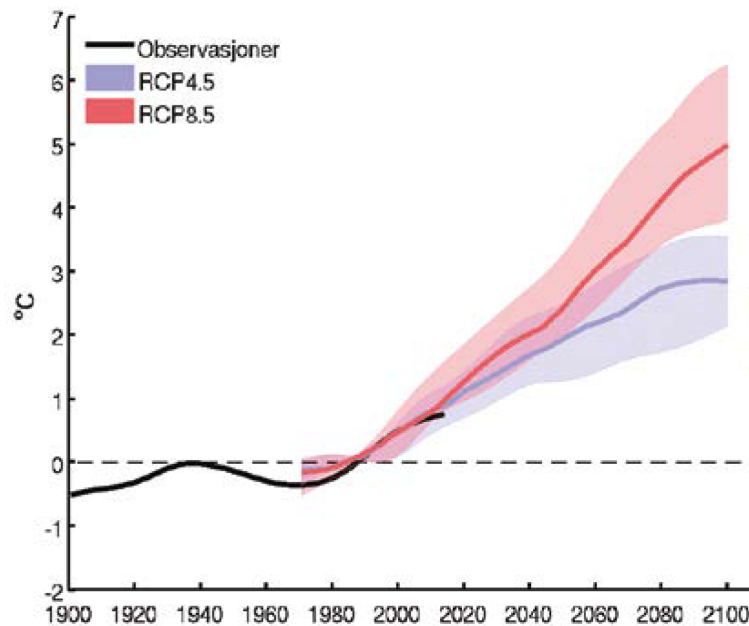
Norge har meldt inn 50% kutt innen 2030 relativt til nivået i 1990. I tillegg er det mål om klimanøytralitet innen 2050 (Klima- og miljødepartementet, 2021). Klimakvoter er medregnet i disse kuttene (Regjeringen, 2020). I følge tall fra SSB har netto utslipp av klimagasser i Norge hatt en nedgang på 2,3% siden 1990. Dette skyldes hovedsakelig planting av skog som gir et økt opptak av klimagasser (Miljødirektoratet, 2020).

I følge en rapport fra DNV GL (2019) ligger ikke verden an til å nå temperaturmålene

dersom ikke strengere tiltak iversettes umiddelbart. Det er anslått at karbonbudsjettet for å begrense oppvarming til $1,5^{\circ}\text{C}$ vil overskrides allerede i 2028. Videre forventes det en økning på $2,4^{\circ}\text{C}$ innen utgangen av dette århundret (DNV GL, 2019). Det vil si et sted mellom RCP4.5 og RCP6.0. Center for International Climate and Environmental Research Oslo (CICERO) melder om at de globale utslippene var større i perioden 2016-2019 enn 2011-2015. Utslippene falt derimot kraftig i 2020. Det skyldes trolig pandemien og det forventes at utslippene vil øke igjen (Rønningsbakk, Peters og Andrew, 2021). Det er primært de rikeste landene som har klart å kutte i utslipp, men økningen i utslipp fra de fattigere landene har økt (Rønningsbakk, Peters og Andrew, 2021).

2.3.5 Fremtidig temperaturendring i Norge

Hvor store klimaendringer Norge vil oppleve avhenger av størrelsen på klimagassutslippet og klimasystemets følsomhet. Det vil være store regionale forskjeller i landet, men oppvarmingen blir mest sannsynlig større enn det globale gjennomsnittet (Miljødirektoratet, 2013). Norsk klimaservicesenter har utarbeidet rapporten *Klima i Norge 2100*, som baserer seg på en nedskalering av de globale prediksjonene fra IPCC til Norske forhold (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Forventet økning i gjennomsnittlig norsk årsmiddel er illustrert i figur 12.



Figur 12: Utvikling av årsmiddeltemperatur i Norge i forhold til referanseperioden 1971-2000. Sort kurve er observerte data, blå kurve er RCP4.5 og rød kurve er RCP8.5. Skravert område illustrerer usikkerhet i prediksjonene Figur 5.2.1 (Hanssen-Bauer mfl., 2015)

Ved RCP8.5 forventes omtrent $4,5^{\circ}\text{C}$ økning av norsk årsmiddeltemperatur innen 2100 i forhold til perioden 1971-2000 (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Til sammenlikning forventes $3,7^{\circ}\text{C}$ økning på globalt nivå (Pachauri og Mayer, 2014). Oppvarmingen varierer i Norge på samme måte som observert de siste årene. På Vestlandet forventes $3,7^{\circ}\text{C}$ stigning i gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur. I Finnmark er estimatet 6°C . Det er spesielt områdene i sørøst som vil oppleve en økning i varme døgn (døgn med middeltemperatur over 20°C). Fyringsseongen vil bli vesentlig kortere, spesielt i Midt-Norge og Nord-Norge (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Dette gjelder ved RCP8.5. De andre utviklingsbanene forventer en mindre temperaturstigning.

2.4 Klimatilpasning av bygninger

Klimatilpasning er et stadig mer brukt begrep som omhandler tiltak for å gjøre samfunnet bedre rustet for nåværende og fremtidig klima. Det betyr både å redusere de negative virkningene samt utnytte mulighetene som klimaendringene bringer med seg (Miljødirektoratet, 2019). IPCC har fastslått at klimaet er i endring, og *Klima i Norge 2100* understreker viktigheten av at bygninger og infrastruktur dimensjoneres for dette (Hanssen-Bauer mfl., 2015). I tillegg er utarbeiding av nasjonale planer for klimatilpasning nedfelt i Parisavtalen (FN, 2015).

Det stilles høye krav til norske bygningers motstandsevne mot fukt, frost og vind på grunn av et variert klima. I fremtiden vil klima bli våtere og hyppigheten av ekstremvær vil øke. Det fører til økt påkjenning på bygninger, og de må tåle mer enn før (Lisø og Kvande, 2007). RIF påpeker at klimagassutslipp knyttet til bygninger må reduseres samtidig som de bygges robuste nok til å tåle fremtidens klima (RIF, 2019).

Nasjonalt har Norge et mål om at alle deler av samfunnet skal tilpasses klimaendringene som fremtiden bringer (Klima- og miljødepartementet, 2020). Kommuner kan blant annet søke om støtte til klimatilpasningsprosjekter eller søke hjelp i en offentlig veileder for klimatilpasning (Miljødirektoratet, 2019). I tillegg skal Plan- og bygningsloven med tilhørende forskrifter være utformet på en måte som stimulerer til klimatilpasning av bygninger (DiBK, 2021a).

Bærekraft og klimatilpasning har et økende fokus i byggenæringen. Senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) Klima 2050 har som mål å styrke norsk kunnskap og innovasjon rundt klimatilpasning. På denne måten skal samfunnsmessig risiko som følge av et klima i endring reduseres (Klima 2050, 2016). Tidligere har fokuset vært å redusere utslipp av klimagasser for å redusere klimaendringene, og tilpasning har blitt nedprioritert. En rapport fra Klima 2050 påpeker at det er vesentlig å kombinere begge deler for å finne de beste løsningene (Hauge mfl., 2017).

2.4.1 Energibruk i bygninger i et fremtidig klima

Tendensen med mildere vintre og varmere somre gir generelt en reduksjon i oppvarmingsbehov og en økning i kjølebehov. Land som Norge har per dags dato et større energibruk knyttet til oppvarming enn kjøling. For land nærmere ekvator er kjøling en større energipost (Stagrum mfl., 2020). Ulike energikilder for oppvarming og kjøling påvirker effekten av det endrede behovet. Kjøling drives hovedsakelig av elektrisitet, imens oppvarming er på verdensbasis primært drevet av olje og gass (Li, Yang og Lam, 2012).

Det er utført studier ulike steder i verden på klimaendringenes påvirkning på energibruk. Et litteraturstudium gjort av Stagrum mfl. (2020) avdekker at de fleste undersøkelsene er utført i områder med temperert klima, og det finnes få studier i land med kaldere vær. En fellesnevner for land med temperert klima er at økningen i kjølebehov er mange ganger større enn reduksjonen i oppvarmingsbehov, dersom temperaturen stiger (Li, Yang og Lam, 2012). Dette vises blant annet i en studie fra Portugal som omhandler fremtidig energibehov i bygninger i perioden 2070-2099 (Aguiar, Oliveira og Gonccedilalves, 2002). En annen studie fra Adelaide (Australia) konkluderte med at effektivisering av prosesser for kjøling er det viktigste tiltaket for å redusere energibruk, dersom bygningen allerede er godt isolert (Karimpour mfl., 2015).

I Stockholm ble det i 2012 gjort en studie på forventet energibehov til oppvarming og kjøling i 2081-2100. Resultatene viste at oppvarmingsbehov vil reduseres med omtrent 30%, men med en variasjon på 30% avhengig av klimamodell, utslippsscenario og grensebetingelse benyttet. Resultatene for forventet kjølebehov varierte enda mer. Studien konkluderte imidlertid med at det ikke vil påvirke energibruken, da det antas å kunne løses med naturlig ventilasjon også i fremtiden (Nik og Kalagasidis, 2012).

Et liknende resultat kom frem i en studie gjort av Jylhä mfl. (2015) i Finland, hvor energibehovet til oppvarming og kjøling ble estimert til å synke med 20-35% innen 2100. I følge Li, Yang og Lam (2012) er funnene fra Stockholm og Finland representative for områder med kaldt klima.

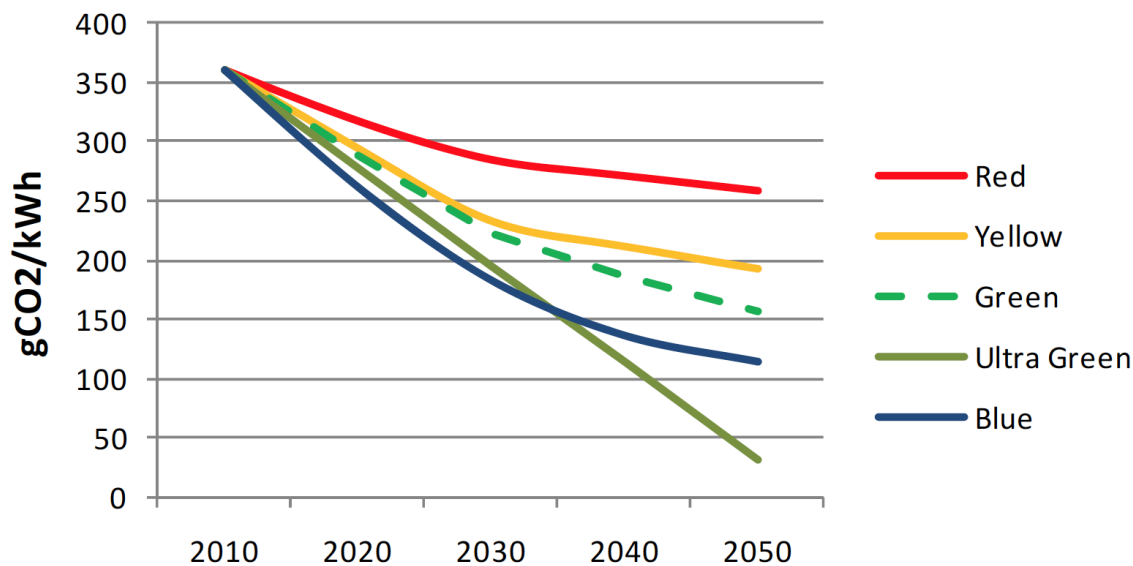
2.5 Utslippsfaktor for strøm

Utslippsfaktoren (CO₂-faktoren) angir mengden utslipp av klimagasser som forbruket av en energikilde medfører, i CO₂-ekvivalenter. Den skal inkludere alle utslipp knyttet til bruk av energien, fra produksjon til distribusjon og leveranse (Fufa mfl., 2016). Forskningscenteret ZEB har lenge diskutert hvordan elektrisitet skal vektlegges i CO₂-regnskapet, da det er en kompleks problemstilling (Fufa mfl., 2016). Georges mfl. (2015) gjennomførte en livssyklusanalyse (LCA) for en bolig og et kontorbygg i Norge med ulike mulige CO₂-faktorer. Begge bygningene hadde elektrisitet som eneste energikilde og solcellepanel på taket. Studien viser at valg av utslippsfaktor har svært mye å si for hva som blir resultatet av LCA og hvilken designløsning som beregnes til å være mest fordelaktig.

Dersom det norske strømforbruket kun består av norskprodusert energi er CO₂-faktor relativt lav på grunn av den store andelen fornybar vannkraft. I følge Fufa mfl. (2016) kan den antas å være 10-15 g CO₂e/kWh. I praksis er Norge en del av et strømmnett med forbindelser til Sverige, Danmark, Finland, Russland, Tyskland, Nederland og snart Storbritannia (Olje- og energidepartementet, 2020). Disse landene har en kraftproduksjon som består av en blanding av fornybar energi og kullkraft. I følge NVE kommer likevel det aller meste av strømmen vi forbraker fra fornybare kilder, og i 2019 ble utslippsfaktoren beregnet til 17 g CO₂e/kWh (NVE, 2021a). Det europeiske gjennomsnittet var til sammenlikning 361 g CO₂e/kWh i 2010 (Graabak og Feilberg, 2011).

I følge en rapport fra NVE (2019a) forventes det at utslippsfaktoren fra den nordiske kraftproduksjonen kommer til å reduseres frem mot 2040. Det forventes en opptrapping av både vann-, vind-, bio- og solkraft samt en reduksjon på opptil 50% av ikke-fornybare energikilder. Både Sverige og Danmark har som mål at kraftproduksjonen skal være fullstendig fornybar innen 2040.

Forskningscenteret ZEB antar at kraftflyt mellom land vil øke i fremtiden, og har derfor tatt utgangspunkt i et felles europeisk strømmnett ved bestemmelse av CO₂-faktor (Fufa mfl., 2016). En studie fra forskningscenteret utført av Graabak og Feilberg (2011) hadde som formål å undersøke utviklingen av CO₂-utslipp i det europeiske kraftmarkedet frem mot 2050. Dette er blant annet viktig for beregning av Zero Emission Buildings (ZEB), da disse bygningene produserer egen fornybar energi som avregnes mot forbruket. Det ble etablert fem potensielle scenarier med ulike sammensetninger av etterspørsel og utvikling av fornybar energi, vist i figur 13. Alle fem vil føre til en reduksjon i CO₂-faktor. Det ultragrønne alternativet representerer en nedgang i etterspørsel og en økning i fornybar energi og atomkraft. Dette vil, i følge Graabak og Feilberg (2011), medføre en reduksjon fra 361 g CO₂e/kWh i 2010 til 31 g CO₂e/kWh i 2050. Gitt lineær utvikling vil europeisk elektrisitet være utslippsfri innen 2054 (Graabak og Feilberg, 2011).



Figur 13: Fem potensielle utviklingsbaner for CO₂-faktor [g CO₂e/kWh] for det europeiske strømmarkedet frem mot 2050, i følge Graabak og Feilberg (2011).

Med utgangspunkt i denne ultragrønne utviklingen av europeisk strømmnett har Dokka (2011) definert en gjennomsnittlig CO₂-faktor gjennom bygningens levetid. For en bygning med 60 års levetid bygd i 2013 blir den gjennomsnittlige faktoren beregnet til 130 g CO₂e/kWh. Denne verdien brukes blant annet av forskningscenteret ZEB (Fufa mfl., 2016).

I NS 3720 Metode for klimagassberegninger for bygninger presenteres en standardisert metode for utarbeidelse av livssyklusanalyser for bygninger (NS 3720, 2018). Etter metode i standarden skal det benyttes minst to scenarioer for utslipp knyttet til elektrisitetsforsyning. Minimumskravet er at det benyttes én utslippsfaktor som representerer gjennomsnittet gjennom bygningens levetid for norsk energimiks og én for europeisk energimiks. For begge scenarioene kan det antas lineær utvikling av CO₂-faktor fra dagens nivå til tilnærmet null i 2050 (NS 3720, 2018).

3 Metode

Denne delen beskriver hvilke metoder som er brukt i arbeidet med oppgaven. Teorikapittelet er utarbeidet ved hjelp av relevant litteratur. Resten av oppgaven består i hovedsak av energiberegninger utført i SIMIEN og livssyklusanalyse gjort med One Click LCA, samt en vurdering av resultatene. Det er også gjort ulike analyser og vurderinger av hvordan klimadata benyttes i beregningene. Disse presenteres i diskusjonskapittel 5.1 for å ikke foregripe resultatene.

3.1 Litteraturstudie

For å forstå bakgrunnen til metoder for beregning av energibruk til oppvarming er det utført et litteraturstudie. For beregningsmetodene er NS-EN ISO 3031 sentral, samt TEK17 som stiller krav til energibruk i bygninger. For behandling og innhenting av klimadata for bruk i beregninger finnes en serie relevante standarder, NS-EN ISO 15927:1-6. Anvisninger fra byggforsk er en viktig kilde til informasjon, og pensum fra NTNU-emnet *Energibruk i bygninger* er også benyttet.

Beregninger i oppgaven omhandler fremtidig klima. Det benyttes predikerte klimadata fra Meteorologisk institutt, som baserer seg på utviklingsbanene fra Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Derfor er klimarapport Fifth Assessment Report (AR5) relevant for å forstå hva som ligger bak datagrunnlaget, samt annen tilgjengelig informasjon fra IPCC. Rapporten *Klima i Norge 2100* ble henvist til i forbindelse med klimadata motatt av Meteorologisk institutt. Det er også søkt etter statistikk fra SSB som omhandler klimagassutslipp og energibruk, samt relevante rapporter og meldinger fra statlige organer. I tillegg er det søkt etter informasjon om klima og klimatilpasning i Norge fra Meteorologisk institutt, miljødirektoratet og direktoratet for byggkvalitet.

Det er gjort et begrenset litteratursøk i Google Scholar etter artikler som omhandler fremtidig energibruk i bygninger som følge av klimaendringer. For å begrense antall resultater og samtidig finne den mest relevante litteraturen ble følgende søkeord benyttet:

- climate change energy efficient [tittel] - 145 treff
- climate change impact builing [tittel] - 64 treff

Basert på artiklenes titler ble utvalgte sammendrag lest for å finne relevant litteratur. Fem artikler ble funnet på denne måten. Videre kjedesøk bestod av å undersøke referanselister fra de utvalgte artiklene og ga ytterligere fem relevante treff. For informasjon som omhandler norske forhold er det søkt i kjente regelverk og hos myndighetene. Noe litteratur er også funnet gjennom direkte anbefaling fra veiledere.

3.2 Prosjektoppgave - Fremtidige frostdybder i Norge

Høsten 2020 ble det skrevet en prosjektoppgave som et innledende arbeid til denne masteroppgaven. Problemstillingen var: *"Hvilken endring i dimensjonerende verdier for frostdybde kan forventes i 2071-2100, sammenliknet med dagens dimensjoneringsgrunnlag?"* Frostdybden ble beregnet ved hjelp av predikerte klimadata mottatt fra Meteorologisk institutt og beregningsmetoder angitt av NS-EN ISO 13793. ArcGIS ble benyttet for å presentere resultatene i form av klimakart.

3.3 Trend2 fra Norgeshus

For å forenkle beregningene er det valgt å se på én spesifikk bolig. Det er ønskelig at den er så representativ som mulig for norske boligbygg, slik at resultatene kan overføres til et generelt tilfelle. Den utvalgte boligen er konseptboligen Trend2 fra Norgeshus, vist i figur 14. Den kan bygges både som rekkehus og frittstående bolig, hvor sistnevnte er tilfellet i denne oppgaven.



Figur 14: Trend2 fra Norgeshus (Kilde: Norgeshus)

Boligen har to etasjer med uoppvarmet garasje og sportsbod på bakkeplan. Totalt oppvarmet BRA er 129,4 m². Til sammenlikning har gjennomsnittsboligen i Norge oppvarmet BRA på 123 m², i følge Sandlie og Nordvik (2009). Arealet fordeler seg som vist i tabell 3. Se vedlegg F for plan- og fasadetegninger av Trend2.

Tabell 3: Fordeling av oppvarmet og uoppvarmet rom i Trend2.

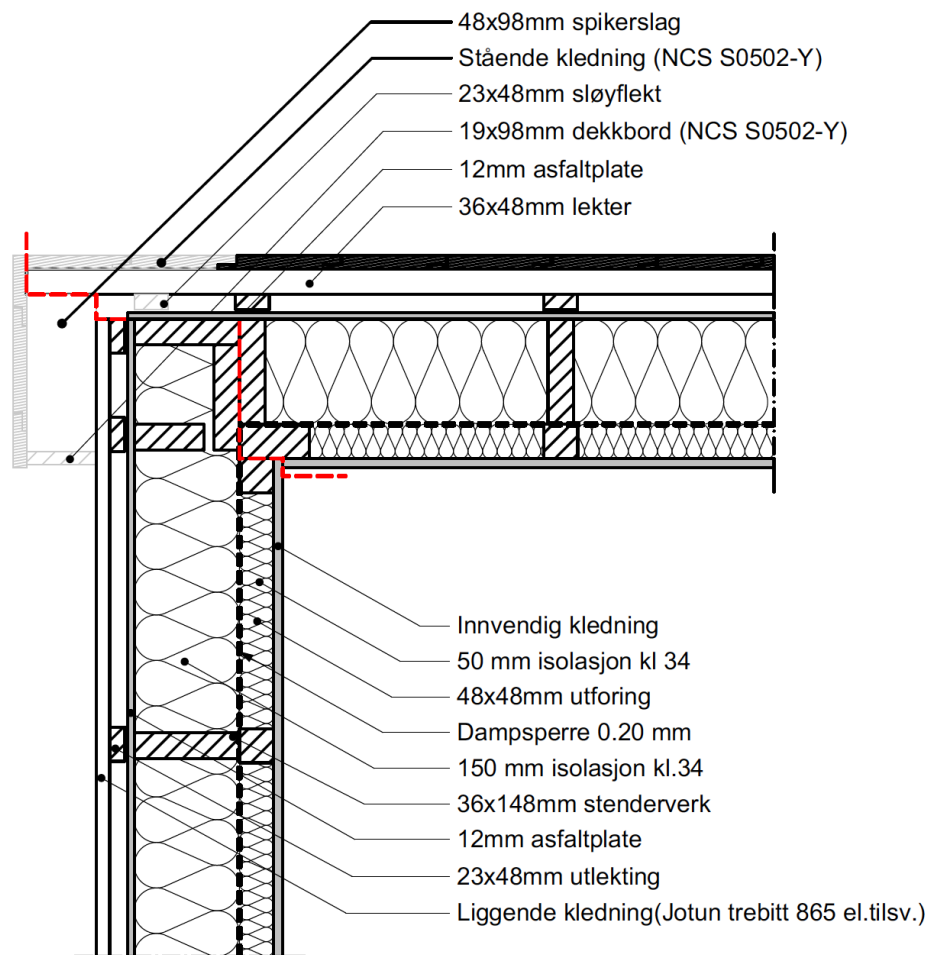
1.etg	Oppvarmet rom	64,7 m ²
	Garasje	23,1 m ²
	Sportsbod	12,9 m ²
2.etg	Oppvarmet rom	64,7 m ²
	Totalt oppvarmet BRA	129,4 m ²

Tabell 4 viser sentrale bygningsfysiske egenskaper ved boligen. Informasjon om bygningens ytelse er funnet gjennom et dokument fra TEK-sjekk Energi, også levert av Norgeshus.

Tabell 4: Sentral bygningsteknisk informasjon om boligen Trend2 fra Norgeshus

Element	Utførelse	U-verdi [W/m ² K]
vegg	bindingsverk, 200 mm isolasjon (kl 34), 36 mm stender	0,21
gulv	kompakt, flatt tak, 250 mm isolasjon (kl 34)	0,14
tak	300 mm EPS (kl 31)	0,09
vinduer	3-lags glass fra Natre	0,81

Detaljtegninger og materialliste med mengder for Trend2 er motatt fra Norgeshus. På denne måten er oppbygging av yttervegg mot oppvarmet rom identifisert. Denne informasjonen er spesielt viktig for å gjennomføre livssyklusanalyser, nærmere beskrevet i kapittel 3.5.1. Horisontalsnitt av yttervegg er vist i figur 15.



Figur 15: Detaljtegning av yttervegg mot oppvarmet rom for bolighuset Trend2 fra Norgehus. (Kilde: Norgehus)

3.4 Energiberegninger

Det er utført energiberegninger for å undersøke hvordan energibruk til oppvarming og kjøling vil endre seg som følge av klimaendringer. Dette er gjort både for ulike steder i Norge og for ulike tykkelser av varmeisolasjon i yttervegg med Osloklimate. Beregningene er gjort i programmet SIMIEN. I de neste delkapitlene vil metoden knyttet til de ulike elementene i beregningene forklare.

3.4.1 Klimadata

Klimadata for historisk normalperiode er hentet fra beregningsprogrammet SIMIEN. For alle steder, unntatt Oslo, er dette normalåret fra 1961-1990. For Oslo er det perioden 1992-2014 som ligger til grunn for referanseåret. Klimadatasettene inneholder 8760 timesverdier for følgende parametre:

1. temperatur
2. relativ fuktighet (RF)
3. vindhastighet
4. vindretning
5. global sol illuminans
6. diffus sol illuminans
7. direkte solflux
8. diffus horisontal solflux
9. solhøyde
10. azimuthvinkel sol

Klimadata i fremtidig normalperiode må konstrueres ved hjelp av klimaprediksjoner. For å bestemme hvilke klimaparametre som er mest avgjørende for beregningsmessig energibehov er det utført en sensitivitetsanalyse, presentert i kapittel 5.1.2. Det foreligger ikke gode prediksjoner på endring av vind og RF i fremtiden, men resultatene fra analysen viser at disse elementene ikke påvirker energibehovet. Det anses dermed som rimelig å benytte de samme timesverdiene som normalperiode 1961-1990 også for fremtidig klima.

Solinnstråling på en bygning avhenger av plassering, både når det gjelder breddegrad og i forhold til omgivelsene. Solinnstråling har vist seg å variere i en syklus på 11 år, men ut over dette er det vanskelig å forutse fremtidig endring (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Det

viser seg imidlertid at dersom det antas samme variasjon som over det siste århundret, vil bidraget være mindre enn størrelsen på flere av usikkerhetene knyttet til klimamodellene (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Skydekket vil også ha en innvirkning på både solinnstråling og drivhuseffekten, men det er store usikkerheter knyttet til størrelsen. I rapporten *Klima i Norge 2100* er denne usikkerheten ikke kartlagt (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Det er derfor valgt å se bort ifra endring i solinnstråling, og timesverdier fra historisk normalperiode for hvert sted er beholdt.

NS-EN ISO 15927 gir metode for hvordan klimadata skal beregnes og presenteres, men gjelder kun ved bruk av registrerte meteorologiske data. Det finnes per dags dato ingen standardisert metode for konstruksjon av fremtidige referanseår basert på klimaprediksjoner. Meteorologisk institutt har konstruert fremtidige referanseår med en metode spesielt utformet for denne oppgaven.

Valg av geografiske steder for beregning er gjort for å få resultater spredd over hele landet. Stedene som er valgt er;

- Bergen
- Bodø
- Karasjok
- Kirkenes
- Kristiansand
- Lillehammer
- Oslo (Blindern)
- Røros
- Stavanger
- Tromsø
- Trondheim

Datasettene inneholder timesverdier for temperatur og er gjeldende for perioden 2071-2100 ved utviklingsbane RCP8.5. De er konstruert ved å ta utgangspunkt i klimamodeller fra IPCC som deretter er nedskalert på lokalt nivå. Fylkesvise klimaendringer er hentet ut for hver sesong fra Meteorologisk institutt sin klimadatabase *klimaservicesenter.no*. Disse er basert på en nedskalering av IPCC sine klimaprediksjoner. Deretter er det antatt lik variabilitet (standardavvik) i fremtidig temperatur som for historiske målinger. Døgnmiddeltemperatur er valgt ved å anta normalfordeling i hver måned og tilfeldig trekning for hvert enkelt døgn, som sammen utgjør en årsserie. Årserien skjøtes sammen til tre repeterende år for så å interpolere timesverdier for disse tre årene ved hjelp av interpolasjon med spline. Døgnets laveste temperatur antas å inntreffe kl 05:00 og maksimumstemperatur kl 15:00. Deretter klippes det første og siste året vekk for å fjerne støy i enden av årsserien. Til slutt er det gjennomført en manuell kvalitetskontroll for å sikre at algoritmen ikke har latt seg påvirke av unaturlige

enkelthendelser. Det er i tillegg valgt å lage et normalår for 1961-1990 for Oslo (Blindern) for å kunne sammenlikne resultatene på likt grunnlag. Dette normalåret er laget med beskrevet metode på samme måte som de fremtidige. SIMIEN beregner årsmiddeltemperatur for perioden på bakgrunn av disse datasettene.

De fremtidige timesverdiene for temperatur er satt sammen med de 9 andre klimaparametrene fra den historiske normalperioden på det aktuelle stedet. På denne måten er det laget datasett med 8760 timesverdier for de ti inputparameterne SIMIEN benytter i beregningene. Dette er ingen standardisert metode, men anses som tilstrekkelig for oppgavens formål da det ikke finnes standard for konstruksjon av fremtidige normaler.

3.4.2 Energiberegninger med SIMIEN

Det er benyttet standardiserte verdier for energi til varmtvann, teknisk utstyr, personer og belysning. Verdiene kommer fra Tillegg A i NS-EN ISO 3031, og kan lastes ned fra *standard.no/ns3031*. Dette er de samme verdiene som ligger inne som standard i beregningsprogrammet SIMIEN. I følge NS 3031 skal disse standardiserte verdiene benyttes ved dokumentasjon av bygningens energiytelse og kan ikke sammenliknes direkte med målt energibruk.

Varmetilskudd fra belysning og andre internlaste vil imidlertid kunne bidra til å redusere behovet for oppvarming. Formålet med beregningene er å se på forskjellen mellom tidlige og fremtidig beregnet energibruk. Differansen er mer interessant enn den faktiske energibruken til den valgte bygningen. Derfor regnes det som tilstrekkelig å benytte de normerte verdiene for inndata knyttet til nevnte punkter. Det er benyttet samme verdier for hele landet.

Inndata som omhandler egenskaper ved boligen Trend2 er hovedsakelig hentet fra et beregningsdokument utført i TEK-Sjekk Energi av Norgeshus. Det gjelder blant annet U-verdier, lekkasjetall, virkningsgrad til systemer og så videre. Disse inndataverdiene er holdt konstant for alle beregninger.

Det er gjort to energiberegninger for hver geografisk plassering, hvor alt er holdt konstant med unntak av klimadatafilen. De to beregningene er gjort med;

1. normalåret for den historiske normalperioden 1961-1990
2. et konstruert normalår for fremtidig normalperiode 2071-2100

Småhuset Trend2 er beregnet som én sone, som regnes som tilstrekkelig ved beregning av boliger i de fleste tilfeller (NS 3031, 2020). Det vil si at boligen behandles som én stor boks uten innvendige inndeling. Det gjør det ikke mulig å se på innnetemperaturen i ulike rom, og det gir ingen indikasjon på om noen rom blir for varme imens andre er for kalde. Denne metoden er derfor ikke gjeldende dersom man skal se på detaljer rundt inneklimate. Boligen er beregnet uten møbler som påvirker varmekapasiteten.

Settpunkttemperaturen er satt til 19°C. Det er valgt å bruke 19°C da dette er temperaturen benyttet i beregning i TEK-Sjekk Energi utført av Norgeshus. I følge tabell A.9 i NS 3031 er normert settpunkttemperatur 22°C i driftstiden, så dette avviker fra standardisert metode. Se vedlegg G for fullstendig oversikt over inndata.

Resultatene fra energiberegningene presenteres i tabellform med samme utforming som angitt i NS 3031, presentert i tabell 5. I denne oppgaven er 1a Romoppvarming og 1b Ventilasjonsvarme sammen omtalt som oppvarming. Energibehovet gjelder per år.

Tabell 5: Totalt energibudsjett for netto energibehov, gitt som tabell 4 i NS 3031 (2020).

Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming		
1b Ventilasjonsvarme		
2 Varmtvann		
3a Vifter		
3b Pumper		
4 Belysning		
5 Teknisk utstyr		
6a Romkjøling		
6b Ventilasjonskjøling		
Totalt netto energibehov		

3.5 Optimal isolasjonsmengde i vegg

For å undersøke optimal isolasjonstykkelse i yttervegg med tanke på klimagassutslipp må det tas hensyn til både materialbruk og energibehov. Dette er gjort i to deler, hvor den ene handler om å gjøre en livssyklusanalyse (LCA) av Trend2 for ulike veggtykkelser. Den andre delen er energiberegninger for Trend2 med alle de ulike veggene, for så å sette sammen resultatet for å finne teoretisk optimal veggtykkelse med tanke på CO₂-avtrykk.

Beregningen er kun gjort for plassering av Trend2 i Oslo (Blindern).

3.5.1 Livssyklusanalyse

For å beregne klimagassavtrykk fra boligen er det utført en livssyklusanalyse (LCA) ved hjelp av programmet One Click LCA. Med materialliste mottatt fra Norges hus er det beregnet klimagassavtrykk for 60 års levetid. Det er beregnet utslipp fra materiell (A1-A3), transport (A4) og livsløpets slutt (C1-C4). Utslipp fra bygging og byggeplassdrift (A5), vedlikehold (B1-B5) og vannforbruk (B7) er ikke medtatt. Det er for å redusere omfanget av analysen. I tillegg er det rimelig å anta at bidraget fra endring av veggtykkelse ikke vil være nevneverdig stort for B1-B5 og B7. Dette vil gi avvik fra reelle verdier, men anses likevel som tilstrekkelig nøyaktig til dette formålet. Det er forsøkt å velge materiell så likt materiallisten som mulig, men på grunn av manglende Environmental Product Declaration (EPD) for enkelte materialer blir det noe avvik.

Det er valg å se på alle veggtykkelsene med oppgitt U-verdi i Byggforskanvisning 471.401, fra 100-500 mm. Trend2 er et bolighus med romhøyde 2,4 m, som gir L” (lengde treverk per m² netto veggareal) lik 3,5 m (Byggforsk, 2012). Den opprinnelige veggen for Trend2 består av 36x148 mm stender + 48x48 mm påføring, som totalt gir mulighet for 200 mm isolasjon. For å kunne bruke tabellerte U-verdier oppgitt i Byggforskserien er det valgt å heller benytte 36x48 mm påføring. Veggtykkelsene med tilhørende U_{3,5} oppgitt i Byggforskanvisning vises i tabell 6. Trend2 er utført med panelplater innvendig, men det er likevel benyttet de tabellerte U-verdiene for vegger med innvendig gips som en forenkling.

Tabell 6: Veggtykkelsene som er beregnet med tilhørende tabellerte U -verdier i 471.401 fra Byggforsk (2012).

Total isolasjons- tykkelse	Bindingsverk		U-verdi		
	d	t	$U_{3,5}$ [$W/(m^2K)$]		
[mm]	[mm]	[mm]	$\lambda_d = 0,033$	$\lambda_d = 0,035$	$\lambda_d = 0,037$
100	98	36	0,365	0,377	0,391
150	98+48	36	0,259	0,269	0,279
200	148+48	36	0,200	0,207	0,215
250	198+48	36	0,164	0,170	0,176
300	246+48	36	0,138	0,143	0,148
350	296+48	36	0,119	0,124	0,120
400	346+48	36	0,105	0,109	0,113
450	396+48	36	0,094	0,098	0,101
500	446+48	36	0,085	0,088	0,091

Tabell 7: Beregning av U -verdi til bindingsverk med isolasjon med $\lambda_d=0,034$ W/m^2K ved hjelp av kjente U -verdier og varmemotstand til vegger med $\lambda_d=0,035$ W/m^2K og $\lambda_d=0,035$ W/m^2K .

tykkelse	$R_{vegg,\lambda=0,033}$	$R_{vegg,\lambda=0,035}$	R_{si+se}	R_{gips}	$R_{iso,\lambda=0,034}$	$U\text{-verdi}_{\lambda=0,034}$
[mm]	[m^2K/W]	[m^2K/W]	[m^2K/W]	[m^2K/W]	[m^2K/W]	[W/m^2K]
100	2,740	2,653	0,170	0,102	2,424	0,371
150	3,861	3,717	0,170	0,102	3,517	0,264
200	5,000	4,831	0,170	0,102	4,643	0,203
250	6,098	5,882	0,170	0,102	5,718	0,167
300	7,246	6,993	0,170	0,102	6,847	0,140
350	8,403	8,065	0,170	0,102	7,962	0,121
400	9,524	9,174	0,170	0,102	9,077	0,107
450	10,638	10,204	0,170	0,102	10,149	0,096
500	11,765	11,364	0,170	0,102	11,292	0,086

I følge materiallisten fra Norgeshus utføres Trend2 med isolasjonstypen Glava Proff 34 med $\lambda = 0,034 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Da denne verdien for varmeledning ikke er tabellert i byggforsk er den beregnet ved hjelp av kjent varmemotstand for innvendig gips (R_{gips}), overgangsmotstanden (R_{si+se}). Sammenhengen mellom U-verdi og varmemotstand (R) er gitt ved;

$$U = \sum \frac{1}{R}$$

De totale varmemotstandene for de tabellerte U-verdiene for veggkonstruksjon med $\lambda = 0,033 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ er regnet ut, og overgangsmotstander (R_{si+se}) samt varmemotstander for gipslag (R_{gips}) trukket fra. Deretter regnes det ut endring i varmemotstand for komposittlaget av isolasjon og trevirke ved å endre varmegjennomgangskoeffisienten (λ) til isolasjonen fra $0,033 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ til $0,034 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Sistnevnte finnes ved å interpolere mellom R for $\lambda = 0,033 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og R for $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Til slutt summeres ny total varmemotstand, og ny U-verdi for veggen beregnes. Den beregnede U-verdien er kontrollert ved sammenligning av resultatet mot interpolasjon mellom de tabellerte verdiene for isolasjon med $\lambda = 0,033 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Utregning og beregnede U-verdier vises i tabell 7.

Det er i tillegg gjort beregninger for de samme veggtykkelsene utført med Rockwool Flexi A-plate med $\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ for å se på effekten av ulike typer isolasjon. U-verdi for denne typen Rockwool er gitt i tabell 6. Det vil si at det er 18 ulike varianter av yttervegg, hvor 9 er med Glava og 9 med Rockwool.

Deretter er det gjort en LCA for boligen med hver av veggtypene. Det er kun stender og isolasjon mellom stenderne som er variert. Påføring samt resterende materialer i vegg og resten av boligen er holdt konstant. Mengdene og materialene i den opprinnelige veggen, med isolasjonstykkelse 200 mm, er bestemt ved hjelp av detaljtegning og materialliste fra Norgeshus. Disse mengdene i ytterveggen, samt hvilke materialer som er brukt i LCA vises i tabell 8. Analysen er utført med One Click LCA, og valg av EPD til de ulike produktene samt beregning av antall funksjonelle enheter gjøres av programmet.

Tabell 8: Oppbygning, materialer og mengder brukt i LCA av yttervegg. Mengdene for isolasjonssjiktet samt tilhørende stenderverk gjelder for originalveggen til Trend2 med totalt 200 mm isolasjon.

Fra detaljtegning	Material brukt i LCA	Mengde	Enhet
Utvendig kledning	Kledning av gran med grunning, 19 mm (Gausdal Bruvoll)	220	1 m ²
23x48mm utlekting	23x48 Høvellast av gran eller furu (Moelven)	0,67	1 m ³
12mm asfaltplate	Vindsperre (Hunton Fiber)	220	1 m ² x 12 mm
36x148mm stenderverk	36x148 Fingerskjøtt trelast (Bergene Holm)	4,2	1 m ³
150mm isolasjon kl. 34	Glava Proff 34	145	1 m ² x 150 mm
Dampsperre 0,20mm	Dampsperre (Baca Plastindustri)	220	1 m x 0,2 mm
48x48mm utforing	36x48 Høvellast av gran eller furu (Moelven)	1,25	1 m ³
50mm isolasjon kl. 34	Glava Proff 34	145	1 m x 50 mm
Innvendig kledning	Huntonit building boards, 11 mm	220	1 m ² x 11 mm

For å beregne mengde varmeisolasjon og stenderverk for de ulike veggene er det forenklet til å variere volumet av materialene. For stenderverk er antall lengdemeter ganget med dimensjonen på tverrsnittet. Isolasjonen er beregnet ved å gange antall kvadratmeter med tykkelsen på isolasjonssjiktet. Dette vil ikke gi helt korrekt resultat fordi utslippene ikke kun er avhengig av volum av materialet, men også form og lengdemeter.

For å kontrollere at One Click LCA beregner klimagassavtrykk etter ønsket metode er det gjennomført en kontroll ved å manuelt beregne klimagassavtrykk fra ulike isolasjonstykkelser ved hjelp av EPD for Glava Proff 34 fra databasen til EPD Norge.

3.5.2 Totalt klimagassutslipp med ulike veggtykkelser

For samtlige 18 versjoner av yttervegg med tilhørende U-verdi beskrevet i tabell 6 og 7 er det gjennomført energiberegninger i SIMIEN. Metoden er den samme som beskrevet i kapittel 3.4.2. Bygningens levetid er satt til 60 år, og det årlige strømforbruket er antatt konstant gjennom hele levetiden. Det er valgt at hele energibehovet dekkes av elektrisitet. Beregningsmessig energibehov til oppvarming er omgjort til kg CO₂e ved hjelp av en CO₂-faktor for strøm. Klimagassavtrykket avhenger sterkt av denne faktoren, og det er derfor valgt å sammenlikne resultatet for flere ulike energimikser.

NS 3720:2018 - *Metode for klimagassberegninger for bygninger* krever bruk av minst to ulike elektrisitetsmikser ved LCA. Standarden presenterer følgende scenarioer;

1. Norsk gjennomsnittlig forbruksmikser over bygningens levetid
2. Europeisk gjennomsnittlig forbruksmikser over bygningens levetid

CO₂-faktorene som er benyttet er:

- **130 g CO₂e/kWh:** forventet europeisk gjennomsnitt for 2013-2073 (Fufa mfl., 2016).
- **74 g CO₂e/kWh:** forventet europeisk gjennomsnitt for 2021-2081.
- **31 g CO₂e/kWh:** forventet i Europa i 2050 (Graabak og Feilberg, 2011)
- **17 g CO₂e/kWh:** gjennomsnitt for norsk strømforbruk i 2019 (NVE, 2021b).

CO₂-faktoren 74 g CO₂e/kWh er beregnet ut ifra forventet utvikling av det europeiske strømmarkedet fra 2010 til 2050 presentert av Graabak og Feilberg (2011). CO₂-faktoren i 2010 er 361 g CO₂e/kWh og det antas en reduksjon til 31 g CO₂e/kWh i 2050. Ved antatt lineær utvikling vil det si 270 g CO₂e/kWh i 2021 og null i 2054. Utregning av forventet europeisk gjennomsnitt fra 2021 til 2081 vises under .

$$\text{CO}_2\text{-faktor} = \frac{270}{2} \times \frac{(2054 - 2021)}{60} = 74 \text{ g CO}_2\text{e/kWh} \quad (1)$$

På grunn av at norsk strømforbruk allerede har et svært lavt klimagassavtrykk antas det som tilstrekkelig å benytte 17 g CO₂e/kWh som gjennomsnitt over bygningens levetid. Dette stemmer godt overens med at standarden oppgir 18 g CO₂e/kWh som gjennomsnitt fra 2015-2075 (NS 3720, 2018).

Resultatene fra beregnet kg CO₂e fra energibruk til oppvarming er deretter satt sammen med kg CO₂e fra livssyklusanalysen og plottet mot isolasjonstykkelse i yttervegg.

3.6 Styrker og svakheter ved metoden

Datasett mottatt fra Meteorologisk institutt er basert på klimamodeller fra IPCC som har en usikkerhet knyttet til seg. Usikkerheten knyttet til utviklingsbanene er ikke behandlet eller vurdert i denne oppgaven. Bred enighet om at dette er de beste prediksjonene som finnes enn så lenge som gjør likevel at modellene anses som tilstrekkelige for oppgavens formål. Til tross for usikkerheten gir klimaprediksjonene en sterk indikasjon på hvordan situasjonen vil utvikle seg mot slutten av dette århundret.

Det er kun gjort en enkel kontroll av fremtidig klimadata mottatt fra Meteorologisk institutt ved å sammenlikne mot forventet temperaturstigning og samt mot de historiske datasettene. Disse kontrollene presenteres i kapittel 5.1. Meteorologisk institutt er imidlertid ledende i Norge innen klimaforskning og anses som en svært pålitelig kilde.

Beregningene tar kun hensyn til forventet endring i temperatur og det benyttes historiske verdier for de andre klimatologiske elementene. Det er gjort flere kontroller og vurderinger knyttet til konsekvensen av dette som omtales i kapittel 5.1.

Beregningene er kun gjort med fremtidig data for utviklingsbane RCP8.5. Det er ikke gitt at dette er utviklingen verden kommer til å følge. Det oppgis ikke hvilket scenario som mest sannsynlig vil inntreffe, da det avhenger av svært mange faktorer. Underveis i arbeidet med denne oppgaven er det imidlertid observert at det er svært vanlig å bruke RCP8.5 som fremtidsscenario.

Studier på eneribruk i bygninger i fremtiden er svært avhengig av kvaliteten på klimamodellene som legges til grunn for beregningene. En avhandling gjort av Moazami (2019) konkluderer med at denne avhengigheten kan reduseres betydelig dersom det tas hensyn til ekstremklima i tillegg til normalklima. I denne oppgaven er det kun tatt hensyn til et konstruert normalår, da datasett med ekstremverdier ikke var tilgjengelig og det hadde komplisert omfanget av oppgaven. Det er heller ikke et krav fra byggeteknisk forskrift eller NS 3031 å bruke ekstremklima ved beregning av energibehov.

Det er kun sett på én spesifikk bolig, og det kan dermed ikke sies at resultatene gjelder for alle typer bolig. Det er ikke undersøkt om resultatene fra større eneboliger eller mindre blokkleiligheter vil gi de samme resultatene. Det antas likevel at resultatene vil tendere i samme retning. Boligen beregnes som én sone som medfører at det ikke tas hensyn til at ett rom kan behøve lufting imens et annet rom behøver oppvarming på samme tidspunkt. Dette er likevel vanlig beregningspraksis for bolighus og anses som en godkjent forenkling. Det er heller ikke tatt hensyn til at teknologisk utvikling kan medføre effektivisering av energiforbruket.

Settpunkttemperaturen er satt til 19°C som avviker fra normerte verdier gitt i NS 3031. Dette gjør at data ikke kan direkte sammenliknes opp mot krav i TEK. Formålet med oppgaven er imidlertid å undersøke endringer i energibruk på grunn av klimaendringer, som ikke påvirkes nevneverdig så lenge settpunkttemperatur holdes konstant for alle tilfeller. For enkelhets skyld er det valgt å likevel se det i sammenheng med krav til energieffektivitet gitt i TEK17.

Det er ikke gjort en egen vurdering av dataprogrammet SIMIEN, men programeieren oppgir at det følger metoder gitt av NS 3031, som omtalt i delkapittel 5.1.1. Det er ikke vurdert hvorvidt NS 3031 gir et realistisk bilde av reelt energibruk til oppvarming i bygninger, men det antas at det er godt nok da dette er vanlig beregningspraksis i Norge. Standardene for beregningsmetoder anses som gode kilder da formålet med denne oppgaven er å undersøke hvordan situasjonen vil være i fremtiden sammenliknet med i dag, ikke å kontrollere validiteten av beregningsmetodene.

Ved beregning av optimal isolasjonsmengde med tanke på klimagassavtrykk er det kun sett på isolasjon i yttervegg. Dersom formålet var å redusere energibehovet ville det vært mer effektivt å endre tykkelse på både vegger, gulv og tak. Dette kompliserer beregningene, og derfor er det valgt å kun ta hensyn til yttervegg. Endring av isolasjon i yttervegg gir et inntrykk av hva resultatet hadde blitt dersom alt ble endret. I tillegg er det rimelig å anta at effekten av ytterligere varmeisolasjon i gulv og tak hadde stagnert på omtrent samme tykkelse som i vegg.

LCA er utført for to typer isolasjonsmateriale; Glava og Rockwool. Glava er valgt da det ble oppgitt som varmeisolasjonsmateriale i yttervegg i materiallisten fra Norgeshus. Rockwool er valgt da det er en mye brukt steinullisolasjon med lett tilgjengelig EPD. Egenskapene ved disse to materialene gjelder for nåværende produkter, og kan endre seg i fremtiden. Det er ikke undersøkt effekten av andre typer isolasjon.

Det er utført livsyklusanalyse med programmet One Click LCA for å redusere omfanget av beregningene. Programmet har en database av EPDer, og det er ikke vurdert hvorvidt alle disse kommer fra gode kilder. Majoriteten av materialene benyttet i analysen har dokumentasjon fra EPD Norge, som anses som pålitelig kilde.

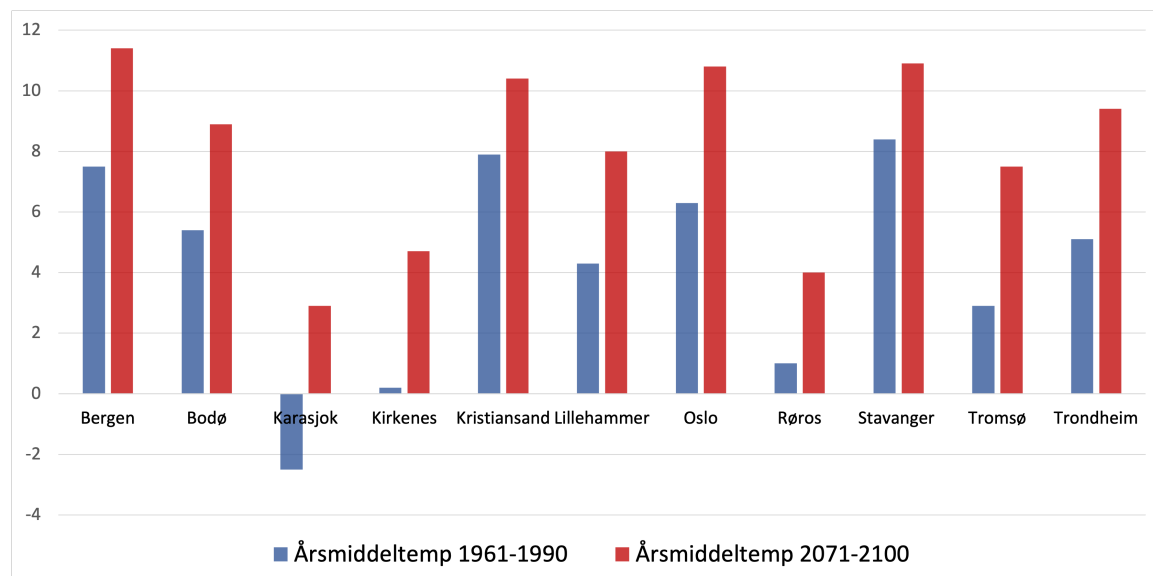
Videre diskusjon av metoden finnes i kapittel 5.1.

4 Resultater

4.1 Beregnet energibehov til oppvarming

Resultater fra beregning av energibehov til oppvarming for de elleve stedene presenteres i form av figurer og tabeller. Noen av resultatene er også publisert i en artikkel i Byggeindustrien, vist i vedlegg B.

Klimadata benyttet i beregningen er fra den historiske normalperioden 1961-1990 og fremtidige 2071-2100 ved utviklingsbane RCP8.5. Differanse i årsmiddeltemperatur mellom historisk og fremtidig normalperiode for de elleve stedene vises i figur 16 og i tabellform i vedlegg I. I gjennomsnitt har de fremtidige klimadatasettene en årsmiddeltemperatur som ligger 4°C over gjennomsnittet i perioden 1961-1990.



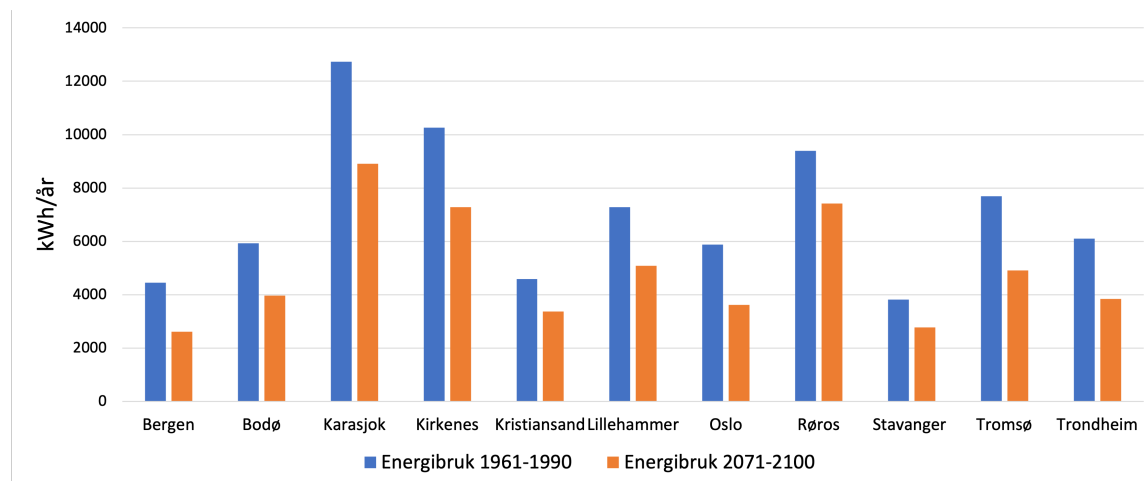
Figur 16: Beregnet årsmiddeltemperatur for historisk normalperiode 1961-1990 og for fremtidig normalperiode 2071-2100 ved RCP8.5.

SIMIEN beregner energibruk til følgende energiposter:

- 1a. Romoppvarming
- 1b. Ventilasjonsvarme
2. Varmtvann
- 3a. Vifter
- 3b. Pumper
4. Belysning
5. Teknisk utstyr
- 6a. Romkjøling
- 6b. Ventilasjonskjøling

Trend2 er et småhus med BRA 129,4 m². Det gjør at kravet til maksimalt nødvendig energibehov gitt av TEK17 er 112 kWh/(m²år). Det tilsvarer et totalt energibruk på 14 493 kWh/år. Beregnet energibruk til post 2-6b er uavhengig av geografisk plassering og klimadata. Disse postene utgjør totalt 8 015 kWh/år. Det vil si at maksimalt energibehov til oppvarming er 6 478 kWh/år for dette Trend2-huset for at det skal tilfredsstille krav til energieffektivitet gitt i TEK17.

Energibehov til oppvarming reduseres fra perioden 1961-1990 til 2071-2100. Størrelsen på reduksjonen avhenger av geografisk plassering og varierer fra 1043 kWh/år til 3826 kWh/år. Alle elleve plasseringer av Trend2 får en reduksjon på minst 21% i beregnet behov fra perioden 1961-1990 til 2071-2100. Resultatene fra beregningene presenteres i figur 17 og tabell 9.



Figur 17: Beregningsmessig energibehov til oppvarming av Trend2 på elleve utvalgte steder i Norge med klimadata fra 1961-1990 og for 2071-2100 ved RCP8.5.

Tabell 9: Beregningsmessig energibehov til oppvarming samt absolutt differanse og prosentvis endring på elleve utvalgte steder i Norge. Beregnet med normalperiode 1961-1990 og 2071-2100 ved RCP8.5.

	Energibehov til oppvarming [kWh/år]			
	1961-1990	2071-2100	differanse	% endring
Karasjok	12735	8909	-3826	-41%
Kirkenes	10267	7286	-2981	-33%
Tromsø	7690	4905	-2785	-29%
Trondheim	6100	3837	-2263	-30%
Oslo	5872	3619	-2253	-21%
Lillehammer	7284	5081	-2203	-26%
Røros	9397	7412	-1985	-30%
Bodø	5925	3961	-1964	-38%
Bergen	4455	2608	-1847	-36%
Kristiansand	4582	3372	-1210	-27%
Stavanger	3813	2770	-1043	-37%

Ved plassering av Trend2 i Oslo (Blindern) og normalperiode 1961-1990 beregnes energibehov til oppvarming (1a og 1b i tabell 20) til 5872 kWh/år. Totalt spesifikt energibehov er 107,7 kWh/m² per år. For normalperiode 2071-2100 og RCP8.5 reduseres energibehovet til 3619 kWh, og totalt spesifikt energibehov til 90,2 kWh/m². Det tilsvarer en reduksjon på 16,5% i totalt energibehov. Det er kun energi til oppvarming som endres, og reduksjonen i oppvarmingsbehov er 38%.

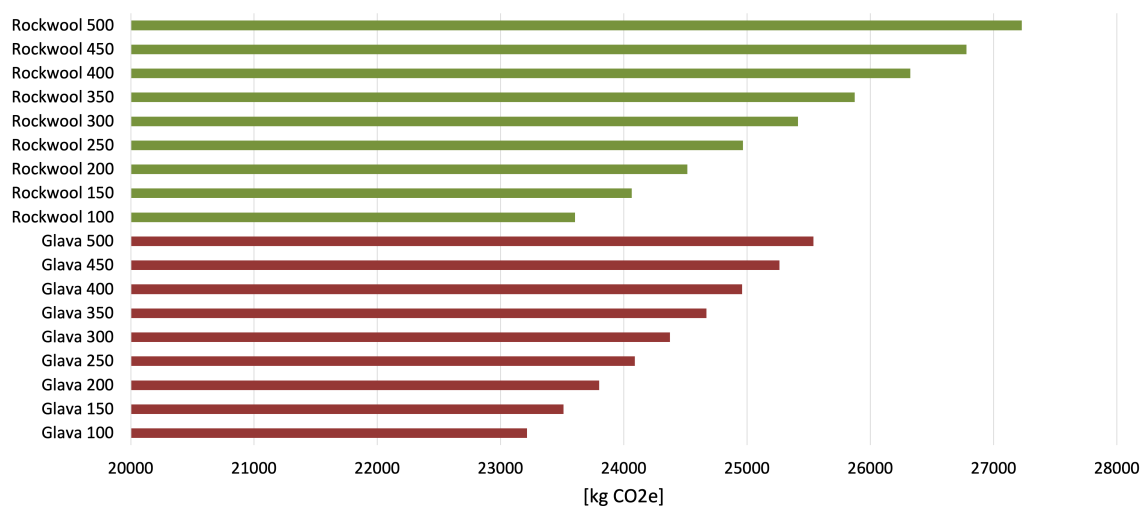
Tabell 10: Beregnet årlig energibehov til Trend2 i Oslo (Blindern) med normalperiode 1961-1990 sammenliknet med 2071-2100.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5491	42,6	1a Romoppvarming	3414	26,5
1b Ventilasjonsvarme	381	3,0	1b Ventilasjonsvarme	205	1,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	6	0,0	3b Pumper	2	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	13889	107,7	Totalt netto Energifbehov	11632	90,2

Se vedlegg H for tabeller som viser fullstendige resultater fra energiberegning av samtlige energiposter for plassering av Trend2 på de resterende stedene.

4.2 Optimal isolasjonsmengde

Det er utført en livssyklusanalyse (LCA) for Trend2 med 18 ulike veggkonstruksjoner. Det er variert mellom 100 og 500 mm isolasjon for både Glava Proff 34 og Rockwool Flexi A-Plate. Tykkere vegger krever mer materialer og noe mer transport, og gir dermed et høyere CO₂-avtrykk enn tynnere vegger. Rockwool gir gjennomsnittlig 20% høyere CO₂-avtrykk enn Glava. Dette er gjeldende ved bruk av Rockwool Flexi A-plate (EPD Norge, 2019b) og Glava Proff 34 (EPD Norge, 2019a). Klimagassavtrykk for hele boligen med de ulike veggkonstruksjonene er vist i figur 18.

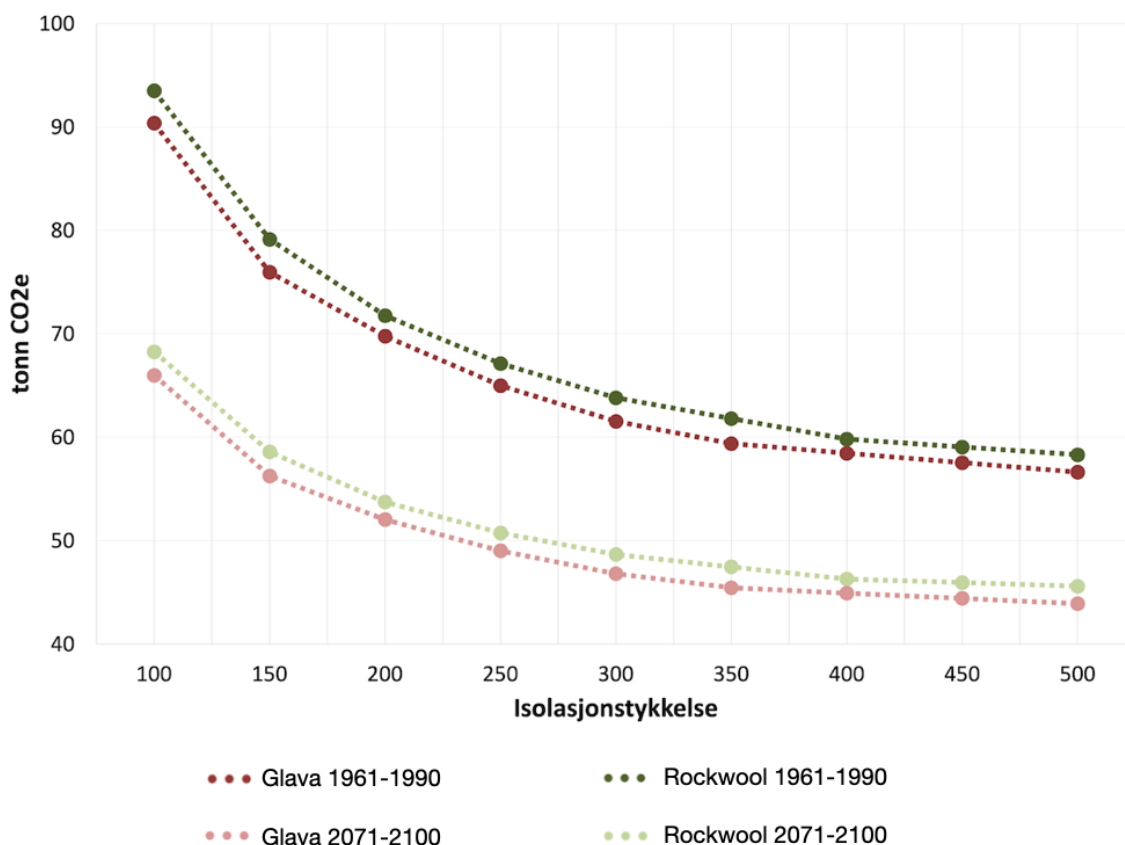


Figur 18: Klimagassutslipp fra Trend2 ved de ulike veggkonstruksjonene, målt i kg CO₂e. Navngitt etter total tykkelse på isolasjonssjikt og hvilken type isolasjon som er benyttet. Grønne stolper er Rockwool og røde er Glava.

Glava Proff 34 har en varmeledningsevne $\lambda = 0,034$ W/mK mot Rockwool Flexi A-Plate som har $\lambda = 0,037$ W/mK. Dette gjør at Glava gir en lavere U-verdi enn Rockwool ved samme veggtykkelse. Lav U-verdi fører videre til mindre varmetap gjennom veggen som reduserer boligens energibehov til oppvarming.

CO₂-avtrykket fra LCA til de 18 veggkonstruksjonene er satt sammen med CO₂-avtrykket fra energibruk til oppvarming gjennom hele byggets levetid (60 år) og plottet mot isolasjonstykkelse. Det er beregnet med fire ulike CO₂-faktorer for elektrisitet, beskrevet i 3.5.2. Beregnet optimal veggtykkelse med tanke på klimagassavtrykk varierer derfor med hvilken elektrisitmiks som benyttes.

Ved beregning med CO_2 -faktor $130 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$ er gevinsten av å redusere behovet for oppvarming stor og 500 mm isolasjon gir lavest beregnet klimagassavtrykk gjennom bygningens levetid. Dette gjelder for både historisk og fremtidig klima. Figur 19 viser sammenhengen mellom klimagassavtrykk gjennom levetiden og isolasjonstykkelse i yttervegg. Kurvene flater imidlertid ut omtrent ved 350 mm isolasjon. Det vil si at den ekstra CO_2 -besparelsen ved økt isolasjonstykkelse over 350 mm er relativt liten.



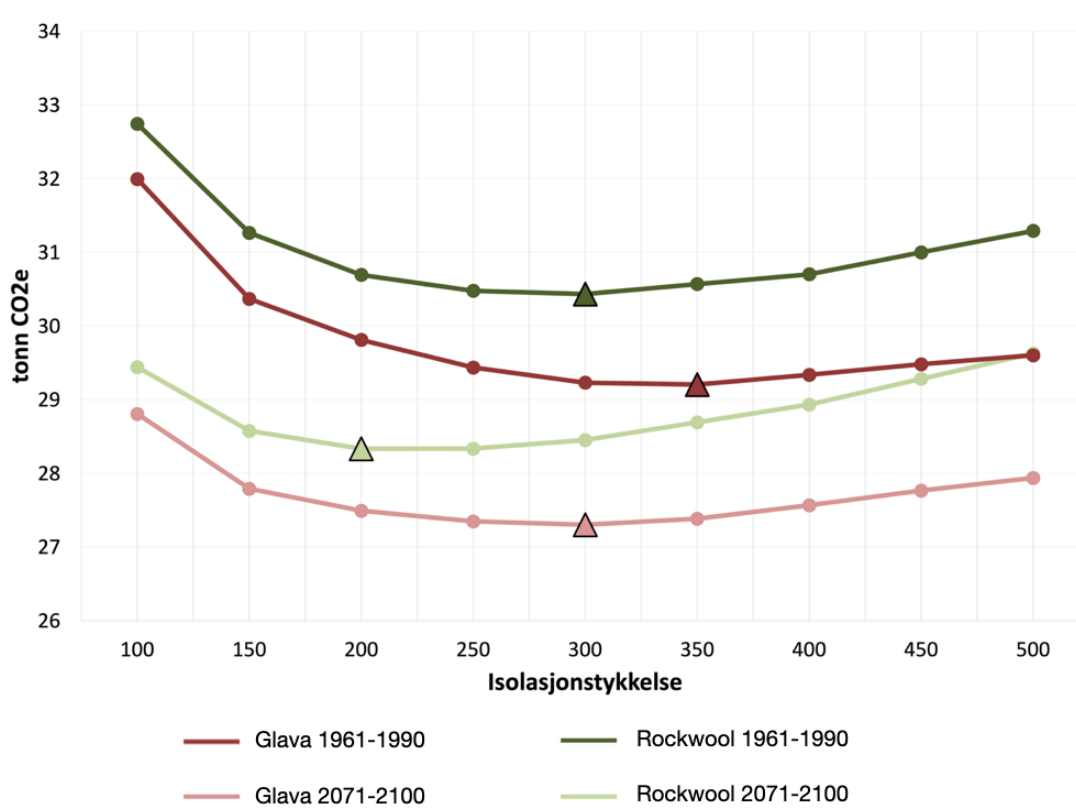
Figur 19: Utslipp fra materialer, bygging og energibruk til oppvarming med CO_2 -faktor $130 \text{ g CO}_2\text{e/kWh}$ for Trend2 med 60 års levetid mot isolasjonstykkelse i yttervegg.

Med CO₂-faktor 17 g CO₂e/kWh er klimagassavtrykket fra boligens energibruk til oppvarming gjennom levetiden 87% lavere enn med 130 g CO₂e/kWh. Klimagassavtrykk fra materialer og bygging av Trend2 utgjør da en større andel av totalen. Det resulterer i at totalt utslipp øker når varmeisolasjon i vegg overskrider en viss tykkelse.

På grunn av ulikt utslipp knyttet til utvinning av isolasjonsmaterialene har Glava og Rockwool ulike optimale tykkelser:

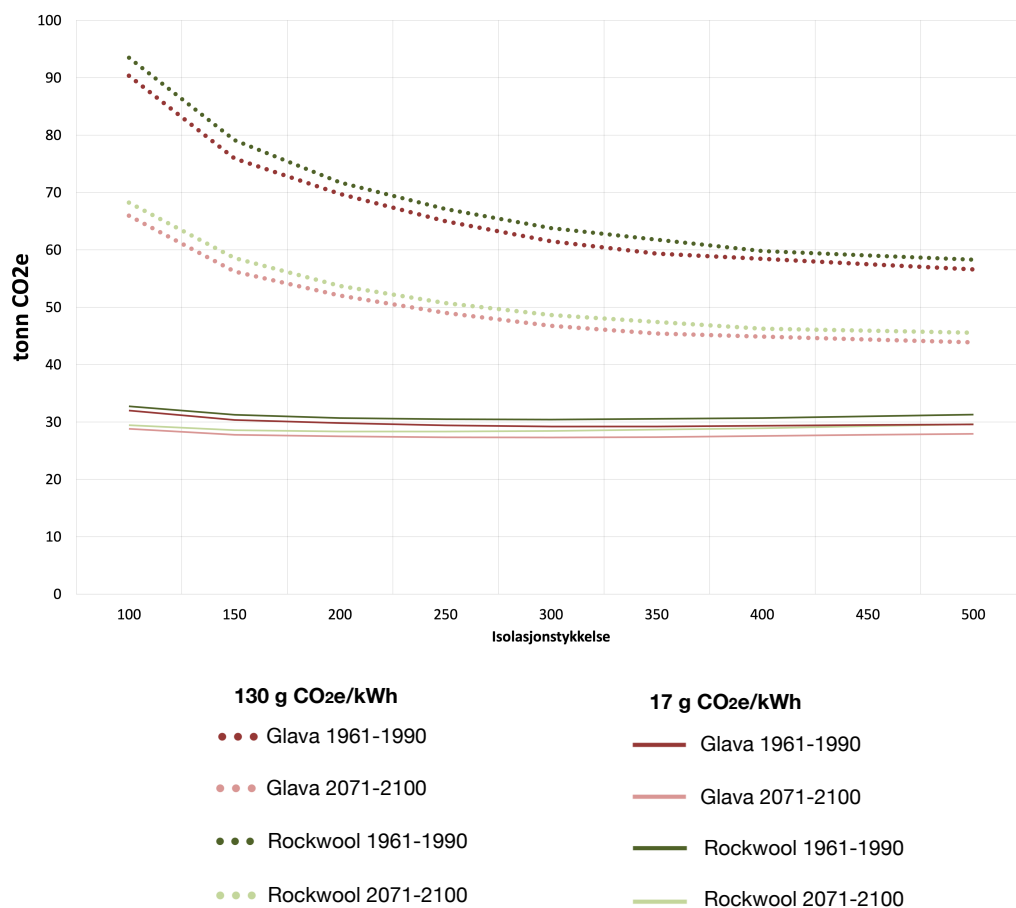
- **Glava:** 350 mm med klimadata fra perioden 1961-1990
300 mm med klimadata fra perioden 2071-2100
- **Rockwool:** 300 mm med klimadata fra perioden 1961-1990
200 mm med klimadata fra perioden 2071-2100

Se figur 20 for klimagassavtrykk ved CO₂-faktor 17 g CO₂e/kWh



Figur 20: Utslipp fra materialer, bygging og energibruk til oppvarming med CO₂-faktor 17 g CO₂e/kWh for Trend2 med 60 års levetid mot isolasjonstykkelse i yttervegg.

Figurene som viser klimagassavtrykk mot isolasjonstykkelse for ulike utslippsfaktorer har ulike grenseverdier på vertikalaksene. For å illustrere hvor stor forskjell det er mellom utslippsfaktorene er klimagassavtrykk ved 17 g CO₂e/kWh og 130 g CO₂e/kWh plottet mot isolasjonstykkelse i samme graf, vist i figur 21.



Figur 21: Utslipp fra materialer, bygging og energibruk til oppvarming med CO₂-faktor 130 g CO₂e/kWh mot 17 g CO₂e/kWh for Trend2 med 60 års levetid mot isolasjonstykkelse i yttervegg.

Faktor 74 g CO₂e/kWh gir samme resultat som med 130 g CO₂e/kWh, hvor økt varmeisolasjon i yttervegg gir lavere klimagassutslipp. Kurven flater imidlertid ut tidligere enn for 130 g, og gevinsten av å øke isolasjonstykkelsen synker betraktelig når den overskrider 350 mm. For 31 g CO₂e/kWh beregnes 350-400 mm Glava som mest optimalt for både historisk og fremtidig normalperiode. For Rockwool reduseres optimal mengde fra 400 mm til 300 mm. Figurer for 74 og 31 g CO₂e/kWh, samt alle fire utslippsfaktorene samles finnes i vedlegg J.3.

5 Diskusjon

Metoden som er brukt for å beregne energibruk til Trend2 med klimadatafiler fra SIMIEN og Meteorologisk institutt diskuteres i kapittel 5.1. I kapittel 5.2 diskuteres resultatene fra kapittel 4 og settes opp mot relevant teori fra kapittel 2

5.1 Kontroll av energiberegning og klimadata

På grunn av mangel på standardisert metode for beregning av fremtidig energibruk med predikert klimadata er det gjennomført en rekke kontroller og analyser av klimadata og innvirkningen på beregnet energibehov. Dette er for å kunne si noe om validiteten til resultatene. Kontrollene som er gjennomført presenteres i delkapitlene som følger.

5.1.1 Validering av beregningsprogram

SIMIEN er et norskutviklet beregningsprogram som oppfyller kravene gitt i NS 3031 og er validert etter ISO 15265. Programmet bruker en dynamisk beregningsmetode med timesverdier for klima (ProgramByggerne, 2020). SIMIEN er et av de mest brukte dynamiske beregningsprogrammene for boliger i Norge, sammen med TEK-Sjekk Energi og VIP-Energy (Myhre mfl., 2012).

NS 3031 henviser til NS-EN 15265, som stiller krav til at nøyaktighet av beregningene. Det er definert tre ulike nivåer av nøyaktighet;

Level A, $\pm 5\%$

Level B, $\pm 10\%$

Level C, $\pm 15\%$

hvor det kreves at programmet tilfredsstillende nivå C som et minimum (NS 3031, 2020).

ProgramByggerne AS står bak SIMIEN. De viser til en validering av programmet, som tilsier at SIMIEN oppfyller minst nivå B (ProgramByggerne, 2020).

Inndata benyttet i SIMIEN er kontrollert ved å sammenlikne resultatene med TEK-Sjekk Energi. TEK-Sjekk Energi er utviklet av SINTEF. Beregningene i programmet er utført av Norgeshus, som er leverandør av boligen Trend2. Programmet utfører beregninger i henhold til NS 3031. Både TEK-Sjekk Energi og SIMIEN benytter klimadata fra referanseperioden 1992-2014 for Oslo, som gjør at resultatene sammenliknes på samme klimadagr grunnlag. Resultatet fra kontrollberegningene vises i tabell 11. De to beregningsprogrammene gir en 2% differanse i totalt energibehov.

Tabell 11: Resultat fra kontrollberegning av Trend2 i Oslo (Blindern) med TEK-Sjekk Energi fra Byggforskserien og SIMIEN.

	TEK-Sjekk Energi	SIMIEN	Differanse
Romoppvarming	5689	5701	12
Ventilasjonsvarme	364	402	38
Varmtvann	3854	3854	0
Vifter	416	416	0
Pumper	0	6	6
Belysning	1474	1474	0
Teknisk utstyr	2267	2267	0
Romkjøling	0	0	0
Ventilasjonskjøling	0	0	0
Sum	14064	14120	56 (2%)

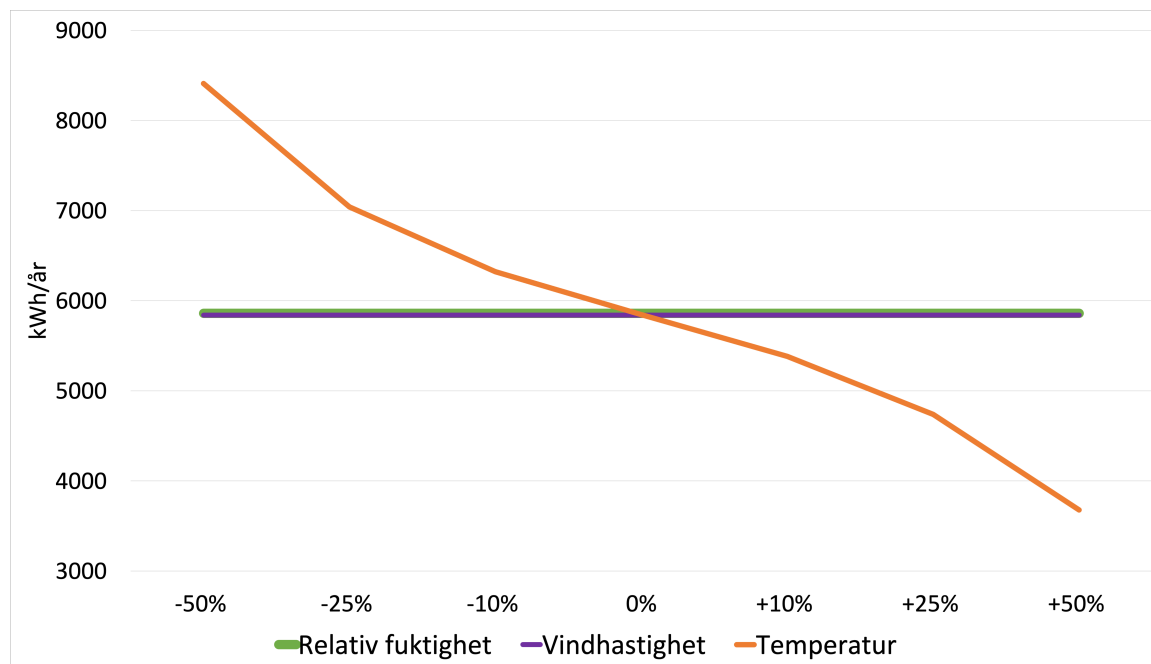
5.1.2 Sensitivitetsanalyse av klimadata i SIMIEN

Det er utført en sensitivitetsanalyse i SIMIEN for å undersøke hvordan variasjon i ulike meteorologiske verdier påvirker teoretisk beregnet energibruk. Analysen er gjort ved å eksportere klimadatasettet fra Oslo (Blindern) fra klimadatabasen i SIMIEN. Deretter er ulike parametre endret med +10%, +25%, +50%, -10%, -25% og -50% imens resterende klimaparametre holdes konstant. Verdiene det er sett på er;

- **Temperatur:** ved å øke og senke hver timesverdi med 0,9°C, 2,2°C og 4,5°C. Det tilsvarer 10, 25 og 50% av årsmiddeltemperaturen i Oslo.
- **Relativ fuktighet:** Justert slik at RF aldri er over 100% eller under 0%. Det betyr at det ikke er reduksjon/økning med fullstendig 10, 25 og 50% alle timer i året.
- **Vindhastighet:** Justert slik at det aldri er negativ vindhastighet.

Deretter er datasettene importert til SIMIEN for energiberegninger. Alle andre forhold ved bygningen er holdt konstant, og det er kun én og én klimaparameter som er endret. Formålet er å få et inntrykk av hvor mye variasjon i ulike parametre påvirker resultatet. På den måten kan nødvendigheten av nøyaktighet ved den enkelte vurderes. Det gir informasjon om stor usikkerhet ved en gitt klimaparameter vil overføre mye usikkerhet til resultatet, eller om energibehovet er upåvirket. Resultatene fra analysen vises i figur 22.

Det viser seg at energibehov til oppvarming forblir uendret ved både økning og reduksjon med 10%, 25% og 50% av vindhastighet og relativ fuktighet. Temperaturen påvirker energibruken i stor grad. Både absolutte verdier og prosentvis endring er presentert i tabell 12. Dette forsvarer valget om å kun benytte predikerte verdier for temperatur, og beholde historiske verdier for relativ fuktighet og vind. Endring i disse elementene har ingen innvirkning på energiberegninger utført i SIMIEN.



Figur 22: Sensitivitetsanalyse for ulike klimaparametre. Diagrammet viser hvordan energi- bruk til oppvarming endrer seg ved +/- 10%, 25% og 50% variasjon i ulike klimaparametre.

Tabell 12: Endring i energibehov som følger av endring i absolutt endring i timestempe- ratur. Den absolutte endringen tilsvarer +/- 10, 25 og 50% i årsmiddeltemperatur, som er 6,3°C for Oslo med klimadata fra 1992-2014 fra SIMIEN.

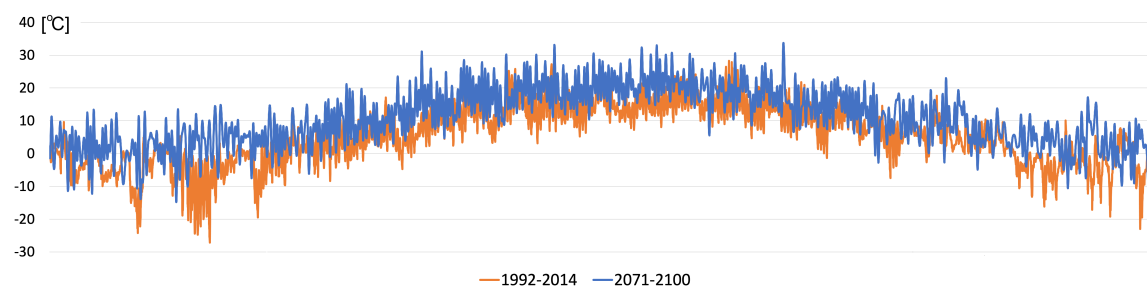
Endring i timestemperatur	Energibehov til oppvarming	Endring fra referanse
-4,5 °C	8411 kWh	44%
-2,2 °C	7041 kWh	20%
-0,9 °C	6322 kWh	8%
0°C	5846 kWh	
+0,9 °C	5383 kWh	-8%
+2,2 °C	4738 kWh	-19%
+4,5 °C	3679 kWh	-37%

5.1.3 Kontroll av fremtidige datasett

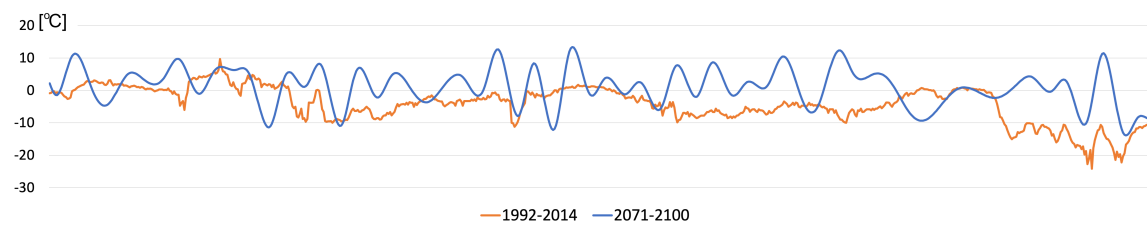
For å kontrollere de fremtidige datasettene som er konstruert er det gjort en sammenlikning med det historiske datasettet. Kontrollen avdekker ikke om de fremtidige datasettene er sannsynlige, men om variasjon gjennom året virker rimelig i forhold til historisk temperaturvariasjon. Timesverdiene er plottet i samme diagram, og vises i figur 23 (hele året) og figur 24 (kun januar). Temperaturen følger omtrent samme trendlinje gjennom året, men på detaljnivå observeres avvik mellom historisk og fremtidig timestemperaturserie.

Historisk datasett for temperatur er flatere enn den konstruerte. Dette kan skyldes den randomiserte trekningen av døgnmiddel ved konstruksjon av det fremtidige datasettet, forklart i 3.4.1, eller at de historiske dataseriene er glattet ut. Dette omtales videre i kapittel 5.1.4

Årsmiddeltemperaturen for fremtidig datasett for Oslo (Blindern) ligger $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ over historisk årsmiddel. Dette samsvarer med forventet temperaturøkning ved RCP8.5 kjent fra *Klima i Norge 2100* (Hanssen-Bauer mfl., 2015).



Figur 23: Sammenlikning av serien med timesdata for temperatur i Oslo (Blindern) mellom historisk referanseår fra 1992-2014 (oransje kurve) og fremtidig normalår 2071-2100 (blå kurve). Viser et helt år fra januar (venstre) til desember (høyre). Vertikalaksen viser absolutt temperatur.



Figur 24: Sammenlikning av serien med timesdata for temperatur i Oslo (Blindern) mellom historisk referanseår fra 1992-2014 (oransje kurve) og fremtidig normalår 2071-2100 (blå kurve), kun for januar måned. Vertikalaksen viser absolutt temperatur.

Tilsvarende sammenlikning er gjort for de resterende 10 stedene, som gir liknende resultater. Variasjonen i temperatur gjennom dagen er større for det fremtidige datasettet, men økning i årsmiddeltemperaturen er rimelig i forhold til kjente prediksjoner.

5.1.4 Kontroll av historiske datasett

Ved visuell kontroll fremstår de historiske datasettene fra SIMIEN (1992-2014 for Oslo og 1961-1990 for resterende steder) flate. Flate betyr her uvanlig lite variasjon i døgntemperatur. Det er forsøkt å finne informasjon om hvordan disse datasettene er konstruert, men uten hell. Både utvikleren av SIMIEN samt Norsk Standard er kontaktet uten å få tilfredsstillende svar på hvorfor datasettene fremstår flate. Det er imidlertid bekreftet at SIMIEN er validert etter NS 3031 som henviser til NS-EN ISO 15927.

Det er utført en kontroll for å undersøke om ulikheten i temperaturvariasjonen gjennom døgnet i datasettet gir utslag på beregnet energibehov. Driftstid er satt til 24 timer i døgnet for å hindre at maks- eller minimumstemperaturer havner utenfor tiden med oppvarmingsbehov. Dette ble gjort for Oslo klima med datasett fra 1992-2014 (historisk fra SIMIEN) og 2071-2100 (konstruert av Meteorologisk institutt). Effekten viste seg å være neglisjerbar. Forskjellen i energibruk var i størrelsesorden 0,1%. Energibruk til oppvarming ga isolert sett en endring på 0,4%. Resultat fra denne kontrollen vises i tabell 13.

Tabell 13: Resultat fra kontroll av effekten av at historiske datasett fra SIMIEN fremstår flatere enn de konstruerte fremtidige. Prosentvis endring fra vanlig drift er beregnet med resultatet for Oslo (Blindern) presentert i resultatdelen.

1992-2014			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5722	44,4	1a Romoppvarming	3428	26,6
1b Ventilasjonsvarme	402	3,1	1b Ventilasjonsvarme	206	1,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	6	0,0	3b Pumper	2	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energiforbruk	14141	109,6	Totalt netto Energiforbruk	11647	90,3
Prosentvis endring fra vanlig drift	0,1%		Prosentvis endring fra vanlig drift	0,1%	

Det er ikke utført tilsvarende kontroll for de andre klimaparametrene, da det er antatt at de ikke påvirker energibehov til oppvarming.

5.1.5 Kontroll av metode for konstruksjon av datasett

Variabiliteten i metoden for konstruksjon av datasett er kontrollert. Dette er gjort for å få et inntrykk av hvor stort utslag den randomiserte trekningen av døgntemperatur i metoden gir for beregnet energibruk. Meteorologisk institutt har produsert 10 ekstra datasett for både historisk (1961-1990) og fremtidig (2071-2100) situasjon i Oslo, Blindern.

De til sammen 20 dataseriene kalles kontrollserier. De er produsert med samme metode som beskrevet i 3.4.1 og energiberegningene utført med metoden beskrevet i 3.4.2. De 10 seriene fra 1961-1990 er nummerert fra H1 til H10, og 2071-2100 er nummerert fra F1 til F10. Datasettet som ligger til grunn for energibehovet presentert i resultatdelen kalles i denne sammenheng opprinnelig datasett.

Kontrollen viser at samtlige historiske kontrollserier gir et lavere beregnet energibehov til oppvarming enn det opprinnelige datasettet. Resultatet fra kontrollen avdekker følgende:

- For de historiske kontrolldataseriene (H1-H10):
 - Gjennomsnittlig årsmiddel er $6,4^{\circ}\text{C}$, $0,1^{\circ}\text{C}$ over opprinnelig datasett.
 - Energibruk til oppvarming varierer med ± 20 kWh/år om middelveiden for kontrollseriene.
 - Beregnet energibruk til oppvarming er 3% lavere i snitt enn for opprinnelig resultat.
- For de fremtidige kontrolldataseriene (F1-F10):
 - Gjennomsnittlig årsmiddel er $10,1^{\circ}\text{C}$, $0,8^{\circ}\text{C}$ over opprinnelig datasett.
 - Energibruk til oppvarming varierer med ± 14 kWh/år om middelveiden for kontrollseriene.
 - Beregnet energibruk til oppvarming er 8% høyere i snitt enn for opprinnelig resultat.

Det betyr at endringen fra historisk til fremtidig energibruk er mindre fra H1-H10 til F1-F10 enn hva den er for det opprinnelige resultatet. Endringen fra historisk til fremtidig oppvarmingsbehov viser seg å være 20% mindre med kontrollseriene. Årsaken til dette avviket er at det mest sannsynlig er gjort en endring i scriptet mellom konstruksjon av opprinnelig datasett og kontrollserier, uten at det er oppdaget. Se figur 25 og 26 for presentasjon av resultatene fra kontrollen.

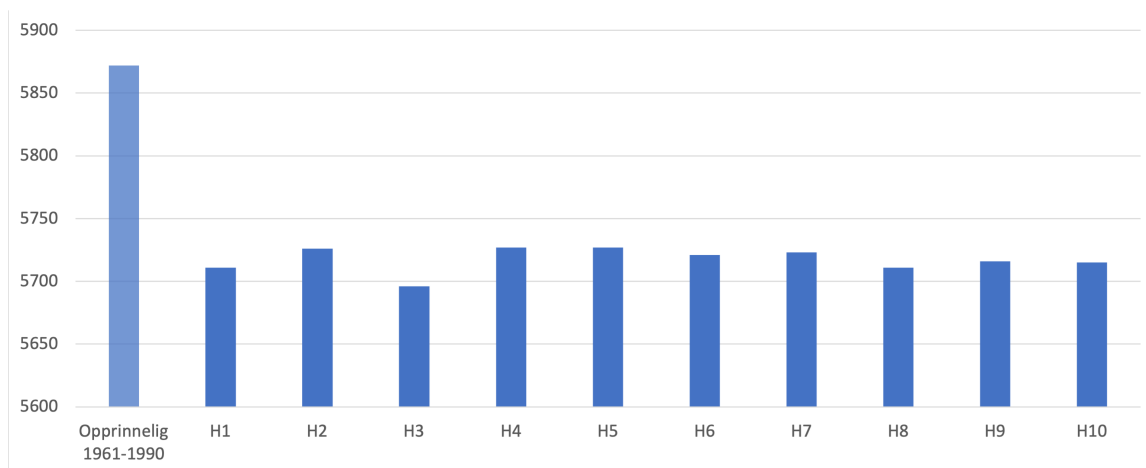
Klimaprediksjonene for Norge fra *Klima i Norge 2100* anslår en gjennomsnittlig økning på mellom 3,3 og 6,4°C i årsmiddeltemperatur ved RCP8.5, i forhold til perioden 1971-2000. 4,5°C er medianverdien av forventet temperaturøkning. Det indikerer to ting:

1. Avvikene mellom fremtidige kontrollserier og opprinnelig datasett er godt innenfor den forventede variansen i fremskrivingen.
2. Årsmiddeltemperatur på 10,8°C i år 2100 er en rimelig antagelse da det betyr 4,5°C varmere enn historisk normalperiode, slik anslått på landsbasis.

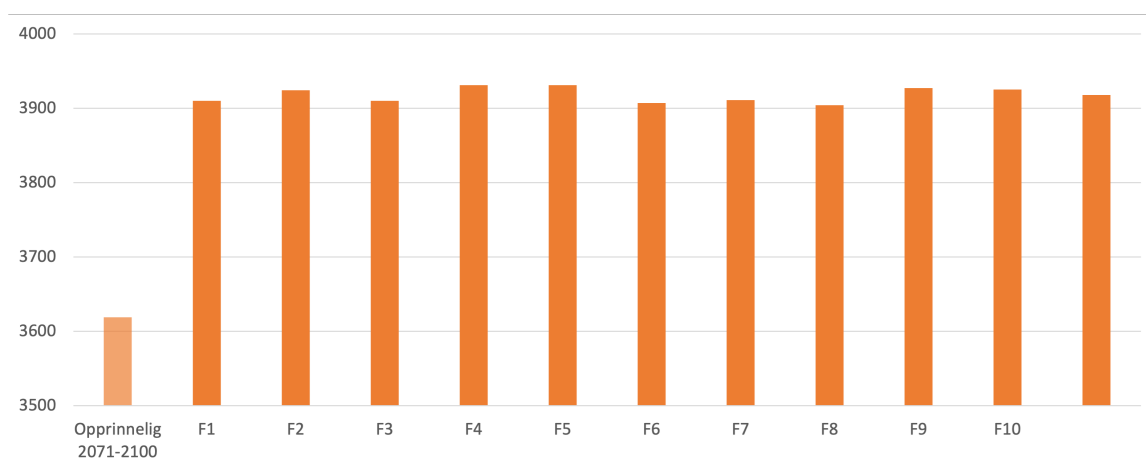
Det vil si at både 10,8°C og 10,1°C er rimelige antagelser for årsmiddeltemperatur i Oslo basert på klimaprediksjonene. Derfor antas det som rimelig å benytte det opprinnelige datasettet for fremtidig klima i energiberegningene. Dette området kunne potensielt vært nærmere utforsket, for eksempel ved å produsere flere klimadatasett med alt fra 3,3°C til 6,4°C økning i årsmiddeltemperatur for å beregnet et intervall for forventet energibehov til oppvarming. En slik analyse er ikke utført på grunn av oppgavens begrensede omfang.

Det er stor usikkerhet knyttet til klimaprediksjonene som ligger til grunn for datasettene. Avvik i årsmiddeltemperatur mellom de 10 kontrolldatasettene og opprinnelige datasett er 0,1 °C for det historiske datasettet og 0,7 °C for det fremtidige. Sammenliknet med intervallet for forventet økning av årsmiddeltemperatur ved RCP8.5 er det lite. Usikkerheten knyttet til dette vil derfor ha lite å si for usikkerheten til resultatet.

Se vedlegg K for mer detaljert oversikt over resultatene fra kontrollen. Kontrollen er kun gjort for Oslo (Blindern) men gir likevel et inntrykk av variabiliteten i resultatene fra de andre stedene.



Figur 25: Beregnet energibruk til oppvarming for det opprinnelige datasettet fra 1961-1990 samt de 10 kontrollseriene for historisk situasjon i Oslo (Blindern), nummerert fra H1 til H10.



Figur 26: Beregnet energibruk til oppvarming for det opprinnelige datasettet fra 2071-2100 samt de 10 kontrollseriene for fremtidig situasjon i Oslo (Blindern), nummerert fra F1 til F10.

5.1.6 Konstruert historisk klimadata for Oslo (Blindern)

Klimadatasett for Oslo (Blindern) som er tilgjengelig i SIMIEN og fra NS 3031 er fra den egendefinerte perioden 1992-2014. For alle andre steder er standard normalperiode 1961-1990 benyttet. Det er derfor valgt å konstruere et historisk normalår for Oslo (Blindern) på samme måte som de fremtidige årene fra perioden 2071-2100. Denne metoden er beskrevet i kapittel 3.4.1. For å kontrollere hvilken forskjell det utgjør å benytte konstruert historisk normal er det utført energiberegning for 1961-1990 og 1992-2014 for Oslo (Blindern) for å sammenlikne resultatene.

Kontrollen viser at det konstruerte historiske datasettet fra 1961-1990 har et litt lavere energibehov til oppvarming enn klimadata fra 1992-2014. Forskjellen er 4% for oppvarming og 2% for det totale energibehovet. Resultatet fra kontrollen vises i tabell 21 i vedlegg H.

Det betyr at det ikke utgjør en stor forskjell hvilket datasett som benyttes. Det er likevel valgt å bruke 1961-1990 slik at klimadata fra alle stedene kommer fra samme normalperiode.

5.1.7 Oppsummering

Listen under gir en oppsummering av kontrollene presentert i dette kapittelet.

- Beregningsprogrammet som er benyttet er validert etter NS 3031.
- Klimadata fra historisk normalperiode (1961-1990) antas derfor å være validert etter NS 3031 og ISO 15927. For Oslo var kun klimadata fra perioden 1992-2014 tilgjengelig, så det er konstruert et datasett for 1961-1990 av Meteorologisk institutt.
- Det er kun temperatur som påvirker energibruk til oppvarming. Derfor antas det som tilstrekkelig å kun benytte fremtidig data for temperatur og beholde resterende klimaparametre som i historisk normalperiode.
- Klimadata fra den historiske normalperioden er hentet fra SIMIEN. Døgnvariasjonen i temperatur er flatere enn for de konstruerte referanseårene, men det er kontrollert at variasjoner utenfor driftstiden ikke påvirker resultatet nevneverdig.
- Fremtidig klimadatasett er laget av Meteorologisk institutt med en ikke-standardisert metode. Det finnes ingen standard for hvordan konstruere referanseår for fremtidig klima, så den ikke-standardiserte metoden må regnes som tilstrekkelig. Datasettene stemmer overens med forventet økning i årsmiddeltemperatur i følge nedskalering av IPCC sine klimaprediksjoner.

5.2 Diskusjon av resultat

For å undersøke hvordan energibruken kan påvirkes av global oppvarming i fremtiden ble følgende forskningsspørsmål presentert i innledningen;

1. *Hvordan bruker vi klimadata for å beregne forventet energibruk i bygninger?*
2. *Hvordan vil energibruk til oppvarming variere i landet og i et fremtidig klima?*

Målet med skjerpede energikrav i TEK har vært å redusere den totale klimabelastningen fra bygningsmassen. Det har imidlertid vært svært lite fokus i regelverk på CO₂-utslipp knyttet til byggeprosessen. Dette ledet til et tredje forskningsspørsmål;

3. *Finnes det en optimal isolasjonstykkelse i vegg med tanke på energibruk til oppvarming og klimagassutslipp?*

Resultat fra beregningene har gitt grunnlag for diskusjon av forskningsspørsmålene.

5.2.1 Redusert energibehov til oppvarming

Energibehov til oppvarming av Trend2 reduseres for alle elleve plasseringer av boligen. Dette er ikke overraskende med tanke på en forventet temperaturøkning, og at behov for oppvarming påvirkes sterkt av utetemperatur. Det er stedene med størst historisk energibehov som får den største reduksjonen, og dette er typisk steder i Nord-Norge og Innlandet. Karasjok har den største forventede økningen i årsmiddeltemperatur med 5,4°C for RCP8.5, og den største reduksjonen i forventet energibehov. Det er generelt stedene som allerede har lavt energibehov som får den minste reduksjonen i fremtiden. Dette gjelder blant steder som Stavanger, Kristiansand og Bergen.

Resultatet for beregnet energibehov begrenser seg til å gjelde i kommunenes administrasjonssentre, da det er der klimadata kommer fra. Typisk vil steder høyere over havet enn administrasjonssenteret være kaldere, og motsatt for lavereliggende områder.

De siste årene er det utført flere studier på hvordan energibruk til oppvarming og kjøling kan endres i fremtiden. Studier i Sverige og Finland konkluderer med en reduksjon i energi til oppvarming og kjøling på omtrent 30%, men med stor variasjon. Dette er land med relativt likt klima som Norge. Resultatene fra disse studiene stemmer godt overens med reduksjonen beregnet i oppgaven, som varierer mellom 21% til 41%. Dette styrker validiteten av resultatene.

De samme studiene fastslo at kjøling i boliger fortsatt kan løses med naturlig ventilasjon i fremtiden. Resultatene i denne oppgaven forutsetter at det ikke er behov for kjøling. Andre studier gjort på land med varmere klima viser at den totale energibruken mest sannsynlig vil

gå opp på grunn av økning i kjølebehov. Dersom det viser seg at det er behov for mekanisk kjøling vil det øke energibehovet. Størrelsen på den potensielle økningen er ikke undersøkt.

I tillegg til oppvarming behøver boliger energi til varmtvann, teknisk utstyr og belysning. Det er kun energibehov til oppvarming som endres fra 1961-1990 til 2071-2100, i følge beregningene. Det er rimelig å anta at det vil være en utvikling av teknologi slik at energibehovet til de andre postene også vil endres i fremtiden. Ny teknologi kan bidra til både økt og redusert forbruk. Med dagens fokus på energieffektivisering er det sannsynlig at fremtidens teknologi vil ta hensyn til dette. Redusert internlast vil imidlertid føre til et større oppvarmingsbehov. Teknologisk utvikling er ikke tatt hensyn til i beregning av fremtidig energibehov.

5.2.2 Bruk av klimadata

Dokumentasjon av oppfylte krav til energieffektivitet i henhold til byggt teknisk forskrift gjøres gjennom energiltak eller energirammer. Ved energiltak må det benyttes preaksepterte ytelser ved bygningens ulike elementer, og det oppgis ikke energiltak tilpasset ulik geografi og klima rundt om i landet. Ved energiramme må det utføres energiberegninger, men det er ikke krav om å benytte lokale klimadata.

NS 3031 tillater å benytte Oslo klima ved dokumentasjon av energiytelse. Det betyr at en bolig i Karasjok har tilfredsstillende energieffektivitet dersom den oppfyller kravene i TEK17 med samme klima som Oslo. Det er til tross for at årsmiddeltemperaturen er 8°C varmere. Beregnet energibehovet til oppvarming er over det dobbelte av Oslo. Det er blant annet fordi det aksepteres et større oppvarmingsbehov ved kaldere klima. Dersom bygninger i Karasjok skulle dimensjoneres for det samme lave energibehovet kan det føre til kostbare og mer kompliserte løsninger. Det motsatte vil gjelde for Stavanger. Der vil boligen få et lavere reelt energibehov enn hva som beregnes med Oslo klima. Beregning med samme klima i hele landet forenkler dokumentasjonen, men sikrer ikke nødvendigvis de beste løsningene.

Oppdatering av klimanormalene er viktig for å sikre at bygninger og infrastruktur dimensjoneres for et klima likere dagens situasjon. Ved sammenlikning av registrerte temperaturer for 2020 med den nye normalen for 1991-2020 kan det virke som den allerede er utdatert. De fleste månedene i 2020 hadde en middeltemperatur godt over den nye normalen. Det tyder på at endringene skjer så hurtig det kanskje ikke lenger er holdbart å kun bruke historiske data fra de foregående tretti årene i dimensjoneringen.

Tidligere har normalperiodene kun blitt oppdatert hvert trettiende år, men fremover skal det skje hvert tiende år. Det er for å ha en mer oppdatert klimanormal. Det vil likevel si at bygninger og infrastruktur som prosjekteres i 2030 vil ha klima fra perioden 1990-2020 som dimensjoneringsgrunnlag. Dersom bygninger har en levetid på 60 år vil de oppleve klimaendringene fra mot 2100. Byggene må prosjekteres for dette.

Det har ikke vært vanlig praksis å ta i bruk temperaturprediksjoner for dimensjonering av varmeisolasjon i bygninger. Med levetid på minst 60 år er det nødvendig å ta i betraktning klima for 30, 40 eller 50 år frem i tid. Det er komplisert å velge hvilket klima dette skal være. Det vil ikke være riktig å dimensjonere for RCP8.5, for verden jobber fortsatt for å begrense oppvarmingen tilsvarende RCP2.6. Det råder derimot liten tvil om at det vil bli varmere i årene som kommer.

ISO 15927 stiller krav til hvordan referanseår for energiberegninger skal utarbeides for å sikre en standardisert metode. Det finnes foreløpig ingen standard for hvordan dette gjøres for fremtidig klima. For nedbør er det etablert et klimapåslag for å dimensjonere for forventet økning i nedbørsmengde. Varierende størrelse på temperaturendringen rundt om i landet gjør det komplisert å utforme generelle retningslinjer for dimensjonering for fremtidig energibehov. Geografisk variasjon gjelder også for nedbør. Miljødirektoratet foreslår 20-40% klimapåslag for dimensjonerende nedbørsmengde (Miljødirektoratet, 2019). Det kan være nyttig å utarbeide et liknende påslag for temperatur. Denne typen fremtidsrettet dimensjonering er nok enda viktigere med tanke på fuktpåkjenning som utgjør en stor risiko for bygningsmassen. Redusert energibehov i boliger er først og fremst en gevinst som kan utnyttes, men det påvirker også hvilke tiltak og krav som prioriteres. Dersom geografi og fremtidig temperatur tas i betraktning kan det resultere i mer energieffektive bygninger der det trengs, og redusert materialforbruk der behovet er mindre.

5.2.3 Forventet klimaendring

Det er ikke mulig å forutse hvilken utviklingsbane verden kommer til å følge frem mot 2100. Det avhenger både av hvordan utslipp av klimagasser utvikler seg og hvordan klimasystemet reagerer på det. Det er langt utenfor denne oppgavens omfang å undersøke usikkerheten i prediksjonene til IPCC, og hvilken av de fire banene som er mest realistisk.

Gjennom Parisavtalen har de fleste landene i verden forpliktet seg til å bidra til å begrense global oppvarming til 2°C. Dette tilsvarer omtrent utviklingsbane RCP2.6. For å klare dette har Norge satt seg som mål å gjøre følgende kutt relativt til 1990:

- -30% innen 2020 (Kyotoavtalen)
- -50% innen 2030 (Parisavtalen)
- klimanøytralitet innen 2050 (Parisavtalen)

30% reduksjon relativt til 1990 tilsvarer totale utslipp på 46-48 millioner tonn CO₂e i 2020 (Miljødirektoratet, 2021). Det er komplisert å beregne størrelsen på utslippene, på grunn av ulike regler rundt hva som skal medtas og ikke. I tillegg har EU et system for kvotehandel som skal med i regnskapet.

Av den grunn foreligger ikke tallene for 2020 enda, men de forventes publisert av SSB i løpet av sommeren 2021 (Miljødirektoratet, 2021). Tallene for 2019 er rapportert til å være 50,3 millioner tonn CO₂e, litt over målet som er satt (Miljødirektoratet, 2021). Det finnes generelt lite tall på hvordan verden ligger an for å begrense oppvarmingen, men målene er satt for å begrense oppvarmingen til 2°C. Basert på det foreløpige tallene fra 2019 er det ikke garantert at disse utslippsmålene nås. Det er heller ikke garantert at kuttene vil føre til ønsket reduksjon av global oppvarming.

Beregningene er basert på utviklingsbane RCP8.5, som ofte kalles *buisiness as usual*. Det betyr ikke at det er utviklingen verden mest sannsynlig står ovenfor, men at det er forventet utvikling dersom ingen tiltak gjøres. Det medfører at resultatene i oppgaven gir størst tenkelig endring av energibehov på grunn av klimaendringer, i følge IPCC sine prediksjoner. Det kan diskuteres hvor korrekt det er å velge den mest ekstreme prediksjonen, men til dette formålet fungerer det godt for å illustrere to mulig ytterpunkter ved energibehov og isolasjonstykkelse. Dersom den faktiske temperaturøkningen viser seg å ligge mellom temperaturen i 1961-1990 og RCP8.5 i 2071-2100 vil den reelle endringen i energibehov ligge et sted i midten. Svært mange studier som omhandler fremtidig klima legger RCP8.5 til grunn. Derfor er det relevant å benytte RCP8.5 ved beregning av endret energibehov til oppvarming.

5.2.4 Energimiksens utslippsfaktor

Det er tatt utgangspunkt i at hele boligens energibehov dekkes av elektrisitet. Denne antagelsen er en forenkling, men heller ikke så langt fra sannheten. Elektrisitet er den vanligste kilden for energi til oppvarming av boliger i Norge i dag. Dersom boligen skal varmes opp på andre måter må det benyttes en utslippsfaktor for den enkelte energimiksen.

CO₂-faktoren til elektrisiteten har mye å si for hvilken isolasjonstykkelse som beregnes til den optimale med tanke på klimagassutslipp. Den bestemmer hvor stort CO₂-utslipp energibruken gir. Ved valg av høy CO₂-faktor vil utslipp fra strømforbruket dominere over utslippene fra bygging av Trend2. Det er imidlertid ikke rett frem å beregne hva som er korrekt utslippsfaktor for elektrisiteten som forbrukes i Norge. For å undersøke ulike scenarier for utviklingen av elektrisitetsmiksen er det gjort beregninger med fire utslippsfaktorer for strøm. De spenner fra rapportert utslippsfaktor fra norsk elektrisitetsforbruk til forventet europeisk gjennomsnitt frem mot 2070. Hvilken faktor som blir mest riktig å bruke avhenger i stor grad av om man vil se på det direkte norske utslippet eller på det totale globale utslippet.

Prediksjonene for utvikling av faktor har usikkerheter knyttet til seg, og avhenger av en omfattende omstilling til fornybar energiproduksjon. EU har ambisjoner om å bli klimanøytrale innen 2050, som krever store kutt innenfor alle sektorer. Energiproduksjon står i dag for Europas største andel utslipp, og det er stort fokus på å redusere dem. Det betyr at det kan forventes at utslippet knyttet til strømproduksjon vil gå drastisk ned frem mot 2050.

Import og eksport gjennom kraftkabler mellom land i Europa kompliserer beregningen av CO₂-faktor. I tillegg selges opprinnelsesgarantier til betalingsvillige aktører i utlandet som kan skape forvirring. Ordningen med opprinnelsesgarantier ble innført av EU i 2001 for å subsidiere produksjon av fornybar energi (NVE, 2015b). I 2018 ble opprinnelsesgaranti på nesten 80% av all fornybar norsk energi solgt til utlandet (NVE, 2015b). På grunn av dette kan enkelte mene at strømforbruket i Norge har langt høyere klimagassutslipp enn hva produksjonen tilsier. EUs regelverk fastslår at garantiene kun er en finansiell transaksjon som dokumenterer at en viss andel av elektrisiteten er fornybar. Reglene sier at det ikke skal medregnes i landets utslippsregnskap (NVE, 2020). Opprinnelsesgarantier gjør det ikke mulig å identifisere hvordan elektrisiteten i en gitt stikkontakt er produsert, men det kan gi forbrukeren makt til å øke etterspørselen av fornybar energi.

NVE har derfor utarbeidet en metode for klimadeklarasjon av norsk strømforbruk uten hensyn til opprinnelsesgarantier. Rapporten konkluderer med en utslippsfaktor på 15 g CO₂e/kWh for 2019, altså lavere enn det laveste tallet benyttet i denne oppgaven. Denne informasjonen kom frem etter beregningene var utført og er derfor ikke benyttet. Det er videre forventet en ytterligere reduksjon til 12,5 g CO₂e/kWh i løpet av de neste fem årene.

Dette er beregnet ved å se på utslipp fra norsk kraftproduksjon, minus eksport og pluss import av energi. Metoden stemmer ikke overens med FNs klimakonvensjon, som sier at importert strøm ikke skal medregnes i Norges klimagassregnskap. Det mener NVE gir et feil bilde (NVE, 2020). Rapporten fra arbeidet er foreløpig ikke publisert.

Elektrisitet som importeres fra Europa har fått utslippsfaktor 113 g CO₂/kWh i rapporten fra NVE. Det vil si lavere enn den høyeste utslippsfaktoren brukt i denne oppgaven. Det tyder på at å sette utslipp fra strøm benyttet i Norge til det samme som europeisk gjennomsnitt er i overkant konservativt.

Hva som er korrekt utslippsfaktor fra energitilførselen har en innvirkning på alt som har med energi og klimagassutslipp å gjøre. Det er blant annet avgjørende ved beregning av nullutslippsbygg (ZEB) som produserer fornybar energi for å kompensere for egne utslipp. En høy utslippsfaktor for strøm fra nettet bidrar til at bygningen raskere når null utslipp. Det fører til en favorisering av høy utslippsfaktor. Valg av utslippsfaktor vil også påvirke politiske avgjørelser rundt tiltak for å begrense klimagassutslipp, fordi den bestemmer bidraget fra energibruken.

Lavt utslipp fra norsk strømforbruk neglisjerer ikke viktigheten av å redusere energibruken. Gjennom eksport kan fornybar energi spart i Norge potensielt erstatte strøm produsert fra et kullkraftverk i Europa. Denne gevinsten kan imidlertid reduseres dersom antagelsen fra Graabak og Feilberg (2011) om at Europa vil ha fullstendig fornybar energi innen 2054 stemmer. Det er i tillegg 4% energitap i kabeltransporten i følge Statnett (2017), så en kWh eksportert fra Norge kan ikke fullt erstatte en kWh med kullkraft.

5.2.5 Bærekraftig isolasjonsmengde

Redusert behov for energi til oppvarming kan føre til et redusert klimagassavtrykk som følge av lavere energiforbruk. På en annen side kan det muliggjøre en reduksjon av varmeisolasjon i boligen samtidig som kravene som stilles av byggt teknisk forskrift i dag overholdes. Redusert varmeisolasjon medfører besparelser knyttet til materialene. Det gjelder både i form av økonomi og CO₂-utslipp fra utvinning av materiell og transport.

I Norge er det fremmet et forslag om krav om nesten nullenergibygninger (nZEB). EU har vedtatt at alle nybygg fra 2020 skal være nZEB. Definisjonen på nZEB er imidlertid omstridt. En rapport utført av Rambøll for DiBK foreslår et energibruk mindre enn 70% av kravet gitt av byggt teknisk forskrift (Killingland mfl., 2013). Foreløpig innebærer ikke definisjonen krav til klimagassavtrykk fra materialer. Basert på beregninger gjort i denne oppgaven er det ikke sikkert at det vil sikre den laveste klimapåkjenningen over tid.

Byggt teknisk forskrift stiller foreløpig ingen krav til livssyklusanalyse av bygninger og fokuserer kun på energibehov i driftsfasen. Det samme gjelder passivhusstandarden (NS 3700).

Dette kan føre til en favorisering av løsninger som gir lavt energibruk over løsninger med lavt CO₂-avtrykk. TEK17 har et minimumskrav til ytterveggen U-verdi på 0,22 W/m²K som kan oppnås med bindingsverksvegg med 200 mm isolasjon. NS 3700 oppgir typisk U-verdi på 0,10-0,12 W/m²K for å nå passivhuskravet. Det tilsvarer en bindingsverksvegg med 400 mm isolasjon (Byggforsk, 2012). Med utslippsfaktor 17 g CO_{2e}/kWh beregnes mest gunstig isolasjonsmengde med tanke på klimagassutslipp til omtrent 300 mm for Oslo. Dette avhenger av type isolasjon og normalperiode som legges til grunn. Det vil si et sted mellom kravet i TEK17 og typisk verdi fra NS 3700. Resultatene viser også at den optimale tykkelsen vil reduseres i takt med global oppvarming.

Resultatene for optimal isolasjonstykkelse i vegg er kun gjort for klimadata fra Oslo. Basert på energiberegningene er det rimelig å anta at den optimale tykkelsen vil være større for Karasjok og mindre for Stavanger. Dagens byggtekniske forskrift differensierer ikke på geografi i kravene til energieffektivitet. Resultatene viser at beregningsmessig energibehov til oppvarming varierer stort rundt om i landet på grunn av ulikt klima. Likevel stilles de samme kravene til isolasjonstykkelse. I Karasjok utgjør oppvarming 61% og 53% av totalt energibehov for henholdsvis historisk og fremtidig normalperiode. For Stavanger er de samme tallene 32% og 26%. Det tyder på at sparepotensialet ved en liten økning av varmeisolerings er større i Karasjok enn i Stavanger. Det indikerer også at det kan være mye å hente ved å stille krav om varmeisolerings etter lokalt behov i stedet for å ha det samme kravet i hele landet.

Forbruk av energi multipliseres med boligens levetid. Utslipp knyttet til bygging av boligen er beregnet som et engangsbeløp. Dette fører til at valg av levetid er avgjørende for hvilken isolasjonstykkelse som beregnes som optimal. Dersom levetiden settes til 30 år vil optimal isolasjonsmengde være mindre enn med 60 år. Det skyldes at utslipp fra materialer utgjør en større del av totalen når antall år med strømforbruk halveres.

Det er ikke undersøkt hva som kan være den mest økonomisk gunstige isolasjonstykkelsen, for det avhenger av svært mange faktorer. Både redusert BRA, mer tidkrevende byggeprosess samt material- og energikostnad spiller inn. Det er vanskelig å forutse hvordan strømprisene vil utvikle seg i fremtiden. De siste ti årene har strøm i Norge kostet 90 øre/kWh i snitt, inkludert nettleie (SSB, 2021). Med denne strømprisen vil den beregnede reduksjonen i strømkostnad variere mellom 900 og 3500 kroner per år. Dersom det antas en besparelse på 2000 kroner/år over 60 års levetid utgjør det 120 000 kroner. Sammenliknet med kostnaden for varmeisolasjon er dette et stort beløp. På en annen side vil økt veggtykkelse redusere BRA i boligen, som påvirker verdien av boligen. Dette er kun basert på et kort resonnement, men illustrerer kompleksiteten av spørsmålet.

Det er bare isolasjonstykkelse i yttervegg som er endret i beregningene. Dersom isolasjonstykkelse i tak og gulv også økes, eller kvaliteten på vinduer forbedres i takt med veggen vil

det være mulig å oppnå enda lavere energibehov. Isolasjon i tak og gulv samt U-verdi til vindu vil imidlertid ikke påvirke BRA. Det er derfor mer vanlig å redusere isolasjonsmengde i vegg, dersom det er mulig. Det forsvarer valget om å kun endre yttervegg.

LCA er utført med materialer i nåtid og utslippsfaktor til strøm for nåværende norske og forventet fremtidig europeisk forbruk. Dette skyldes manglende informasjon og usikkerhet rundt utvikling av fremtidige forhold. Klimagassavtrykk fra materialer er ikke det samme nå som på 60-tallet, og det vil trolig endre seg frem mot 2070. Boliger som bygges i dag vil imidlertid fortsatt være i bruk i 2070, dersom levetiden er 60 år. Det er ikke benyttet utslippsfaktor for strøm fra 60-tallet og frem til i dag. I følge antagelsen om utslippsfri strøm innen 2054 vil utslippsfaktoren i 2071-2100 være 0 g CO₂e/kWh. Energibruk til oppvarming er beregnet med klima fra perioden 1961-1990 og 2071-2100. Optimalt sett burde alt vært beregnet i den tiden boligen var i bruk med dynamiske verdier som endres i takt med utviklingen. Det blir for omfattende for denne oppgaven da det foreligger lite detaljert informasjon om fremtidig materialutvikling og faktorer. Derfor er det gjort en forenkling ved å benytte mer statiske verdier.

Det er usikkerhet knyttet til resultatene presentert i denne oppgaven på grunn av bruk av fremtidsprediksjoner. Det er likevel en indikasjon på at mer isolasjon ikke nødvendigvis er gunstig med tanke på klima og bærekraft. Det betyr at krav til energieffektivitet ikke kan fortsette å skjerpes uten å ta hensyn til livssyklusanalyser. Resultatene tilsier ikke at kravene i TEK17 bør nedjusteres for Oslo, for optimal isolasjon beregnes til mer enn hva TEK17 sier er nødvendig. Det som bør vurderes er om passivhus, slik de er definert i standarden, er løsningen. NS 3700 stiller heller ingen krav til LCA. I standarden omtales passivhus som miljøvennlige bygninger. Da bør hele levetiden tas i betraktning.

Et passivhus har, i de aller fleste tilfeller, et større klimagassavtrykk knyttet til bygging enn et hus som bygges etter TEK17. For at passivhuset skal ende opp med et lavere avtrykk må reduksjon av energibruk i brukstiden gjøre opp for de økte utslippene ved bygging. Dersom dette ikke er tilfelle må vi tenke oss om. Hensikten med energieffektive bygninger er å redusere den totale klimabelastningen. Nå ikke det målet er det bare en bolig med lavere strømforbruk. I den store sammehengen spiller det ingen rolle om utslippene skjer i byggefase eller bruksfase; det er totalen som teller. Mengden varmeisolasjon bør bestemmes ut i fra det for å være bærekraftig. Forhåpentligvis vil fremtidens byggeforskrift være utformet på en måte som balanserer materialbruk mot energibehov, som sikrer de mest bærekraftige bygningene gjennom hele levetiden.

5.3 Videre arbeid

Det foreligger 10 datasett med timestemperatur for både historisk og fremtidig klima for alle de elleve stedene benyttet i oppgaven. Tidsbegrensning førte til at disse ikke ble undersøkt. For å redusere usikkerhet i metoden for konstruksjon av datasett anbefales det at det utføres energiberegninger med de ekstra datasettene. Energiforbruk til oppvarming kan da presenteres med en forventningsverdi og tilhørende varians.

Ved RCP8.5 er det forventet en økning på 3,3-6,4°C av gjennomsnittlig årsmiddeltemperatur. For å undersøke variansen i energiforbruk til oppvarming kan det benyttes klimadata som representerer hele intervallet for forventet økning i årsmiddeltemperatur. Da kan forventet fremtidig energiforbruk ved RCP8.5 presenteres som et intervall.

Videre kan det være interessant å undersøke om det faktisk vil være tilstrekkelig med naturlig ventilasjon for kjøling av boliger i fremtiden. Denne oppgaven har tatt utgangspunkt i at naturlig ventilasjon er tilstrekkelig, men dersom det viser seg at mekanisk kjøling er nødvendig vil det påvirke energiforbruket.

Det er kun undersøkt optimal isolasjonstykkel for plassering av Trend2 i Oslo. Videre arbeid kan gå ut på å gjøre samme øvelse for andre steder i landet for å undersøke forskjellene. Det kan også være interessant å utføre livssyklusanalyser for andre isolasjonsmaterialer.

6 Konklusjon

TEK17 stiller krav til bygningers energieffektivitet. Det er ikke krav om bruk av lokale klimadata ved dokumentasjon av tilfredsstillende lavt energibehov. Dokumentasjon av energiytelse kan gjøres med standardisert Osloklimate som fører til lik isolasjonstykkelse i hele landet. Det er til tross for at energibehov avhenger sterkt av utetemperaturen.

Ved beregning av energibehov skal det benyttes et referanseår som inneholder timesverdier for temperatur, sol vind og relativ fuktighet. Det viser seg at de to sistnevnte ikke påvirker energibehovet beregnet med SIMIEN. Energi til varmtvann, teknisk utstyr og belysning er upåvirket så lenge alle parametre ved boligen holdes konstant. Selv om et bygg dimensjoneres for 60 år finnes det hverken krav eller metoder for bruk av fremtidig temperatur ved beregning av energibehov.

Årsmiddeltemperaturen i Norge har steget med omtrent 1°C siden 1900. Det er spesielt de siste 40 årene det er observert en markant økning. Året 2020 slo flere nasjonale varmerekorde og tangerte 2016 som det varmeste året registrert globalt. I følge utviklingsbane RCP8.5 (ofte kalt *business as usual*) forventes en gjennomsnittlig temperaturøkning på $4,5^{\circ}\text{C}$ i Norge innen 2100, relativt til 1850. Dette vil endre dimensjoneringsgrunnlaget for energibehov i bygninger.

WMO har definert normalperioder som benyttes for å uttrykke et normalklima. De siste tretti årene har det bestått av data fra perioden 1961-1990. Klimadata for perioden 2071-2100 er konstruert spesielt for denne oppgaven med informasjon fra utviklingsbane RCP8.5.

Beregningene viser at energibehov til oppvarming for bolighuset Trend2 varierer rundt om i landet. Karasjok har det dobbelte av behovet i Oslo, men tilstrekkelig energieffektivitet i henhold til krav kan likevel dokumenteres med Osloklimate. Energiforbruk til oppvarming vil reduseres fra perioden 1961-1990 til 2071-2100 (RCP8.5). Størrelsen på reduksjonen avhenger av geografi og varierer fra 1000-4000 kWh/år for Trend2 på de ulike stedene. Det er områder med størst endring i årsmiddeltemperatur som også får den største endringen i energibehov. Dette er steder som også har lav årsmiddeltemperatur i historisk normalperiode. Det motsatte gjelder for steder med høyere årsmiddeltemperatur. Det betyr størst reduksjon i Karasjok og minst i Stavanger.

Det totale klimagassavtrykket fra bygging og energibruk for Trend2 gjennom levetiden er svært avhengig av energikildens utslippsfaktor. I følge NVE var CO_2 -faktor for norsk strømforbruk 17 g $\text{CO}_2\text{e}/\text{kWh}$ i 2019. Legges dette til grunn beregnes 350 mm Glava som optimal isolasjonsmengde med energibruk i historisk normalperiode, med tanke på utslipp. Dette reduseres til 300 mm i fremtiden, gitt RCP8.5. Rockwool, med noe høyere klimagassavtrykk knyttet til materialutvinningen, får en reduksjon av optimal tykkelse fra 300 mm

til 200 mm. Dette gjelder dersom levetiden til boligen er 60 år.

Dersom europeisk strømproduksjon når null utslipp innen 2054 beregnes gjennomsnittlig utslippsfaktor frem mot 2070 til 130 g CO₂e/kWh. Det gir et vesentlig større utslippsbidrag fra energibruk til oppvarming av Trend2. Yttervegg med 500 mm isolasjon gir lavest klimagassavtrykk gjennom levetiden. Resultatene tyder på at tykkelse over 500 mm vil kunne gi enda lavere klimagassavtrykk.

Grensen for når utslipp fra energibehov dominerer over utslipp fra bygging går et sted mellom utslippsfaktor 31 g CO₂e/kWh og 74 g CO₂e/kWh. Dersom produksjon av elektrisitet er utslippsfritt innen 2050 og materialene fortsatt har et like stort klimagassavtrykk er ikke nødvendigvis nullenergibygninger med stor mengde varmeisolasjon i veggene gunstig fra et levetidsperspektiv.

For å stoppe klimaendringer og nå togradersmålet er det avgjørende at verden reduserer sine utslipp. Klimagassavtrykket fra strøm i Norge er lavt, men på grunn av kraftflyt mellom andre land i Europa kan det ikke betraktes som et lukket system. Dersom energibruk i bygninger i Norge reduseres kan fornybar norsk energi erstatte fossil energi i et annet land. Dette er en kompleks sammenheng. Resultatene i denne oppgaven kan derfor ikke konkludere med en bærekraftig isolasjonstykkelse i verdenssammenheng. Det gir likevel en indikasjon på at behov for varmeisolasjon vil reduseres i fremtiden og at det ikke nødvendigvis er lønnsomt å øke isolasjonstykkelsen i vegg med tanke på klimagassavtrykk. For å sikre bygninger med lavest klimapåkjenning må livssyklusanalyse også tas i bruk, ikke bare energiberegninger.

Referanser

- Aguiar, R, M Oliveira og H Gonccedilalves (2002). *Climate change impacts on the thermal performance of Portuguese buildings. Results of the SIAM study.*
- Andreassen, Hege Fantoft, Fay Madeleine Farstad og Steffen Kallbekken (2021). *Bør lagring i skog telle mot klimamålet? - Cicero.* CICERO Senter for klimaforskning.
- Asplan Viak (2016). *Energifleksibilitet i bygg - en studie av konsekvenser av preaksepterte løsninger.*
- Berger, Anniken Celine (2021). *Vinteren blir kortere i hele landet, Meteorologisk institutt.* URL: www.met.no/nyhetsarkiv/vinteren-blir-kortere-i-hele-landet.
- Bjørnæs, Christian (2013). *Representative Concentration Pathways - Hva er de nye utviklingsbanene?* Miljødirektoratet og CICERO.
- Byggforsk, SINTEF (1990). *552.103 Oppvarming av boliger. Energiforbruk og kostnader - Byggforskserien.*
- (1991). *700.264 Systemer for energioppfølging.*
- (2012). *471.401 U-verdier. Vegger over terreng med bindingsverk av tre med gjennomgående stendere.*
- (2013). *473.015 Dokumentasjon av passivhus og lavenergibygninger i henhold til NS 3700 og NS 3701.*
- (2016). *473.102 Energikrav til bygninger. Energirammer.*
- (2017). *700.320 Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler.*
- (2018a). *451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring.*
- (2018b). *521.112 Gulv på grunnen med ringmur. Telesikring og varmeisolering av oppvarmede bygninger.*
- (2019a). *472.001 Kuldebroer. Typer, konsekvenser og bruk av normalisert kuldebroverdi.*
- (2019b). *521.811 Telesikring av uoppvarmede bygninger og konstruksjoner. Dimensjonering og utførelse.*
- (2020). *471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer.*
- Bøeng, Ann Christin (2014). «Energibruk i husholdningene 2012: På verdenstoppen i bruk av strøm». I: *Samfunnsspeilet, SSB.*
- DiBK (2018). «Direktoratet for byggkvalitet; Krav til energieffektivitet - rammekravsmetoden». I:
- (2021a). *Direktoratet for byggkvalitet.* URL: dibk.no/verktoy-og-veivisere/andre-fagomrader/klimatilpasning-og-sikkerhet-mot-naturpakjenninger/ (sjekket 13.05.2021).
- (2021b). *Utbygging i fareområder.* Temaveiledninger. Direktoratet for Byggkvalitet.

- DNV GL (2019). *Energy Transition Outlook 2019 - Executive Summary - A global and regional forecast to 2050*. Norway.
- Dokka, Tor Helge (2011). *Proposal for CO₂-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition*. The Research Centre on Zero Emission Buildings.
- EPD Norge (2019a). *Environmental Product Declaration - Glava glass wool*.
- (2019b). *Environmental Product Declaration - ROCKWOOL stone wool thermal insulation*.
- EU (2018). *Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency*.
- FN (2015). *Paris agreement*.
- Fufa, Selamawit Mamo, Reidun Dahl Schlanbusch, Kari Sørnes, Marianne Rose Inman og Inger Andresen (2016). *A Norwegian ZEB Definition Guideline*. ZEB - The Research Centre on Zero Emission Buildings.
- Georges, Laurent, Matthias Haase, Aoife Houlihan Wiberg, Torhildur Kristjansdottir og Birgit Risholt (2015). «Life cycle emissions analysis of two nZEB concepts». I: *Building Research & Information* 43.
- Grinde, Lars, Hanna Heiberg, Jostein Mamen, Reidun Gangstø Skaland, Helga Therese Tilley Tajet, Ketil Tunheim og Ole Einar Tveito (2020). *Været i Norge - Klimatologisk oversikt - Året 2020*. 13. Meteorologisk institutt.
- Graabak, Ingeborg og Nicolai Feilberg (2011). «CO₂ emissions in different scenarios of electricity generation in Europe». I:
- Guterres, António (2020). *The Highest Aspiration - A Call to Action for Human Rights*. United Nations.
- Hanssen-Bauer, I, E. J Førland, I Haddeland, H Hisdal, S Mayer, A Nesje, J. E. Ø Nilsen, S Sandven, A. B Sandø, A Sorteberg og B Ådlandsvik (2015). *Klima i Norge 2100 - Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015*. 2/2015. Miljødirektoratet.
- Hauge, Åshild Lappegard, Cecilie Flyen, Anders Johan Almås og Mia Ebeltoft (2017). *Klimatilpasning av bygninger og infrastruktur - samfunnsmessige barrierer og drivere*. 4. Klima2050.
- IPCC (2016). *Video: Fifth Assessment Report - Synthesis report*.
- (2021). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2022 — IPCC*.
- ISO 15927-4 (2005). *Bygningers hygrottermiske egenskaper - Beregning og presentasjon av klimadata - Del 4: Timesdata for fastsettelse av årlig energibehov til oppvarming og kjøling (ISO15927-4:2005)*. Norsk Standard.
- Jylhä, Kirsti, Juha Jokisalo, Kimmo Ruosteenoja, Karoliina Pilli-Sihvola, Targo Kalamees, Teija Seitola, Hanna M. Mäkelä, Reijo Hyvönen, Mikko Laapas og Achim Drebs

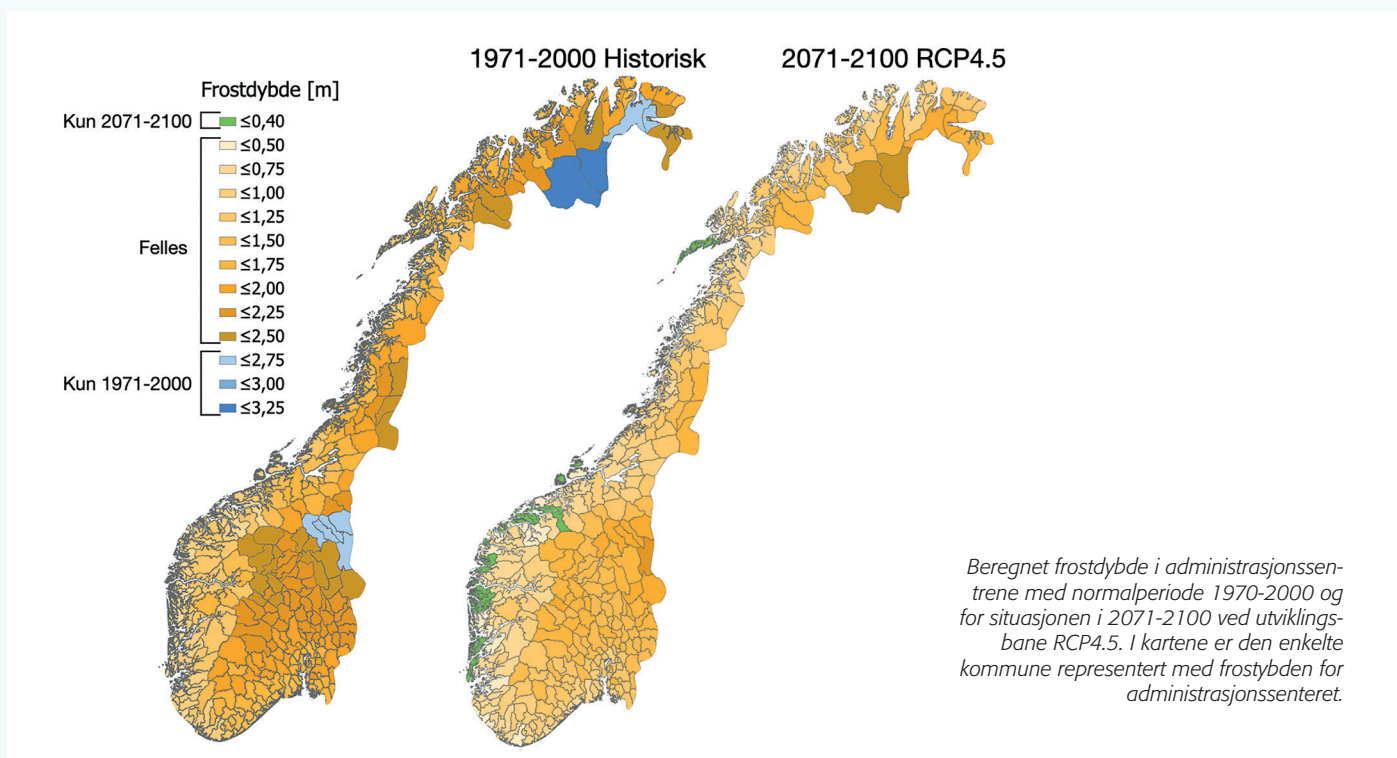
- (2015). «Energy demand for the heating and cooling of residential houses in Finland in a changing climate». I: *Energy and Buildings*.
- Kampesæter, Anette, Svein Bjørnberg og Christian A. Listerud (2009). *Levetider i praksis: Prinsipper og bruksområder*. Multiconsult.
- Karimpour, Mahsa, Martin Belusko, Ke Xing, John Boland og Frank Bruno (2015). «Impact of climate change on the design of energy efficient residential building envelopes». I: *Energy and Buildings* 87.
- Killingland, Magnus, Arne Fredrik Lånke, Marius Monsen Ragnøy, Pernille Aga, Ferry Smits, Inger Andresen, Kristin Elvebakk og Frode Holthe (2013). *Nesten nullenergibygg - Forslag til nasjonal definisjon*. DIBK 12/5765. Rambøll.
- Kim, Sughwan, Daniel Zirkelbach, Hartwig M. Künzle, Jeong-Hun Lee og Jeongman Choi (2017). «Development of test reference year using ISO 15927-4 and the influence of climatic parameters on building energy performance». I: *Building and Environment*.
- Klima 2050 (2016). *SFI Klima 2050 - Reduksjon av samfunnsrisiko knyttet til klimaendringer på det bygde miljø*. URL: www.klima2050.no/what-we-do.
- Klima- og miljødepartementet (2020). *Hvordan kan vi tilpasse oss klimaendringene?* URL: www.regjeringen.no/no/tema/klima-og-miljo/klima/innsiktsartikler-klima/klimatilpasning/id2344803/.
- (2021). *Heilskapeleg plan for å nå klimamålet*. Nyhet. Publisher: regjeringen.no. URL: www.regjeringen.no/nn/aktuelt/heilskapeleg-plan-for-a-na-klimamalet/id2827600/.
- Li, Danny H. W., Liu Yang og Joseph C. Lam (2012). «Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones – A review». I: *Energy*. 8th World Energy System Conference, WESC 2010 42.
- Lisø, Kim Robert og Tore Kvande (2007). *Klimatilpasning av bygninger*. SINTEF Byggforsk.
- Magnussen, Ingrid H (2020). *Kartlegging og vurdering av potensial for effektivisering av oppvarming og kjøling i Norge*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Meteorologisk institutt (2019). *Normalperiode*. URL: snl.no,%20Store%20norske%20leksikon.
- (2021). *Ny normal i klimaforskningen*. URL: www.met.no/vaer-og-klima/ny-normal-i-klimaforskningen.
- Miljødirektoratet (2013). *Fremtidens klima i Norge*. M34.
- (2018). *Hovedbudskap fra rapporten om 1,5°C*. M-1116. Trondheim. URL: www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1116/m1116.pdf.
- (2019). *Klimatilpasning av bygg og anlegg - Miljødirektoratet*.
- (2020). *Norske utslipp av klimagasser - Miljøstatus for Norge*. URL: miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/klima/norske-utslipp-av-klimagasser/.

- Miljødirektoratet (2021). *Norges miljømål - Miljøstatus for Norge*. nb. URL: miljostatus.miljodirektoratet.no/miljomal/.
- Moazami, Amin (2019). *Climate robust buildings: towards buildings with a robust energy performance under climate change*. NTNU.
- Myhre, Lars, Peter G. Schild, Trine D. Pettersen, Peter Blom og Lars Gullbrekken (2012). *Veileder for prosjektering av passivhus – småhus*. 105. SINTEF Byggforsk.
- Nik, Vahid M. og Angela Sasic Kalagasidis (2012). «Impact study of the climate change on the energy performance of the building stock in Stockholm considering four climate uncertainties». I: *Building and Environment* 60.
- NS 3031 (2020). *SN-NSPEK 3031:2020 Bygningers energiytelse — Beregning av energibehov og energiforsyning*. Standard Norge.
- NS 3700 (2013). *NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - Boligbygninger*. Standard Norge.
- NS 3720 (2018). *NS 3720:2018 Metode for klimagassberegninger for bygninger*. Standard Norge.
- NVE (2015a). *Hvordan ta hensyn til klimaendringer i arealplanleggingen*. 03. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- (2015b). *Opprinnelsesgarantier*. URL: www.nve.no/energiforsyning/opprinnelsesgarantier/?ref=mainmenu (sjekket 21.05.2021).
- (2019a). *Analyse og framskrivning av kraftproduksjon i norden til 2040*. 43. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- (2019b). *Energibruk i bygg*. URL: www.nve.no/energibruk-effektivisering-og-teknologier/energibruk/energibruk-i-bygg/.
- (2020). *Klimadeklarasjon: Forslag til metode for å beregne klimaeffekten av strømbruk i Norge*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- (2021a). *Hvor kommer strømmen fra?* URL: www.nve.no/energiforsyning/kraftproduksjon/hvor-kommer-strommen-fra/.
- (2021b). *Strømforbruk i Norge har lavt klimagassutslipp*. URL: www.nve.no/nytt-fra-nve/nyheter-energi/stromforbruk-i-norge-har-lavt-klimagassutslipp/.
- Olje- og energidepartementet (2020). *Proposisjon til Stortinget (forslag til stortingsvedtak) - For budsjettåret 2021*. Prop. 1 S.
- Pachauri, R. K. og Leo Mayer (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. OCLC: 914851124. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- ProgramByggerne (2020). *SIMIEN Wiki*. URL: www.programbyggerne.no/SIMIEN/start.
- Regjeringen (2020). *EUs klimaplan for 2030*. EØS-notat.
- RIF (2019). *Norges tilstand 2019 - Kommunale og fylkeskommunale bygg*. Rådgivende Ingeniørers Forening.

- Rønningsbakk, Iselin Ekeli, Glen Peters og Robbie Andrew (2021). *Klimapolitikken må styrkes dersom vi skal nå målene i Parisavtalen - Cicero*. URL: cicero.oslo.no/no/posts/nyheter.
- Sandlie, Hans Christian og Viggo Nordvik (2009). *Utenfor de boligsosiale ordningene*. 1. NOVA - Norsk Institutt for forskning om oppvekst, velferd og aldring.
- SINTEF og NTNU (2007). *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. Oslo: Gyldendal undervisning.
- SSB (2021). *Elektrisitetspriser*. URL: www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elkraftpris/kvartal/2021-05-14 (sjekket 19.05.2021).
- Stagrum, Anna Eknes, Erlend Andenæs, Tore Kvande og Jardar Lohne (2020). «Climate Change Adaptation Measures for Buildings—A Scoping Review». I: *Sustainability*.
- Statnett (2017). *2,8 milliarder i kabelinntekt på fem år*. URL: www.statnett.no/om-statnett/nyheter-og-pressemeldinger/Nyhetsarkiv-2017/28-milliarder-i-kabelinntekt-pa-fem-ar/.
- Tajet, Helga Therese Tilley (2021). *Ny normal 1991-2020*. Klimastatus 2021, foredrag.
- TEK17 (2017). *Byggeteknisk forskrift (TEK17)*. Direktoratet for Byggkvalitet.
- Wahl, Bente, Hanne Heiberg og Kuya (2021). *2020: Varmeste året vi har målt*. Klimastatus 2021, foredrag.
- WMO (2014). *No. 997 - Scientists urge more frequent updates of 30-year climate baselines to keep pace with rapid climate change*.
- (2021). *2020 was one of three warmest years on record*. URL: public.wmo.int/en/media/press-release/2020-was-one-of-three-warmest-years-record.
- Aanensen, Thomas og Magne Holstad (2018). *Tilgang og anvendelse av elektrisitet i perioden 1993-2017*. Statistisk sentralbyrå.

Vedlegg

A	Byggeindustrien - Reduserte frostdybder i Norge	82
A.1	Reduserte frostdybder i Norge	82
A.2	Forfatterbidrag	83
B	Byggeindustrien - Bærekraftig varmeisolering	84
B.1	Bærekraftig varmeisolering	84
B.2	Forfatterbidrag	85
C	Utvikling i energiforbruk i norske husholdninger	86
D	Energikrav i TEK17	87
D.1	Krav ved energiltak	87
D.2	Krav til netto energibehov for ulike bygningskategorier	88
E	Krav og anbefalinger til energiytelse passivhus	89
F	Norgeshus Trend2	90
G	Inndata SIMIEN	92
H	Beregnet energibehov for Trend2	119
I	Historisk og fremtidig årsmiddeltemperatur	125
J	Resultater - Livssyklusanalyse for Trend2 i Oslo	126
J.1	Resultater fra One Click LCA	126
J.2	Klimagassutslipp fra bygging og strømforbruk	127
J.3	Grafer for samlet klimagassavtrykk over levetiden	129
J.3.1	Utslippsfaktor 17 g CO ₂ e/kWh	129
J.3.2	Utslippsfaktor 31 g CO ₂ e/kWh	130
J.3.3	Utslippsfaktor 74 g CO ₂ e/kWh	131
J.3.4	Utslippsfaktor 130 g CO ₂ e/kWh	132
J.3.5	Utslippsfaktor 17 g CO ₂ e/kWh og 130 g CO ₂ e/kW	133
J.3.6	Alle utslippsfaktorer samlet	134
K	Kontroll av metode for konstruksjon av datasett	135
K.1	Historiske kontrollserier	135
K.2	Fremtidige kontrollserier	135



Reduserte frostdybder i Norge

Dagens dimensjonering for frostsikring gjøres med klimadata fra perioden 1971-2000. Klimaendringer fører til at situasjonen mest sannsynlig vil være en helt annen i fremtiden. Ved hjelp av klimaframskrivninger har vi beregnet at frostdybden vil reduseres med 0,5 meter i 70% av landets administrasjonssentre innen 2100.

**Ingrid Sølverud Larsen
og Jørn Emil Gaarder**
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Frostsikring av bygningskonstruksjoner

Bygninger og infrastruktur sikres for å hindre telehiv og frostsprengning som kan føre til skade. Teleskader kan være setninger i konstruksjonen eller skade på vannrør. Så lenge ikke annet er bevist skal grunnen antas å være telefarlig, og det må innføres tiltak (Byggforskserien 521.811). Telesikring kan gjøres på ulike måter. For bygninger utført med gulv på grunnen med ringmur er markisolasjon mest vanlig for å hindre frostnedtrengning under fundamentet. Små konstruksjoner som lykestolper og flaggstenger skal i følge Byggforskserien 517.631 fundamentes ned til frostfri dybde H0. Også større bygninger fundamentes som regel til frostfri dybde.

For å bestemme dimensjonerende verdier for frostsikring benyttes klimadata fra det aktuelle området. Det er data fra perioden 1971-2000 som er benyttet frem til nå i Byggforskserien. Data for ny normalperiode 1991-2020 kommer i løpet av året. Klimaendringer med varmere vær gjør at frostmengdene vil bli redusert med den nye normalen.

Klimaendringer og klimaframskrivninger

Klimaendringene merkes altså allerede i Norge i form av økte temperaturer, men også i form av hyppigere nedbør og krypende isbreer. Ifølge FNs klimapanel (IPCC) er det god grunn til å tro at endringene vil bli enda større i fremtiden, noe som vil føre til at dimensjoneringsgrunnlaget endres ytterligere. IPCC publiserte i 2014 fire utviklingsbaner (RCP) for fremtidig klima basert på ulike

utslippssituasjoner frem til år 2100. Den mest pessimistiske utviklingen er RCP8.5, og blir ofte kalt «business as usual». Dette er situasjonen IPCC mener vi vil ha i 2100 dersom utslippene utvikler seg som i dag. RCP4.5 innebærer stabilt utslipp frem til 2040 før det avtar og stabiliserer seg på 40% av utslippsmengden innen 2100. Videre har Meteorologisk institutt nedskalert framskrivingene til kommunenivå og blant annet beregnet årsmiddeltemperatur og frostmengder for administrasjonssentrene. Med denne informasjonen har vi beregnet fremtidig frostdybde (H0).

Endringer i frostdybde

Vi har beregnet frostdybder for perioden 2071-2100 ved utviklingsbanene RCP4.5 og RCP8.5, men resultatene presentert her begrenses til RCP4.5. Frostdybden gjelder kun for administrasjonssentre-

ne i kommunene, og det vil være store lokale variasjoner. Det er ikke tatt hensyn til permafrost som finnes noen områder på høyfjellet og i Troms og Finnmark. Resultatene viser at 70% av kommunene vil redusere frostdybden med 0,5 meter innen 2100 i forhold til historiske verdier fra 1971-2000. De fleste kommunene med størst endring ligger i Troms og Finnmark. Vardø har den største beregningsmessige endringen fra 1,68 meter (historisk 1971-2000) til 0,78 meter (RCP4.5 i 2071-2100).

Den reduserte frostdybden vil ha en konsekvens for hvordan bygninger og infrastruktur dimensjoneres for frost i fremtiden. Det gjelder både behov for markisolasjon samt hvor dypt det må fundamentes for å nå frostfri dybde. En vesentlig reduksjon kan føre til materialreduksjon som gir både økonomiske besparelser og redusert klimaavtrykk.

A.2 Forfatterbidrag

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

Ingrid Sølverud Larsen og Jørn Emil Gaarder

Reduserte frostdybder i Norge

«Fra ekspertene: NTNU» i Byggeindustrien nr. 2-2021.

Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

www.ntnu.no

INGRESS: Dagens dimensjonering for frostsikring gjøres med klimadata fra perioden 1971-2000. Klimaendringer fører til at situasjonen mest sannsynlig vil være en helt annen i fremtiden. Ved hjelp av klimaframskrivninger har vi beregnet at frostdybden vil reduseres med 0,5 meter i 70% av landets administrasjonssentre innen 2100.

Innlegget er skrevet av *Ingrid Sølverud Larsen* som en del av hennes masteroppgave, med veiledning fra *Jørn Emil Gaarder*.


Ingrid Sølverud Larsen


Jørn Emil Gaarder



Vi har sammenliknet energibruk til oppvarming for Norgeshus sitt «Trend2» samt varmeisoleringsens bidrag til bygningens klimagassutslipp ved ulike isolasjonsmengder i vegg for klima 1961-1990 mot klima 2071-2100. Illustrasjon: Norgeshus

Bærekraftig varmeisolerings

Skjerpede krav til energibruk har gitt bedre varmeisolerte boliger. Samtidig representerer den økte isolasjonsmengden en miljøbelastning gjennom økt materialbruk. Gitt dagens energimiks og et fremtidig varmere klima, er det ikke bærekraftig lønnsomt å øke varmeisolasjonsmengden ytterligere for vårt demohus.

**Ingrid Sølvørud Larsen
og Jørn Emil Gaarder**

Institutt for bygg- og miljøteknikk

Hans Olav Hygen

Meteorologisk institutt

Norske boliger forbruker 20% av den totale energimengden i Norge (NVE, 2018). 80% av dette går til oppvarming, hvor mesteparten dekkes av elektrisitet. Skjerpede energikrav har vært et tiltak for å redusere total energibruk. Dette har betydd mer varmeisolasjon. Ytterligere innskjerpinger diskuteres, men finnes det en grense for hvor mye varmeisolasjon som er bærekraftig lønnsomt?

Klimaendringer påvirker energibruken

Dagens energikrav i TEK17 ble satt da 1961-1990 var gjeldende klimanormal. Ny normalperiode 1991-2020 viser et varmere klima, som ifølge FNs klimapanel (IPCC) vil bli enda varmere. I 2014 kom IPCC med fire utviklingsbaner (RCP) som representerer scenario-

er for klima frem til 2100. RCP8.5 tilsvarer utvikling i samme hastighet som dagens, og er et worst case scenario. Meteorologisk institutt har nedskalert framskrivingene på kommunenivå og konstruert et fremtidig normalår med temperatur som kan brukes i energiberegninger. Et mildere klima vil påvirke energibruken til oppvarming for norske boliger.

Energi- og CO2-beregninger på eksempelbolig

Vår studie, som er en del av Klima 2050, er utført på en konseptbolig fra Norgeshus med oppvarmet BRA 129 m² fordelt over to etasjer. Boligen oppfyller krav i TEK17, har yttervegger av bindingsverk, kompakt tak og er plassert i Oslo. For denne boligen har vi beregnet energibruk til oppvarming ved ulike veggtykkelser fra 100-500 mm for både Glava og Rockwool. Beregningene er gjort for normalperioden 1961-1990 og for klimaprojeksjonen i 2071-2100 (RCP8.5). Videre er det ut-

ført en livssyklusanalyse på boligen med forventet energibruk til oppvarming gjennom 60 års levetid. Eventuelt vedlikehold eller utskifting av materialer er ikke hensyntatt og det er antatt at all energi er i form av strøm.

For å konvertere strømforbruk til CO₂-ekvivalenter benyttes en CO₂-faktor, som angir utslipp per kWh. Ifølge NVE kom 94% av strømforbruket i Norge fra fornybare kilder i 2019. Dette gir en CO₂-faktor på 17 g CO₂e/kWh, mot gjennomsnittet i EU på rundt 300 g CO₂e/kWh.

Ikke bærekraftig å øke isolasjonsmengden

Resultatene viser at i et fremtidig klima (RCP8.5, 2071-2100) vil vi få en reduksjon av energibehov til oppvarming på nesten 40% sammenliknet med perioden 1961-1990. Med historiske klimadata fra 1961-1990 beregnes en isolasjonstykkelse på 350 mm for Glava og 300 mm for Rockwool som mest gunstig med tanke på

CO₂-avtrykk gjennom levetiden på 60 år og med dagens norske energimiks. Dette reduseres til 300 mm for Glava og 200 mm for Rockwool i slutten av århundret ved utviklingsbane RCP8.5. Årsaken er at CO₂-avtrykk knyttet til materialbruk øker med veggtykkelsen uten at energibehovet reduseres tilsvarende. Trenden med økte isolasjonsmengder i boliger er altså ikke utelukkende positiv med tanke på CO₂-avtrykk fra bygningene. Konklusjonen er imidlertid helt avhengig av energimiks og fremtidens klimasituasjon. Med en mindre fornybar energimiks enn vi har i dag vil energibruken til oppvarming dominere CO₂-utslippet, og mest mulig varmeisolasjon gir lavest klimagassutslipp.

Klimagassavtrykk knyttet til oppvarming (klimagassavtrykk fra materialer samt fra strøm til oppvarming gjennom levetiden) med CO₂-faktor 17 g CO₂e/kWh. Optimal isolasjonstykkelse er markert med trekant. Klimagassavtrykk fra isolasjon er gitt dagens produkter.

B.2 Forfatterbidrag

Forfatterbidrag

Bekreftelse på forfatterbidrag

Ingrid Sølverud Larsen og Jørn Emil Gaarder

Bærekraftig varmeisolering

«Fra ekspertene: NTNU» i Byggeindustrien nr.9 -2021.

Institutt for bygg- og miljøteknikk,
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU)

www.ntnu.no

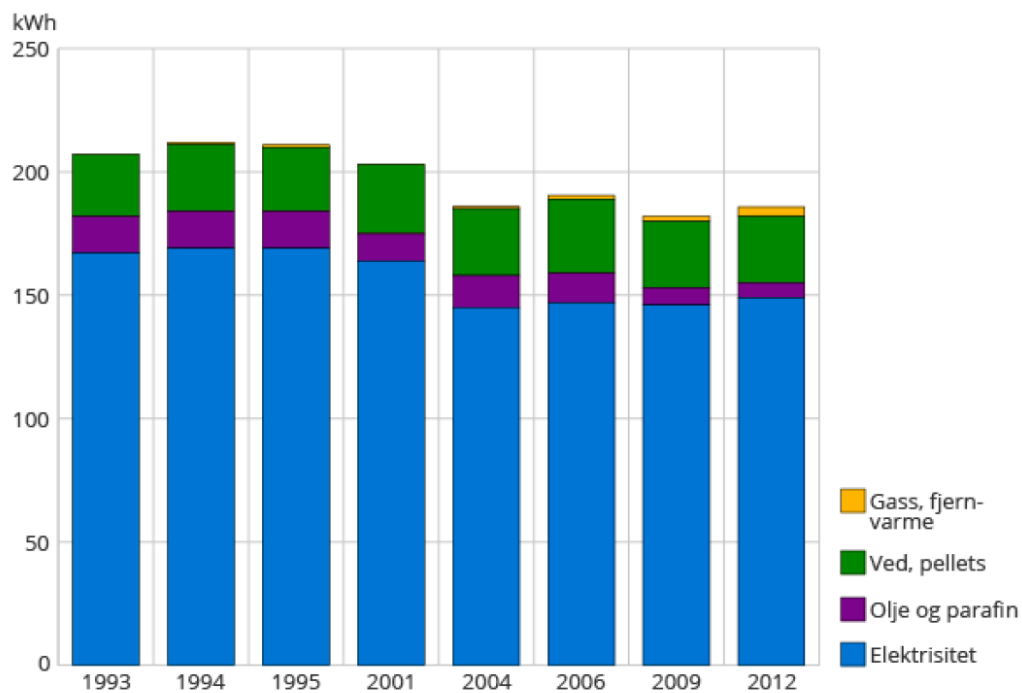
INGRESS: Skjerpede krav til energibruk har gitt bedre varmeisolerte boliger. Samtidig representerer den økte isolasjonsmengden en miljøbelastning gjennom økt materialbruk. Gitt dagens energimiks og et fremtidig varmere klima, er det ikke bærekraftig lønnsomt å øke varmeisolasjonsmengden ytterligere for vårt demohus.

Innlegget er skrevet av *Ingrid Sølverud Larsen* som en del av hennes masteroppgave, med veiledning fra *Jørn Emil Gaarder*.


Ingrid Sølverud Larsen


Jørn Emil Gaarder

C Utvikling i energiforbruk i norske husholdninger



Figur 27: Gjennomsnittlig energiforbruk per m² i husholdninger i Norge i 2012 (Bøeng, 2014)

D Energikrav i TEK17

D.1 Krav ved energiltak

	Energiltak	Småhus	Boligblokk
1.	U-verdi yttervegg [W/(m ² K)]	≤ 0,18	≤ 0,18
2.	U-verdi tak [W/(m ² K)]	≤ 0,13	≤ 0,13
3.	U-verdi gulv [W/(m ² K)]	≤ 0,10	≤ 0,10
4.	U-verdi vinduer og dører [W/(m ² K)]	≤ 0,80	≤ 0,80
5.	Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	≤ 25 %	≤ 25 %
6.	Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	≥ 80 %	≥ 80 %
7.	Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg (SFP) [kW/(m ³ /s)]	≤ 1,5	≤ 1,5
8.	Luftlekkasjetall per time ved 50 Pa trykkforskjell	≤ 0,6	≤ 0,6
9.	Normalisert kuldebroverdi, der m ² angis som oppvarmet BRA [W/(m ² K)]	≤ 0,05	≤ 0,07

Figur 28: Krav til energieffektivitet kan oppfylles ved å oppfylle kravene presentert over, kalt energiltaksmetoden [§14-2, (TEK17, 2017)]

D.2 Krav til netto energibehov for ulike bygningskategorier

<i>Bygningskategori</i>	<i>Totalt netto energibehov [kWh/m² oppvarmet BRA per år]</i>
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA	100 + 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125
Sykehus	225 (265)
Sykehjem	195 (230)
Hotellbygning	170
Idrettsbygning	145
Forretningsbygning	180
Kulturbygning	130
Lett industri/verksteder	140 (160)

Figur 29: Krav til netto energibehov for ulike bygningskategorier ved energirammemetoden [§14-2, (TEK17, 2017)]

E Krav og anbefalinger til energiytelse passivhus

Egenskap	Passivhus	Lavenergibygning	
		klasse 1	klasse 2
U -verdi vindu og dør ^a	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Normalisert kuldebroverdi, ψ' ^b	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\leq 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	–
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner ^c	$\geq 80 \%$	$\geq 70 \%$	–
SFP -faktor ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	–
Lekkasjetall ved 50 Pa, n_{50}	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$
<p>^a U-verdier skal beregnes som gjennomsnittsverdien.</p> <p>^b Normalisert kuldebroverdi kan fravikes ved oppgraderingsprosjekter der det er praktisk umulig å tilfredsstille kravet. Det skal da dokumenteres at kuldebroer ikke medfører problemer med inn klima.</p> <p>^c Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad er gjennomsnittsverdien for alle for varmegjenvinnerne i bygningen.</p>			
<p>MERKNAD 1 I tillegg til krav satt her skal bygningen oppfylle minstekrav i forskrift om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift) [4].</p> <p>MERKNAD 2 En bygning der bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall er innenfor minstekravene, vil ikke nødvendigvis tilfredsstille kravene knyttet til varmetapstall og høyeste beregnede netto spesifikt energibehov til oppvarming.</p>			

Figur 30: Krav til energibehov til oppvarming i passivhus (Tabell 3, NS3700)

MERKNADER:

Forbehold: Arealer er beregnet ut fra tegning og er oppgitt i hht. NS3940. Tekniske forhold i bygningsmessig utførelse kan påvirke arealer i mindre grad.

F Norgeshus Trend2

GRF:	BYA:	VOLUM:	ENERGIMERKE
	115,4 m ²	310,6 m ³	B
	BRÅ K01 + H01 + H02 + LOFT:	BRÅ TOTALT:	
	64,7+64,7+36,0 m ²	165,4 m ²	

BYGGERKOMMUNE:	GNR/BNR:	POSTNR:	POSTSTED:
X	X	X	X
ADRESSE:			MOH:
X			X

TEGNET AV:	KONTROLLERT AV:	DATE:	FORMAT:
BMM	UIS	01.01.2017	A3

PROSJEKT:	PROSJEKTR.:
Trend 2	XX-XXX
TEGNINGEN VISER:	TEGNING NR.:
Planer og snitt	IC-20
STATUS:	MÅLESTOKK:
Byggemelding	

TILTAKSHAVER:
Norgeshus forhandler

BYGGEFIRMA:

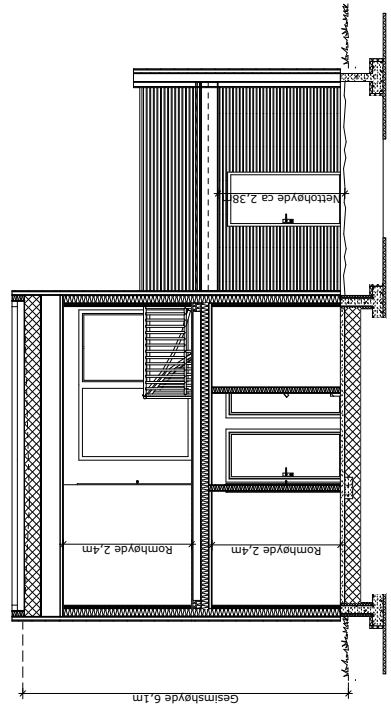
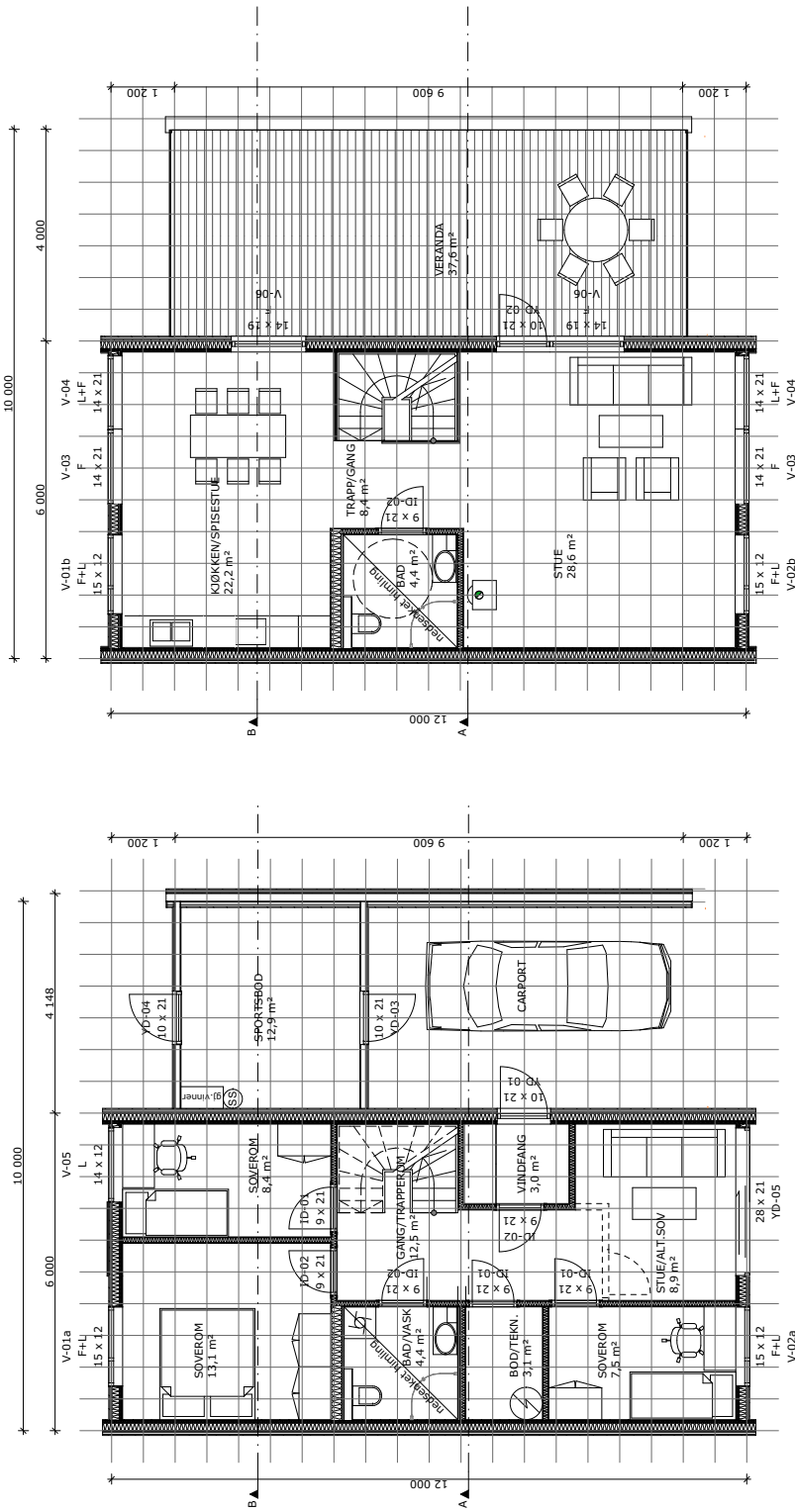
- det du vil ha

ARKITEKT- OG INGENIØRKONTORET NORGESHUS AS, PR. 161, 7233 MELHUS, TLF. 72 85 69 00

TEGNINGEN ER BESKYTTET ETTER LOV OM OPPHavsRETT OG SKAL IKKE BENYTTES UTEN VÅR TILLATELSE.

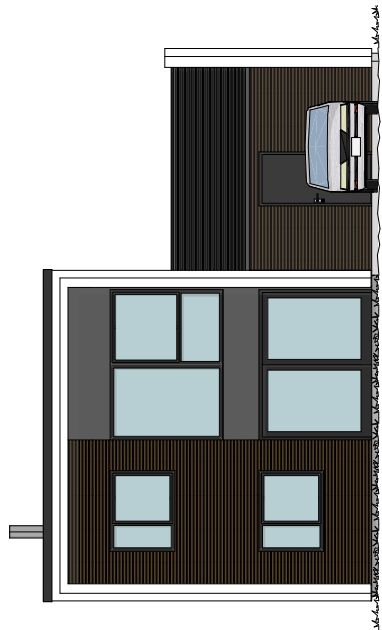
TEGNINGEN GJELDER IKKE SOM ARBEIDSTEGNING.

REV.

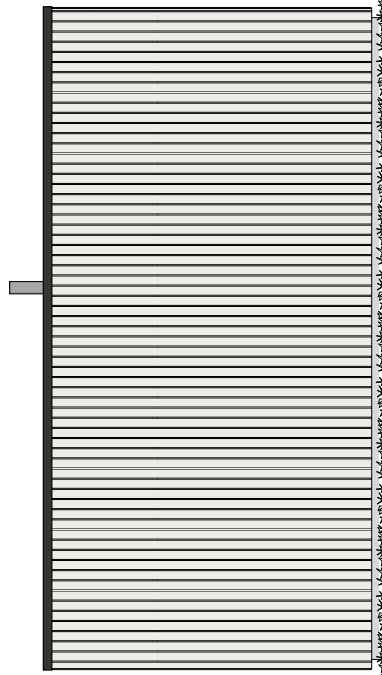


MERKNADER:

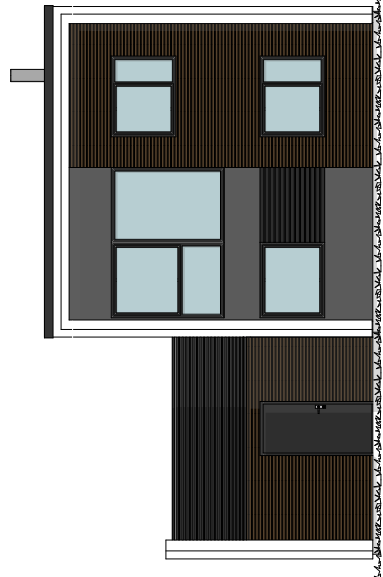
Forbehold: Arealer er beregnet ut fra tegning og er oppgitt i hht. NS3940. Tekniske forhold i bygningsmessig utførelse kan påvirke arealer i mindre grad.



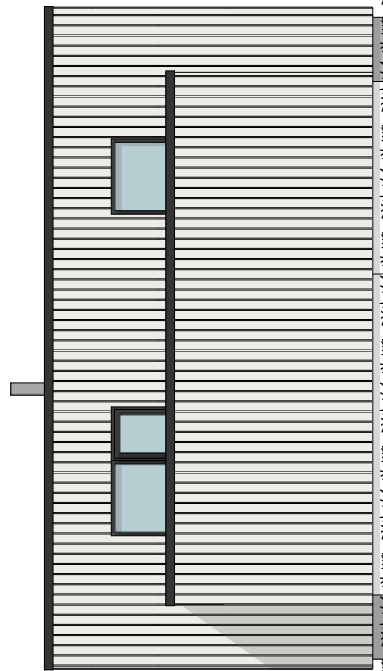
FASADE 1



FASADE 2



FASADE 3



FASADE 4

GRF:	BYA:	VOLUM:	ENERGIMERKE
.	115,4 m ²	310,6 m ³	B
	BRÅ K01 + L01 + H01 + H02 + LOFT:	BRÅ TOTALT:	
	64,7+64,7+36,0 m ²	165,4 m ²	

BYGGERKOMMUNE:	GNR/BNR:	POSTNR:	POSTSTED:
X	X	X	X
ADRESSE:			MOH:
X			X

TEGNET AV:	KONTROLLERT AV:	DATE:	FORMAT:
BMM	UIS	01.01.2017	A3


PROSJEKT:	PROSJEKTR.:
Trend 2	XX-XXX
TEGNINGEN VISER:	TEGNING NR.:
Fasader	IC-21
STATUS:	MÅLESTOKK:
Byggemelding	

TILTAKSHAVER:
Norgeshus forhandler

BYGGEFIRMA:


ARKITEKT- OG INGENIØRKONTORET NORGESHUS AS, PR. 161, 7223 MELHUS, TLF. 72 85 69 00
TEGNINGEN ER BESKYTTET ETTER LOV OM OPPHAVSRETT OG SKAL IKKE BENYTTES UTEN VÅR TILLATELSE. TEGNINGEN GJELDER IKKE SOM ARBEIDSTEGNING.
REV.

Prosjektdata

Navn bygning	Trend 2
Simuleringsansvarlig	Ingrid Søleverud Larsen
Bygningskategori	Småhus 
Kommentar	Konseptbolig fra Norgeshus. Frittstående enebolig over 2 plan med 65 kvm oppvarmet bruksareal i hver etasje.

Energikilde

Type	Elektrisitet
Systemvirkningsgrad oppvarming	0,81
Systemeffektfaktor kjøling	
Energipris [kr/kWh]	
CO2-utslipp [g/kWh]	130
Dekningsprosent ¹ romoppvarming [%]	100%
Dekningsprosent oppv. tappevann [%]	100%
Dekningsprosent varmebatterier [%]	100%
Dekningsprosent kjølebatterier [%]	100%
Dekningsprosent lokal kjøling [%]	100%
Dekningsprosent el. spesifikk ² [%]	100%
Kommentar	Elektrisitet er eneste beregnede energikilde

¹ Dekningsprosent av årlig energibehov

² Energibruk til belysning, teknisk utstyr vifter og pumper

Rom/soner

Navn	Hele boligen
Oppvarmet gulvareal [m ²]	129,4
Oppvarmet luftvolum [m ³]	311
Lekkasjetall ¹ (N50) [1/h]	0,9
Fasadesituasjon	<input type="radio"/> En vindutsatt fasade <input checked="" type="radio"/> Mer enn en vindutsatt fasade
Skjermingsklasse	<input type="radio"/> Ingen skjerming; bygninger i åpent landskap <input checked="" type="radio"/> Moderat skjerming; noe skjerming fra trær/andre bygninger <input type="radio"/> Høy skjerming; lave bygninger i byen eller i skogen
Varmekapasitet møbler/interiør	Ingen møbler
Driftsdager	Drift alle dager
Normalisert kuldebroverdi ² [W/K/m ²]	0,05
Kommentar	

¹ Lekkasjetallet er et standard mål for bygningstetthet; det er definert som antall luftskifter per time med en trykkforskjell på 50 Pa over klimaskjermen

² Summen av spesifikt varmetap for alle kuldebroer delt på oppvarmet gulvareal (BRA)

Fasade

Navn	Fasade Nord
Total areal inkl. vinduer og dører[m ²]	64,6
Konstruksjon	Beskrivelse: Bindingsverk med isolasjon U-verdi [W/m ² K]: 0,21 <input type="checkbox"/> Solutsatt fasade
Varmelagring innvendig sjikt	Beskrivelse: Gipsplate 13 mm Varmekap. [Wh/m ² K]: 2,4
Himmelretning [°] ¹	10
Midlere horisonthøyde [°]	
Kommentar	

¹ Nord er 0; Øst er 90; Sør er 180; Vest er 270

Fasade

Navn	Fasade Sør
Total areal inkl. vinduer og dører[m ²]	64,6
Konstruksjon	Beskrivelse: Bindingsverk med isolasjon U-verdi [W/m ² K]: 0,21 <input type="checkbox"/> Solutsatt fasade
Varmelagring innvendig sjikt	Beskrivelse: Gipsplate 13 mm Varmekap. [Wh/m ² K]: 2,4
Himmelretning [°] ¹	10
Midlere horisonthøyde [°]	
Kommentar	

¹ Nord er 0; Øst er 90; Sør er 180; Vest er 270

Fasade

Navn	Fasade Øst
Total areal inkl. vinduer og dører[m ²]	31,2
Konstruksjon	Beskrivelse: Bindingsverk med isolasjon U-verdi [W/m ² K]: 0,21 <input type="checkbox"/> Solutsatt fasade
Varmelagring innvendig sjikt	Beskrivelse: Gipsplate 13 mm Varmekap. [Wh/m ² K]: 2,4
Himmelretning [°] ¹	10
Midlere horisonthøyde [°]	
Kommentar	

¹ Nord er 0; Øst er 90; Sør er 180; Vest er 270

Fasade

Navn	Fasade Vest
Total areal inkl. vinduer og dører[m ²]	31,2
Konstruksjon	Beskrivelse: Bindingsverk med isolasjon U-verdi [W/m ² K]: 0,21 <input type="checkbox"/> Solutsatt fasade
Varmelagring innvendig sjikt	Beskrivelse: Gipsplate 13 mm Varmekap. [Wh/m ² K]: 2,4
Himmelretning [°] ¹	10
Midlere horisonthøyde [°]	
Kommentar	

¹ Nord er 0; Øst er 90; Sør er 180; Vest er 270

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	2
Bredde inkl. ramme [m]	1,20
Høyde inkl. ramme [m]	1,50
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randsone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<input type="checkbox"/> Overheng over vinduet Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/>
Kommentar	<input type="text"/>

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	2
Bredde inkl. ramme [m]	1,50
Høyde inkl. ramme [m]	1,20
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randzone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<input type="checkbox"/> Overheng over vinduet Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/>
Kommentar	<input type="text"/>

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	2
Bredde inkl. ramme [m]	1,40
Høyde inkl. ramme [m]	2,10
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randzone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<input type="checkbox"/> Overheng over vinduet Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/>
Kommentar	<input type="text"/>

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	2
Bredde inkl. ramme [m]	1,40
Høyde inkl. ramme [m]	2,10
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randsone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<input type="checkbox"/> Overheng over vinduet Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/>
Kommentar	<input type="text"/>

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	1
Bredde inkl. ramme [m]	1,20
Høyde inkl. ramme [m]	1,50
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randzone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<input type="checkbox"/> Overheng over vinduet Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre Dybde: <input type="text"/> Avstand: <input type="text"/>
Kommentar	<input type="text"/>

Vindu

Navn	
Antall like vinduer	2
Bredde inkl. ramme [m]	1,40
Høyde inkl. ramme [m]	1,90
Arealandel karm/ramme ¹	0,27
Vindusrute	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/>
Konstruksjon karm/ramme	Beskrivelse: <input type="text"/> U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> Kuldebroverdi randsone [W/mK]: <input type="text"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Total Uverdi ²	Beskrivelse: <input type="text"/> 3-lags glass Natre U-verdi [W/m ² K]: <input type="text"/> 0,81
Solskjerming	Beskrivelse: <input type="text"/> Oppgitt solfaktor (g-faktor) for vindu Solfaktor aktivisert ³ : <input type="text"/> 0,33 Solfaktor ikke aktivisert: <input type="text"/> 0,33

¹ Arealandelen oppgis som en faktor mellom 0 og 1.

² U-verdien for hele vinduskonstruksjonen kan legges inn her, dette er et alternativ til å oppgi verdier for vindusruten og konstruksjon karm/ramme

³ Det er total solfaktor inkludert vindusrute som skal angis her.

Bygningsutspring	<p><input type="checkbox"/> Overheng over vinduet</p> <p>Dybde: <input type="text"/></p> <p>Avstand: <input type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> Vertikalt utspring høyre</p> <p>Dybde: <input type="text"/></p> <p>Avstand: <input type="text"/></p> <p><input type="checkbox"/> Vertikalt utspring venstre</p> <p>Dybde: <input type="text"/></p> <p>Avstand: <input type="text"/></p>
Kommentar	<input type="text"/>

Ytterdør

Navn	Inngangsdør Sørfasade
Areal inkl. karm [m ²]	2,10
Dørtype ¹	Beskrivelse: Ytterdør Indus Swedoor U-verdi [W/m ² K]: 1,00
Kommentar	

¹ Dører med betydelige glassinnslag bør legges inn som et vinduselement (for å ta høyde for soltilskuddet)

Ytterdør

Navn	YD-05 Vestfasade
Areal inkl. karm [m ²]	5,88
Dørtype ¹	Beskrivelse: Ytterdør Indus Swedoor U-verdi [W/m ² K]: 1,00
Kommentar	

¹ Dører med betydelige glassinnslag bør legges inn som et vinduselement (for å ta høyde for soltilskuddet)

Yttertak

Navn	Yttertak
Total areal inkl. vinduer [m ²]	64,7
Konstruksjon	Beskrivelse: Flatt tak mot friluft U-verdi [W/m ² K]: 0,14 <input type="checkbox"/> Solutsatt takflate
Varmelagring innvendig sjikt (himling)	Beskrivelse: Gipsplate 13 mm Varmekap. [Wh/m ² K]: 2,4
Himmelretning [°] ¹	0
Takvinkel [°]	0
Midlere horisonthøyde [°]	
Kommentar	

¹ Nord er 0; Øst er 90; Sør er 180; Vest er 270

Gulv

Navn	Gulv på grunnen
Type gulv	<input checked="" type="radio"/> Gulv på grunn <input type="radio"/> Gulv mot friluft <input type="radio"/> Gulv mot uoppvarmet sone
Totalt gulvareal [m ²]	64,7
Utvendig omkrets ¹ [m]	34,3
Tykkelse grunnmur ¹ [m]	0,3
Konstruksjon	Beskrivelse: 300 mm EPS U-verdi [W/m ² K]: 0,09
Varmelagring innvendig sjikt (himling)	Beskrivelse: Gulvbelegg (4 mm) + sponplate (22 mm) Varmekap. [Wh/m ² K]:
Grunnforhold ¹	Sand/grus

¹ Bare nødvendig for gulv på grunn

<input checked="" type="checkbox"/> Kantisolasjon ¹	<input checked="" type="radio"/> Vertikal kantisolering <input type="radio"/> Horisontal kantisolering Isolasjonsdybde/bredde [m]: Isolasjonstype: 50 mm XPS Varmeledningsevne [W/mK]: 0,034 Isolasjonstykkelse [cm]: 5
Uoppvarmet sone ²	Ventilert uoppvarmet parkeringskjeller
Kommentar	

² For gulv mot uoppvarmet sone

Internlaster

Navn	Internlaster	
<input checked="" type="checkbox"/> Belysning	Midlere effekt i driftstiden [W/m ²):	1,95
	Varmetilskudd i driftstiden [%]:	100
	Midlere effekt utenfor driftstiden [W/m ²):	0
	Varmetilskudd utenfor driftstiden [%]:	100
	Midlere effekt helg/feriedager [W/m ²):	1,95
	Varmetilskudd helg/feriedager [%]:	100
	Driftstid fra:	07:00
	Driftstid til:	23:00
<input checked="" type="checkbox"/> Teknisk utstyr	Midlere effekt i driftstiden [W/m ²):	3,00
	Varmetilskudd i driftstiden [%]:	60
	Midlere effekt utenfor driftstiden [W/m ²):	0
	Varmetilskudd utenfor driftstiden [%]:	60
	Midlere effekt helg/feriedager [W/m ²):	3,00
	Varmetilskudd helg/feriedager [%]:	60
	Driftstid fra:	07:00
	Driftstid til:	23:00

<input checked="" type="checkbox"/> Oppv. av tappevann	Midlere effekt på driftsdager [W/m ²):	3,40
	Varmetilskudd på driftsdager [%]:	0
	Vanndamp på driftsdager [g/h]:	0
	Midlere effekt helg/feriedager [W/m ²):	0
	Varmetilskudd helg/feriedager [%]:	0
	Vanndamp helg/feriedager [g/h]:	0
<input checked="" type="checkbox"/> Varmetilskudd personer	Midlere varmetilskudd i arbeidstiden [W/m ²):	1,50
	Midlere varmetilsk. utenfor arbeidst. [W/m ²):	0
	Midlere varmetilskudd helg/feriedager [W/m ²):	0
	Arbeidstid fra:	00:00
	Arbeidstid til:	23:59
Kommentar	<div style="border: 1px solid black; height: 60px; width: 100%;"></div>	

Romoppvarming

Navn	Romoppvarming
Kapasitet	Maks. avgitt effekt [W/m ²]: 50,0 Konvektiv andel avgitt effekt: 0,5 <input type="checkbox"/> Oppvarming med vannbårent distribusjonsanlegg Turtemperatur [°C]: Returtemperatur [°C]: Spesifikk pumpeeffekt [kW/m ² s]:
Driftsstrategi	Settpunkttemperatur i driftstiden [°C]: 19 Settpunkttemperatur utenfor driftstiden [°C]: 19 Driftstid fra: 07:00 Driftstid til: 23:00
<input type="checkbox"/> Annen drift sommer	Settpunkttemperatur i driftstiden [°C]: Settpunkttemperatur utenfor driftstiden [°C]: Driftstid fra: Driftstid til: Første sommermåned: Juni Siste sommermåned: Oktober
Kommentar	

H Beregnet energibehov for Trend2

Tabell 14: Beregnet årlig energibehov for Bergen.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	4216	32,7	1a Romoppvarming	2491	19,3
1b Ventilasjonvarme	239	1,9	1b Ventilasjonvarme	117	0,9
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	1	0,0	3b Pumper	1	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	12467	96,6	Totalt netto Energifbehov	10620	82,3
			Prosentvis endring	14,8%	

Tabell 15: Beregnet årlig energibehov for Bodø.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5573	43,2	1a Romoppvarming	3752	29,1
1b Ventilasjonvarme	352	2,7	1b Ventilasjonvarme	209	1,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	2	0,0	3b Pumper	1	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	13938	108,0	Totalt netto Energifbehov	11973	92,8
			Prosentvis endring	14,1%	

Tabell 16: Beregnet årlig energibehov for Karasjok.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	11372	88,2	1a Romoppvarming	8054	62,4
1b Ventilasjonsvarme	1363	10,6	1b Ventilasjonsvarme	855	6,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	14	0,1	3b Pumper	18	0,1
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	20760	160,9	Totalt netto Energifbehov	16938	131,3
			Prosentvis endring	18,4%	

Tabell 17: Beregnet årlig energibehov for Kirkenes.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	9462	73,3	1a Romoppvarming	6772	52,5
1b Ventilasjonsvarme	805	6,2	1b Ventilasjonsvarme	514	4,0
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	9	0,1	3b Pumper	11	0,1
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	18287	141,8	Totalt netto Energifbehov	15308	118,7
			Prosentvis endring	16,3%	

Tabell 18: Beregnet årlig energibehov for Kristiansand

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	4313	33,4	1a Romoppvarming	3185	24,7
1b Ventilasjonvarme	269	2,1	1b Ventilasjonvarme	187	1,4
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	2	0,0	3b Pumper	1	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	12595	97,6	Totalt netto Energifbehov	11384	88,2
			Prosentvis endring	9,6%	

Tabell 19: Beregnet årlig energibehov for Lillehammer.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	6785	52,6	1a Romoppvarming	4759	36,9
1b Ventilasjonvarme	499	3,9	1b Ventilasjonvarme	322	2,5
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	6	0,0	3b Pumper	6	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	15301	118,6	Totalt netto Energifbehov	13098	101,5
			Prosentvis endring	14,4%	

Tabell 20: Beregnet årlig energibehov for Oslo, Blindern.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5491	42,6	1a Romoppvarming	3414	26,5
1b Ventilasjonsvarme	381	3,0	1b Ventilasjonsvarme	205	1,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	6	0,0	3b Pumper	2	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	13889	107,7	Totalt netto Energifbehov	11632	90,2
			Prosentvis endring	-16,3%	

Tabell 21: Beregnet årlig energibehov for den konstruerte perioden 1961-1990 mot perioden 1992-2014 for Oslo, Blindern.

1961-1990			1992-2014		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5491	42,6	1a Romoppvarming	5701	44,2
1b Ventilasjonsvarme	381	3,0	1b Ventilasjonsvarme	402	3,1
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	6	0,0	3b Pumper	6	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	13889	107,7	Totalt netto Energifbehov	14120	109,5
			Prosentvis endring	1,7%	

Tabell 22: Beregnet årlig energibehov for Røros.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	8573	66,5	1a Romoppvarming	6821	52,9
1b Ventilasjonvarme	824	6,4	1b Ventilasjonvarme	591	4,6
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	11	0,1	3b Pumper	14	0,1
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	17419	135,0	Totalt netto Energifbehov	15437	119,7
			Prosentvis endring	11,4%	

Tabell 23: Beregnet årlig energibehov for Stavanger.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	3618	28,0	1a Romoppvarming	2637	20,4
1b Ventilasjonvarme	195	1,5	1b Ventilasjonvarme	133	1,0
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	1	0,0	3b Pumper	1	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonkjøling	0	0,0	6b Ventilasjonkjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	11825	91,7	Totalt netto Energifbehov	10782	83,6
			Prosentvis endring	8,8%	

Tabell 24: Beregnet årlig energibehov for Tromsø.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	7203	55,8	1a Romoppvarming	4629	35,9
1b Ventilasjonsvarme	487	3,8	1b Ventilasjonsvarme	276	2,1
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	2	0,0	3b Pumper	2	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	15703	121,7	Totalt netto Energifbehov	12918	100,1
			Prosentvis endring	17,7%	

Tabell 25: Beregnet årlig energibehov for Trondheim.

1961-1990			2071-2100		
Energibudsjett	kWh	kWh/m ²	Energibudsjett	kWh	kWh/m ²
1a Romoppvarming	5716	44,3	1a Romoppvarming	3623	28,1
1b Ventilasjonsvarme	384	3,0	1b Ventilasjonsvarme	214	1,7
2 Varmtvann	3854	29,9	2 Varmtvann	3854	29,9
3a Vifter	416	3,2	3a Vifter	416	3,2
3b Pumper	4	0,0	3b Pumper	3	0,0
4 Belysning	1474	11,4	4 Belysning	1474	11,4
5 Teknisk utstyr	2267	17,6	5 Teknisk utstyr	2267	17,6
6a Romkjøling	0	0,0	6a Romkjøling	0	0,0
6b Ventilasjonskjøling	0	0,0	6b Ventilasjonskjøling	0	0,0
Totalt netto Energifbehov	14115	109,4	Totalt netto Energifbehov	11851	91,9
			Prosentvis endring	16,0%	

I Historisk og fremtidig årsmiddeltemperatur

Tabell 26: Beregnet årsmiddeltemperatur for historisk normalperiode 1961-1990 og for fremtidig normalperiode 2071-2100 ved RCP8.5.

	Årsmiddeltemp [°C]		
	1961-1990	2071-2100	differanse
Bergen	7,5	11,4	3,9
Bodø	5,4	8,9	3,5
Karasjok	-2,5	2,9	5,4
Kirkenes	0,2	4,7	4,5
Kristiansand	7,9	10,4	2,5
Lillehammer	4,3	8	3,7
Oslo	6,3	10,8	4,5
Røros	1	4	3
Stavanger	8,4	10,9	2,5
Tromsø	2,9	7,5	4,6
Trondheim	5,1	9,4	4,3

J Resultater - Livssyklusanalyse for Trend2 i Oslo

J.1 Resultater fra One Click LCA

Tabell 27: Resultat fra livssyklusanalyse av Trend2 fra Norgeshus. Ekskludert klimagassavtrykk fra energibruk i driftsfasen.

Isolasjonstykkelse [mm]	Klimagassavtrykk yttervegg [kg CO2e]	Klimagassavtrykk tot. [kg CO2e]
100	3221	23214
150	3517	23510
200	3807	23800
250	4097	24090
300	4380	24373
350	4676	24669
400	4966	24959
450	5269	25262
500	5546	25539
100	3611	23604
150	4070	24063
200	4522	24515
250	4974	24967
300	5420	25413
350	5879	25872
400	6331	26324
450	6787	26780
500	7235	27228

J.2 Klimagassutslipp fra bygging og strømforbruk

Tabell 28: Klimagassutslipp fra energibruk til oppvarming av Trend2 i Oslo per år ved ulike utslippsfaktorer med klimadata fra **1961-1990** og totalt klimagassutslipp for materiell/bygging sammen med energibruk for hele levetiden. Utslippet er oppgitt i kg CO₂-ekvivalenter.

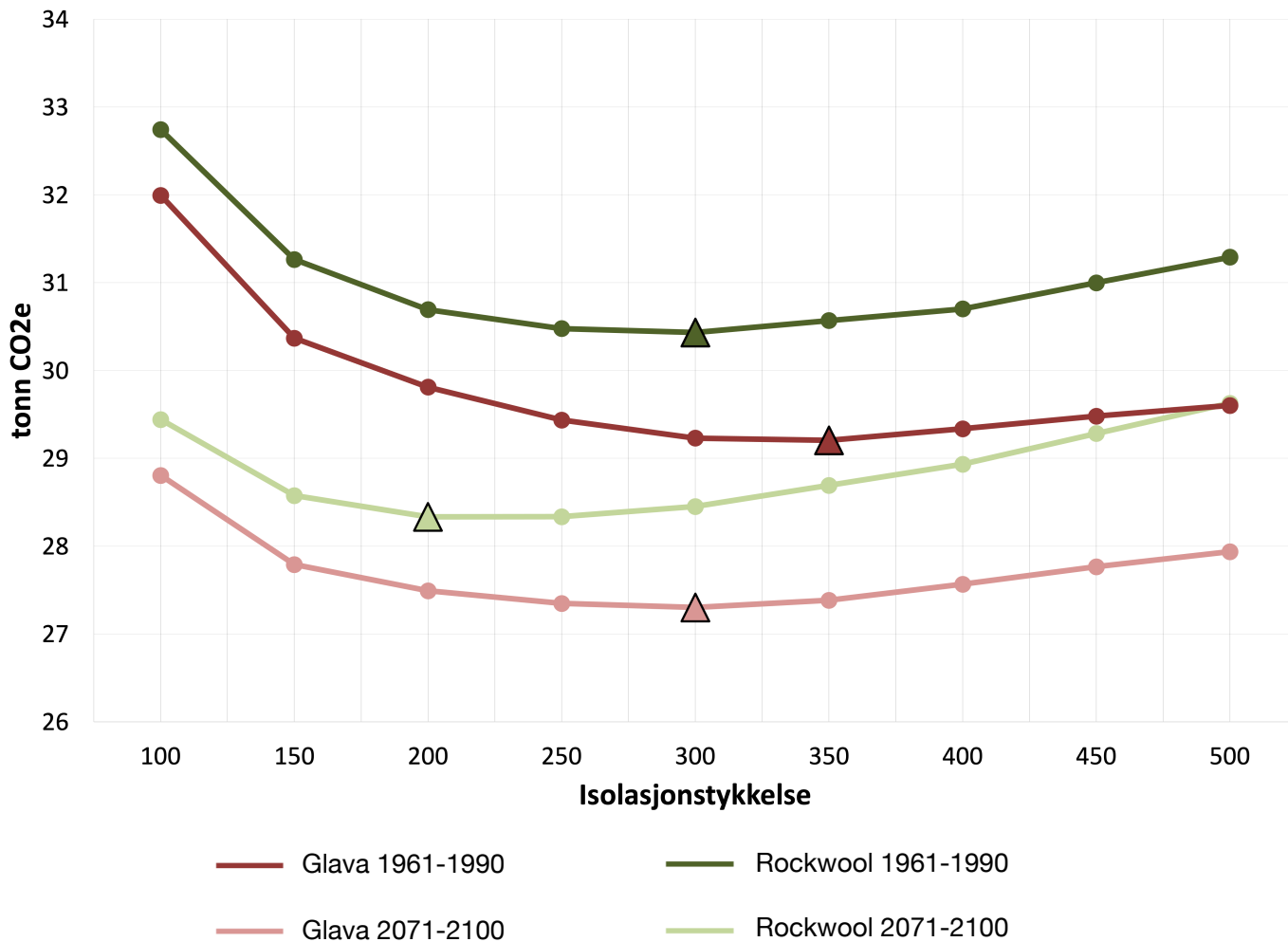
Isolasjonstykkelse	Klimagassutslipp strøm per år[kg CO ₂ e]				Tot. utslipp hele levetiden[kg CO ₂ e]			
	17 g	31 g	74 g	130 g	17 g	31 g	74 g	130 g
100 mm	146	268	637	1119	31995	39278	61438	90364
150 mm	114	209	498	874	30367	36055	53360	75949
200 mm	100	183	436	766	29811	34796	49965	69765
250 mm	89	163	388	681	29437	33872	47364	64978
300 mm	81	148	352	619	29230	33259	45516	61517
350 mm	76	138	329	578	29206	32969	44418	59363
400 mm	73	133	318	558	29337	32968	44015	58437
450 mm	70	129	306	538	29481	32980	43626	57523
500 mm	68	124	295	518	29602	32971	43224	56606
100 mm	152	279	663	1165	32743	40323	63386	93492
150 mm	120	220	522	918	31264	37237	55409	79131
200 mm	103	188	448	787	30693	35817	51408	71760
250 mm	92	168	400	702	30478	35049	48956	67110
300 mm	84	153	364	640	30432	34596	47262	63797
350 mm	78	143	341	599	30569	34465	46318	61791
400 mm	73	133	318	558	30702	34333	45380	59802
450 mm	70	129	306	538	30999	34498	45144	59041
500 mm	68	124	295	518	31291	34660	44913	58295

Tabell 29: Klimagassutslipp fra energibruk til oppvarming av Trend2 i Oslo per år ved ulike utslippsfaktorer med klimadata fra 2071-2100 og totalt klimagassutslipp for materiell/bygging sammen med energibruk for hele levetiden. Utslippet er oppgitt i kg CO₂-ekvivalenter.

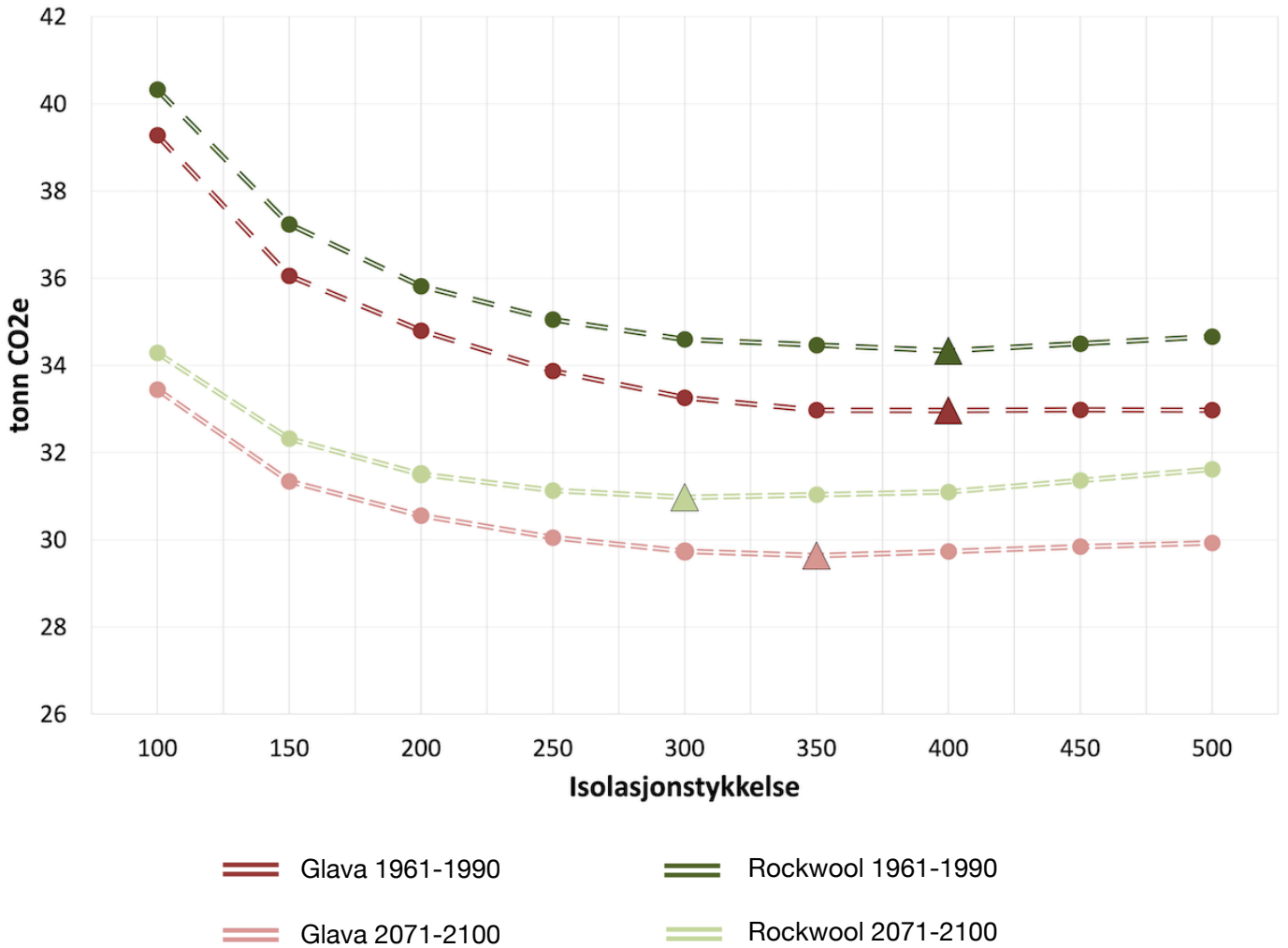
Isolasjonstykkelse	Klimagassutslipp strøm per år [kg CO ₂ e]				Tot. utslipp hele levetiden [kg CO ₂ e]			
	17 g	31 g	74 g	130 g	17 g	31 g	74 g	130 g
100 mm	93	171	406	713	28807	33445	47559	65981
150 mm	71	130	311	545	27790	31340	42140	56239
200 mm	62	113	268	470	27491	30553	39868	52028
250 mm	54	99	236	415	27348	30050	38271	49003
300 mm	49	89	213	373	27302	29732	37125	46775
350 mm	45	83	197	346	27383	29634	36484	45425
400 mm	43	80	189	332	27567	29730	36312	44904
450 mm	42	76	182	319	27765	29841	36158	44403
500 mm	40	73	174	306	27938	29928	35982	43885
100 mm	97	178	424	744	29442	34285	49019	68251
150 mm	75	138	327	575	28575	32318	43706	58570
200 mm	64	116	277	487	28334	31501	41138	53718
250 mm	56	103	244	429	28336	31130	39632	50730
300 mm	51	93	220	387	28452	30972	38640	48649
350 mm	47	86	205	360	28693	31033	38153	47447
400 mm	43	80	189	332	28932	31095	37677	46269
450 mm	42	76	182	319	29283	31359	37676	45921
500 mm	40	73	174	306	29627	31617	37671	45574

J.3 Grafer for samlet klimagassavtrykk over levetiden

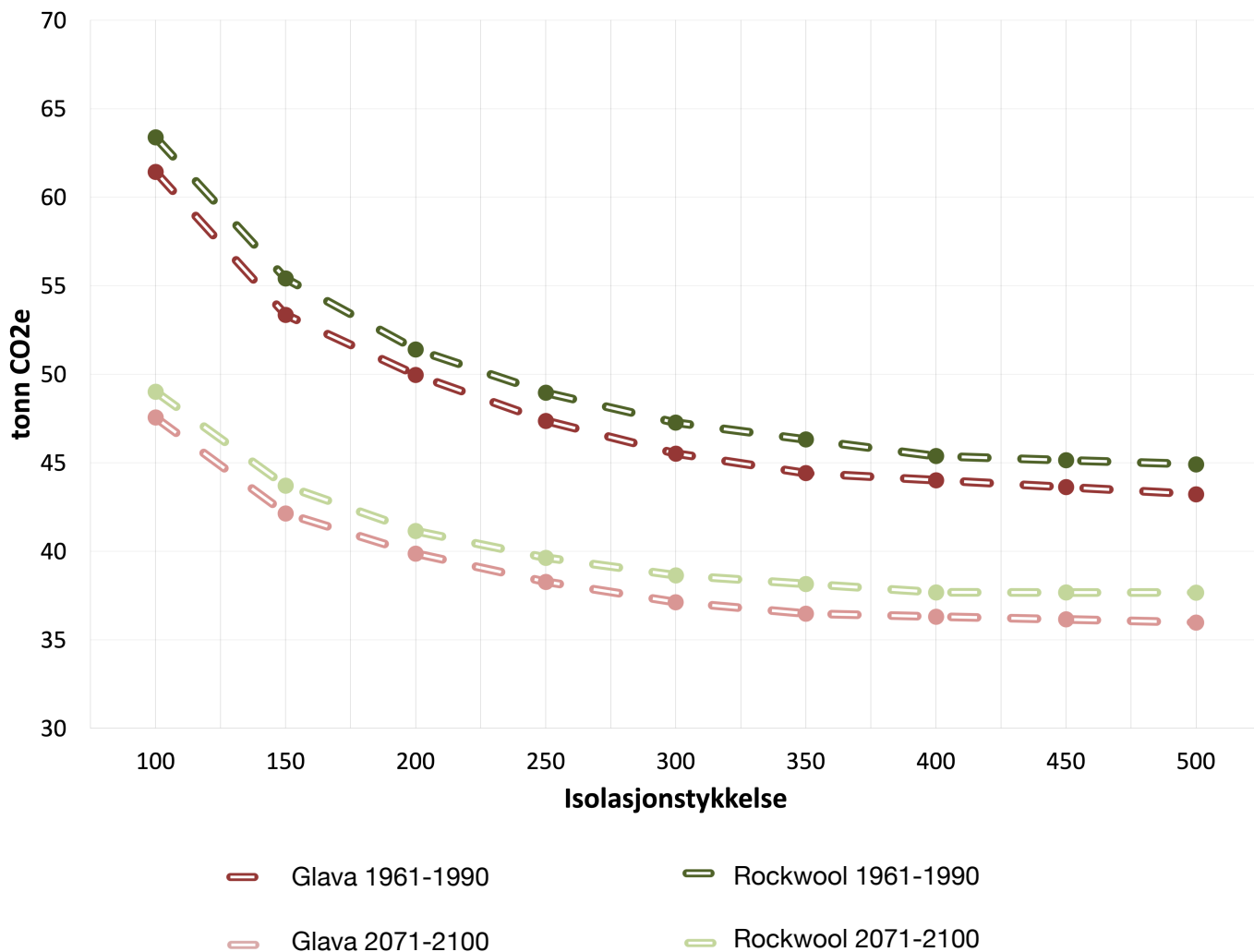
J.3.1 Utslippsfaktor 17 g CO₂e/kWh



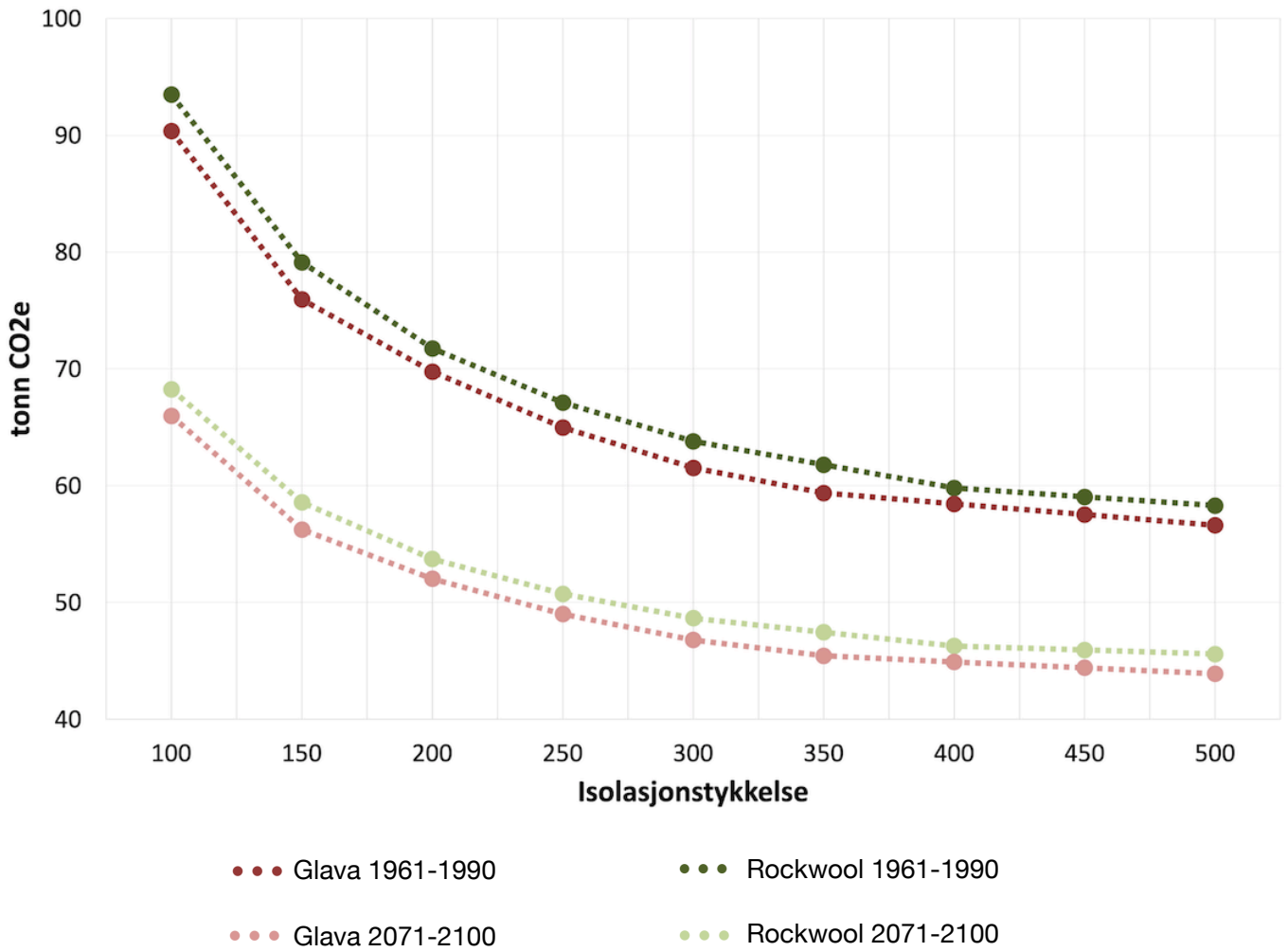
J.3.2 Utslippsfaktor 31 g CO₂e/kWh



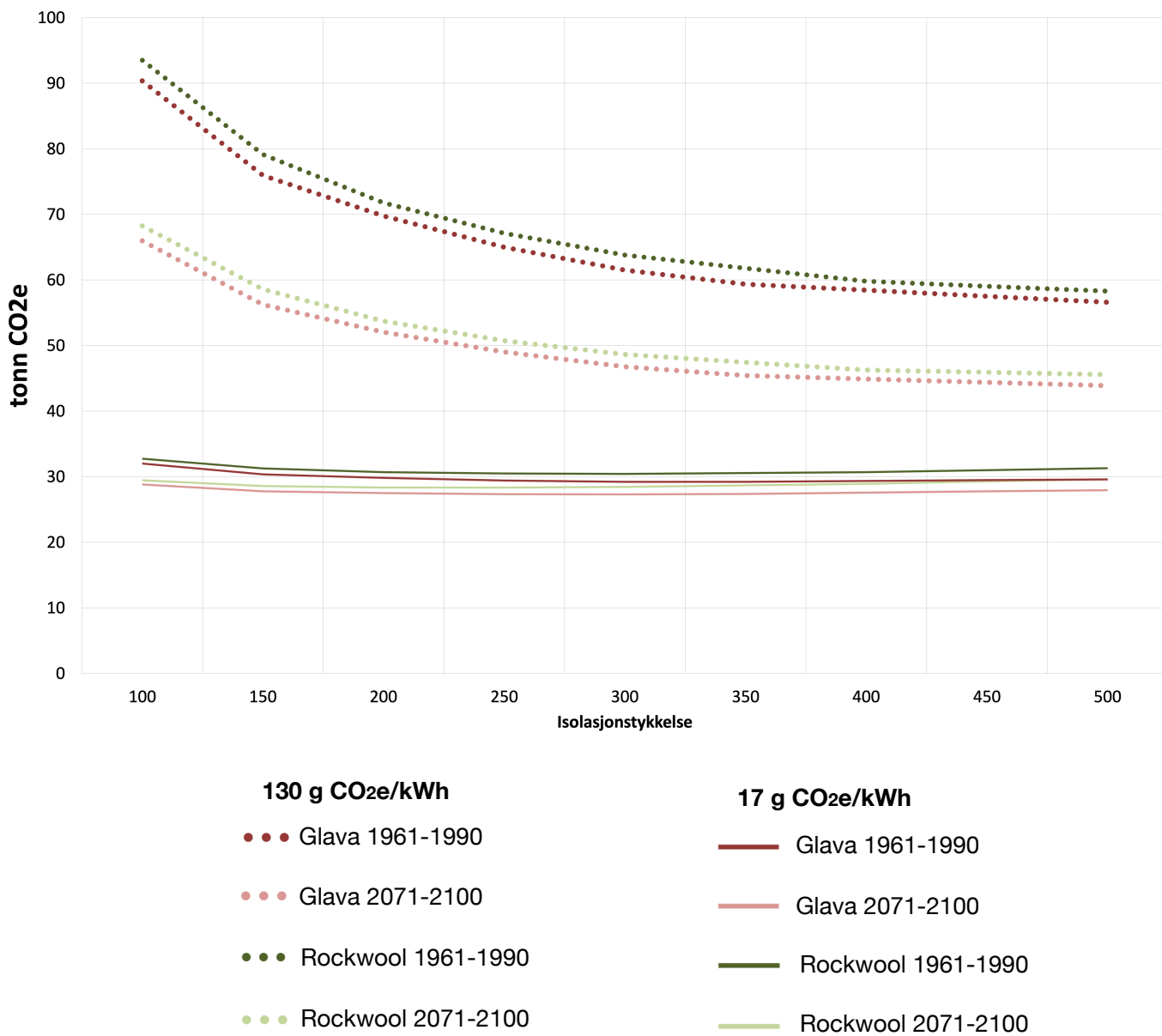
J.3.3 Utslippsfaktor 74 g CO₂e/kWh



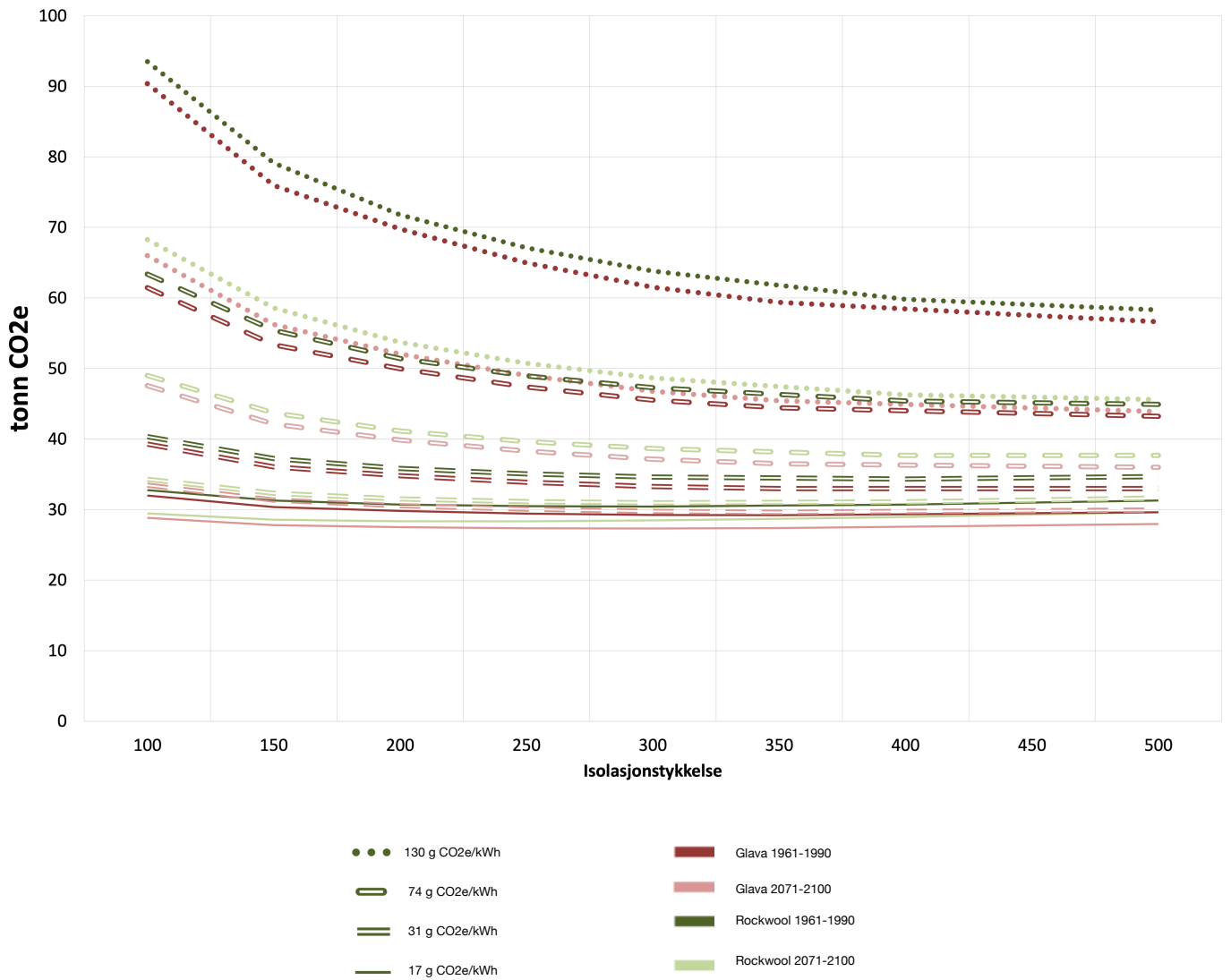
J.3.4 Utslippsfaktor 130 g CO₂e/kWh



J.3.5 Utslippsfaktor 17 g CO₂e/kWh og 130 g CO₂e/kWh



J.3.6 Alle utslippsfaktorer samlet



K Kontroll av metode for konstruksjon av datasett

K.1 Historiske kontrollserier

Tabell 30: Viser resultater fra beregningsmessig energibehov til oppvarming med de 10 historiske kontrollseriene produsert av Meteorologisk Institutt sammenliknet med dataserien brukt som resultat for perioden 1961-1990. Tallene gjelder for Oslo, Blindern.

	Årsmiddeltemp	Energibruk til oppvarming	Endring fra referanse
Opprinnelig 1961-1990	6,3 °C	5872 kWh/år	
H1	6,4 °C	5711 kWh/år	-2,7%
H2	6,4 °C	5726 kWh/år	-2,5%
H3	6,4 °C	5696 kWh/år	-3,0%
H4	6,4 °C	5727 kWh/år	-2,5%
H5	6,4 °C	5727 kWh/år	-2,5%
H6	6,4 °C	5721 kWh/år	-2,6%
H7	6,4 °C	5723 kWh/år	-2,5%
H8	6,4 °C	5711 kWh/år	-2,7%
H9	6,4 °C	5716 kWh/år	-2,7%
H10	6,4 °C	5715 kWh/år	-2,7%
Gjennomsnitt H1-H10	6,4 °C	5717 kWh/år	-2,6%

K.2 Fremtidige kontrollserier

Tabell 31: Viser resultater fra beregningsmessig energibehov til oppvarming med de 10 fremtidige kontrollseriene produsert av Meteorologisk Institutt sammenliknet med dataserien brukt som resultat for perioden 2071-2100. Tallene gjelder for Oslo, Blindern.

	Årsmiddeltemp	Energibruk til oppvarming	Endring fra referanse
Opprinnelig 2071-2100	10,8	3619	
F1	10,1°C	3910 kWh/år	8,0%
F2	10,1°C	3924 kWh/år	8,4%
F3	10,2°C	3910 kWh/år	8,0%
F4	10,1°C	3931 kWh/år	8,6%
F5	10,0°C	3931 kWh/år	8,6%
F6	10,1°C	3907 kWh/år	8,0%
F7	10,1°C	3911 kWh/år	8,1%
F8	10,1°C	3904 kWh/år	7,9%
F9	10,0°C	3927 kWh/år	8,5%
F10	10,1°C	3925 kWh/år	8,5%
Gjennomsnitt F1-F10	10,1°C	3818 kWh/år	8,3%

