

Jostein Langdal

Energisparepotensiale og lønnsomhet ved energioppgradering av 50- og 80-talls enebolig

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk

Veileder: Stig Geving

Juni 2019

Jostein Langdal

Energisparepotensiale og lønnsomhet ved energioppgradering av 50- og 80- talls enebolig

Masteroppgave i Bygg- og miljøteknikk
Veileder: Stig Geving
Juni 2019

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

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet våren 2019 ved institutt for bygg- og miljøteknikk (IBM), ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Arbeidet med masteroppgaven utgjør 30 studiepoeng. Mine veiledere har vært professor i bygningsfysikk Stig Geving ved IBM og forsker Lars Gullbrekken hos SINTEF Byggforsk.

Høsten 2018 arbeidet jeg med en prosjektoppgave hvor jeg studerte konstruksjoner og materialbruk i boliger av lette trekonstruksjoner fra perioden 1950 til 1990. Denne masteroppgaven er en videreføring av prosjektoppgaven. Arbeidet med prosjektoppgaven foregikk ved å gjennomgå eldre litteratur fra de respektive årene.

Helt siden min 2-årige lærlingeperiode som tømrer fra 2011 til 2013 har jeg hatt en spesiell interesse for bygningsmessig arbeid på eneboliger. De fleste i Norge tilbringer mye tid i egen bolig. Det er da viktig med et godt inneklima og lave energiutgifter. Jeg valgte emnet energisparepotensiale til masteroppgaven, da jeg mener det er en oppgave som både private og profesjonelle kan ha nytte av. Boligeiere kan gjennom masteroppgaven se potensialet ved energieffektivisering av egen bolig. Entreprenører kan bruke resultatene i denne masteroppgaven som argument for å være mer ambisiøs under rehabilitering av bolig. Dette vil skape en vinn-vinn situasjon for begge parter.

Under arbeidet med masteroppgaven har jeg fått god bistand gjennom samtaler og annen støtte. Gjennom bruk av programvare vil jeg gjerne takke ProgramByggerne og Holte for gratis bruk av henholdsvis SIMIEN og SmartKalk. Jeg vil også takke mine veiledere Stig Geving og Lars Gullbrekken for god hjelp og engasjement underveis. Takk til Anne Gunnarshaug Lien og Berit Time fra SINTEF Byggforsk som har deltatt på flere veiledningsmøter. Takk til Magnus Vågen fra Binde Framtid for godt samarbeid hvor jeg har fått tilgang på tegninger, kostnader og ikke minst gode diskusjoner. Til slutt vil jeg takke min far og arkitekt Tor Arne Langdal for utallige nyttige samtaler relatert til masteroppgaven.

Sammendrag

Med en nasjonal og global ambisjon om å drastisk redusere klimagassutslipp, ligger det et stort potensiale i energieffektivisering av norske husholdninger. Sammenligner man en eldre bolig før årtusenskiftet med en nyere bolig, vil man legge merke til store forskjeller innen energibruk. Energieffektivisering av boliger vil også kunne redusere belastningen på det norske strømmettet og spare samfunnet for store utfordringer innen fremtidig vedlikehold og utvidelse. Problemet er at under halvparten av rehabiliteringsprosjekter på boliger utfører tiltak som reduserer boligens energibehov (ENOVA, 2015). I denne masteroppgaven har jeg studert om det er privatøkonomisk lønnsomt å rehabilitere en enebolig fra 1958 og 1987 til TEK10, TEK17 og passivhus standard. De to boligene er ment å være referanser for hus fra 50- og 80-tallet. Hensikten med masteroppgaven er å vise hvor lønnsomt det kan være å energieffektivisere en eksisterende bolig.

For å kunne beregne lønnsomhet i dette studiet har det blitt inngått et samarbeid med Byggmester Binde og Binde Framtid i Steinkjer. To av deres tidligere rehabiliteringsprosjekter har blitt studert. Disse boligene ble bygget i 1958 og 1987. Dette har gitt tilgang på tegninger og virkelige kostnader på arbeid, materialer og produkter. I tillegg er det innhentet en del ekstra kostnader fra ulike leverandører og utført beregninger i Holte SmartKalk. Energibruk på boligene fra 1958 og 1987 har blitt beregnet med værdata fra Oslo i beregningsprogramvaren SIMIEN. Deretter har ulike tiltak på energieffektivisering blitt definert. Tiltakene oppgraderer ulike deler av bygningskroppen (gulv, etasjeskillere, yttervegg, tak, dør og vindu), varmekilder og ventilasjon. SIMIEN har blitt benyttet til å beregne energibruk med ulike sammensetninger av de definerte tiltakene. Lønnsomhet har blitt beregnet basert på investeringskostnad, støtte fra ENOVA og nåverdimetoden på fremtidige energibesparelser.

Resultatene i denne masteroppgaven viser at det er lønnsomt å energieffektivisere boligen ved rehabilitering. Det anbefales å vente med energieffektivisering av boligen til de ulike bygningskomponentene har nådd forventet levetid. For begge boligene kan det anbefales å oppgradere til energikravene i TEK10. Resultatet av lønnsomheten ved oppgradering til TEK10 kommer som en direkte følge av støtten fra ENOVA. Hvis denne støtten reduseres vesentlig eller fjernes i fremtiden, vil det ikke lenger være lønnsomt å ha høye ambisjoner ved rehabilitering av boliger i lette trekonstruksjoner.

Summary

There is a national and global ambition of drastically reducing the environmental footprint from energy use. You will notice big differences in energy use if you compare an older detached house before the millennium against a newly constructed house. The ambition can be partially met by lowering energy use in Norwegian households. The Norwegian population in the future will increase, and with more electronics on the market, such as electric cars, our electricity grid may soon meet its max capacity. By reducing the need for electricity in Norwegian households, we can postpone a future upgrade on the electricity grid and thereby reduce societal costs. This will also reduce the climate impact from energy use. One problem is that under half of the rehabilitation projects of Norwegian households results in more energy efficient buildings (ENOVA, 2015). In this master thesis, it has been studied if it's privately economic feasible to rehabilitate a detached house from 1958 and 1987 to either TEK10, TEK17 or passive house standard. These two houses are meant to be reference projects from their decades, meaning similar houses could use the results in this study. The purpose of this study is to investigate if it's more feasible to invest in higher energy efficiency in existing Norwegian households.

By cooperating with contractor Byggmester Binde and consultant Binde Framtid, the study of economic feasibility on rehabilitation projects would be more accurate. Two of their former rehabilitation projects of Norwegian households from 1958 and 1987 were studied. This has given the advantage of precise costs on work, materials and products, but also plans. In addition to this, costs are collected from several suppliers and from the software Holte SmartKalk. The energy use of the two households has been simulated with weather data from Oslo in the computing software SIMIEN. In this software, several measures on increasing the energy efficiency has been developed. These measures have a focus on reducing the heat loss through infiltration, floors, outer walls, roof, doors and windows. Some measures also introduce new heating appliances and balanced mechanical ventilation. SIMIEN has been used to compute the new energy use of these different measures in a variety of mixes. The economic feasibility has been based on the costs of the measures, economic support from ENOVA and the net present value method of future reduced energy costs.

The results in this master thesis indicates that it's more economic feasible to increase the energy efficiency of Norwegian households than to ignore it. However, it's recommended to only do measures on energy efficiency when the building is in need of maintenance. Both the buildings from 1958 and 1987 should upgrade according to the regulations from TEK10. The result of this profitability is highly dependant of the economic support from ENOVA. If this support is drastically reduced or removed in the future, it will no longer be recommended to follow TEK10 regulations when upgrading light wooden houses in Norway.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Summary	iii
Innhold	v
Liste av tabeller	ix
Liste av figurer	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Bidrag fra offentlig sektor	1
1.1.2 Bidrag fra SINTEF	1
1.2 Mål og problemstilling	2
1.3 Avgrensninger	3
1.3.1 Økonomisk lønnsomhet	3
1.3.2 Ett type hus	3
1.3.3 Klimasoner	3
1.3.4 Grad av egeninnsats	3
1.3.5 Egentlig strømforbruk	3
1.3.6 Psykososiale forhold	4
2 Teori og grunnlag	5
2.1 Norske klimasoner og temperatursoner	5
2.2 Energieffektive bygg	7
2.2.1 Hva er energieffektive bygg?	7
2.2.2 Hvordan kan man energieffektivisere et bygg?	7
2.2.3 Planlegging	12
2.2.4 Teknisk energieffektiviseringspotensial	14
2.2.5 Barrierer mot energieffektivisering	15
2.2.6 Energimerkeordningen	17
2.3 Byggtekniske forskrifter og standarder	17
2.3.1 Byggeforskriftenes påvirkning på eneboliger fra og med 50-tallet	18
2.3.2 Teknisk Forskrift	21

2.3.3	NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygg	22
2.4	Varmeforsyningssystem for boliger	23
2.4.1	Varmepumper	25
2.4.2	Varmeløsninger til punkttoppvarming	27
2.4.3	Livssyklus kostnader på punkttoppvarmingsystemer	30
2.4.4	Vannbåren varmesystem	31
2.5	Muligheter for reduksjon av investeringskostnader	32
2.5.1	ENOVA	33
2.5.2	Husbanken	34
2.5.3	Skattefradrag på gjeldsrenter	35
2.6	Verdiøkning på bolig ved oppgradering	35
2.6.1	Reflekteres en enebolig sine fremtidige energiutgifter i markedsprisen i dag?	37
2.6.2	Utnyttelse av energimerkeordningen for økt lønnsomhet ved boligsalg	39
2.7	Livsløpskostnader	40
2.7.1	Nåverdi (NV) for kostnad i analyseperioden	41
2.7.2	Kalkulasjon med faste årlige kostnader	41
2.7.3	Beregning av lønnsomhet	41
2.8	Enebolig fra 50-tallet	42
2.8.1	Data på boligen	43
2.8.2	Beskrivelse av bolig som bygget	43
2.8.3	Beskrivelse av bolig som rehabilitert	44
2.9	Enebolig fra 80-tallet	45
2.9.1	Data på boligen	45
2.9.2	Beskrivelse av bolig som bygget	46
2.9.3	Beskrivelse av bolig som rehabilitert	47
3	Metode	49
3.1	Valg av metode	49
3.2	Litteraturstudium	50
3.2.1	Formål	50
3.2.2	Kvalitet og fremgangsmåte	51
3.3	Casestudie	51
3.3.1	Energiberegninger	52
3.3.2	Utarbeidelse av kostnader	53
3.3.3	Beregninger på lønnsomhet	54
4	Resultat	55
4.1	Valg av rente	56
4.2	Strømkostnad	57
4.3	Energiberegninger enebolig fra 50-tallet	58
4.3.1	Energiberegning før rehabilitering	59
4.3.2	Energiberegning etter ulike tiltak på energieffektivisering	62
4.3.3	Følsomhetsanalyse energiberegninger enebolig fra 50-tallet	66
4.4	Energiberegninger enebolig fra 80-tallet	72
4.4.1	Energiberegning før rehabilitering	72
4.4.2	Energiberegning etter ulike tiltak på energieffektivisering	76

4.4.3	Følsomhetsanalyse energiberegninger enebolig fra 80-tallet	79
5	Diskusjon	87
5.1	Gjengivelse av problemstilling og forskningsspørsmål	88
5.1.1	Moderne krav og forskrifter	88
5.1.2	Faktorer som påvirker valg av tiltak	89
5.2	Bolig fra 50-tallet	91
5.2.1	Lønnsomt rehabiliteringsnivå	91
5.2.2	Plassering av bolig i Norge	96
5.3	Bolig fra 80-tallet	99
5.3.1	Lønnsomt rehabiliteringsnivå	99
5.3.2	Plassering av bolig i Norge	104
5.4	Sammenligning av 50- og 80-talls bolig	105
5.4.1	Sammenligning av tabell for lønnsomhet til boligene	106
6	Konklusjon	111
6.1	50-talls bolig	112
6.1.1	FS2	112
6.1.2	FS3	113
6.2	80-talls bolig	113
6.2.1	FS2	113
6.2.2	FS3	114
	Referanseliste	114
A	Vedlegg	123
B	Vedlegg	125

Tabeller

2.1	Krav til U-verdier fra de tidligere byggeforskriftene utgitt i 1949, 1969 og 1987.	20
2.2	Metoden for energirammer.	21
2.3	Minstekrav til metoden for energirammer.	22
2.4	Metoden for energiltak.	22
2.5	NS3700 passivhuskrav til eneboliger. Netto energibehov gjelder bolig plassert i området med årsgjennomsnittlig utetemperatur på $6,3^{\circ}\text{C}$. Der hvor årsgjennomsnittlig temperatur er over eller under $6,3^{\circ}\text{C}$ er det henholdsvis strengere eller mindre strenge energikrav. Det stilles også krav til at varmesystemet skal kunne benytte andre energikilder enn elektrisitet og fossile brensler.	23
2.6	Inntjeningstid for ulike punktoppvarmingssystemer. Energiforbruket er basert på en 150 m^2 enebolig med energimerke C. Kostnad per kWh er beregnet for strøm, ved og pellets. Det er forutsatt at utgangspunktet er et hus med panelovner i hvert rom og en pipe. Investeringene forutsetter at de nye varmforsyningene varmer opp lik dekningsgraden og panelovner tar resten. En kalkulasjonsrente på 2,8% er benyttet ved beregning av inntjeningstid.	30
2.7	For å være kvalifisert for tilskudd fra ENOVA må boligens varmetapstall minst reduseres med 30 prosent, og ikke overskride krav i tabellen under (differensiert på tre størrelseskategorier). Boligens netto energibehov kan ikke være høyere enn siste kolonne i tabellen. I tillegg må boligen ha oppvarmingskarakter bedre enn rød. Netto energibehov er uavhengig av varmforsyningssystem. *Arealet er her oppvarmet del av BRA. **Verdiene som står i parentes gjelder ved beregning med ENOVAmodule i EMS.	34
2.8	Dagens nominelle nivå på flytende rente og fastrente for noen utvalgte banker; Husbanken, DNB, Nordea, Danske Bank og SpareBank1 SMN. *2,65% rente beløp over 2.000.000,- kr, 2,85% ellers. Merk at ikke alle tilbyr 100% lånefinansiering. Det er kun Husbanken som tilbyr 20 år fastrente.	34
2.9	Karakterskala for energimerket til eneboliger basert på oppvarmet BRA. Øvre grense for karakter C er basert på nivå for TEK10.	36
2.10	Beregning av årlig kostnad til oppvarming av to like boliger med ulik oppvarmingskarakter. Forbruk er basert på tabell 2.9 og strømkostnad på ligning 4.5.	36
2.11	Fakta på 50-talls boligen.	43
2.12	Varmetapsverdier på boligen før og etter rehabilitering. Normalisert kuldebroverdi er erfaringstall fra Norsk Standard. Luftlekkasjetallet er et gjennomsnitt fra Norsk Standard (6) og Praktisk veileder for energimerking (10).	43
2.13	Fakta på 80-talls boligen.	46

2.14	Varmetapsverdier på boligen før og etter rehabilitering. Normalisert kuldebroverdi er erfaringstall fra Norsk Standard. Luftlekkasjetallet er et gjennomsnitt fra Norsk Standard (6) og Praktisk veileder for energimerking (10).	46
4.1	Internlaster for eneboliger.	55
4.2	Årsmiddeltemperatur, dimensjonerende utetemperatur og frostmengde i normalår for ulike byer i Norge.	55
4.3	Energibudsjettet for 50-talls boligen plassert i Oslo.	59
4.4	Levert energi for 50-talls boligen plassert i Oslo.	59
4.5	Kostnader til kjøpt energi for 50-talls boligen plassert i Oslo.	61
4.6	Energibehov for 50-talls boligen plassert i ulike byer i Norge.	62
4.7	Nåverdiberegning på ulike tiltak for energieffektivisering av 50-talls boligen. Benyttet rente er 2,8 % i henhold til ligning 4.2 side 56. En positiv nåverdi angir at tiltaket er lønnsomt.	63
4.8	Årlige besparelser (ink.mva) på ulike tiltak for energieffektivisering av 50-talls boligen. Beløpet er basert på kostnader på strøm og vedfyring angitt fra ligning 4.5 side 58 og tabell 2.6 side 30.	63
4.9	Kostnader (ink.mva) for investering, levetid og endring i vedlikeholdsutgifter for de ulike tiltakene. Kostnad fra balansert ventilasjon er hva byggherre selv betalte inkludert 15.000,- kr i ENOVA støtte.	64
4.10	Lønnsomhetsanalyse på sammensatte tiltak for 50-talls boligen plassert i Oslo. Tiltakene er sortert ut fra energibesparelse. Kostnadene er sammensatt fra tabell 4.9. Tiltak 7 og 8 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 3 oppgradering av bygningskroppen fra ENOVA. Tiltak 9 og 10 oppnår støtte for balansert ventilasjon og nivå 2. Nåverdien er basert på en vektet levetid og kalkulasjonsrente 2,8 % for energibesparelse og full egenkapital for investering. Årlig netto energibehov og totalt varmetapstall er målparametere for å oppnå støtte fra ENOVA til oppgradering av bygningskroppen. Alle tiltak har oppvarmingskarakter bedre enn rød. Den alternative nåverdien baserer seg på at investeringen er et lån på 15 år med årlig kalkulasjonsrente på 2,8 %. Eksempel på beregninger i tabellen kan studeres i vedlegg A.	65
4.11	Tabellen viser for hvert tiltak nåverdi dividert på investeringskostnad (avkastning) inkludert støtte fra ENOVA hvor verdier er tatt fra tabell 4.10. Et høyere tall angir at man får mer igjen for investeringen enn et lavt tall.	66
4.12	Energibudsjettet for 80-talls boligen plassert i Oslo.	73
4.13	Levert energi for 80-talls boligen plassert i Oslo.	73
4.14	Kostnader på kjøpt energi for 80-talls boligen plassert i Oslo.	74
4.15	Energibehov for 80-talls boligen plassert i ulike byer i Norge.	75
4.16	Nåverdiberegning på ulike tiltak for energieffektivisering. Benyttet rente er 2,8 % i henhold til ligning 4.2 side 56. En positiv nåverdi angir at tiltaket er lønnsomt. Tiltak ny vindspærre + dør og vindu + balansert ventilasjon inkluderer 115.000,- kr i støtte fra ENOVA.	76
4.17	Årlige besparelser på ulike tiltak for energieffektivisering. Beløpet er basert på kostnader på strøm og vedfyring angitt fra ligning 4.5 side 58 og tabell 2.6 side 30.	77

4.18	Kostnader (ink.mva) for investering, levetid og endring i vedlikeholdsutgifter for de ulike tiltakene. Kostnad fra balansert ventilasjon er hva byggherre selv betalte inkludert 15.000,- kr i ENOVA støtte. Kostnad for tiltak ny vindspærre + dør og vindu + balansert ventilasjon er inkludert 115.000,- kr i støtte fra ENOVA.	77
4.19	Lønnsomhetsanalyse på sammensatte tiltak for 80-talls boligen plassert i Oslo. Tiltakene er sortert ut fra energibesparelse. Kostnadene er sammensatt fra tabell 4.18. Tiltak 5-9 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 3 oppgradering av bygningskroppen fra ENOVA. Tiltak 10 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 2. Nåverdien er basert på en vektet levetid og kalkulasjonsrente 2,8 % på energibesparelse og full egenkapital på investering. Beløp spart er basert på energibesparelse fra strøm og vedfyring. Årlig netto energibehov og totalt varmetapstall er målparametere for å oppnå støtte fra ENOVA til oppgradering av bygningskroppen. Alle tiltak har oppvarmingskarakter bedre enn rød. Den alternative nåverdien baserer seg på at investeringen er et lån på 15 år med årlig kalkulasjonsrente på 2,8 %. Eksempel på beregninger i tabellen kan studeres i vedlegg A.	78
4.20	Tabellen viser for hvert tiltak nåverdi dividert på investeringskostnad inkludert støtte fra ENOVA hvor verdier er tatt fra tabell 4.19. Et høyere tall angir at man får mer igjen for investeringen enn et lavt tall.	79
5.1	Ulike arealer på 50-talls og 80-talls boligen. Det er ikke medberegnet areal på grunnmur for 50-talls boligen da kjelleren er betraktet som kald.	106
6.1	Tiltak 3 og 8 for 50-talls boligen tatt fra tabell 4.10.	112
6.2	Tiltak 7 for 80-talls boligen tatt fra tabell 4.19.	113
B.1	Sum total kostnad for tiltak 7 til 50-talls boligen.	127

Figurer

2.1	Beregning av graddøgn som funksjon av normal døgnmiddeltemperatur og fyringssesong.	6
2.2	I byggeforskriften fra 1969 ble Norge inndelt i temperatursoner som vist på kartet til venstre. I prosjektet til SINTEF Energiforskning ble Norge inndelt i klimasoner som vist på kartet til høyre.	6
2.3	Relative graddøgn for ulike klimasoner, referert til klimasone 1.	7
2.4	Utvendig rehabilitering med Rockwool sitt isolasjonssystem for effektiv isolasjon uten kuldebroer.	9
2.5	En illustrasjon av å senke gulvet i en enebolig.	9
2.6	Temperaturfordeling før og etter innvendig etterisolering av en vegg.	10
2.7	Blåseisolasjon utføres ved at en slange puttes inn i en åpning i veggen. En pumpe fra en lastebil utendørs fører isolasjonen gjennom røret og inn i veggen. . . .	11
2.8	a. Kaldt, ikke luftet loftsrom er egnet på kalde steder med mye fokksnø som kan tette igjen åpninger. Her er det viktig å bruke et dampåpent undertak. b. Kaldt, luftet loftsrom kan benyttes på steder med mindre fokksnø. Slike loftsrom har bedre uttørkningsevne enn ikke luftede loftsrom.	11
2.9	Powerhouse Brattørkaia er et energipositivt kontorbygg som over tid skal produsere mer energi enn hva det bruker. Bygget er også prosjektert for å være et smart bygg med styresystemer som skal tilpasse brukerbehov med god energihåndtering.	12
2.10	Eksempel på normal, årlig energibruk i enebolig (135 m ² med ulik standard i Oslo-klima.	13
2.11	Kvalitet og funksjon for en bygning sett i et levetidsperspektiv.	13
2.12	De tre trinnene i energiplanen: yttervegger, kjeller (golv og vegger mot terreng) og tak.	14
2.13	12 ulike barrierer mot å energioppgradere ved rehabilitering. Summen av vektningen tilsvarer 100. At en barriere har dobbel så høy vektning som en annen betyr at barrieren er dobbel så stor.	16
2.14	Energimerkesystemet. De to karakterene er uavhengige av hverandre, slik at en bolig med dårlig energikarakter kan få en god oppvarmingskarakter, og omvendt.	17
2.15	Soneinndelingen som fastsatte kravene til U-verdier i byggeforskriften fra 1969. Varmere soner har mindre strenge krav til U-verdi.	19

2.16	Isolasjonstykkelse på ulike deler av en enebolig fra 50- til 90-tallet. Isolasjonstykkelsene er hentet fra trehus-serien. Tykkelsen som er angitt er et intervall mellom hva som var vanlig å bygge med på den tiden, men også med en anbefalt større isolasjonstykkelse. Viktig å legge merke til at varmekonduktiviteten til isolasjonen har endret seg med årene.	21
2.17	Kyotopyramiden viser en metodikk på energieffektivt design av nye og eksisterende boliger. Metoden går ut på å starte nederst med å redusere varmetapet, deretter designe videre etter punktene ovenfor og avslutte med å velge varmekilde.	23
2.18	Varmebehovet til en bolig kan deles i to. Varmtvann går til hygienebehov som dusj og vask. Ventilasjonsvarmen kommer vanligvis fra temperaturgjenvinning og elektrisk oppvarming. Romoppvarming tar spisslastene når andre varmekilder ikke er tilstrekkelig.	24
2.19	Skisse av en varmepumpe med hovedkomponenter. Dette eksemplet er vist med sjøvann som varmekilde og vann som varmeforbruker, men prinsippet er det samme for luft-til-luft varmepumpe også.	25
2.20	Effekt faktoren som en funksjon av utetemperatur. Legg merke til at virkelig effekt faktor er lavere enn teoretisk mulig. Dette er på grunn av tap i systemet.	26
2.21	En Toshiba varmepumpe har fordampere og kompressoren i utedelen. Kondensatoren sitter i innedelen, se forøvrig figur 2.19. Toshiba Daiseikai har energimerke A+++.	27
2.22	Jøtul F 481 er en moderne vedovn med energimerke A.	28
2.23	Pellets kamin fra produsenten Artel med over 6kW effekt og 90% virkningsgrad.	29
2.24	Bydelsnavn i og rundt Oslo. Bydelene Nordstrand, Ullern, Nordre Aker og Vestre Aker ble studert for å se en sammenheng mellom markedspris og energimerke.	38
2.25	Forventet verdi av energimerke mot observert verdi av energimerke. Det forventede tillegget er kalkulert basert på fremtidige kostnadsbesparelser ved redusert energiforbruk. Følgende forutsetninger er benyttet til forventet tillegg: energimerkeordningens stipulerte forbruk for 208 m ² , 5% diskonteringsrente, 25 års løpetid og NOK 1 per kWh.	39
2.26	Diskontering av fremtidig kostnad til nåverdi.	41
2.27	Case-boligen fra Ogndal.	42
2.28	Bilder tatt av 50-talls boligen etter ferdigstillelsen.	44
2.29	Case-boligen fra Stod.	45
3.1	Kalkulasjonsegenskaper benyttet i Holte SmartKalk.	53
4.1	Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og kvartal.	57
4.2	NVEs kraftprisbane mot 2030 viser økende priser fra 32 øre/kWh i 2020 til 36 øre/kWh i 2030. Prisbanen er løftet fra fjorårets analyse, men prisstigningen i analyseperioden er mindre.	58
4.3	Varmetapsbudsjett for 50-talls boligen plassert i Oslo.	60
4.4	Energimerket for 50-talls boligen plassert i Oslo.	61
4.5	Energibehov for 50-talls boligen plassert i ulike byer i Norge fra tabell 4.6.	62
4.6	Nåverdi med og uten lån for de sammensatte tiltakene fra tabell 4.10.	66
4.7	Nåverdi som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	67

4.8	Avkastning som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	67
4.9	Inntjeningstid som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	68
4.10	Internrente som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	68
4.11	Nåverdi som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	69
4.12	Avkastning som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	69
4.13	Inntjeningstid som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.	70
4.14	Nåverdi som funksjon av sted.	70
4.15	Avkastning som funksjon av sted.	71
4.16	Inntjeningstid som funksjon av sted.	71
4.17	Energibesparelse som funksjon av sted.	72
4.18	Varmetapsbudsjett for 80-talls boligen plassert i Oslo.	74
4.19	Energimerket for 80-talls boligen plassert i Oslo.	75
4.20	Energibehov for 80-talls boligen plassert i ulike byer i Norge fra tabell 4.15. . .	76
4.21	Nåverdi med og uten lån for de sammensatte tiltakene fra tabell 4.19.	79
4.22	Nåverdi som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	80
4.23	Avkastning som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	80
4.24	Inntjeningstid som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	81
4.25	Internrente som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	81
4.26	Nåverdi som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	82
4.27	Avkastning som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	82
4.28	Inntjeningstid som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.	83
4.29	Nåverdi som funksjon av sted.	83
4.30	Avkastning som funksjon av sted.	84
4.31	Inntjeningstid som funksjon av sted.	84
4.32	Energibesparelse som funksjon av sted.	85
5.1	Utvikling av varmeisolasjonen i yttervegger.	89
B.1	Kostnad for innblåsing av 200mm og 300mm mineralull beregnet i Holte SmartKalk. Innblåsing er korrigert med en faktor på 1,30 pga lite arbeid i forhold til kjøring og rigg etter SmartKalk sine anbefalinger. Boring av hull er ekskludert på kaldloft da etasjeskiller ikke er lukket ovenfra. Boring av hull i kjeller er ekskludert da eier har selv revet og klartgjort etasjeskiller.	125

B.2	Kostnad for 100mm utvendig etterisolering av yttervegg inkludert utlekting, mineralull og vindsperre av gipsplater. Kostnad for vindsperre av duk. Kostnad for eksempel på økt takutstikk. Beregnet i Holte SmartKalk.	126
B.3	Kostnad for vindu 129x129 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Tittel på post i Holte fraviker med 12x12 i stedet for 129x129 pga begrenset utvalg av mulighet i Holte. Beregnet i Holte SmartKalk.	126
B.4	Kostnad for vindu 59x89 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.	126
B.5	Kostnad for ytterdør 99x209 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.	127
B.6	Kostnad for balkongdør 89x209 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.	127

1. *Innledning*

1.1 **Bakgrunn**

1.1.1 **Bidrag fra offentlig sektor**

Kommunal- og regionaldepartementet samlet en rekke departementer og etater for å jobbe sammen mot en miljøsatsing i bolig- og byggsektoren i perioden 2009 til 2012. Et av miljøhandlingsplanens satsningsområder ble å redusere behovet for energi i bygningsmassen (Kommunal- og regionaldepartementet, 2009). I dette dokumentet estimerer departementet at 80% av dagens bygningsmasse vil fortsatt stå i 2050. For å nå en reduksjon i energibruk i bygningsmassen må man derfor øke energieffektiviteten i eksisterende bygg.

Ved år 2007 ble Lavenergiprogrammet initiert. Dette programmet hadde fokus på eksisterende og nye bygg. Programmet var en sterk pådriver for å innføre energimerkeordningen i eksisterende bygg. I nye bygg var programmet en pådriver for at de byggtekniske forskriftene, bedre kjent som TEK skulle stadig gi strengere energikrav. Resultatet fra Lavenergiprogrammet var at TEK07 førte til en 25 % reduksjon i energibruken i nye bygninger i forhold til gamle TEK97 (Gleinsvik et al., 2016). Siden den gang har kravene stadig blitt strammet inn gjennom TEK10 og TEK17. Det har også blitt satset på andre typer byggstandarder som det ikke stilles krav til å bygge, slik som lavenergibygg, passivhus og nullenergihus (ZEB). Selv om nye bygg blir mer energieffektive gjennom strengere forskrifter, har fortsatt den eldre boligmassen behov for energieffektivisering.

De fleste norske rapporter på boligoppgradering benytter en rehabiliteringsrate på 1,5 % i året (Klinski et al., 2017a). En studie fra ENOVA anslår at den gjennomsnittlige norske rehabiliteringsraten på boliger er 1,89 % hvor bare 0,86 % utfører energitiltak (ENOVA, 2015). For at Norge skal nå sitt nasjonale energimål må flere som rehabiliterer boligen også utføre tiltak på energieffektivisering. Under klimaloven er målet at utslipp av klimagasser i 2030 skal minst reduseres med 40 % i forhold til 1990 (Klimaloven, 2017). I 2050 skal vi ha redusert de årlige utslippene med 80 til 95 % i forhold til 1990. Vi skal bli et lavenergisamfunn.

1.1.2 **Bidrag fra SINTEF**

I 2013 ble forskningsprosjektet SEOPP startet og det skulle gå over fire år frem til 2016. Målet var å bidra til at eiere av eneboliger skulle rehabilitere til et ambisiøst nivå for energisparing. Rehabiliteringskonsepter ble utarbeidet og testet på to pilotbygg som resulterte i en rapport om

erfaring, kostnader og resultat av oppgraderingene (Klinski et al., 2017b). Resultatet var økt praktisk kunnskap innen energieffektivisering av eksisterende bygg.

Etter at SEOPP ble avsluttet startet SINTEF et lignende forskningsprosjekt kalt OPPTRE i 2018. Prosjektet skal vare i fire år frem til 2021. Målet til prosjektet er å foreslå et nivå for rehabilitering til nesten nullenerginivå (nZEB). Fem arbeidspakker definerer prosjektet hvor arbeidspakke 2 omfatter optimalisering av bygningskroppen. En slik optimalisering handler om oppgradering til et optimalt nivå mellom energibruk, fuktsikkerhet og kostnadseffektivitet (Gullbrekken, 2018).

I samarbeid med SINTEF har jeg fått utviklet rammene rundt denne masteroppgaven. Her bygger oppgaven på de utfordringene som er diskutert ovenfor. I tillegg til det ble en prosjektoppgave skrevet høstsemesteret 2018 hvor eneboliger i lette trekonstruksjoner fra perioden 1950 til 1990 ble studert og oppsummert. Målet i prosjektoppgaven var å studere oppbygging på konstruksjonen, type og tykkelse på isolasjon og materialer og metoder som ble benyttet for å tette både innenfra og utenfra. Hensikten med prosjektoppgaven var å fungere som informasjonsgrunnlag til denne masteroppgaven.

1.2 Mål og problemstilling

En utfordring oppstår når rehabiliteringsraten er større enn energioppgraderingsraten. Kapasiteten på strømmettet er begrenset og den er kostbar å utvide. Samtidig er det vanskeligere å nå en reduksjon i utslipp av klimagasser. Flere må energieffektivisere boligen når den skal rehabiliteres. Temaet optimalisering av bygningskroppen er så bredt at man kan utrede flere forskjellige oppgaver med ulike vinklinger. I denne masteroppgaven har følgende problemstilling blitt utarbeidet for å spisse arbeidet:

Er det lønnsomt å rehabilitere en eksisterende enebolig i lett trekonstruksjon opp til nyere krav og forskrifter?

Denne problemstillingen vil ta utgangspunkt i et privatøkonomisk perspektiv. Det mest gunstige resultatet for en tiltakshaver (boligeier) er at investeringen lønner seg over tid. Studien er derimot ikke bortkastet om resultatet fikk påvist privatøkonomisk ulønnsomhet. Resultatet som blir fremvist kan videre granskes om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt i et annet studie. I den forbindelse kan insentivordninger fra det offentlige være et virkemiddel for å gjøre det både privat- og samfunnsøkonomisk lønnsomt. Dette kan være insentivordninger som for eksempel kostnadsstøtte ved energioppgradering av husholdninger.

Problemstillingen vil innebære flere oppgaver for å fullstendig kunne besvares. I den forbindelse er følgende forskningsspørsmål lagt til:

1. *Hvilke nyere krav og forskrifter har vi som kan være relevant og hva er deres kravspesifikasjoner som kan benyttes som viktige målparametere?*
2. *Basert på en privatinvestering og støtte fra etablerte offentlige foretak, hvilke nivå er det lønnsomt å energioppgradere til i området Oslo?*
3. *Hvor stor innvirkning har boligens lokalisering i Norge å si for energiforbruket?*

1.3 Avgrensninger

1.3.1 Økonomisk lønnsomhet

I denne masteroppgaven er det kun valgt å se på privatøkonomisk lønnsomhet. Dette innebærer at samfunnsøkonomisk lønnsomhet ikke blir studert i detalj, men bare diskutert nå og da. Samfunnsøkonomisk lønnsomhet kan forsterke begrunnelsen til å gjennomføre tiltak. For eksempel kan økt sysselsetting bidra til å få flere i jobb, redusere økonomisk sosialhjelp og gi økte skatteinntekter. Andre aspekter ved samfunnsøkonomisk lønnsomhet er den indirekte kostnaden som kommer fra negative eksterne effekter som klimagassutslipp og økt belastning på strømmettet. Det anses som positivt om resultat fra denne oppgaven kan brukes til et studie med et slikt tema.

1.3.2 Ett type hus

Med et snitt på ca 12.500 nye eneboliger bygget hvert år fra 1950 til 1990 eksisterer det over 500.000 eneboliger fra denne perioden (Myhre, 1995). I tillegg er det også bygget en del rekkehus i lette trekonstruksjoner som utgjør en vesentlig brøkdel av boligene. Med så lang tidsperiode, forskjellige byggemetoder og antall hus er det klart at om ett type hus er lønnsomt å energieffektivisere så er ikke nødvendigvis ett annet type hus det. Likevel kan man ikke utføre beregninger på alle typer hus da arbeidet blir for omfattende. I denne masteroppgaven har det derfor vært nødvendig å kunne studert et case-hus som kan være lik andre hus fra samme tiår. Noen hus er også bygget med mur som bærekonstruksjon. Da størsteparten av alle hus er bygget i tre som bærekonstruksjon har dette vært fokus i oppgaven.

1.3.3 Klimasoner

Hvor stort oppvarmingsbehov et hus har er avhengig av hvilken klimasone det er omgitt av i Norge. Viktige parametere er normal årsmiddeltemperatur, fyringssesongens lengde, graddagstallet og dimensjonerende utetemperatur. Siden man ikke kan simulere energibruken til et hus på alle steder i Norge er det valgt å simulere i noen av de mest befolkede områdene.

1.3.4 Grad av egeninnsats

De kostnadene som er benyttet i oppgaven inkluderer materialer og arbeidstimer. Dette vil påvirke hvor lønnsom en investering er da arbeidstimer er en post som potensielt kan reduseres betraktelig ved egeninnsats. Likevel kan man ikke anta for mye egeninnsats da ikke alle har mulighet til å gjøre mye selv.

1.3.5 Egentlig strømforbruk

Samlerapporten Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE) studerte forskjellen på teoretisk og faktisk strømforbruk på boliger. De var bygget etter krav fra TEK1 og NS 3700

(Thomsen et al., 2017). Resultatet ga antydninger til at simulering av energibehov i programmet SIMIEN (Dokka, 2019b) gir relativt nøyaktige resultater, men faktisk strømforbruk er svært avhengig av beboeradferd. Dette vil si at forskjellige familier som bor i egne, men like hus kan ha svært forskjellig strømforbruk. I denne masteroppgaven blir det ikke sett på hvordan beboeradferd kan påvirke strømforbruket. Alle beregninger tar utgangspunkt i et teoretisk strømforbruk.

1.3.6 Psykososiale forhold

Ofte utfører huseiere tiltak som ikke er lønnsomme da psykososiale forhold har også en innvirkning på valg av tiltak. Å ha et estetisk hjem vil for de fleste være et positivt bidrag til blant annet velvære. Det kan også være vanlig å gå for en oppvarmingsløsning som er mindre lønnsom enn alternativet. For eksempel kan gulvvarme være behagelig da det gir jevn temperatur i rommet samt gir en god temperatur på gulvet. En luft-til-luft varmepumpe kan være billigere enn gulvvarme, men kan gi større temperaturskjeller i rommet.

2. Teori og grunnlag

For å kunne beregne lønnsomhet ved energieffektivisering av eksisterende bygg er det behov å forstå teorien bak. Dette innebærer blant annet å studere hva energieffektivisering er og hvordan det kan gjøres. Man må også vite hvilke krav som ligger til grunn og hvilke parametere som må vurderes. I tillegg siden det er økonomi og lønnsomhet inn i bildet, må de mest aksepterte modellene for beregninger benyttes. Det må også argumenteres for hvorfor gitte antagelser er tatt. Dette og annen teori og grunnlag til masteroppgaven er diskutert i delkapitlene nedenfor.

2.1 Norske klimasoner og temperatursoner

Norge er et langstrakt land med variert klima. Vi har en lang kyst som grenser mot både åpent hav fra vest og nord og mot åpen sjø fra sør og delvis fra øst. Langs kysten og deler av indre Norge ligger på nivå med havet, mens andre deler av bebyggelsen ligger høyere opp mot fjell. Landet ligger mellom 57° breddegrad i Lindesnes kommune og 71° breddegrad i Nordkapp kommune (Kartverket, 2018). En slik størrelse og variasjon i landet gir store forskjeller på klimaet. Når man dimensjonerer varmetapet og energiforsyning på en bolig vil det være avhengig av boligens plassering i landet.

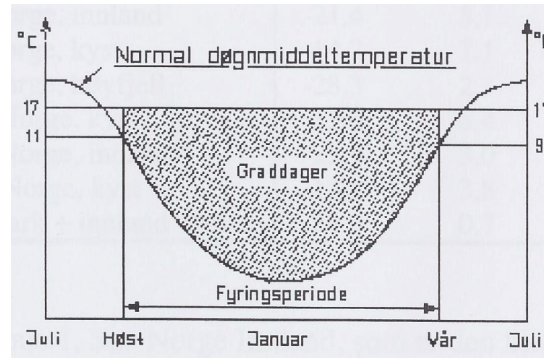
I Byggeforskriften av 1. august 1969 ble Norge inndelt i temperatursoner (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1969). Sonen ble bestemt ut fra hvor bygget ble plassert i landet. Hvilken sone bygget lå i satte forskjellige krav til varmemotstanden i de ulike seksjonene av bygget. Sone 1 var den kaldeste sonen og sone 4 den varmeste. Jo lavere sone, jo større måtte varmemotstanden være i de ulike seksjonene for å begrense varmetapet. Det er ikke beskrevet i byggeforskriften hvordan sonene ble valgt.

Rapporten “Inndeling av Norge i klimasoner” er en del av et tidligere forskningsprosjekt med hovedmål om å fremskaffe status for energibruk, energibærere og klimagassutslipp i Norge (Tokle and Tønnesen, 1999). Det ble da sett som nødvendig å inndele landet i soner med mest mulig ensartet klima. Dette for å kunne si noe om det totale energibehovet til romoppvarming og ventilasjon til den samlede bygningsmassen i Norge. Klimasonene ble definert ut fra følgende med målinger fra 1930-1960:

- Dimensjonerende utetemperatur (kaldeste tredagers temperaturmiddel i løpet av en 30-års periode).
- Normal årsmiddeltemperatur. Laveste finnes på finnmarksvidda (-2°C) og høyeste på sørvestlandet (8°C).

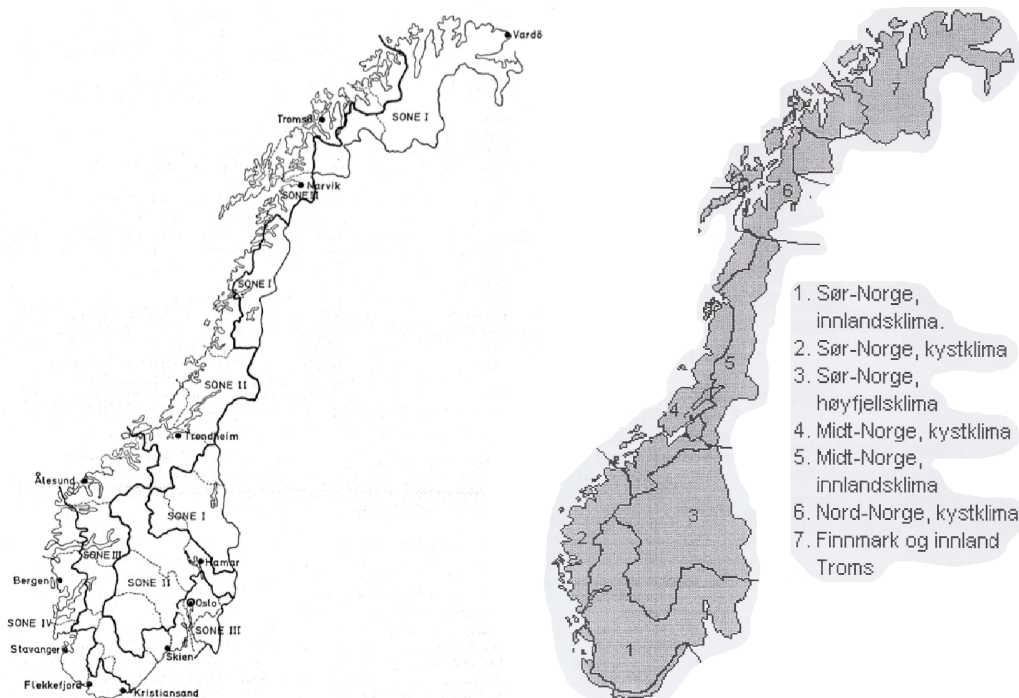
- Fyringssesongens lengde (antall dager mellom en periode hvor temperaturen synker under 11°C på høsten til den overstiger 9°C på våren).
- Graddagstallet (se figur 2.1).

En svakhet med målingene som ble utført i perioden 1930-1960 er at klimaet endrer seg. Det er likevel grunn til å anta at målingene er nøyaktige nok til at et kart basert på nyere data hadde vært tilstrekkelig lik. Til forskjell fra Byggeforskriften 1969 ble det i dette prosjektet valgt å definere Norge i klimasoner og ikke i temperatursoner.



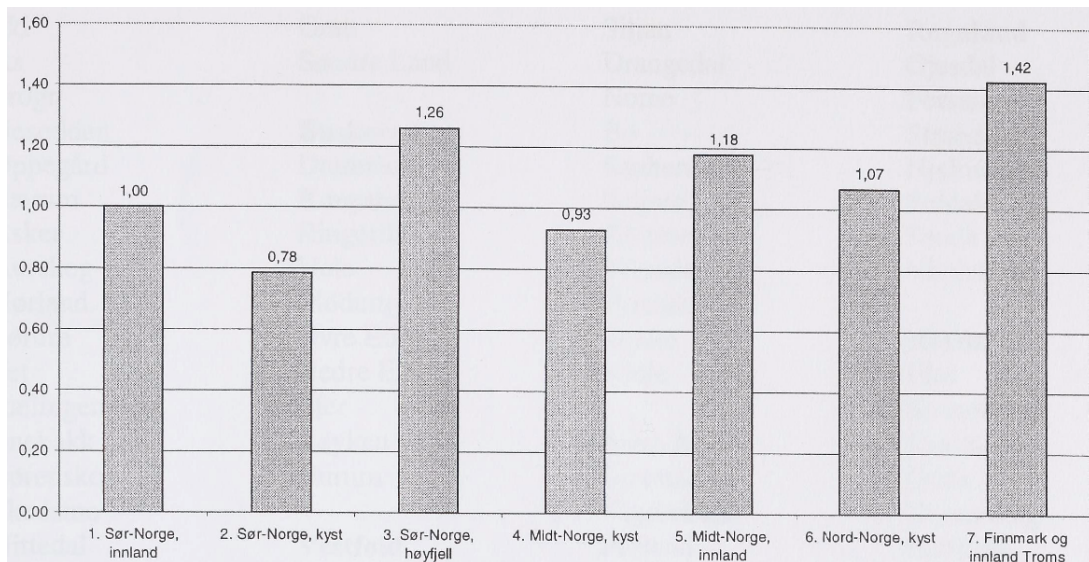
Figur 2.1: Beregning av graddøgn som funksjon av normal døgnmiddeltemperatur og fyringssesong (Tokle and Tønnesen, 1999).

De to ulike modellene som ble benyttet i Byggeforskriften 1969 og i prosjektet til SINTEF Energiforskning kan bli fremstilt på et kart som vist i figur 2.2:



Figur 2.2: I byggeforskriften fra 1969 ble Norge inndelt i temperatursoner som vist på kartet til venstre (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1969). I prosjektet til SINTEF Energiforskning ble Norge inndelt i klimasoner som vist på kartet til høyre (Tokle and Tønnesen, 1999).

I motsetning til Byggeforskriften 1969 som definerte sone 1 som kaldest og sone 4 som varmest, så var ikke dette tilfellet for inndelingen i klimasoner. I figur 2.3 kan man se vektingen mellom de ulike sonene. Man kan legge merke til at kysten av Sør-Norge (klimasone 2) har lavest graddagstall og Finnmark og innland Troms har flest graddagstall (klimasone 7). Trondheim ligger i den nest varmeste temperatursonen, sone 2 og også i den med nest færrest graddager, klimasone 4. I videre analyse i masteroppgaven hvor et bygg er plassert et spesifikt sted i landet er det mest interessant å benytte resultatet fra prosjektet til SINTEF energiforskning. Grunnen til det er at metoden og de benyttede dataene som ga grunnlag til resultatet er mer synlig.



Figur 2.3: Relative graddøgn for ulike klimasoner, referert til klimasone 1 (Tokle and Tønnesen, 1999).

2.2 Energieffektive bygg

2.2.1 Hva er energieffektive bygg?

Energieffektive bygg har et relativt lavt energiforbruk til oppvarming og elektriske artikler i forhold til den gjennomsnittlige bygningsmassen. Slik energieffektivitet oppnås gjennom bruk av moderne teknologi med smarte og gode tekniske løsninger. For at slike bygg skal være tilgjengelig for alle bør slik teknologi og løsninger være basert på eksisterende "hyllevarer". Energi i en bolig benyttes hovedsakelig til å varme opp huset og drive elektriske produkter. De ulike kildene vi benytter er blant annet strøm, trevirke hugget til ved, pellets, varme fra utendørs luft, varme fra nærliggende sjø, bergvarme, gass og andre medier. Olje er også en kilde vi bruker til oppvarming, men dette blir forbudt fra og med 2020 (Oljefri, 2017).

2.2.2 Hvordan kan man energieffektivisere et bygg?

Ved energieffektivisering av bygg må man skille mellom gamle og nye bygg. For nye bygg er en av de mest effektive virkemidlene å innføre krav gjennom forskrifter. I dag skal alle bygg prosjekteres etter tekniske forskrift 2017 (TEK17). Teknisk forskrift blir stadig strammet inn

med fokus på redusert energiforbruk. Hensikten med teknisk forskrift er å sikre at alle nye boliger bygges så energieffektiv som det anses som tilstrekkelig å være i dag. En ulempe med slike reguleringer er at de øker kostnadene ved å bygge bolig noe som kan føre til lavere nybyggingsrate og vanskeligere å komme inn på boligmarkedet. Økte kostnader kommer fra skjerpede krav på blant annet varmetap noe som fører til økt materialforbruk og mer arbeidstimer.

2.2.2.1 Brukervaner

Da denne masteroppgaven utdyper energieffektivisering på eksisterende bygg er det mer relevant å diskutere de i stedet for nye bygg. Først og fremst handler energiforbruk om egne brukervaner. For nye hus går den største energimengden til oppvarming av vann, lys og andre elektriske produkter som vaskemaskin og oppvaskmaskin. I årene som kommer vil også lading av elbiler kreve mye energi. Eksempler på gode brukervaner er å slå av lyset når du går ut, senke temperaturen på natten og bruke mindre tid i dusjen. Slike brukervaner gjelder for gamle og nye boliger.

Ved rehabilitering av eksisterende bolig oppstår de virkelige gode mulighetene for energieffektivisering. Her kan man gjerne skille mellom utvendig og innvendig energieffektivisering og teknisk oppgradering.

2.2.2.2 Utvendig energieffektivisering

Utvendig energieffektivisering gjelder tiltak mot kjellervegg, yttervegg og tak. God isolering mellom kald uteluft og varm inneluft bidrar til å redusere varmetapet. Dette kan sikres med gode isolasjonsprodukter av tilstrekkelig tykkelse. Typisk tykkelse på isolasjon er 5 cm til 40 cm, men i noen tilfeller også mer. Jo større tykkelse på isolasjonen, jo mindre er varmetapet. En tett bygningskropp er viktig for at ikke varm inneluft skal lekke ut av bygningskroppen. På utvendig side av konstruksjonen reduserer vi luftlekkasjetallet med tette bygningsplater og/eller vindspærredek på de store arealene med klemming og/eller teiping av skjøter. Overganger mellom mur og trevegg eller vegg, dør og vindu tettes med fugemasse, teip eller andre tilgjengelige produkter. Til slutt ønsker man å redusere kuldebroene. Kuldebroer oppstår når materialer med god varmeledningsevne er tilknyttet varm inneluft og kald uteluft. For eksempel kan en kuldebro være en etasjeskiller av betong som hviler på ytterveggen. Varmetapet fra slike kuldebroer kan reduseres ved å isolere på utvendig side av kuldebroen.

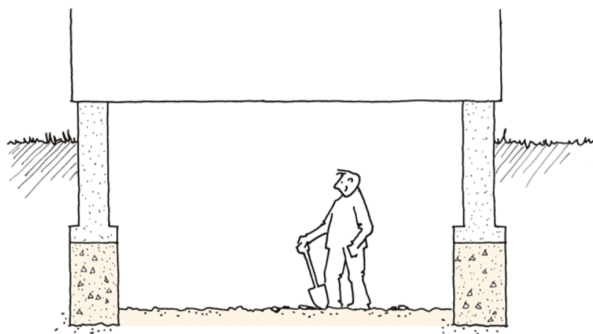


Figur 2.4: Utvendig rehabilitering med Rockwool sitt isolasjonssystem for effektiv isolasjon uten kuldebroer (Rockwool, 2019).

Det er også store varmetap tilknyttet dør og vindu. Nye dør og vindu som blir produsert i dag kan fort ha kun 25 % av varmetapet i forhold til eldre dør og vindu. Det ligger dermed et stort potensial i å redusere varmetapet gjennom å montere dør og vindu med best mulig U-verdi. Nye dør og vindu gir samtidig mulighet for å tette bedre mot yttervegg.

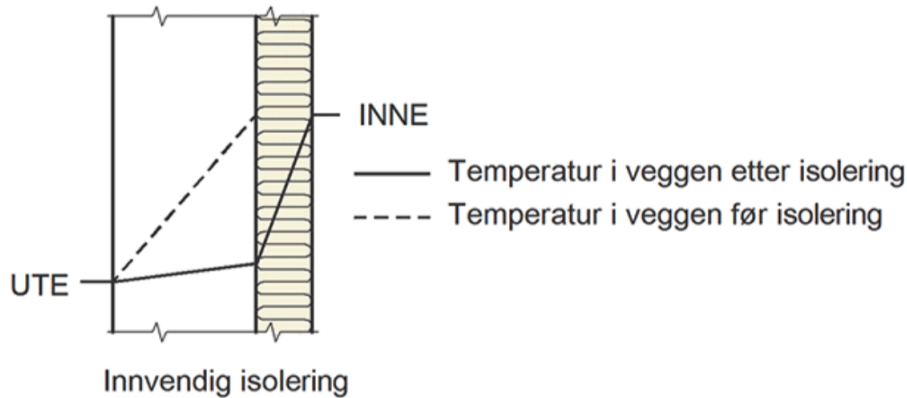
2.2.2.3 Innvendig energieffektivisering

På innvendig side av en huskonstruksjon er det mulig å energieffektivisere gulvet, ytterveggen og loftet. Å etterisolere gulv på grunn er en meget tidkrevende jobb og vil med stor sannsynlighet bare være lønnsomt å utføre på egeninnsats. I de fleste tilfeller er ikke romhøyden tilstrekkelig i nederste etasje til å legge isolasjon på betonggulvet. Det kan også oppstå kondensfare ved å ha for mye isolasjon over betonggulvet da overflaten på betong blir kaldere og at den samtidig er relativt damptett. Derfor kan etterisolering av gulv utføres ved å pigge bort betongen og grave ut massene under. Etter å ha utført nødvendig forsterkning av fundamentet kan ny isolasjon legges og gulvet kan støpes igjen. Slikt arbeid er dog forbundet med risiko og bør utføres etter byggforsklad 727.115 “Senking av golv i eksisterende kjeller og kryperom” (SINTEF Byggforsk, 1999).



Figur 2.5: En illustrasjon av å senke gulvet i en enebolig (SINTEF Byggforsk, 1999).

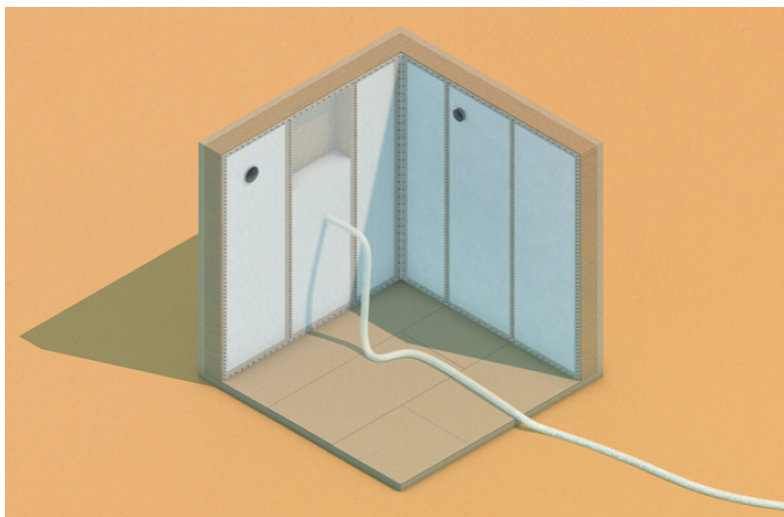
Kjellervegger kan i likhet med yttervegger isoleres på innvendig side. Kjellervegger har derimot typisk relativt lite isolasjon på utvendig side, man skal derfor i likhet med etterisolering av gulv over betongen passe på at det ikke oppstår kondensfare. Ved etterisolering av en kjellervegg må man begrense bruken av organiske materialer slik som treverk og deres kontakt med kjellerveggen. En kjellervegg er utsatt for varierende vanntrykk og kan skille ut små mengder fuktighet som kan føre til at organiske materialer råtner.



Figur 2.6: Temperaturfordeling før og etter innvendig etterisolering av en vegg (SINTEF Byggforsk, 2014).

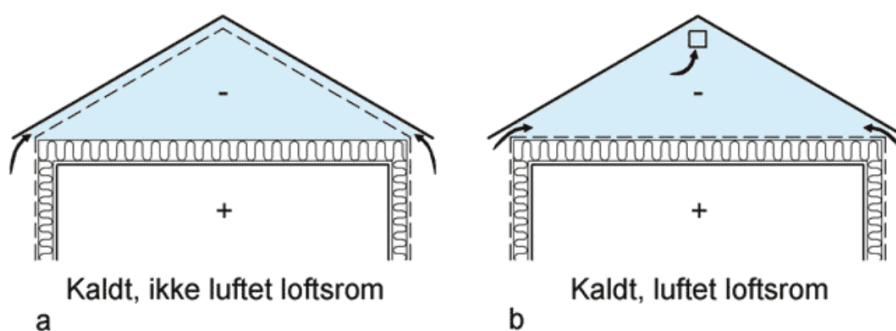
På et hus fra perioden 1950 til 1990 er det store potensialer i å renovere ytterveggen over terreng på innsiden. Her er det svært viktig når man åpner veggene å enten installere eller fornye dampsperrer på konstruksjonen. Dampsperrer sørger for at innvendig fukt ikke diffunderer inn i konstruksjonen og skaper råteproblemer. Dampsperrer bidrar også til å redusere luftlekkasjetallet. Jo eldre huset er, jo større er sannsynligheten for at huset ikke har tilstrekkelig dampsperre. Dette kan medføre stor risiko for kondens når man etterisolerer en vegg på utvendig side. Etter at dampsperrer er montert kan man lekte ut konstruksjonen på innvendig side og etterisolere. Jo mer isolasjon man legger på varm side, jo kaldere blir dampsperrer og jo større er kondensfaren. Her må man i hvert enkelt prosjekt vurdere hvor mye isolasjon man skal montere. Det mest vanlig er å etterisolere med 5 cm isolasjon på innvendig side. Fordelen med dette er at man også kan legge tekniske føringer skjult i konstruksjonen.

I likhet med utvendig etterisolering av yttervegg er det også en mulighet å fornye isolasjonen mellom trestenderne. En del bygg fra 50-tallet kan ha manglende isolasjon eller ingen isolasjon i det hele tatt. Om man åpner veggene kan ny isolasjon legges inn her. Det er også et alternativ å blåse inn isolasjon vist i figur 2.7.



Figur 2.7: Blåisolasjon utføres ved at en slange puttes inn i en åpning i veggen. En pumpe fra en lastebil utendørs fører isolasjonen gjennom røret og inn i veggen (IsoEnergi, 2019).

Å etterisolere et kaldt loft er en av de rimeligste måtene å redusere varmetapet i en bolig. Her kan isoleringen foregå innendørs i det kalde loftet og det er vanligvis minimalt med materialer som er i veien. Det er også muligheter for å legge på ganske mye isolasjon her. I gamle konstruksjoner er 5 til 10 cm vanlig, mens i nyere passivhus kan man ofte finne opp til 60 cm isolasjon. For å øke effekten av isolasjonen bør det legges en isolasjon med papir på øverste flate eller tildekkes med en vindsperreduk til slutt. I likhet med andre seksjoner av huset er det også forbundet en viss fare for råteskader ved etterisolering av loft. I første instans bør man forsikre seg at himlingen under er tett nok eller at det er installert en dampsperre. Hvis man kun har trepanel og papp i himlingen er ikke dette tilstrekkelig. En tett himling av gipsplater har mindre fare for fuktgjennomgang om malingen er relativt tett. Likevel er det anbefalt å benytte en dampsperre over himlingsplatene. Det andre faremomentet kommer fra ventilering av luften på loftet. Høyere isolasjon kan føre til at tidligere åpninger blir sperret og det kan også føre til at temperaturen på loftet blir kaldere. God gjennomtrekk kan ordnes med flere ventiler i gavlene og raften. Dette vil sørge for at fuktig luft blir ventilert ut.



Figur 2.8: a. Kaldt, ikke luftet loftsrom er egnet på kalde steder med mye fokksnø som kan tette igjen åpninger. Her er det viktig å bruke et dampåpent undertak. b. Kaldt, luftet loftsrom kan benyttes på steder med mindre fokksnø. Slike loftsrom har bedre uttørkningsevne enn ikke luftede loftsrom (SINTEF Byggforsk, 2005).

2.2.2.4 Teknisk energieffektivisering

I en enebolig er det ofte mye teknologi installert. I en eldre bolig kan man få teknisk energieffektivisering ved å fornye eldre produkter. Dette kan være lys som bruker mindre energi, sparedusj, moderne panelovner med mulighet for variabel varmeproduksjon gjennom døgnet, energimerkede hvitevarer og andre produkter.

Oppvarming utgjør grovt sett mellom 50 og 55 % av energibruken i våre nær to millioner boenheter i Norge (SINTEF Byggforsk, 2004). Nyere boliger bruker langt mindre energi på oppvarming på grunn av bedre isolert og lufttett bygningskropp og mer effektive varmesystemer. Slike varmesystemer blir mer diskutert i kapittel 2.4.

I nyere tid har smarte bygg blitt mer vanlig. Slike smarte bygg handler ikke bare om tekniske løsninger, de kjennetegnes også blant annet på effektiv arealutnyttelse, fleksibilitet ved endrede behov og lavere klimafotavtrykk. Men en av de mer interessante delene ved smarte bygg er bruken av mer avanserte styringssystemer. Disse systemene skal kontrollere, styre og regulere forbruket av energi basert på tid og tilstedeværelse. Dette betyr at ved bruk av input eller maskinlæring kan systemet enkelt regulere luftmengder, oppvarming og regulering av solskjerming etter behov. Ved å automatisk lese værmeldinger og predikere spotpriser på strøm kan også strømkostnadene gå ned. Mer avanserte bygg med strømproduksjon fra solcellepanel med energilagring kan også ved bruk av værmeldinger og spotpriser se om bygget skal benytte strømmen selv, lagre det i et batteri eller selge det på markedet.



Figur 2.9: Powerhouse Brattørkaia er et energipositivt kontorbygg som over tid skal produsere mer energi enn hva det bruker. Bygget er også prosjektert for å være et smart bygg med styresystemer som skal tilpasse brukerbehov med god energihåndtering (Skanska, 2017).

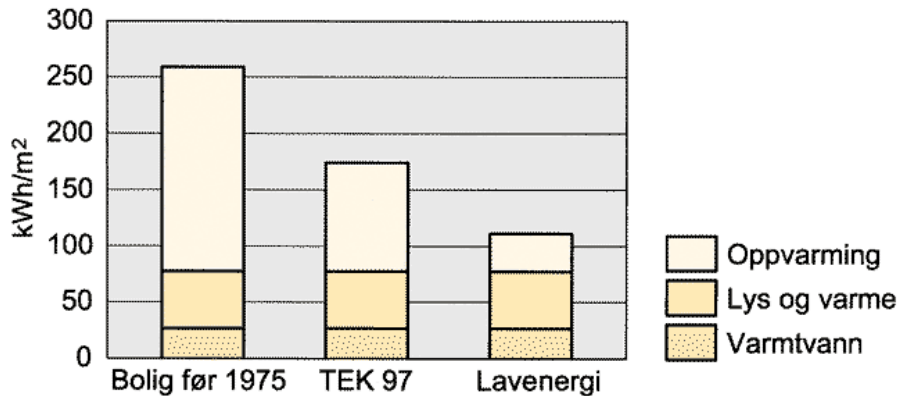
2.2.3 Planlegging

Ikke alle er eksperter på rehabilitering av bolig, så det er ikke innlysende hva som kreves av en person som skal rehabilitere den. ENOVA utførte en potensial- og barrierestudie på energieffektivisering i 2012, en av de største barrierene for energieffektivisering av bolig var da (Prognosesenteret and Entelligens, 2011):

For vanskelig og/eller krevende: dvs. det kreves for mye tid og/eller krefter av meg for å komme i gang med og/eller gjennomføre en endring på boligen.

Skal man utnytte potensialet ved energieffektivisering av bolig må det også være gjennomførbart for den allmenne nordmann.

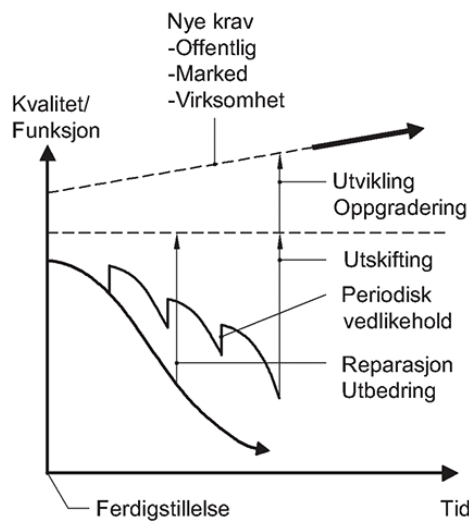
Før man iverksetter rehabilitering av bolig må man kartlegge energiforbruket. Da må man se på både strømforbruk og fra andre energikilder som trevirke, gass eller olje. Et mål bør være å ligge på rundt 100 – 150 kWh/m²år i Oslo, de fleste eldre boliger ligger på 200 – 400 kWh/m²år.



Figur 2.10: Eksempel på normal, årlig energibruk i enebolig (135 m² med ulik standard i Oslo-klima (SINTEF Byggforsk, 2004).

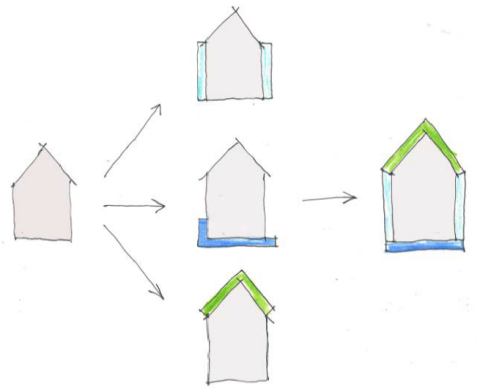
Det er klart at rehabilitering av bolig koster. Man må være ærlig når man vurderer egen økonomi, sparepotensiale, lånepotensiale og hvor trygg man føler seg i jobben sin.

Før man begynner å ta kontakt med profesjonelle bør man få mest mulig informasjon ut fra venner, bekjente og søking på nett. Prøv å se hva som er vanlig ved energieffektivisering, hvilke kostnader det har og om det er mulig å søke om støtte fra for eksempel ENOVA.



Figur 2.11: Kvalitet og funksjon for en bygning sett i et levetidsperspektiv (SINTEF Byggforsk, 2017).

Det mest lønnsomme og praktiske er å utføre en fullstendig rehabilitering. Dette er derimot tidkrevende og setter krav til at man setter av nok tid og har tilstrekkelig med økonomi. I 2014 ga SINTEF ut en rapport på trinnvis oppgradering (Stenerud Skeie et al., 2014). Hensikten var å vise til at man kan nå et ambisiøst nivå på lavt energiforbruk ved trinnvis oppgradering av huset. Dette ga mulighet til å fordele investeringskostnadene over tid og foreta en utskiftning av komponenter når levetiden først har gått ut. Rapporten tar for seg en beskrivelse av 60-, 70- og 80-talls boliger og viser til hvordan man kan trinnvis oppgradere slike boliger. Rapporten er tilgjengelig for alle på nett.



Figur 2.12: De tre trinnene i energiplanen: yttervegger, kjeller (golv og vegger mot terreng) og tak (Stenerud Skeie et al., 2014).

Før man iverksetter arbeid på boligen er det viktig å få med seg (SINTEF Byggforsk, 2004):

1. Reduksjon av luftlekkasjetallet kan gi større behov for ventilasjon. Skifter man vinduer kan man oppleve at luftbyttet i boligen reduseres drastisk. I noen tilfeller kan det da være behov for ekstra veggventiler eller installere balansert ventilasjon.
2. Etterisolering og tetting kan gi fuktskader. Etterisolering og tetting gir andre temperatur- og fuktforhold i bygningskonstruksjonene. Spesielt i eldre bygningskonstruksjoner som er ømfintlige for fuktvariasjoner, eller som har et fuktproblem fra før, bør man være varsom med å gjennomføre slike tiltak. Faren for fuktskader er først og fremst knyttet til innvendig etterisolering.
3. Effekten av enkeltstående sparetiltak kan ikke adderes. Vil man gjennomføre flere sparetiltak samtidig, må man være oppmerksom på at den samlede spareeffekten kan bli mindre enn summen av de beregnede innsparingseffektene for hvert enkelt tiltak.
4. Antikvariske og arkitektoniske hensyn må vurderes, spesielt ved utendørs tiltak.

2.2.4 Teknisk energieffektiviseringspotensial

Per 1.1.2010 bestod den samlede norske bebodde boligmassen av 260.000.000 m^2 BRA hvorav 65 % eneboliger, 19 % småhus og 16 % leiligheter (Prognosesenteret and Entelligens, 2011). Ved hjelp av disse tallene estimerte denne studien at boligmassens energibruk er 45 TWh. Om

alle boliger ble oppgradert til minst TEK10-nivå var det tekniske energieffektiviseringspotensialet på 13,4 TWh besparelse, altså 30 %. I følge SSB står elektrisitet for ca 78 % av energibruken i norske husholdninger (SSB, 2014). Med en produksjon på 132 TWh elektrisitet i 2009 ville et $0,78 * 13,4 TWh = 10,5 TWh$ nedjustert behov for strøm føre til et redusert behov for strømproduksjon i Norge på $10,5 TWh / 132 TWh = 8\%$ (SSB, 2019a).

2.2.5 Barrierer mot energieffektivisering

Man kan anta at de fleste som rehabiliterer har enten en bolig som er 20-40 år gammel eller at det er 20-40 år siden forrige rehabilitering. Om man går 20 år tilbake i tid fra 2019 er man i 1999 og gjeldende standard var da TEK97 fra 1.juli 1997 (DiBK, 1997). Før TEK97 var byggeforskriften fra 1985 gjeldende (DiBK, 1984). De boligene som ble bygd ved TEK97 eller tidligere byggeforskrifter har vesentlig større energibehov enn nye boliger. Spørsmålet blir da hvorfor det bare er under halvparten av de som rehabiliterer som også utfører tiltak på energioppgradering? Her er det klart at det er noen barrierer som hindrer flere i å energioppgradere.

I en potensial- og barrierestudie fra 2012 kartlegget ENOVA barrierer ved rehabilitering av bolig (Prognosesenteret and Entelligens, 2011). For å få flest mulig synspunkter ble arbeidet delt inn i en rekke ulike tilnærminger; forarbeider og egenstudier, uformelle samtaler, litteraturstudier, dybdeintervjuer, fokusgrupper, casestudier, interne idedugnader, interne work shops og analyser.

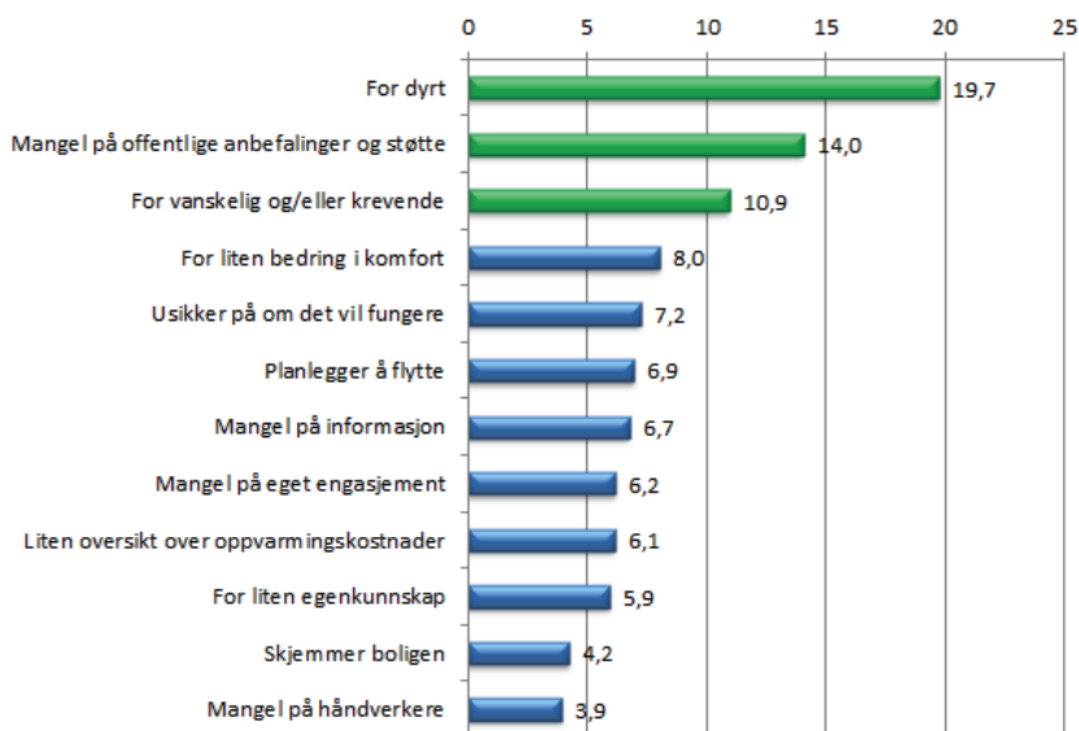
En stor del av verdikjeden ble intervjuet, deriblant produsenter, grossister, utbyggere og sluttbrukere. Hensikten var å finne ulike barrierer fra alle vinkler av en byggeprosess. En av de overordnede spørsmålene de stilte var av formen:

Hva hindrer energieffektivisering og omlegging i nye boliger gjennom hele verdikjeden, dvs. fra produsent via grossist til entreprenør?

Teorien til arbeidsgruppen var at boligeiere finner markedet for energieffektivisering uoversiktlig og dermed avstår fra å gjennomføre tiltak.

Over 200 barrierer ble kartlagt av arbeidsgruppen. Mange barrierer kunne lett ses på som en, for eksempel “kostnaden er for stor” og “gevinstene for små”. Ved å generalisere tilsvarende barrierer ble nye barrierer forfattet basert på de gamle og en undersøkelse ble foretatt for å se hvilke barrierer som var de største. De kom fram til følgende resultat som kan ses i figur 2.13 nedenfor:

Gjennomsnittsscore barrierer



Figur 2.13: 12 ulike barrierer mot å energioppgradere ved rehabilitering. Summen av vektingen tilsvarer 100. At en barriere har dobbel så høy vekting som en annen betyr at barrieren er dobbel så stor (ENOVA, 2015).

En tilsvarende studie ble gjennomført av SINTEF i 2014 kalt “Boligeieres beslutningsprosesser ved oppgradering”. Målet var å beskrive drivere og barrierer ved rehabilitering og energieffektivisering hos boligeiere (Thomsen and Hauge, 2014). Metoden under studiet var mer rettet mot boligeiere som allerede hadde oppgradert. Åtte casestudier der boligeiere allerede hadde rehabilitert til ambisiøst nivå ble intervjuet. Det var også en spørreundersøkelse med Mesterhus sine medlemsbedrifter, og det ble benyttet informasjon fra andre studier.

De største barrierene for energioppgradering som kom fra intervjuene var:

- Ufordringer med informasjonshenting
- Lavt kunnskapsnivå i byggebransjen om tekniske løsninger og byggetekniske detaljer
- Høye kostnader
- Vanskelige tilgjengelig materialer og produkter

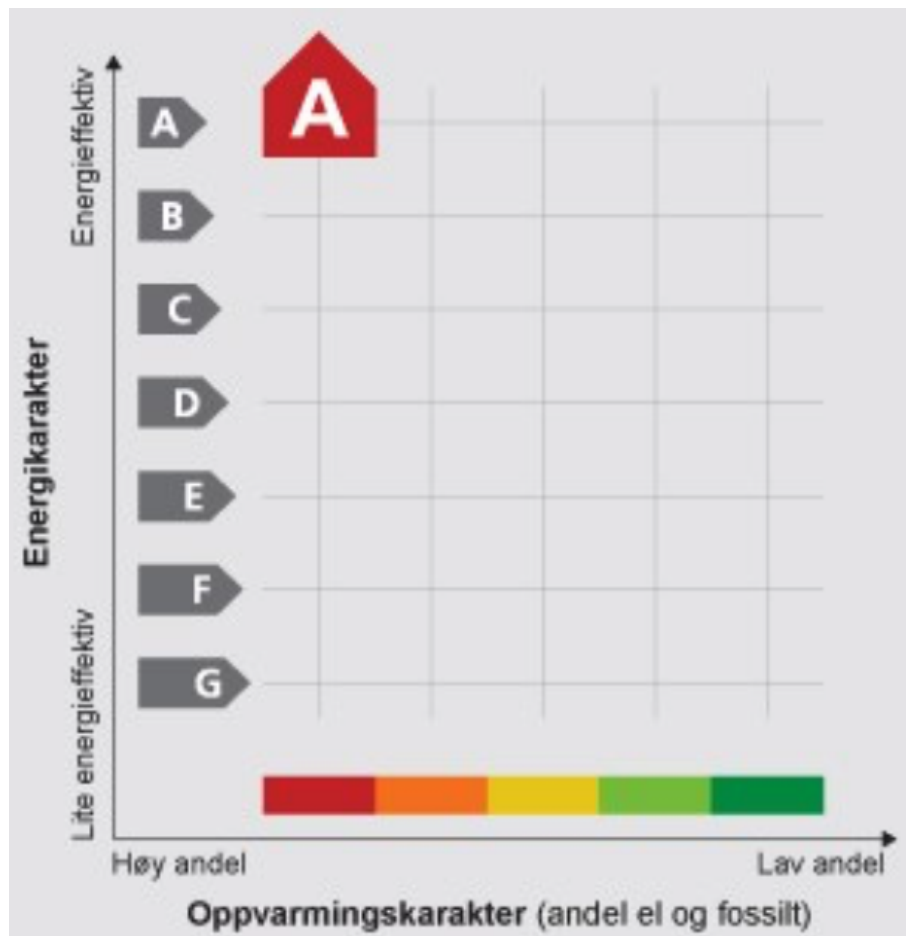
Dette studiet av SINTEF konkluderte med at energieffektivisering ofte bare var en “bi-effekt” som ble utført når en bolig ble rehabilitert. Energieffektivisering var dermed ikke en motivasjon i seg selv.

Asker kommune har kommet med en løsning for å redusere terskelen mot å komme i kontakt med energirådgivere. De tilbyr gratis energirådgiving hjem til boende i Asker kommune. Årlig har denne tjenesten 100-150 besøk i året, men har likevel kapasitet til flere. I 2017 gjennomførte

SINTEF en studie for å evaluere denne tjenesten (Hauge et al., 2017). Funn viste at boligeiere satte pris på at det eksisterte et lavterskeltilbud hvor man kunne få gode råd av en nøytral instans som ikke selv tjente penger på hvilke valg som ble tatt.

2.2.6 Energimerkeordningen

Energimerkeordningen trådte i kraft 1.januar 2010. Denne ordningen er obligatorisk for alle nybygg og for alle som skal selge eller leie ut boliger eller yrkesbygg. Energimerket gir en indikasjon på energieffektivitet til en bolig (karakter A-G) og andelen elektrisk og fossil oppvarming (karakter fra rød til grønn).



Figur 2.14: Energimerkesystemet. De to karakterene er uavhengige av hverandre, slik at en bolig med dårlig energikarakter kan få en god oppvarmingskarakter, og omvendt (Energimerking.no, 2011).

2.3 Byggtekniske forskrifter og standarder

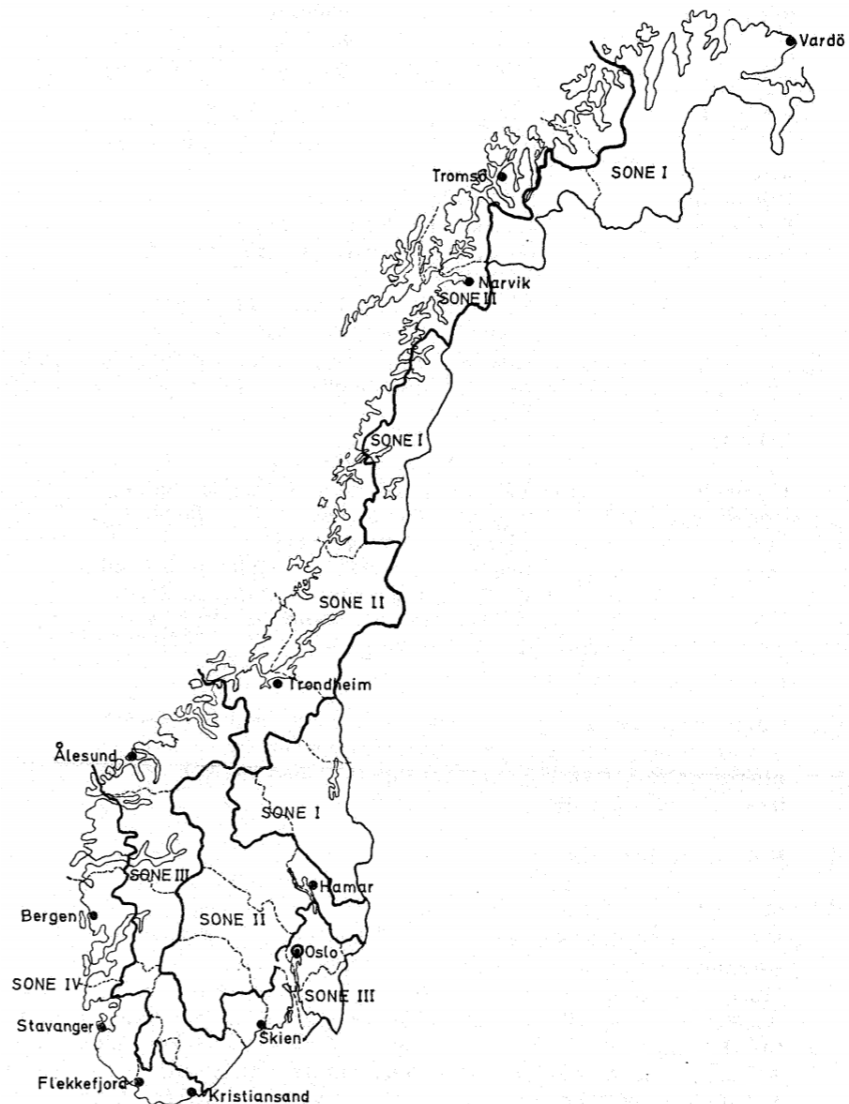
I kapittel 1.2 side 2 ble følgende forskningsspørsmål introdusert:

Hvilke nyere krav og forskrifter har vi som kan være relevant og hva er deres kravspesifikasjoner som kan benyttes som viktige målparametere?

Opp gjennom 1900-tallet har byggt tekniske forskrifter vært med å styrt boligutviklingen i Norge. I forkant av denne masteroppgaven skrev jeg en prosjektoppgave på utviklingen av boliger fra 50- til 90-tallet (Langdal, 2018a). Denne utviklingen vil bli delvis presentert i påfølgende kapittel. Videre i delkapitlene 2.3.2 og 2.3.3 vil nyere krav og forskrifter bli presentert med tilhørende kravspesifikasjoner for å besvare forskningsspørsmålet.

2.3.1 Byggeforskriftenes påvirkning på eneboliger fra og med 50-tallet

Arbeidet som ble gjort under prosjektoppgaven innebar blant annet å kartlegge kravene i de eldre byggeforskriftene. Slik som i moderne forskrifter var det også for eldre forskrifter krav til U-verdier på ulike seksjoner av bygget. Første relevante byggeforskrift i denne sammenheng ble utferdiget i 1949 (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1949a,b). Her ble landet delt i fire soner basert på temperaturen gjennom året. Sone 1 omfattet mildere området slik som vestlandskysten og sone 4 omfattet de kaldeste stedene slik som Dovrefjell og Nord-Norge. Det ble satt strengere krav til U-verdier for de kaldere sonene. 20 år senere ble neste byggeforskrift utgitt og her var også Norge delt inn i soner, se figur 2.15. I motsetning til byggeforskriften fra 1949 var nå sone 1 kaldere strøk og sone 4 mildere strøk. Byggeforskriften fra 1969 satte også strengere krav til U-verdier for alle sonene i Norge i forhold til forrige byggeforskrift.



Figur 2.15: Soneinndelingen som fastsatte kravene til U-verdier i byggeforskriften fra 1969. Varmere soner har mindre strenge krav til U-verdi (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1969).

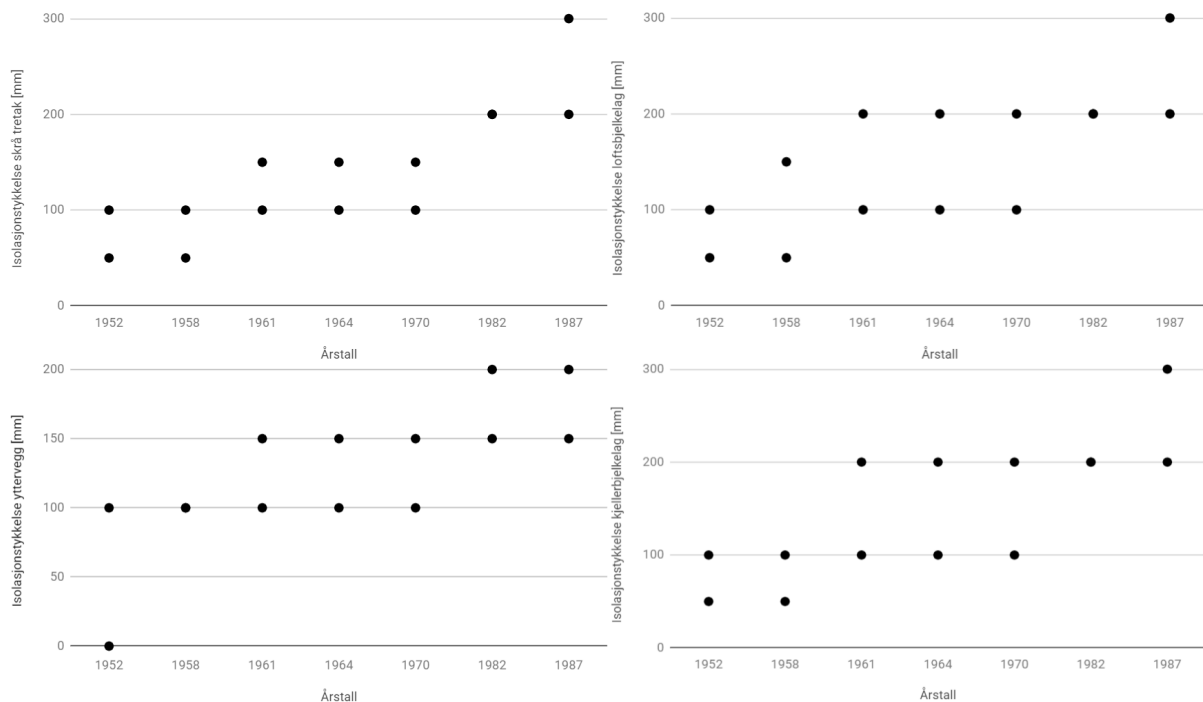
Om man ser på eneboliger fra 50- til 90-tallet var den siste byggeforskriften fra 1987 (Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet, 1987). I tillegg til strengere krav til U-verdier for eneboliger var det også nå krav til lekkasjetallet for eneboliger på mindre enn 4 m^3 i timen per m^3 oppvarmet volum. De ulike kravene som ble stilt til eneboliger er gjengitt i tabell 2.1 nedenfor:

Bygningsdel	1949	1969	1987
Merknad	Klimasoner I-IV	Klimasoner I-IV	Rom over 18grader
Yttervegg, tre [W/m ² K]	0,70-1,05	0,46-0,58	0,3
Vindu [W/m ² K]		2,44-3,60	2,4
Dør [W/m ² K]		2,44-3,60	2
Tak [W/m ² K]	0,70-1,05	0,41-0,46	0,2
Etasjeskiller mot kaldloft [W/m ² K]	0,81-1,16	0,58-0,70	0,3
Kjellervegger (frostfri) [W/m ² K]	1,16-1,86	1,57-2,33	0,8
Golv mot uoppvarmet kjeller [W/m ² K]		0,58-0,70	0,3
Golv mot fri [W/m ² K]		0,41-0,46	0,2
Golv på grunnen [W/m ² K]			0,3
Vindusareal [m ² /BRA]			0,15
Luftlekkasjetall [1/h]			4

Tabell 2.1: Krav til U-verdier fra de tidligere byggeforskriftene utgitt i 1949, 1969 og 1987 (Kommunal- og arbeidsdepartementet, 1949a, 1969; Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet, 1987).

I løpet av 1900-tallet var det ikke bare byggeforskriftene som satte krav til U-verdier på konstruksjoner. Husbanken har siden opprettelsen i 1946 bidratt til å finansiere mange boliger i Norge. Som bank ble det satt krav til blant annet størrelse og utforming av bolig, men også i tilfeller strengere krav til U-verdier enn gjeldende byggeforskrifter. I tillegg til Husbanken har også SINTEF utgitt anvisninger på krav, men også anbefalt isolasjonstykkelser i perioden 1950 til 1990.

Norges byggforskningsinstitutt (Byggforsk) har siden 1952 utgitt Trehus-boken jevnlig til og med i dag. Siden 2006 er Byggforsk bedre kjent som SINTEF Byggforsk (SNL, 2019) og boken har siden da blitt utgitt av SINTEF. Denne bokserien gir en god gjengivelse av isolasjonstykkelsen i ulike seksjoner av bygget fra 50-tallet til i dag. Da det ikke alltid er så enkelt å vite hvor mye isolasjon som er benyttet i eldre boliger er denne informasjonen givende. I denne masteroppgaven er det nødvendig i tilfeller hvor isolasjonstykkelsen er ukjent i case-boligene. En oversikt over isolasjonstykkelser er gjengitt i figur 2.16:



Figur 2.16: Isolasjonstykkelse på ulike deler av eneboliger fra 50- til 90-tallet. Isolasjonstykkelsene er hentet fra trehus-serien i perioden. Tykkelsen som er angitt er et intervall mellom hva som var vanlig å bygge med på den tiden, men også med en anbefalt større isolasjonstykkelse. Viktig å legge merke til at varmekonduktiviteten til isolasjonen har endret seg med årene (Granum and Lundby, 1952, 1958, 1961, 1964; Aschehoug et al., 1970; Edvardsen et al., 1982; Norges Byggforskningsinstitutt, 1987).

2.3.2 Teknisk Forskrift

Den til enhver tid gjeldende tekniske forskrift (TEK) setter krav til de minimum av egenskaper et byggverk må ha for å oppføres lovlig i Norge. Det er mange flere kapitler i TEK enn det som gjelder energibruk i bygninger, men de faller utenfor temaet i denne masteroppgaven. Nåværende gjeldende forskrift er TEK17 med ikrafttredelse 1.juli.2017, tidligere forskrift var TEK10 med ikrafttredelse 1.juli.2010. De ulike kravene til teknisk forskrift er blant annet viktig å vite ved energioppgradering da ENOVA kan utløse støtte basert på disse kravene.

Å tilfredsstille kravene til TEK17 kan enten utføres med metoden for energirammer eller energitiltak (DiBK, 2017). I figur 2.2 er kriteriet for metoden vist for en enebolig. Ved valg av metoden for energirammer er det også krav til å tilfredsstille minstekrav for energieffektivitet vist i figur 2.3.

Tabell 2.2: Metoden for energirammer (DiBK, 2017).

Bygningskategori	Total netto energibehov [kWh/m ² oppvarmet BRA per år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA	100 + 1600/m ² oppvarmet BRA

Tabell 2.3: Minstekrav til metoden for energirammer (DiBK, 2017).

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

Som et alternativ til energirammer kan man benytte de absolutte kravene i metoden for energitiltak. Denne metoden setter absolutte krav til energieffektivitet til hver seksjon av bygget samt andre parametere, se figur 2.4

Tabell 2.4: Metoden for energitiltak (DiBK, 2017).

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

2.3.3 NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibyg

NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibyg er ikke en lovpålagt standard å følge slik som teknisk forskrift (Standard Norge, 2013b). Standarden er likevel blitt benyttet i en del prosjekter allerede og det diskuteres i det offentlige om teknisk forskrift skal etterligne NS 3700 i nær fremtid. Passivhus kjennetegnes ved at de benytter passive tiltak til å redusere energibehovet. Dette er tiltak som økt isolasjonstykkelse, bedre lufttetthet og vinduer med lavere varmetap. ENOVA utlyser ekstra støtte til rehabiliteringsprosjekt med ambisjonsnivå passivhus i forhold til lavere ambisjonsnivå.

Energikravene til passivhus i følge NS 3700 er vist i tabell 2.5:

Tabell 2.5: NS3700 passivhuskrav til eneboliger. Netto energibehov gjelder bolig plassert i området med årsgjennomsnittlig utetemperatur på $6,3^{\circ}\text{C}$. Der hvor årsgjennomsnittlig temperatur er over eller under $6,3^{\circ}\text{C}$ er det henholdsvis strengere eller mindre strenge energikrav. Det stilles også krav til at varmesystemet skal kunne benytte andre energikilder enn elektrisitet og fossile brenslere.

Varmetapstall [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Netto energibehov [kWh/m^2]	U-verdi dør og vindu [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Varmegjennvinningsgrad ventilasjon, SFP og luftlekkasjetall	Normalisert kuldebroverdi [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
$A_{\eta} < 100 \text{ m}^2: < 0,53$	< 15	< 0,8	> 80 %	< 0,3
$100 \text{ m}^2 < A_{\eta} < 250 \text{ m}^2: < 0,48$			< 1,5 $\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	
$A_{\eta} > 250 \text{ m}^2: < 0,43$			< 0,6	

2.4 Varmeforsyningssystem for boliger

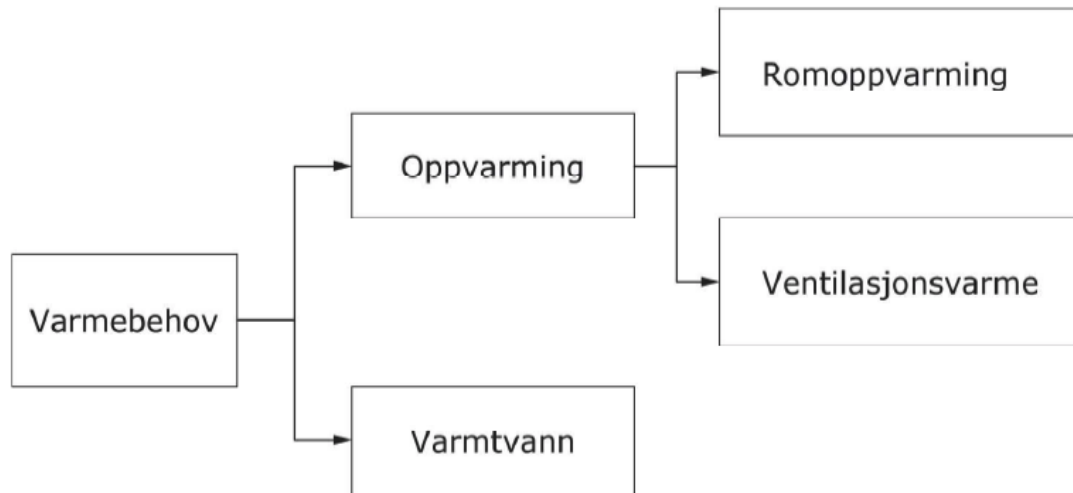
Energieffektive bygg handler ikke bare om bruk av passive løsninger for å redusere energiforbruket. Dette ble diskutert i kapittel 2.2.2 hvor både brukervaner og teknisk oppgradering ble diskutert i tillegg til passive løsninger. Som det ble nevnt der bruker den gjennomsnittlige norske boligmassen 50% til 55% av energibruken til oppvarming. Eldre boliger benytter en større andel og nyere boliger benytter en mindre andel. Dermed ligger det i kortene at energieffektive bygg også må ha gode løsninger på varmforsyning, dette kan illustreres i Kyotopyramiden i figur 2.17:



Figur 2.17: Kyotopyramiden viser en metodikk på energieffektivt design av nye og eksisterende boliger. Metoden går ut på å starte nederst med å redusere varmetapet, deretter designe videre etter punktene ovenfor og avslutte med å velge varmekilde (Bolig Enøk, 2019).

Riktig rekkefølge har stor betydning for sluttresultatet. En turvant nordmann på fjellet har heller ikke ullgenseren ytterst på kroppen, men gjemmer den innenfor en tett skalljakke som holder inne varmen. Dermed kan nordmannen redusere antall lag med ullgensere da varmetapet reduseres med skalljakken ytterst.

Før man velger varmekilde må man se på oppvarmingsbehovet i boligen. Oppvarming er ikke bare for å varme opp lufta, dette kan best illustreres i figur 2.18 nedenfor:



Figur 2.18: Varmebehovet til en bolig kan deles i to. Varmtvann går til hygienebehov som dusj og vask. Ventilasjonsvarmen kommer vanligvis fra temperaturgjenvinning og elektrisk oppvarming. Romoppvarming tar spisslastene når andre varmekilder ikke er tilstrekkelig (Standard Norge, 2016).

Som vi ser av figur 2.18 er det flere variabler å ta hensyn til ved valg av varmforsyning. Varmtvann er avhengig av brukeradferden til beboerne og hvor mange de er. NS 3031 opererer med standardverdier på varmtvann med et forbruk i en enebolig på ca 25 kWh/m^2 (Standard Norge, 2016). Rapporten "Evaluering av boliger med lavt energibehov" registrerte i en studie at den egentlige energibruken til varmtvann varierte fra 5 til 55 kWh/m^2 (Thomsen et al., 2017). Å vurdere energibruken til varmtvann ligger derimot utenfor arbeidet i denne masteroppgaven og vil bli antatt til standardverdier. Derimot er det flere varmforsyninger til romoppvarming som kan kombineres med varmtvann. Ventilasjonsvarmen blir hovedsakelig dekket av varmegjenvinning av avtrekksluften. Da denne prosessen ikke er 100% perfekt vil tilluften være kaldere enn romtemperaturen når det ikke er toppvarming av ventilasjonsluften fra andre varmekilder. Den siste delen av varmebehovet, romoppvarming, vil bli diskutert nedenfor. Her vil ulike systemer for romoppvarming bli presentert. Det er viktig å legge merke til at ingen av systemene er nødvendigvis bedre enn de andre da de er avhengige av en del faktorer, disse vil også bli diskutert nedenfor.

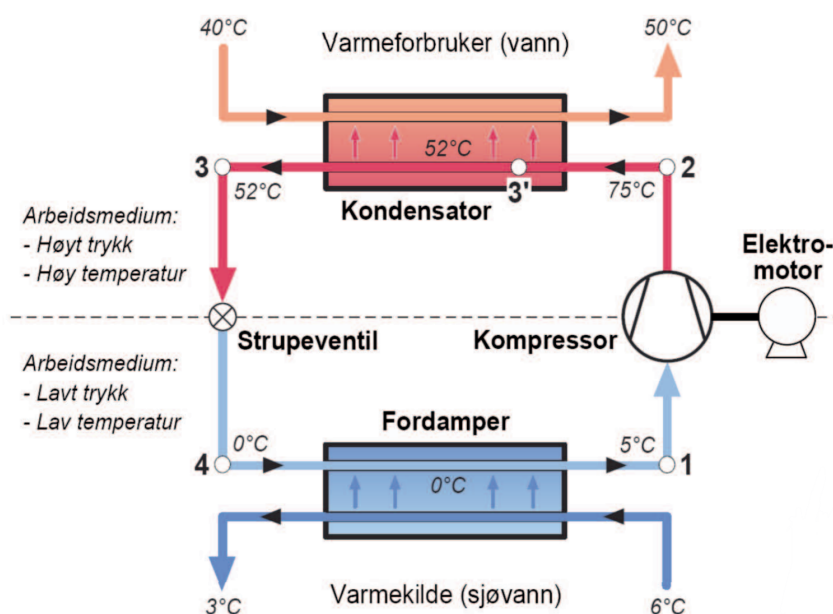
Vi kan skille de ulike varmesystemene mellom vannbåren varme og varmeløsninger til punktoppvarming. Punktoppvarming kan varme opp luften gjennom høy varme som stråler ut til omgivelsene eller ved å varme opp luft og blande den med inneluften. Vannbåren systemer kan gjøre det samme, men forskjellen er at de bruker vann som et medium til å avgi varme. Eksempler på det kan være vannfylte radiatorer eller vannbåren gulvvarme.

For eneboliger kan man betrakte fordeler og ulemper for de ulike varmesystemene. Fordelen til punktoppvarming er lavere investeringskostnad og enklere å implementere i eksisterende bolig

som ikke har vannbåren oppvarming. Ulempen med punktoppvarming er lavere dekningsgrad. Fordelen til vannbåren varme er et fleksibelt varmfordelingssystem som kan utnytte ulike typer energikilder slik som fjernvarme, solenergi eller bergvarme. Vannbåren gulvvarme gir mindre støvforbrenning og bedre mulighet for plassering av møbler. Varme som kommer fra gulvet vil også stige oppover som gir en jevnere temperatur i rommet. Vannbåren gulvvarme kan også kombineres med radiatorer i andre rom for å få enklere regulering av temperatur utenfor oppholdsrom. En annen fordel med vannbåren varme er at varmekilder med stabil middels temperatur kan utnyttes, slik som sjøvann eller bergvarme. Stabil middels temperatur er til fordel mot luft-til-luft varmepumpe når det er kaldt ute. Ulempene til vannbåren varme er høy investeringskostnad til varmfordelingssystemet, tekniske komponenter og arbeid.

2.4.1 Varmepumper

Et diagram beskriver best hvordan en varmepumpe fungerer som i figur 2.19:



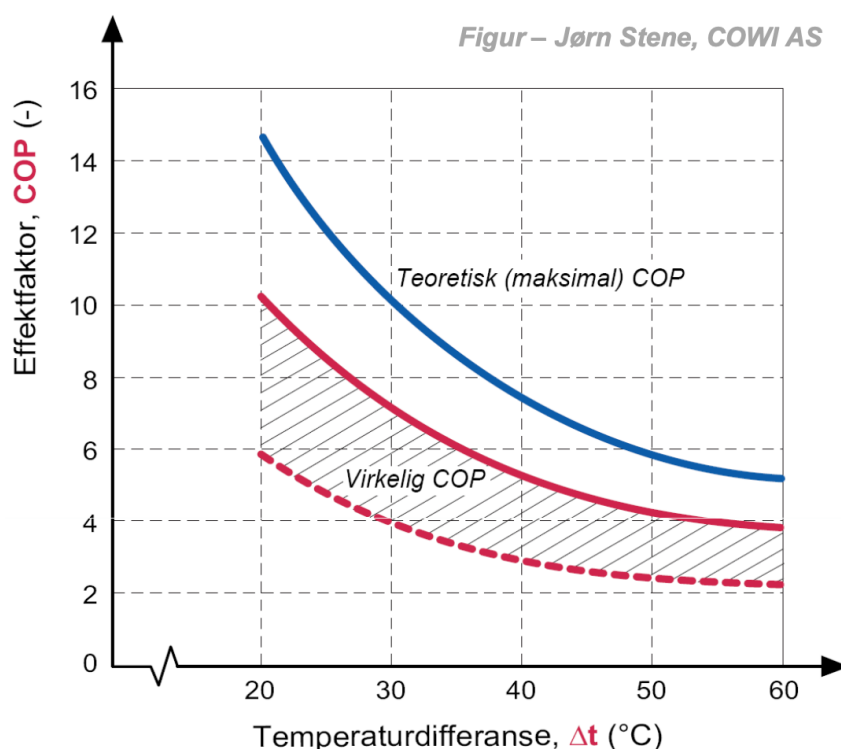
Figur 2.19: Skisse av en varmepumpe med hovedkomponenter. Dette eksemplet er vist med sjøvann som varmekilde og vann som varmekonsumer, men prinsippet er det samme for luft-til-luft varmepumpe også (Skree et al., 2010).

Som man kan se i figur 2.19 benyttes en varmekilde til å varme opp arbeidsmediet i fordampere. Denne varmekilden kan blant annet være sjøvann, grunnvann, uteluft, fjell, jord eller gråvann. Varmen fra varmekilden kan tas opp med å legge en kollektorslange i kilden med en sirkulerende væske som tar opp varmen fra en lukket krets. For bergvarme må det bores hull i fjellet for å føre slangen gjennom. Hvilken varmekilde som benyttes avhenger av størrelsen på bygget og nærliggende varmekilder. Større bygg tåler større investeringer. Blant annet er bergvarme en dyrere investering enn luft-til-luft varmepumpe. Væske/gass-blandingen inn til fordampere er kaldere enn varmekilden og pga lavt trykk vil blandingen koke helt over til gass-form. Denne gassen blir så sugd inn i en kompressor som øker trykket og dermed øker temperaturen også. I kondensatoren vil den varme gassen varme opp den kaldere varmekonsumeren

ved at gassen kondenserer til væske på en overflate som skiller væsken og varmemotoren. Den kondenserte væsken vil så gå igjennom en strupeventil som reduserer trykket og dermed temperaturen. I dette lukkede kretsløpet vil denne prosessen foregå kontinuerlig.

Når man skal velge en varmepumpe kan man ikke bare se på pris. Alle varmepumper som selges i Norge er pålagt å oppgi tall på deres ytelser. Disse ytelsene er viktig å vurdere sammen med pris for å finne den varmepumpen som er best tilpasset behovet. Disse ytelsene vil bli forklart her:

- Effektfaktor (COP) angir forholdet mellom avgitte varmeeffekt fra varmepumpen og tilført effekt fra strømmettet, se figur 2.20. En høyere varmfaktor genererer mer varme uten å øke strømforbruket.
- Avgitt varmeeffekt viser til hvor mye varme varmepumpen leverer ved en gitt temperatur på varmekilden. Denne varmeeffekten synker med synkende temperatur på varmekilden da det er mindre energi å hente i den. Før man investerer i en varmepumpe må man vurdere om den skal dekke spisslastene i den kaldeste perioden eller bare stå for grunnoppvarmingen.
- Årsvarmfaktor (SCOP) angir i likhet med effektfaktoren forholdet mellom avgitt varmeeffekt og tilført effekt fra strømmettet. Forskjellen er at årsvarmfaktoren tar hensyn til en periode på et helt år med temperatursvingninger. Effektfaktoren er kun gyldig for en spesifikk temperatur og synker ved lavere temperaturer. Årsvarmfaktoren til en varmepumpe vil variere med hvilket referansested som er valgt.



Figur 2.20: Effektfaktoren som en funksjon av utetemperatur. Legg merke til at virkelig effektfaktor er lavere enn teoretisk mulig. Dette er på grunn av tap i systemet (Stene, 2010).

2.4.2 Varmeløsninger til punktoppvarming

Luft-til-luft varmepumpe

En luft-til-luft varmepumpe utnytter energien som finnes i uteluften til å varme opp boligen. Denne varmen blir blåst ut av varmepumpen av en vifte, derfor står ofte slike varmepumper sentralt i bygget slik at mest mulig volum blir oppvarmet. Varmepumpen består av en utedel som tar inn luft og en innedel som som sprer varm luft innendørs, se figur 2.21 for komponenter. Fordelen med en varmepumpe er at den avgir større varmeeffekt enn effektforbruket. Ulempene med en varmepumpe er at den blir mindre effektiv ved lavere temperaturer, er avhengig av strøm og varmer kun opp de arealene den når med viften.



Figur 2.21: En Toshiba varmepumpe har fordampere og kompressoren i utedelen. Kondensatoren sitter i innedelen, se forøvrig figur 2.19. Toshiba Daiseikai har energimerke A+++ (Toshiba, 2019a).

Varmepumper er populære i Norge da de er relativt rimelig i innkjøp inkludert montering. Gode varmepumper koster 18.000-30.000 kroner og har en levetid på 12-15 år (ENOVA, 2019b). Årsvarmefaktoren på de bedre varmepumpene ligger over 5,0 og de kan samtidig produsere opp til 5500 W varmeeffekt ved -7°C (Toshiba, 2019b). Dekningsgraden til en varmepumpe er avhengig av hvor åpen planløsningen er i boligen og andelen av total varme tilført boligen fra alle varmekilder. Ut fra dette kan dekningsgraden antas fra 29% til 40% (Bryn et al., 2011).

Vedovn

Å fyre med ved er en av de eldste metodene til oppvarming av bolig. Vedovn er en punktkilde for oppvarming som gjennom høy temperatur varmer opp ved stråling. Moderne vedovner benytter også konveksjon til å varme opp omgivelsene, dette gir høyere utnyttelsesgrad av veden. Figur 2.22 viser et eksempel på en moderne vedovn. Da de fleste eksisterende boliger i Norge allerede har en pipe vil mange ha muligheten til å oppgradere til en mer moderne og effektiv rentbrennende vedovn. Fordelene med en vedovn er at den er uavhengig av strøm, har høy topp-effekt ved kalde perioder og effekten er uavhengig av utetemperatur. Kan man hugge ved selv er den også svært rimelig i drift. Ulempene er at den krever manuell fyring, krever tilsyn for å holde jevn temperatur og man må ha lagringsplass for ved.



Figur 2.22: Jøtul F 481 er en moderne vedovn med energimerke A (Jøtul, 2019).

En ny moderne vedovn koster rundt 10.000 til 40.000 kroner i dag (Naturvernforbundet, 2016) og har lang levetid om den ikke er for underdimensjonert til behovet. Om ovnen er underdimensjonert i forhold til behovet kan sprengfyring føre til at temperaturen blir høyere enn hva vedovnen tåler. Effektiviteten til en moderne vedovn er opp til 80% og en eldre vedovn har en effektivitet rundt 50%. Dekningsgraden til en vedovn er som en luft-til-luft varmepumpe avhengig av planløsning og effekt. En vedovn kan antas å ha en dekningsgrad på 25% til 30% (Bryn et al., 2011).

Pelletskamin

En pelletskamin har en del likheter med en vedovn. I stedet for ved benytter kaminen trepellets som er tørr flis hardpakket til sylindere med diameter 6-8 mm og lengde 1-3 cm. I likhet med vedovnen skjer forbrenningen i et kammer, men forbrenningen styres automatisk fra en tank med trepellets. Denne automatikken tillater at kaminen kan være temperaturstyrt og påfylling foretas maksimalt en gang per dag. Varmen spres i rommet med en vifte. Fordelene til en pelletskamin er høy effektivitet i forbrenningen, med batteri kan den være uavhengig av strøm i kortere perioder, automatisk mating, kan ha høy toppeffekt og har også høy effekt uavhengig av utendørs temperatur. Ulempene er at pellets er dyrere i innkjøp enn ved på brennverdi, lavere levetid enn vedovn, dyrere i innkjøp enn vedovn og varmer kun opp som punkttoppvarmingskilde.



Figur 2.23: Pelletskamin fra produsenten Artel med over 6kW effekt og 90% virkningsgrad (Biovarmebutikken, 2019).

Investeringskostnad til en pelletskamin er avhengig av kaminen, montering og i noen tilfeller en reduksjon av pipeløpet. Totalt kommer investeringen på 20.000 til 50.000 kroner (Naturvernforbundet, 2019) og levetiden ligger på rundt 15 år. Dekningsgraden for oppvarming til en pelletskamin ligger på rundt 35% til 40% (Bryn et al., 2011).

2.4.3 Livssyklus kostnader på punktoppvarmingssystemer

Livssyklus kostnader på punktoppvarmingssystemer er beregnet vist i tabell 2.6 nedenfor. Det er i utgangspunktet tenkt en energioppgradert eldre bolig opp til energimerke C. Panelovner før oppgraderingen er antatt videreført til etter oppgraderingen og ledningsnett er antatt som kraftig nok til å forsyne de elektriske komponentene. Pris på varmpumpene er tatt fra produsentens hjemmeside hvor montering er inkludert og 5.000,- kroner er lagt på for utvendig strømtilførsel til utedelen. Investeringskostnad til vedovn og pellets kamin er basert på opplysningene gitt i kapittel 2.4.2 og inkluderer montering og pipetilpasning. Det er antatt at alle varmforsyningene har tilstrekkelig effekt til å forsyne den dekningsgraden som er oppgitt. Det er svært mange varmpumper, vedovner og pellets kaminer på markedet slik at prisen kan være både lavere og høyere. Dekningsgraden til en vedovn er antatt lavere enn en pellets kamin da en vedovn trenger manuell fyring. Det kan ses i tabellen at en billigere varmpumpe er mindre effektiv, men med en relativt lavere investeringskostnad vil den likevel betale seg fortere tilbake. En pellets kamin har i utgangspunktet en høyere virkningsgrad og dekningsgrad enn vedovnen, men en vedovns lavere kostnad per kWh gjør at den betaler seg inn fortere. Det er også viktig å legge merke til at strømkostnad, pris på ved og pris på pellets kan være avhengig av tid på året. Spesielt pris på ved kan være betraktelig lavere om man kan hugge selv. Vedlikeholdskostnader påløper de fleste varmesystemer. En varmpumpe må jevnlig støvsuges for å ikke fortette seg noe som reduserer effektiviteten. Den må også ha jevnlig vedlikehold av profesjonelle for blant annet riktig mengde med arbeidsvæske. Vedovner og pellets kaminer har en pipe som må jevnlig feies. Vedovner har ellers lite vedlikehold som ikke kan gjøres selv. Pellets kaminer består av flere elektriske og tekniske komponenter enn en vedovn og må i likhet med varmpumpe ha jevnlig profesjonelt tilsyn. Kostnader på vedlikehold er svært avhengig av lokalt marked og er ikke tatt med i beregningene.

Tabell 2.6: Inntjeningstid for ulike punktoppvarmingssystemer. Energiforbruket er basert på en 150 m² enebolig med energimerke C. Kostnad per kWh er beregnet for strøm, ved og pellets. Det er forutsatt at utgangspunktet er et hus med panelovner i hvert rom og en pipe. Investeringene forutsetter at de nye varmforsyningene varmer opp lik dekningsgraden og panelovner tar resten. En kalkulasjonsrente på 2,8% er benyttet ved beregning av inntjeningstid.

Varmeforsyning	Oppvarmingsbehov [kWh]	Innvestering [kr]	[kr/kWh]	Virkningsgrad	Dekningsgrad	Kostnad per år [kr]	Kostnad spart per år [kr]	Inntjeningstid [år]
Direkte EL	24251	0	1,12	0,99	1	27435	0	0
Luft-til-luft varmpumpe Toshiba Daiseikai	24251	30990	1,12	5,33	0,34	19840	7595	4,39
Luft-til-luft varmpumpe Toshiba Mirai	24251	19990	1,12	4	0,34	20416	7019	3,01
Vedovn	24251	20000	0,55	0,8	0,27	24551	2884	7,82
Pellets kamin	24251	25000	0,75	0,84	0,37	25295	2140	14,35

For mange nordmenn vil ikke kostnaden ha alt å si for valg av varmforsyning. Da de fleste norske boliger allerede har pipe er det naturligvis også en gammel eller ny vedovn som står der også. Selv om grunnoppvarmingen tas av en varmpumpe er det populært å ha en vedovn for kosens skyld. I tillegg må man tenke over hvor mye jobb man ønsker å gjøre for å holde varmen i huset. Noen liker at alt skjer av seg selv, mens andre synes det er greit å gjøre litt. Av de tre diskuterte varmforsyningene krever nok varmpumpen minst tilsyn og vedovnen mest på dagsbasis. Vedovner er også populære med glass for å vise det levende spillet med flammer under forbrenningen.

2.4.4 Vannbåren varmesystem

I motsetning til punktoppvarmingssystemer krever vannbåren varmesystemer større inngrep på bygningskroppen. Vannbåren varmesystemer trenger først en kilde for varme. Avhengig av hvilken varmekilde er det behov for en varmpumpe, fyringsanlegg eller et inntak utenfra. Varmekildene har til hensikt å varme opp vann som skal distribueres innad i huset til radiatorer og/eller vannrør lagt i gulvet. Varmen kan også avgis fra blant annet viftekonvektorer. Det benyttes en sirkulasjonspumpe til å pumpe vannet gjennom rørene som går i huset. Til vannbåren oppvarming skiller vi mellom lavtemperatur og høytemperatur fordeling. Lavtemperatur er mer lønnsomt da vannet ikke trenger å varmes opp så mye. Siden temperaturen er lavere trengs det et større areal for å fordele varmen. Da radiatorer har mindre areal enn gulvvarme må høyere temperatur til for å gi samme varmeeffekt, typisk opp til 50°C (SINTEF Byggforsk, 1995). Gulvvarme er avhengig av bruksområde, for parkett benytter man gjerne temperaturer under 28°C og i badrom og kjeller med betonggulv benyttes temperaturer mellom 30°C og 40°C (SINTEF Byggforsk, 2000).

Varmen fra vannet avgis fra radiatorer eller gulvvarme og begge kan benyttes i det samme systemet. Når vannet er oppvarmet vil det pumpes gjennom rørene i boligen. Gulvvarme er populært i gang og bad for å holde fukten borte. Det er også greit å ha i oppholdsrom hvor man vil ha jevn temperatur. Da gulvvarme er mer kostbart enn radiatorer er det naturlig å bruke radiatorer i rom med mindre oppholdstid, f.eks soverom eller kontor. Erfaringsmessig har det også vist seg at i passivhus er det ikke behov for å ha gulvvarme for å skape jevn temperatur i rommet (Sørensen et al., 2017). Da kan investeringskostnaden reduseres betraktelig i å plassere noen radiatorer sentralt i huset.

Som nevnt ovenfor finnes det mange varmekilder som kan benyttes. Om det investeres i en varmpumpe kan disse varmekildene være bergvarme fra brønn, sjøvarme fra nærliggende vann, jordvarme fra hagen utendørs, uteluft, solvarme fra solfangere eller annet. Felles for de er at en varmekilde benyttes til å varme opp en arbeidsvæske som så varmer opp vannet til boligen. For mer detaljert informasjon om varmpumpe se kapittel 2.4.1. Et fyringsanlegg kan benyttes til å varme opp vannet ved å forbrenne blant annet ved, gass, parafin, olje eller pellets. Alternativt kan fjernvarme benyttes hvor varmen blir produsert lenger unna boligen i et fyringsanlegg eller spillvarme fra industri. Alle varmekildene kan prosjekteres til å varme opp enten hele eller deler av varmtvannet.

Kostnader vannbåren varmesystem

Punktoppvarmingskilder diskutert i kapittel 2.4.2 er mer vanlige enn vannbåren varmesystem og også enklere å definere. Dette er på grunn av god tilgjengelighet, enkle inngrep og enkel montering har ført til stabile priser i Norge. Et vannbåren varmesystem krever installasjon av rør og varmeavgivere innad i boligen. Arbeidet er større og det krever mer materialer. Dette må utføres av en entreprenør med tiltaksklasse 1 eller bedre hvor svennebrev er nødvendig. Det er svært mange aktører med tiltaksklasse 1 i landet noe som fører til variabel kvalitet. Vannbåren oppvarming krever spesiell kompetanse på prosjektering, materialbruk og arbeid noe som ikke alle under tiltaksklasse 1 innehar. En hver bolig er unik mtp plassering, romutforming, behov, varmetap og andre variabler. Dette fører til variabel kvalitet fra entreprenørene på markedet hvor billigste ikke nødvendigvis er det best (Smedegard et al., 2012).

På grunn av mange komponenter vil vannbåren oppvarming gi høye materialkostnader i prosjektet. Statistisk sett og tommelfingerregler i bransjen utgjør materialkost bare 40% til 50% av totalkostnadene hvor arbeidskost utgjør resten (Smedegard et al., 2012).

I tillegg til nettverket av rør, varmeavgivere, pumper og reguleringsystem er det også behov for varmeproduksjon. Kostnader til førnevnte er relativt lik for de fleste varmekilder, men kostnaden for å utnytte varmekilden er svært forskjellig. Man kan dele inn varmekildene i to grupper:

- Varmekilder med variabel kostnad til bruk
 - Oppvarming av vann med biomasse (ved, pellets, flis), fossilt (olje, gass, parafin) og elektrisitet.
- Varmekilder med redusert variabel kostnad til bruk
 - Oppvarming av vann med varmepumpe: bergvarme, jordvarme, sjøvarme, luftvarme og solfangere.

Felles for varmekilder med full variabel kostnad til bruk er at de har lavere investeringskostnad da det er enklere komponenter. På grunn av direkte forbrenning eller oppvarming av vann gjennom elektrisitet, er derimot de variable kostnadene høyere. Varmepumper utnytter som kjent varmen fra andre kilder, noe som gjør at man kan nå en virkningsgrad langt høyere enn en panelovn. Dette fører til lavere variable kostnader gjennom levetiden. Investeringskostnaden for de ulike varmepumpesystemene er ofte høyere. Om man skal ha bergvarme må man ofte bore langt ned for å hente varme. Dette fører til høye investeringskostnader.

Flere studier har forsket på kostnader for rørrnettverk med varmeavgivere, pumper og reguleringsystem, men uten innregnet kostnad for varmeproduksjon. Der hvor byggstandard er nevnt er resultatene skilt fra hverandre. Passivhus har lavere varmetapstall enn en TEK10-bolig og følgelig mindre krav til vannbåren oppvarming. Tallene er fremstilt for anlegg med kombinasjon av gulvvarme og radiatorer. Følgende resultat har blitt funnet for enebolig (kostnader eks.mva):

- 494 kr/m² for ny TEK10-bolig (Smedegard et al., 2012)
- 387 kr/m² for nytt passivhus (Smedegard et al., 2012)
- 662 kr/m² for bolig til rehabilitering (Haarberg et al., 2009)

2.5 Muligheter for reduksjon av investeringskostnader

Norske myndigheter har over lang tid iverksatt en rekke tiltak for å øke energieffektiviseringen i bransjen. Blant annet har den tidligere byggeforskriften og nå teknisk forskrift stadig skjerpet energikravene til nye boliger. Det er derimot utfordrende for myndighetene å kreve energieffektivisering ved rehabilitering av eksisterende bygg. Et annet problem er nybyggraten som ikke er stor nok til å erstatte dagens eldre boligmasse raskt nok. Likevel finnes det innførte tiltak som skal hjelpe prosjekter med fokus på rehabilitering å sette fokus på energieffektivisering i tillegg.

Fra et teoretisk synspunkt kan støtte til energieffektivisering begrunnes med at profesjonelle aktører ikke gjennomfører samfunnsmessige lønnsomme eller politisk ønskelige investeringer på egen hånd (Gleinsvik et al., 2016). Man kan begrunne dette med at innovasjon koster og gir

usikre fremtidsutsikter, mens konservatisme i bransjen gir mer forutsigbare resultater. I delkaptlene nedenfor er de mest etablerte ordningene diskutert som er mulig å ta til betraktning når man vurderer å energieffektivisere boligen sin. Forhåpentligvis kan noen av disse virkemidlene bistå til mer innovasjon og høyere ambisjon i prosjekter med fokus på energieffektivisering.

2.5.1 ENOVA

ENOVA arbeider for Norges omstilling til et lavutslippssamfunn. Gjennom offentlige øremerkede midler tildeler ENOVA støtte til blant annet energieffektivisering ved rehabiliteringsprosjekter. Nedenfor diskuteres noen av de ulike tiltakene man kan søke om støtte til som privatperson. En oppsummering er gitt først. Flere tiltak finner man på ENOVA sin hjemmeside.

7.500,- kr Energirådgiving

20.000,- kr Luft-til-vann varmepumpe

30.000,- kr Væske-til-vann varmepumpe

10.000,- kr Vannbåren varme

28.750,- kr El-produksjon

15.000,- kr Solfanger

15.000,- kr Balansert ventilasjon

100.000-150.000 kr Oppgradering av bygningskroppen

For å få støtte fra ENOVA må en kvalifisert person lage en energiplan som viser boligens tilstand før oppgradering og hvilke energiltak som skal forbedre energistandarden. Om en slik tiltaksplan lages før oppgraderingen starter kan ENOVA gi støtte på opp til 7.500,- kr for energirådgiving. For de fleste byggherrer er dette en meget god investering. Energirådgiveren kan finne ut hvor de mest lønnsomme tiltakene kan utføres, hjelpe til med videre søking av støtte hos ENOVA og gi gode råd gjennom byggeprosessen.

Ved en større rehabilitering på bolig anbefales det å vurdere en modernisering av varmesystemet i boligen. En varmepumpe vil gi lavere energibruk enn ved ren bruk av strøm fra f.eks panelovner. Hvis oppvarmingsbehovet er stort nok vil investeringen bli lønnsom over tid. En rehabilitert bolig vil også i de fleste tilfeller bli særdeles tettere noe som skaper et behov for balansert ventilasjon. Da kan frisk luft tilføres boenheten samtidig som man får varmegjenvinning på avtrekksluften.

Ett av de sterkeste insentivene for å søke støtte til ENOVA er muligheten til å få inntil 150.000,- kr ved oppgradering av bygningskroppen. En slik oppgradering er for de som tenker helhet når man pusser opp. Tiltaket innebærer å redusere varmetapet betydelig gjennom en forbedring av varmeisolasjon i yttervegger, tak, vinduer, ytterdører og grunnmur. Hva du får i støtte avhenger av hvor ambisiøs rehabiliteringen er:

150.000,- kr når man oppgraderer til energinivå 1 (tilnærmet passivhusnivå)

125.000,- kr når man oppgraderer til energinivå 2 (tilnærmet TEK17)

100.000,- kr når man oppgraderer til energinivå 3 (tilnærmet TEK10)

Kravene som er gitt til hvert energinivå kan man se i tabell 2.7 nedenfor:

Tabell 2.7: For å være kvalifisert for tilskudd fra ENOVA må boligens varmetapstall minst reduseres med 30 prosent, og ikke overskride krav i tabellen under (differensiert på tre størrelseskategorier). Boligens netto energibehov kan ikke være høyere enn siste kolonne i tabellen. I tillegg må boligen ha oppvarmingskarakter bedre enn rød. Netto energibehov er uavhengig av varmeforsyningssystem. *Areal er her oppvarmet del av BRA. **Verdiene som står i parentes gjelder ved beregning med Enovamodulen i EMS (ENOVA, 2019a).

Nivå	Maksimalt varmetapstall: W/(m ² K) (transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap)			Maksimalt årlig netto energibehov: kWh/m ²
	Areal* < 100m ²	100 < Areal < 250m ²	Areal > 250m ²	
Nivå 1	0,53 (0,66**)	0,48 (0,6)	0,43 (0,54)	80 (100) + 1600/Areal
Nivå 2	0,7 (0,87)	0,65 (0,81)	0,55 (0,69)	100 (125) + 1600/Areal
Nivå 3	0,93 (1,1)	0,83 (1)	0,68 (0,87)	120 (150) + 1600/Areal

2.5.2 Husbanken

Husbanken er opprettet for å sette i verk regjeringen sin boligsosiale politikk. Dette gjøres gjennom virkemidler som bostøtte, lån, tilskudd, kompetansebygging og kunnskapsutvikling. For byggherrer som planlegger ambisiøs rehabilitering med fokus på energieffektivisering kan husbanken tilby lån med en rente som er mer gunstig enn hos andre aktører som tilbyr lån. Boligprosjekter som oppfyller støtte fra ENOVA for oppgradering av bolig nivå 3 eller bedre vil automatisk oppfylle Husbankens energikriterier for grunnlån til oppgradering (Husbanken, 2018).

Fordelen med å få lånefinansiering fra Husbanken er som nevnt gunstige rentebetingelser. I tabell 2.8 under kan Husbankens renter sammenlignes med et utvalg andre banker:

Tabell 2.8: Dagens nominelle nivå på flytende rente og fastrente for noen utvalgte banker; Husbanken (Husbanken, 2019b), DNB (DNB, 2019), Nordea (Nordea, 2019), Danske Bank (Danske Bank, 2019) og SpareBank1 SMN (SpareBank1 SMN, 2019). *2,65% rente beløp over 2.000.000,- kr, 2,85% ellers. Merk at ikke alle tilbyr 100% lånefinansiering. Det er kun Husbanken som tilbyr 20 år fastrente.

Bank	Flytende rente [%]	3 år fastrente [%]	5 år fastrente [%]	10 år fastrente [%]	20 år fastrente [%]
Husbanken	1,5	1,87	2,20	2,67	2,96
DNB	2,7	2,7	3	3,5	
Nordea	2,65/2,85*	2,7	3	3,5	
Danske Bank	2,75	2,6	2,95	3,4	
SpareBank1 SMN	2,85	2,5	2,75	3,39	

2.5.3 Skattefradrag på gjeldsrenter

Skattefradrag på gjeldsrenter ble i sin tid opprettet for å stimulere til at flere tok opp lån i en tid hvor rentene var svært høye. Dagens rentenivå på lånefinansiering kan ikke betraktes som høy og skattefradraget på gjeldsrenter har dermed ikke den samme effekten. Som man kan betrakte i ligning 4.1 side 56 vil et økt skattefradrag på gjeldsrenter redusere den effektive kalkulasjonsrenten. Det diskuteres om dette skattefradraget burde ha blitt fjernet, da dagens situasjon stimulerer til at nordmenn låner som aldri før. Da skattefradraget er så usikkert i fremtiden kan man om ønskelig være konservativ og sette det lik 0 om man vurderer en investering med nåverdimetoden. Dette vil øke kalkulasjonsrenten.

2.6 Verdiøkning på bolig ved oppgradering

Rehabilitering av egen bolig kan være en kostbart for eieren. Investeringen kan også skape et behov for å øke lånerammen på huset. Den dagen en ny bolig har blitt ferdig oppført vil den langsomt over tid forfalle. Stiler og moter endres stadig og setter preg på den epoken boligen ble bygd. Vi benytter gjerne begreper som “trendy” eller “tidløst” på stilen eller designet til boligen. En trendy utforming kan være spennende, men vil fortære komme ut av mote og skape et behov for oppussing. Et tidløst design vil som det ligger i begrepet holde seg mer moderne selv om boligen blir eldre. Hvordan en bygning holder seg designmessig er ikke en grunn for å investere i en større rehabilitering. Derimot vil en bygnings forfatning eller kvalitet alltid være en drivende faktor for rehabilitering. Som det ble vist i figur 2.11 side 13 vil kvaliteten gradvis synke med årene. Periodisk vedlikehold bistår med å redusere degraderingen. En større rehabilitering er ikke et periodisk vedlikehold, men en prosess som har til hensikt å løfte boligen til den kvaliteten den hadde som nyoppført. Med begrepet energioppgradering mener man en rehabilitering hvor energieffektivisering er i fokus. Boligen vil da løftes til en høyere kvalitet enn da den var ny.

Når en bolig begynner å ha såpass dårlig kvalitet at en rehabilitering må til, vil det ofte alene forsvare en investering. Alternativet er å la boligen forfalle med fare for fremtidige skader som over tid kan utgjøre en fare for brukeren. Man kan anta at i et balansert boligmarked vil verdien på boligen øke etter en større rehabilitering. Spørsmålet i dette delkapittelet er om en energioppgradering av en eldre bolig fører til en høyere markedsverdi enn en enkel rehabilitering? For å kunne besvare problemstillingen kan det vises til annen litteratur som har studert dette. Når energimerkeordningen ble innført i 2010 ga den muligheten for boligkjøpere å få et innblikk i energibruken til boligen de kjøpte. Teorien er at for to ellers like boliger med forskjellig oppvarmingsbehov, så burde boligen med lavest oppvarmingsbehov ha større markedsverdi. Dette argumentet kan forsvares med at høyere oppvarmingskostnader vil føre til høyere livssyklus-kostnader.

Før vi ser på hvor mye energimerket til en bolig har å si for markedsprisen på en bolig, kan vi gjennom et eksempel se hva det betyr for årlige oppvarmingskostnader. Da varmforsyningen til huset påvirker den reelle oppvarmingskostnaden er det her antatt i eksempelet direkte elektrisk oppvarming. Med utgangspunkt i tabell 2.9 nedenfor kan vi vurdere en eldre enebolig av oppvarmingskarakter F som er oppgradert til oppvarmingskarakter C. Karakteren C skal utgjøre det samme energibehovet som et hus bygget etter TEK10. Det kan legges merke til at å oppgradere

en enebolig til TEK10 kan potensielt utløse en støtte på 100.000,- kr fra ENOVA.

Tabell 2.9: Karakterskala for energimerket til eneboliger basert på oppvarmet BRA. Øvre grense for karakter C er basert på nivå for TEK10 (Energimerking.no, 2015).

Småhus	Leverte energi pr m ² oppvarmet BRA (kWh/m ²)						
	A	B	C	D	E	F	G
Oppvarmet BRA (m ²)	Lavere enn eller lik	Lavere enn eller lik	Lavere enn eller lik	Lavere enn eller lik	Lavere enn eller lik	Lavere enn eller lik	Ingen grense
50	111,00	152,00	195,00	257,00	321,00	410,00	> F
75	105,67	141,33	178,33	229,67	282,33	356,67	> F
100	103,00	136,00	170,00	216,00	263,00	330,00	> F
125	101,40	132,80	165,00	207,80	251,40	314,00	> F
150	100,33	130,67	161,67	202,33	243,67	303,33	> F
200	99,00	128,00	157,50	195,50	234,00	290,00	> F
300	97,67	125,33	153,33	188,67	224,33	276,67	> F
400	97,00	124,00	151,25	185,25	219,50	270,00	> F
500	96,60	123,20	150,00	183,20	216,60	266,00	> F

Vi kan anta huset har en størrelse på 150m², 2% diskonteringsrente, strømpris fra ligning 4.5 side 58 og levetid på 30 år. Dette vil føre til en differanse på årlig kostnad til oppvarming gitt i tabell 2.10:

Tabell 2.10: Beregning av årlig kostnad til oppvarming av to like boliger med ulik oppvarmingskarakter. Forbruk er basert på tabell 2.9 og strømkostnad på ligning 4.5.

	Forbruk [kWh/m ²]	Størrelse småhus [m ²]	Strømpris [NOK/kWh]	Årlig kostnad [NOK]
Energimerke F	303,33	150	1,12	50864
Energimerke C	161,67	150	1,12	27110
Differanse				23754

Over en periode på 30 år vil dette føre til en besparelse lik (med utgangspunkt i ligning 2.4):

$$23.574\text{NOK} * \frac{1 - 1,02^{-30}}{0,02} \approx 23.573\text{NOK} * 22,40 \approx 528.058\text{NOK} \quad (2.1)$$

Som vi ser av ligning 2.1 ovenfor er det betydelige kostnader å spare på to like boliger med forskjellige oppvarmingsbehov. Eksempelet viser også potensialet i energibesparelse om en rehabiliterer fra oppvarmingskarakter F til C.

2.6.1 Reflekteres en enebolig sine fremtidige energiutgifter i markedsprisen i dag?

Den første større studien på energimerkeordningen kom relativt tidlig etter at energimerket ble innført i 2010. Allerede i 2012 ble det i en masteroppgave studert om fremtidige energiutgifter reflekteres i markedsprisen på bolig (Dahl). Teorien i oppgaven var at i et perfekt marked vil det være rimelig å anta at fremtidige kostnader er priset inn i markedsprisen. Som vi så i tabell 2.10 og ligning 2.1 kan fremtidig besparelse på et redusert oppvarmingsbehov ha stor betydning. Følgende problemstilling var utgangspunktet:

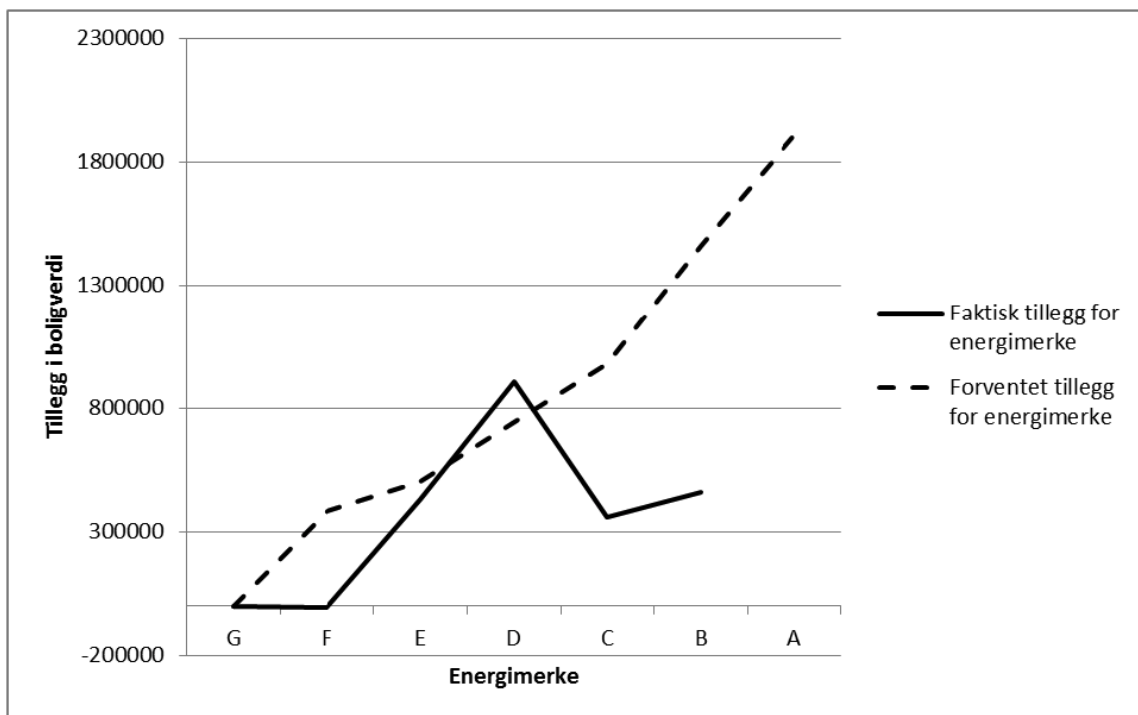
Kan man forvente forskjeller i pris for to eneboliger med forskjellig energiforbruk i det norske boligmarkedet?

Forfatteren i oppgaven hadde tilgang på Eiendomsverdi AS sin salgshistorikk fra 1985 til 2012 (Eiendomsverdi, 2019). Denne inneholder detaljert informasjon om hvert boligsalg inkludert, prisantydning, salgspris, størrelse på bolig, energimerke og mer. Av hensyn til store variasjoner innad i landet på snittpriser er det i oppgaven valgt å begrense seg til Oslo. Da beliggenhet med avstand til blant annet sentrum er svært sentralt for boligprisen er det valgt å se på fire bydeler i Oslo. Dette er bydelene Nordstrand, Ullern, Nordre Aker og Vestre Aker, se figur 2.24. Disse bydelene har relativt lik avstand til sentrum og like snittpriser mellom 42.000 og 48.000 per m^2 . Dette valget ble tatt for å begrense de statistiske variasjonene mest mulig.



Figur 2.24: Bydelsnavn i og rundt Oslo (Kart, 2018). Bydelene Nordstrand, Ullern, Nordre Aker og Vestre Aker ble studert for å se en sammenheng mellom markedspris og energimerke (Dahl, 2012).

Hvis man kan anta at energiforbruket som ligger til grunn for energimerket er korrekt og at boligmarkedet er så rasjonelt, så kan man også anta at bedre energimerke gir høyere markedspris. I et diagram ville man da sett et tillegg i boligverdien jo bedre energimerket er, hvor G er dårligst og A er best. I masteroppgaven ble følgende resultat funnet av Dahl, se figur 2.25:



Figur 2.25: Forventet verdi av energimerke mot observert verdi av energimerke (Dahl, 2012). Det forventede tillegget er kalkulert basert på fremtidige kostnadsbesparelser ved redusert energiforbruk. Følgende forutsetninger er benyttet til forventet tillegg: energimerkeordningens stipulerte forbruk for 208 m², 5% diskonteringsrente, 25 års løpetid og NOK 1 per kWh.

Som man kan se av figur 2.25 svarer ikke det faktiske tillegget i prisen til forventningene. Man får et minimalt fratrukk i pris fra G til F, økende verdi fra F til D, men deretter synker verdien for bedre energimerker mot B i forhold til D. Det er grunn til å tro at resultatene er påvirket av den lave andelen hus som har blitt funnet solgt i perioden 4.5.2011 til 4.5.2012 på n=243. Med et lavt antall boliger er ikke grunnlaget stort nok til å avkrefte hypotesen om et bedre energimerke skal gi en tilleggsverdi på boligen. Siden energimerkeordningen er nylig innført (2010) er det heller ikke sikkert markedet har tilvendt seg signifikansen av et godt energimerke.

2.6.2 Utnyttelse av energimerkeordningen for økt lønnsomhet ved boligsalg

I 2017 ble en ny masteroppgave utgitt som også så på sammenhengen mellom boligpriser og energimerking (Kleppe, 2017) ved både eldre og nye boliger. Her var problemstillingen formulert som:

Er det mulig å utnytte energimerkingen av norske boliger til å skape økt lønnsomhet?

I motsetningen til masteroppgaven forfattet av Fredrik Dahl har Lars-Ørjan Kleppe valgt å basere arbeidet på kvalitative forskningsintervjuer. 87 meglere svarte på en kortere spørreundersøkelse og det ble utført dybdeintervjuer på tre meglere, to utbyggere og en ekspert på energimerking.

Fra meglernes side svarte samtlige av de 87 at energimerking ikke har noen effekt for kvadratmeterprisen ved boligkjøp. Det vises til at det er liten kunnskap blant boligkjøpere til energimerkeordningen. De få som har spørsmål er gjerne kjøpere med høyere utdanning. Når det gjelder hva de ser etter ved boligkjøp nevnes blant annet klisjeen ”beliggenhet, beliggenhet, beliggenhet“. På spørsmål om hvorfor meglere ikke setter av mer plass til energimerking og forklaring i annonser svares det blant annet at det er begrenset med plass. I den plassen som skal selge en bolig i en annonse har noen meglere erfaring med at boligen selger seg bedre med å oppi annen informasjon, slik som nærhet til sentrum og utsikt. Det kommenteres også blant meglere at de mener energimerking ikke vil få mye fokus før energiprisene går opp.

I masteroppgaven ble det også utført dybdeintervjuer av utbyggere som drev med utvikling og salg av både TEK10 og passivhus. Av erfaring blir ikke passivhus solgt på markedet med mindre de prises som en TEK10 bolig. Dette fører til lavere inntjeningspotensiale for passivhus noe som utbyggerne forsøker å hente inn ved å redusere kostnader i byggeprosessen. På spørsmål om hvorfor de ikke får priset passivhus høyere enn TEK10 antas det at markedet ikke har god nok kunnskap på gevinstene med et passivhus. Det ser også ut til at markedet mener at et TEK10 hus har så lave energiutgifter uansett. I rapporten ”Evaluerings av boliger med lavt energibehov“ ble 64 passivhus og 10 TEK10-hus studert gjennom simuleringer og faktiske tall etter at de var bygget (Thomsen et al., 2017). Her vises det til at den gjennomsnittlige energibruken til passivhusene er målt til $91kWh/(m^2BRA)$ noe som er ca 30% lavere enn målt gjennomsnittlig energibruk i TEK10-boligene på $135kWh/(m^2BRA)$. Man kan betrakte et eksempel som viser forskjellen i energiforbruk mellom et passivhus og en TEK10 bolig gjennom 30 år:

$$(135 - 91) \frac{kWh}{m^2BRA} * 150m^2BRA * 1,12 \frac{NOK}{kWh} * \frac{1 - 1,02^{-30}}{0,02} \quad (2.2)$$

$$\approx 7.392NOK * 22,40 \approx 165.555NOK$$

Som vi ser basert på tallene fra EBLE-rapporten (Thomsen et al., 2017) er det betydelige kostnader å spare på å ha et passivhus kontra ett TEK10-hus over en periode på 30 år. Dette kan være med å bekrefte at kunnskapen til boligkjøpere er for lav når de mener at TEK10-hus bruker så lite energi at det ikke er vits i å betale noe mer for passivhus. Om livssyklus-kostnadene for å bygge et passivhus er lavere enn et TEK10 hus er usikkert. Hvis merkostnadene for passivhus over TEK10 ligger på 1.100 til 1.500 per kvadratmeter (Skeie et al., 2016) vil dette gi en prisøkning på 165.000 til 225.000 kroner for et 150 m^2 hus.

2.7 Livsløpskostnader

For å vurdere om investeringskostnader ved energioppgradering gir økonomisk lønnsomhet kan en kalkulasjon på livsløpskostnader besvare det. Definisjoner og ligninger som ligger til grunn for beregning av livsløpskostnader nedenfor er basert på NS 3454:2013 “Livssyklus-kostnader for byggverk. Prinsipper og klassifikasjon” (Standard Norge, 2013a). For mer detaljert informasjon anbefales det å lese NS 3454.

2.7.1 Nåverdi (NV) for kostnad i analyseperioden

Nåverdien av en fremtidig kostnad (K_t) beregnes ved å multiplisere den fremtidige kostnaden (K_t) med diskonteringsfaktoren (d_t) for det året kostnaden forekommer.

$$d_t = \frac{1}{(1+r)^t} = (1+r)^{-t} \quad (2.3)$$

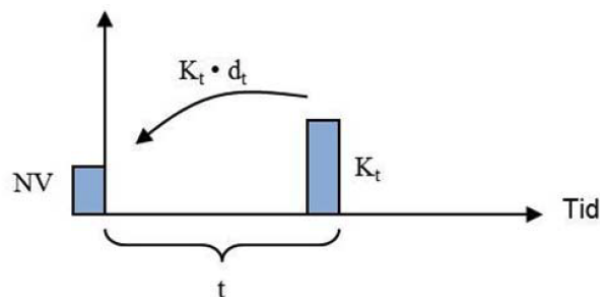
der

Analyseperioden er tidsperioden fra investering til slutt på levetid;

d_t er diskonteringsfaktor for et gitt år t ;

r er kalkulasjonsrenten;

t er et gitt år (antall år fra basisåret til t).



Figur 2.26: Diskontering av fremtidig kostnad til nåverdi (Standard Norge, 2013a).

2.7.2 Kalkulasjon med faste årlige kostnader

I tilfeller hvor det beløper faste årlige kostnader ($\dot{A}K$) etter investeringen, f.eks årlige strømutfgifter, kan disse summeres til en samlet nåverdi i år 0:

$$NV_T = \frac{\dot{A}K}{a} = \dot{A}K * \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r} \quad (2.4)$$

NV_T er nåverdi av kostnadene i analyseperioden;

a er annuitetsfaktoren;

T er analyseperioden (antall år regnet fra basisåret).

2.7.3 Beregning av lønnsomhet

Lønnsomheten for en investering beregnes ved å legge sammen investeringskostnad og nåverdien til fremtidige årlige besparelser i energibruk og vedlikeholdskostnader. Alle kostnader defineres som positiv slik at fortegnet bestemmer deres verdi, se ligning (2.5). Om summen av nåverdi ligning (2.5) er positiv er tiltaket lønnsomt.

$$\begin{aligned} \text{Lønnsomhet} = & -\text{investeringskostnad} - \text{nåverdi vedlikeholdskostnader} \\ & + \text{nåverdi sparte energikostnader} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Om tiltaket har nådd sin levealder og noen av komponentene fremdeles har noen år igjen kan restverdien til disse komponentene inkluderes i ligning (2.5). Dette gjøres ved å legge til restverdien med positivt fortegn multiplisert med diskonteringsfaktoren fra det året. For diskonteringsfaktor se ligning (2.3). Beregning av lønnsomhet inkludert restverdi ser man i ligning 2.6:

$$\begin{aligned} \text{Lønnsomhet} = & -\text{investeringskostnad} - \text{nåverdi vedlikeholdskostnader} \\ & + \text{nåverdi sparte energikostnader} + \text{restverdi} * d_t \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.8 Enebolig fra 50-tallet

Den eldste casen i denne masteroppgaven er en enebolig fra 50-tallet som står på en landbruks-eiendom i Ogndal, ikke langt fra Steinkjer i Trøndelag, se figur 2.27. Boligen stod nyoppført i 1958. Familien har flere gårder i området og før ny bruker av boligen skulle flytte inn ble arkitekt leid inn våren 2018. I regi av arkitekt ble en energirådgiver leid inn for å se på muligheten for tiltak på energieffektivisering. De utførte oppgraderingene er beskrevet nedenfor i kapittel 2.8.3.



Figur 2.27: Case-boligen fra Ogndal (Langdal, 2018b).

2.8.1 Data på boligen

I tabellene nedenfor presenteres informasjon om boligen. Alle verdier er hentet fra plantegninger, skisser og andre skjema fra arkitekt (Langdal, 2018d,e,f). Disse verdiene benyttes til energiberegninger og kalkulasjon for kostnader.

Tabell 2.11: Fakta på 50-talls boligen.

Fakta 50-talls bolig			
Innvendig lengde [mm]	9 670	Antall etasjer (inkl. kjeller)	3
Innvendig bredde [mm]	7 700	Areal første etasje [m ²]	101
Åpen høyde kjeller [mm]	2 235	Areal andre etasje [m ²]	75
Høyde kjellergulv til terreng [mm]	1 600	BRA [m ²]	176
Åpen høyde 1. og 2. etasje [mm]	2 350	Areal dør og vindu før oppgradering [m ²]	29
Tykkelse etasjeskillere [mm]	265	Arealandel dør og vindu av oppvarmet BRA før oppgradering eks. kjeller [m ²]	0,17
Maksimal åpen høyde loft [mm]	2 150	Areal yttervegg ekskl. kaldloft (utv) [m ²]	220
Innvendig lengde tilbygg [mm]	6 600	Areal yttervegg inkl. kaldloft [m ²]	236
Innvendig bredde tilbygg [mm]	3 914		
Minste høyde nytt tilbygg [mm]	2 150		
Største høyde nytt tilbygg [mm]	4 820		

Tabell 2.12: Varmetapsverdier på boligen før og etter rehabilitering. Normalisert kuldebroverdi er erfaringstall fra Norsk Standard (Standard Norge, 2016). Luftlekkasjetallet er et gjennomsnitt fra Norsk Standard (6) og Praktisk veileder for energimerking (10) (Standard Norge, 2016; Isachsen, 2013).

	U-verdier [W/m ² K]						Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	Luftlekkasjetall n50 [1/h]	Ventilasjon
	Kjellergulv	Kjellervegg	Etasjeskiller mot kjeller	Yttervegg	Dør og vindu	Etasjeskiller mot kaldt loft			
Før rehabilitering	Uisolert	0,9	0,35	0,39	3	0,35	0,07	8	Naturlig
Etter rehabilitering	0,04	0,39	0,35	0,23	1,2	0,14	0,05	1	Balansert ventilasjon

2.8.2 Beskrivelse av bolig som bygget

Eneboligen ble opprinnelig bygd som vist i figur 2.27. Nederste etasje er en kjelleretasje som opprinnelig ikke har blitt brukt som oppholdsrom. Verken gulv eller vegger i kjelleretasjen har tidligere vært isolert. Selve konstruksjonen som ble benyttet for huset er av vanlig bindingsverk med 10 cm isolasjon. Taket på bygget er av typen saltak med vinkel ca 33 grader. Loftet i seg

selv er heller ikke oppvarmet. Det har tidligere vært begrenset med isolasjon ned til andre etasje fra loftet. I løpet av sin levetid har bygget gjennomgått minimale oppgraderinger. I løpet av rehabiliteringen mellom 2018 og 2019 ble bygget strippet ned til konstruksjonen og det viste seg å være et tørt bygg uten råteskader.

2.8.3 Beskrivelse av bolig som rehabilitert

I løpet av perioden august 2018 til mars 2019 har bygget gjennomgått en omfattende oppgradering mens huset har vært ubebodd. Parallelt med byggeprosessen har eierne av huset hjulpet mye til med riving og bortkjøring av avfall. Dette er en form for egeninnsats som hjelper mye med å redusere byggekostnadene.

På utvendig side av boligen ble det gamle tilbygget revet til fordel for et nytt, se figur 2.28. Det nye tilbygget ble satt på samme ringmur som det gamle. Det ble gravd ut langs kjellerveggene hvor drenering ble byttet ut og det ble lagt 10cm isolasjon mot vegg. Noen kjellervinduer ble gjenmurt. Da ny kjeller skulle benyttes som oppholdsrom ble ny betongtrapp støpt utvendig før massene ble fylt igjen mot kjellervegg. Betongtrappen fører ned til en ytterdør inn til kjeller. Isolasjonen på ringmur over terreng er belagt med sementbaserte plater.

Det nye tilbygget ble oppført etter krav fra TEK17 med 25 cm mineralull i vegg og 35 cm i tak. Eksisterende yttervegger ble på utvendig side isolert med 10 cm utlektet isolasjon og tettet med vindsperre. Alle vinduer og dører ble byttet. Taket på bygget ble revet til eksisterende taktro, undertak ble lagt over taktro og et nytt sinuskurve blikktak.



Figur 2.28: Bilder tatt av 50-talls boligen etter ferdigstillelsen (Langdal, 2018c).

Boligen ble også totalrehabilitert på innvendig side. I kjelleren fjernet eierne den gamle betongen i gulvet og gravde ut deler av massene. Dette ble gjort for å legge mer isolasjon og elektriske varmekabler. Fjerning av gammelt betonggulv ga også muligheten til å legge nytt avløp og vanntilførsel skjult i gulvet. Isolasjon i etasjeskiller over kjeller ble fjernet og ny isolasjon ble montert. Det ble montert ny kjellertrapp da den gamle ikke var tilpasset daglig bruk. Alle rom i første og andre etasje ble rehabilitert som ga muligheten for å montere innlektet dampsperre og skjult elektrisk anlegg. Isolasjonen i gulvet på kaldloftet ble fjernet og ny isolasjon ble blåst inn. Det ble også lagt isolasjon i skråtaket for mulighet til å innrede loftet i fremtiden. Deler av gulvet på loftet ble kledd med sponplater og det ble lagt ny himling i skråtaket.

Innenfor tekniske fag ble nytt komplett anlegg levert for VVS og EL-kraft. For VVS ble det montert rør-i-rør skap, ny vann- og avløpsledning fra utsiden inn til kjeller, ny varmtvannsbereider og mer. Det ble også montert balansert ventilasjonsanlegg med avtrekk i alle våtrom og tilluft i oppholdsrom. Sentralstøvsuger ble montert med koblingspunkt i kjeller, første og andre etasje. Innenfor EL-kraft ble nytt anlegg montert med moderne sikringsskap, skjulte kabler og nytt belysningsutstyr.

De utførte tiltakene på 50-talls boligen resulterte til slutt i en støtte fra ENOVA for oppgradering av bygningskroppen på 150.000,- kr og installering av balansert ventilasjon på 20.000,- kr.

2.9 Enebolig fra 80-tallet

Enebolig fra 80-tallet står i Stod, ikke langt fra Steinkjer i Trøndelag, se figur 2.29. Boligen stod ferdig i 1987 og var et ferdighus fra kjeden Hetlandhus. Høsten 2018 gjennomgikk huset en rehabilitering. Dør og vindu ble byttet ut til fordel for mer moderne og energieffektive. Noen vindusposter ble forstørret og det ble laget åpninger til flere vindu. Ytterkledningen over sokkeletasjen på huset ble også byttet og en ny og bedre vindsperre ble lagt bak denne kledningen. På innvendig side ble det montert dampsperre og ny kledning over sokkeletasjen. Det ble også installert balansert ventilasjonsanlegg.



Figur 2.29: Case-boligen fra Stod (Vågen, 2018b).

2.9.1 Data på boligen

I tabell 2.13 og 2.14 nedenfor finnes informasjon på 80-talls boligen som blir brukt i energiberegninger og kostnadsberegninger i kapittel 4.

Tabell 2.13: Fakta på 80-talls boligen.

Fakta 80-talls bolig			
Innvendig lengde [mm]	11 500	Antall etasjer (inkl. sokkel og loft)	3
Innvendig bredde [mm]	7 300	Areal første etasje [m ²]	78
Høyde kjellergulv til terreng [mm]	0-2 400	Areal andre etasje [m ²]	84
Åpen høyde 1. og 2. etasje [mm]	2 400	Areal loftetasje [m ²]	29
Tykkelse etasjeskillere [mm]	265	BRA [m ²]	191
Maksimal åpen høyde loft [mm]	2 300	Areal dør og vindu før oppgradering [m ²]	23
		Arealandel dør og vindu av oppvarmet BRA før oppgradering	0,12
Vinkel takflate [grader]	23	Innvendig areal grunnmur mot terreng [m ²]	42
Utvendig areal takflate eks. utstikk [m ²]	102	Innvendig areal grunnmur mot friluft [m ²]	56
Utvendig areal takflate ink. utstikk [m ²]	115	Innvendig areal bindingsverk mot friluft [m ²]	105
Utvendig areal yttervegg bindingsverk [m ²]	123	Utvendig areal grunnmur mot friluft [m ²]	59
Utvendig areal grunnmur total [m ²]	102	Utvendig areal grunnmur mot terreng [m ²]	42

Tabell 2.14: Varmetapsverdier på boligen før og etter rehabilitering. Normalisert kuldebroverdi er erfaringstall fra Norsk Standard (Standard Norge, 2016). Luftlekkasjetallet er et gjennomsnitt fra Norsk Standard (6) og Praktisk veileder for energimerking (10) (Standard Norge, 2016; Isachsen, 2013).

	U-verdier [W/m ² K]						Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	Luftlekkasjetall n50 [1/h]	Ventilasjon
	Kjellergulv	Kjellervegg mot terreng	Kjellervegg mot friluft	Yttervegg	Dør og vindu	Etasjeskiller mot kaldt loft			
Før rehabilitering	0,5	0,3	0,28	0,27	3	0,17	0,05	8	Naturlig
Etter rehabilitering	0,5	0,3	0,28	0,27	1	0,17	0,04	2	Balansert ventilasjon

2.9.2 Beskrivelse av bolig som bygget

Boligen fra 80-tallet er opprinnelig et ferdighus fra Hetlandhus. Når elementer blir laget med høy ferdighetsgrad i kontrollerte omgivelser på fabrikk sikrer man en kortere byggeperiode på byggetomten og mindre fukt under bygging. Etter at grunnmuren rundt sokkelen var ferdig i 1987 kunne elementer av bjelkelag, yttervegg og tak heises på bygget på få dager.

Nederste etasje er en sokkeletasje av betong som har åpen front og er fullt tildekt mot terreng på baksiden. Andre etasje består av veggelementer med 15 cm isolasjon som strekker seg helt opp til og med loftetasjen oppunder taket. Loftetasjen er delvis innredet for bruk og har ca 2,3 m takhøyde under mønet. På hver side av mønet reduseres takhøyden ned til ca 1,4 m hvor en knevegg med isolasjon er oppført mot et lukket uoppvarmet rom.

Bygget er oppvarmet av elektriske panelovner samt gulvvarme på bad. I tillegg til dette er bygget oppført med pipe slik at romoppvarmingen kan suppleres med en vedovn. Det var ikke installert luft-til-luft varmepumpe i bygget før rehabilitering. Ventilasjon av inneluften skjer gjennom ventiler og mekanisk avtrekk på bad og kjøkken.

2.9.3 Beskrivelse av bolig som rehabilitert

I løpet av høsten 2018 gjennomgikk boligen en rehabilitering utført av entreprenør. Denne rehabiliteringen omfattet ny vindsperre og utvendig kledning, dampsperre og innvendig kledning, bytte av dør og vindu og installering av balansert ventilasjon. Noen vindusposter ble forstørret og en en-fløyet dør ble forstørret til to-fløyet. Det ble også gjort rom til flere vindu. Rekkverket på verandaen ble byttet ut til et glassrekkverk med bedre utsyn.

Luftlekkasjetallet ble betraktelig redusert med ny vindsperre og bedre tetting rundt dør og vindu. Ventiler som før sikret ventilasjon av inneluften ble lukket til fordel for balansert ventilasjonsanlegg. De nye vinduene hadde heller ikke ventiler. Alle disse tiltakene resulterte til slutt i støtte fra ENOVA for oppgradering av bygningskroppen på 100.000,- kr og installering av balansert ventilasjon på 20.000,- kr.

3. *Metode*

I dette kapittelet blir metoden benyttet i masteroppgaven presentert. Metoden vil først bli beskrevet generelt, deretter for litteraturstudiet og til slutt for casestudiet.

Problemstillingen i denne oppgaven som er gitt i kapittel 1.2 går som nevnt på lønnsomheten ved energieffektivisering av eksisterende eneboliger. For å kunne besvare denne var det først nødvendig å tilegne seg et godt grunnlag gjennom teori innhentet fra litteratur. Basert på den tilegnede kunnskapen var målet å få en god forståelse på hvordan energieffektivisering kunne gjøres mest lønnsomt. Denne kunnskapen kunne så best utnyttes på relevante eksisterende eneboliger som nylig har gjennomgått rehabilitering. Alt dette er nærmere beskrevet i delkapitlene.

3.1 **Valg av metode**

I følge Olsson (2011) må en metodebeskrivelse inkluderes i en oppgave for at andre skal kunne vurdere grunnlaget for konklusjonen. I tillegg vil dette kvalitetssikre eget arbeid og gi en mulighet for andre å videreføre arbeidet. Olsson skiller så mellom kvantitative og kvalitative metoder. En kvalitativ metode er basert på muntlig eller tekstlig informasjon. Denne informasjonen kan for eksempel tilegnes gjennom intervjuer hos relevante fagfolk. Det er vanskelig å skille mellom hva som er best av ulike tiltak på energieffektivisering når kun meninger uttrykkes muntlig. Sammenligning av disse tiltakene gjøres best med kvantifiserte resultater. I denne masteroppgaven ble det sett bort fra kvalitativ metode.

Den kvantitative metoden tar utgangspunkt i tall og gir derfor muligheten til å skille mellom ulike tiltak på energieffektivisering ved å sammenligne kostnader og energibesparelse. Ulike tiltak på energieffektivisering påvirker inneklimate forskjellig. Metoden gir dermed ikke en mulighet for å skille mellom en subjektiv oppfatning av inneklimate mellom ulike tiltak. Samtidig er dette svært vanskelig å studere i praksis da man kun kan rehabilitere mot et spesifikt tiltak og få en oppfatning av dette. De andre vurderte tiltakene som det ikke ble rehabilitert til vil man ikke få en oppfatning av. Likevel er en kvantitativ metode best for denne masteroppgaven da problemstillingen har som mål å se på lønnsomhet og ikke inneklimate.

For at resultatene skal være etterprøvbare må metoden i masteroppgaven ha god reliabilitet (Olsson, 2011). I oppgaven har det derfor blitt lagt vekt på at data som har blitt benyttet til å produsere resultatene er tilgjengelig i oppgaven. Dette er blant annet størrelser på husene slik som arealer på gulv, veggflater og vindu, men også kostnader på tiltak og hva som inkluderes i de. Ulike mål og verdier på de studerte boligene er gitt i kapittel 2.8 og 2.9, utarbeidelse av kostnader i kapittel 3.3.2, kostnad på tiltak i tabell 4.7 og 4.16.

Validitet angir i hvilken grad de innsamlede data representerer det vi ønsker å måle (Olsson, 2011). Den sier altså noe om hvor godt datamaterialet illustrer kjernen i problemstillingen som skal belyses. Med et samarbeid med Byggmester Binde og Binde Framtid på deres tidligere rehabiliteringsprosjekter forelå det god informasjon innen mål på huset og kostnader. Da det ble benyttet de samme verdiene som et prosjekt som allerede har blitt gjennomført øker det validiteten betraktelig. I tillegg der kostnader på materialer ikke var tilgjengelig ble det innhentet nøyaktig tilbud fra leverandører. Det ble også kalkulert kostnader i et godt brukt beregningsprogram av bransjen, Holte SmartKalk.

3.2 Litteraturstudium

I et litteraturstudie har man som hensikt å innhente nødvendige informasjon og kunnskap som relaterer til emnet i oppgaven. Litteraturstudiet ble derfor utført for å tilegne seg kunnskap der hvor det var nødvendig.

3.2.1 Formål

Formålet med litteraturstudiet var først og fremst å se om lignende studier hadde blitt gjort tidligere. Om et studie hadde blitt utført med relativt samme problemstilling og lignende referansehus hadde det vært nyttig å vite av forskjellige grunner. Hvis validitet på resultatene i et slikt studie var tilfredsstillende hadde det ikke vært nødvendig å utføre et nytt studie. Derimot om det forelå et forbedringspotensiale kunne et nytt studie med lik problemstilling bli utført med bedre validitet på resultatene. I tillegg kunne det ha vært andre studier som så på energieffektivisering og/eller kostnader, men ikke hadde helt lik problemstilling som i denne masteroppgaven. I det tilfellet kunne disse studiene være inspirasjon til videre arbeid i denne masteroppgaven. Når man tar inspirasjon fra andre studier må man derimot være kritisk.

Et annet formål med litteraturstudiet var å kunne fremlegge informasjon i kapittel 2 som skulle bli benyttet senere i oppgaven. Det ble blant annet lagt vekt på hvordan et bygg best kan energieffektiviseres. På markedet finnes det mange løsninger som kan redusere energibehovet i boligen, men de har ulik virkning og kostnad. Å finne de mest lønnsomme tiltakene er derfor kritisk for å energieffektivisere en bolig på best mulig måte.

I kapittel 2 er det også inkludert et tema innenfor økonomi. Formålet var å kunne presentere hva en huseier kan få av støtte ved oppgradering av bygningskroppen. I tillegg var det nødvendig å vise hvordan man kan relatere besparte utgifter i fremtiden til nåverdi. Når en bolig er ferdig rehabilitert og mer energieffektiv kan det hende den får en verdiøkning. Av den grunn ble det studert boligverdi avhengig av energimerket gitt i kapittel 2.6.

Høsten 2018 skrev jeg en prosjektoppgave på eneboliger fra perioden 1950 til 1990. Her ble det studert konstruksjonsoppbygning på lette trekonstruksjoner og hvilke materialer som ble benyttet. Typiske materialer av interesse i forkant av et rehabiliteringsprosjekt er vind- og dampspærre og type og tykkelse på isolasjonen i veggene. Det kan være nyttig å vite da det er vanskelig å se hva som er inn i konstruksjonen før man åpner den. Informasjonen som er gitt i denne prosjektoppgaven har vært nødvendig for å kunne estimere blant annet U-verdier på deler av bygget før rehabilitering.

3.2.2 Kvalitet og fremgangsmåte

Et problem med internett er at det ligger så mye informasjon tilgjengelig og den er relativt enkel å publisere. Av den grunn må man være kritisk til det man leser. Mye av kildene som har blitt benyttet i denne masteroppgaven kommer fra SINTEF, NTNU, ENOVA og andre kjente rådgivningsfirma i byggebransjen. Dette er anerkjente fagmiljø i Norge som går langt tilbake i tid og som årlig produserer mange gode studier og rapporter. Mange gode samtaler underveis med veiledere har også vært nødvendig for å se hvilke kilder som er relevante eller ikke.

Flere søkemotorer på nettet har blitt benyttet til å finne de ulike kildene. Brage Bibsys ble benyttet til å søke i vitenarkivene til Bragekonsortiet. I dette konsortiet er flere norske universiteter medlem slik at det var mulig å finne kilder fra flere universiteter på samme søkemotor. Underveis i vårsemesteret 2019 ble denne søkemotoren avvirket og det ble fra da av nødvendig å søke i separate søkemotorer. Google Scholar ble mye brukt da denne søkemotoren er gratis og inneholder det meste av akademisk litteratur publisert på nettet. På denne søkemotoren finner man de fleste kilder som er publisert på åpne domener, for eksempel kan man søke i Brage Bibsys gjennom Google Scholar. Google sin akademiske søkemotor hjelper også å øke kvaliteten på de treffene som oppstår ved å henviser til siteringstall. En publisert artikkel som er sitert av mange andre artikler kan være et tegn på kvalitet. Google sin vanlige søkemotor har også blitt benyttet til å finne litteratur som ikke nødvendigvis er tilgjengelig på Google Scholar. Blant annet er mange rapporter utgitt av rådgivningsfirma kun tilgjengelig på den vanlige søkemotoren til Google.

Under litteratursøket ble det hovedsakelig benyttet norske søkeord. Energieffektivisering av bygg kan være veldig avhengig av land og lokasjon. Først og fremst er energibruken avhengig av klima og selv innad i Norge er det store forskjeller. Hvert land har også egne kostnader på produkter og arbeidstimer. I tillegg er også forskriftene ulike mellom hvert land og hva man kan få av økonomisk støtte. Av den grunn var det ønskelig med norske rapporter og studier.

3.3 Casestudie

Et casestudie er en studie av en enhet (Dahlum, 2018), i dette tilfellet to separate eneboliger fra 1958 og 1987. Ett casestudie gir mulighet til å samle inn så mye data som mulig for å best kunne beskrive, vurdere og utforske det. Med utgangspunkt i en problemstilling på lønnsomhet innen energieffektivisering av eksisterende bygg var det naturlig å vurdere eksisterende bygg som finnes i virkeligheten.

Styrken til et casestudie er muligheten til å gå ordentlig i dybden av enheten. Dette fordi det er enkelt å samle inn informasjon på mål, kostnader og spesifikasjoner til hvert av de to byggene som ble studert. Som det ble nevnt under diskusjon av validitet i kapittel 3.1 ble det inngått et samarbeid med Byggmester Binde og Binde Framtid for å få tilgang til nøyaktig informasjon på mål, kostnader og spesifikasjoner. Dette fordi Byggmester Binde rehabiliterte boligene i 2018 og Binde Framtid fungerte som rådgiver for tiltak på energieffektivisering.

En svakhet med et casestudie er at det kan være utfordrende å trekke generelle slutninger med bakgrunn i de resultatene man fremskaffer. For eksempel er et medisinsk studie på kun ett menneske ubrukelig til å trekke slutninger for en hel befolkning. Dette er derimot annerledes

for bygg. Hvilke variabler som påvirker en boligs ytelse er kjent teori for en bygningsfysiker. Boliger med felles utforming og byggeår i et boligfelt vil ha tilnærmet lik energibruk. Noen forskjeller kan skyldes blant annet ulik solinnstråling og beboernes brukervaner. For denne masteroppgaven var det ønskelig å finne to eneboliger fra 50- og 80-tallet som hver skulle fungere som referansehus fra sine respektive tiår. Flere samtaler med Lars Gullbrekken, Berit Time og Anne Gunnarshaug Lien, alle fra forskningsprosjektet OPPTRE, ble utført for å finne de mest passende boligene. Svakheten mot å trekke generelle slutninger fra en enhet skulle dermed reduseres ved at boligene var relativt like andre boliger fra samme tiår.

3.3.1 Energiberegninger

Energiberegninger på bygg kan gjøres med flere programvarer. Mye brukt i Norge er programvaren SIMIEN som også er norskutviklet. SIMIEN er validert i henhold til NS-EN 15265 (ProgramByggerne, 2014). Dette betyr at SIMIEN kan benyttes til dynamiske energiberegninger som det settes krav til i NS 3031. Alternativt kunne for eksempel TEK-sjekk Energi benyttes. Grunnen til at SIMIEN ble benyttet er tidligere erfaring fra kurs TEP4235 Energibruk i Bygninger på NTNU. Det er også godt brukt hos både SINTEF og rådgivere i Binde Framtid.

Når eneboligene ble lagt inn i SIMIEN ble det gjort i henhold til eksempel fra ProgramByggerne (Dokka, 2016) og tidligere erfaring. Hver bolig fikk kun definert en sone i bygget da dette er tilstrekkelig når det kun skal ses på energiberegninger og ikke detaljert innneklima. Mål på boligene ble tatt fra tekniske tegninger. I samråd med Binde Framtid som validerte bygningene for å utløse støtte fra ENOVA ble det definert blant annet u-verdier, luftlekkasjetall og kuldebroer. I tillegg ble tekniske spesifikasjoner som SFP og varmegjenvinningsgrad på balansert ventilasjon tatt fra de virkelige installerte anleggene. Systemvirkningsgrader på blant annet oppvarming og luft-til-luft varmepumpe kom fra tabeller innad i SIMIEN som best beskrev de undersøkte boligene. Boligene var i utgangspunktet oppvarmet av strøm og vedfyring hvor dekningsgrader ble tatt fra rapporten “Varmeløsninger og deres dekningsgrader” (Bryn et al., 2011). Noe unøyaktig data må antas fra den definerte horisonten for hvert bygg da den er kun antatt, dette vil ha påvirkning på solstrålingen.

Energisimulering i SIMIEN ble benyttet for å simulere energibruk før og etter rehabilitering. Til dette ble funksjonen “årssimulering” benyttet. Denne funksjonen angir resultat på blant annet netto energibehov, levert energi, økonomiske kostnader og varmetapstall. Funksjonen “energimerking” ble benyttet for å beregne energimerket til de to boligene før og etter rehabilitering. En annen funksjon som gjør SIMIEN til et svært nyttig program er “tiltak” og “lønnsomhetsberegning”. Når en bolig er lagt inn i SIMIEN kan man legge inn tiltak på energieffektivisering av boligen. Tiltakene kan blant annet være bedre u-verdi på yttervegg eller vindu, forbedret luftlekkasjetall eller installasjon av balansert ventilasjon. For hvert av tiltakene kan også økonomiske investeringskostnader inkluderes. Deretter kan lønnsomhetsberegninger utføres i SIMIEN hvor verdier på blant annet nåverdi og inntjeningsstid blir gitt som resultat. Tiltaks- og lønnsomhetsfunksjonen ble begge benyttet i studiet.

Boligens plassering i Norge er svært avgjørende for energiforbruket noe som er en del av forskningsspørsmål 3. I SIMIEN kan energiforbruket enkelt beregnes ved å spesifikt velge værdedata for det aktuelle stedet og utføre en simulering.

3.3.2 Utarbeidelse av kostnader

En sentral del i lønnsomhetsberegninger for å få gode resultater er å benytte realistiske kostnader. Dette var en av grunnene til at casestudiet ble utført. Både boligen fra 1958 og 1987 ble rehabilitert innvendig og utvendig. Dette ga eksakte kostnader på balansert ventilasjon, dør og vindu. I tillegg ble andre kostnader på produkter innhentet fra leverandører. For å inkludere de forventede kostnadene ved montering av disse produktene ble kostnader for leverandører lagt inn i Holte SmartKalk. Det ble benyttet standardverdier på kalkulasjonsegenskaper i SmartKalk gitt i figur 3.1 nedenfor.

Standard timekost	400,00	kr			
% Kalkuler påslag for ønsket salgspris					
Fortjeneste lønn	10,0	%	Fortjeneste maskinleie	10,0	%
Fortjeneste materialer	10,0	%	Fortjeneste hjelpemateriell	10,0	%
Fortjeneste festemidler	10,0	%	Fortjeneste diverse	10,0	%
Fortjeneste underentreprenører	10,0	%	Merverdiavgift	25	%

Figur 3.1: Kalkulasjonsegenskaper benyttet i Holte SmartKalk.

Holte Smartkalk tar også hensyn til økt produktivitet på større arealer. Det vil si at kostnadene på etterisolering av yttervegg er lavere om alle husets fire vegger oppgraderes i stedet for en. Ved valg av tiltak i SmartKalk har det blitt prøvd å finne den mest passende areal- eller mengdefaktoren.

Ved beregning av kostnadene ble det tatt utgangspunkt at begge boligene var moden for rehabilitering. Det vil da si for alle tiltakene på energieffektivisering ble kun kostnader tilknyttet energieffektivisering tatt med. Andre kostnader som rigg, drift og stillas ble ikke inkludert. For begge boligene var det på tide å bytte ut utvendig bordkledning. Av den grunn ble kostnader for arbeid og produkter på etterisolering, vindtetting og klemming med lekter tatt med på tiltaket for etterisolering av yttervegg. Kostnader for riving av gammel bordkledning og montering av ny bordkledning ble ekskludert. På 50-talls boligen ble både utvendig og innvendig side rehabilitert. Kostnader for dør og vindu inkluderte da kun arbeid og produkter på riving, montering og tetting. På 80-talls boligen ble det i tillegg til det nevnte også inkludert kostnader på arbeid og produkter innvendig foring og listverk av dør og vindu.

For begge boligene ble det også innhentet kostnader på alternativ etterisolering av yttervegg med Rockwool REDAir FLEX. Her ble det forsøkt innhentet tilbud fra XL-Bygg, Bygger'n og Byggmakker, hvor alle bortsett fra sistnevnte kom med tilbud. I tillegg ble det gjennom SmartKalk lagt til kostnader for 18 mm OSB og arbeid på montering. Kostnader på økt takutstikk ble beregnet gjennom Holte SmartKalk for 50-talls boligen. Dette ble ikke medberegnet for 80-talls boligen på grunn av ekstra langt takutstikk i utgangspunktet.

3.3.3 Beregninger på lønnsomhet

I denne masteroppgaven ble lønnsomhet beregnet ut fra investeringskostnader på tiltak og løpende reduserte energiutgifter i fremtiden. Til dette ble nåverdimetoden benyttet hvor faste årlige besparelser ble diskontert til nåverdi. Som det ble nevnt tidligere i kapittel 3.3.1 kan dette enkelt utføres i en innebygd funksjon i SIMIEN. Nåverdimetoden baserer seg på en levetid hvor varmpumpen og balansert ventilasjon har en levetid på 15 år og resten av tiltakene 30 år. Med en kalkulasjonsrente over 0 % vil reduserte energiutgifter de første årene ha høyere nåverdi enn de senere årene. For sammensatte tiltak der de enkelte tiltakene har ulik levetid benyttes en vektet levetid (Dokka, 2019a). Om det sammensatte tiltaket består av balansert ventilasjon til 100.000,- kr og etterisolering av yttervegg til 125.000,- kr blir vektet levetid:

$$\frac{100.000 * 15 + 125.000 * 30}{225.000} = 23,33\text{år}$$

En del av lønnsomhetsberegningene var å utføre en følsomhetsanalyse på de gitte resultatene. Ved lønnsomhetsberegninger brukes en del låste verdier som investeringskostnad og kalkulasjonsrente. Disse verdiene er manuelt endret i SIMIEN for å kunne fremskaffe nye resultater. Resultatene som da ble tilgjengelig ble lagt inn i et Google regneark hvor diagrammer ble produsert og gjengitt i kapittel 4.3.3 og 4.4.3.

4. Resultat

I dette kapittelet presenteres resultater for energiberegninger og lønnsomhet. Resultatene vil så diskuteres i neste kapittel. Beregninger på valg av rente og strømkostnad er også inkludert.

Boligene er i utgangspunktet plassert i Trøndelag. Derimot for å få støtte fra ENOVA må kriteriene deres være oppfylt fra et standardisert referansested. I Norge vil dette stedet være Oslo. Denne ordningen er slik for at ulike boliger i landet skal være direkte sammenlignbar med tanke på energibehov.

Internlaster fra belysning, teknisk utstyr, varmtvann og varmetilskudd fra personer er svært avhengig av brukeradferden. For at energiberegninger skal være direkte sammenlignbare benyttes standardverdier fra Norsk Standard, se tabell 4.1 nedenfor:

Tabell 4.1: Internlaster for eneboliger (Standard Norge, 2016).

	Årlig energibruk			Årlig varmetilskudd
	Belysning	Teknisk utstyr	Varmtvann	Personer
[kWh/m ²]	11,4	17,5	25,1	13,1
Varmetilskudd [%]	100	60	0	100

Settpunkttemperaturene som skal benyttes i beregninger for romoppvarming i følge Norsk Standard er på 22°C på dagtid og 20°C på nattetid hver dag hele året (Standard Norge, 2016). Dette er hentet fra tabell A.8 - Normerte driftstider og tabell A.9 - Normerte settpunkttemperaturer.

For hver av de to boligene vil det bli utført energiberegninger for ulike plasseringer i Norge. Resultatet på energiberegningene vil være forskjellige fra sted til sted da værdata er ulik. De respektive stedene med værdata er gitt i tabell 4.2 nedenfor:

Tabell 4.2: Årsmiddeltemperatur, dimensjonerende utetemperatur og frostmengde i normalår for ulike byer i Norge (SINTEF Byggforsk, 2018).

Sted	Årsmiddeltemp [C]	Dimensjonerende utetemperatur (3-dagers) [C]	Frostmengde normalår [C*timer]
Kristiansand	7,5	-19	3000
Bergen	7,8	-12	1000
Oslo	6,1	-19,8	7000
Bodø	4,8	-12,8	3000
Trondheim	5,8	-22	6000
Tromsø	2,7	-14,6	10000

4.1 Valg av rente

Valget av kalkulasjonsrente til bruk i nåverdiberegninger har alltid vært en debatt. En rente er nemlig dynamisk og avhengig av blant hva du låner til, om du sparer, hvem du er og hva styringsrenten er for tiden. Læreboken til faget “TEP4235 - Energibruk i Bygninger” gir følgende ligning til beregning av kalkulasjonsrenten (NTNU og SINTEF, 2007):

$$r = \frac{1}{1+e} \left[\frac{r_n(1-s)-i}{1+i} - e \right] \quad (4.1)$$

der

- i generell inflasjon;
- s skattefradrag;
- e relative prisendringer, f.eks i strømpriser;
- r_n nominell investeringsrente.

For privatøkonomiske investeringer anbefaler kilden å benytte renten r_n lik bankens lånerent eller sparerente avhengig av type prosjekt.

I den nye forskriften for pengepolitikken er regjeringens inflasjonsmål satt til 2.0% fra tidligere 2.5% (Finansdepartementet, 2018). Skattefradraget på gjeldsrenter er i 2019 på 22.0% (Pedersen, 2019). I følge tidligere rapport er relativ pris på olje og elektrisitet marginalt sunket fra 1960 frem til 2002 (Halvorsen, 2012). Relativ økning fra 2012 til 2017 er på ca 3.5% (SSB, 2019c).

For investeringer kan kalkulasjonsrenten beregnes ut fra bankens anbefaling på fremtidig rente. Husbanken anbefaler sine kunder og ikke ta opp lån med mindre de kan betjene det med 30 års nedbetalingstid og 6.25% kalkulasjonsrente (Husbanken, 2019a). Man kan anta med denne renten at usikkerhetstillegget allerede er inkludert. Dette gir følgende kalkulasjonsrente beregnet med ligning 4.1:

$$r = \frac{1}{1+0} \left[\frac{0.0625(1-0.22)-0.02}{1+0.02} - 0 \right] \approx 2.8\% \quad (4.2)$$

For faste årlige besparelser på energikostnader med relativ økning i strømpris på 0 er det bare inflasjon som bestemmer renten. En inflasjonsrente på 2.0% (Finansdepartementet, 2018) kan da benyttes, men i denne masteroppgaven er også 2,8 % benyttet for faste årlige besparelser på energikostnader. Dette valget er tatt for delvis være konservativ og delvis forenkle beregninger med færre valg av ulike kalkulasjonsrenter.

Månedlig kalkulasjonsrente basert på resultatet fra ligning 4.2:

$$r_m = (1 + 0,028)^{1/12} - 1 \approx 0,0023\% \quad (4.3)$$

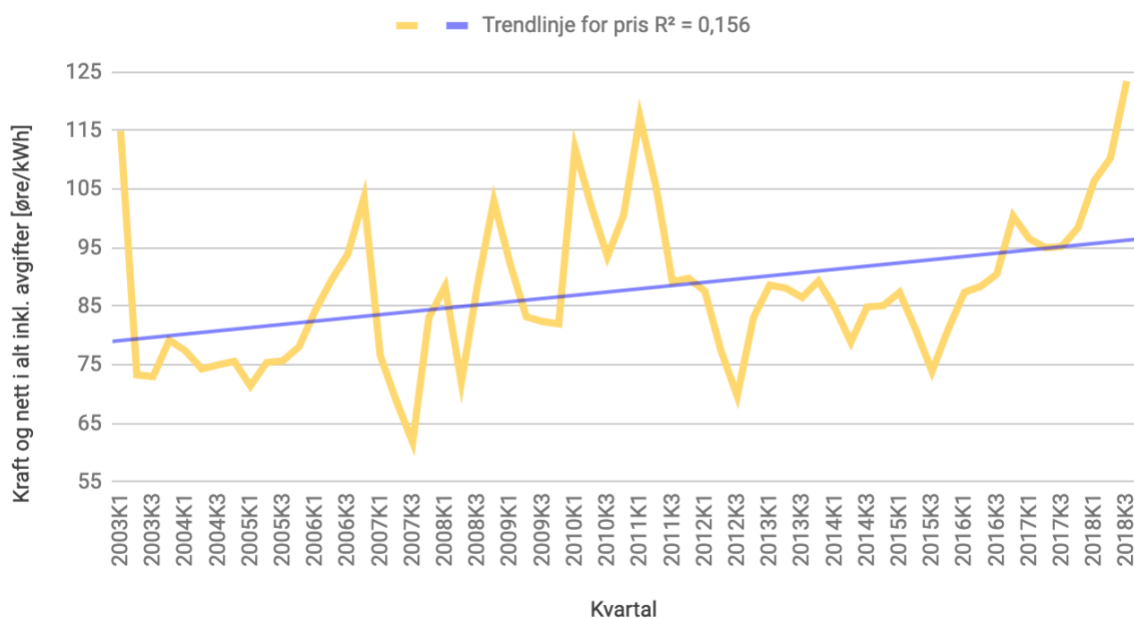
Månedlig kalkulasjonsrente brukes når investeringskostnaden skal betjenes av et lån.

4.2 Strømkostnad

Lønnsomheten for et prosjekt med fokus på energieffektivisering er svært avhengig av kostnaden for elektrisitet. Elektrisitet stod for 79,3% av energibruken i husholdningene i 2012 (SSB, 2014), hvor olje, parafin, ved, kull og koks stod for resten. For energioppgraderingsprosjekter med strøm som varmforsyning vil en høy strømpris øke lønnsomheten på prosjektet.

Kostnaden for elektrisitet er svært sensitiv og varierer med tid på døgnet, årstider og ulike år. Det er et spørsmål om tilbud og etterspørsel, men også politikk. Med en stabil etterspørsel på strøm er det dermed det varierende tilbudet som er den største usikkerheten. Når elektrisitet blir produsert av 93,9 % vannkraft og 3,9 % vindkraft i landet vårt, vil tilgang på vann i magasinene og hvor mye det blåser ha en del å si (SSB, 2019e). Ved å analysere statistikken på strømprisen de siste årene kan man komme fram til følgende diagram i figur 4.1:

09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger



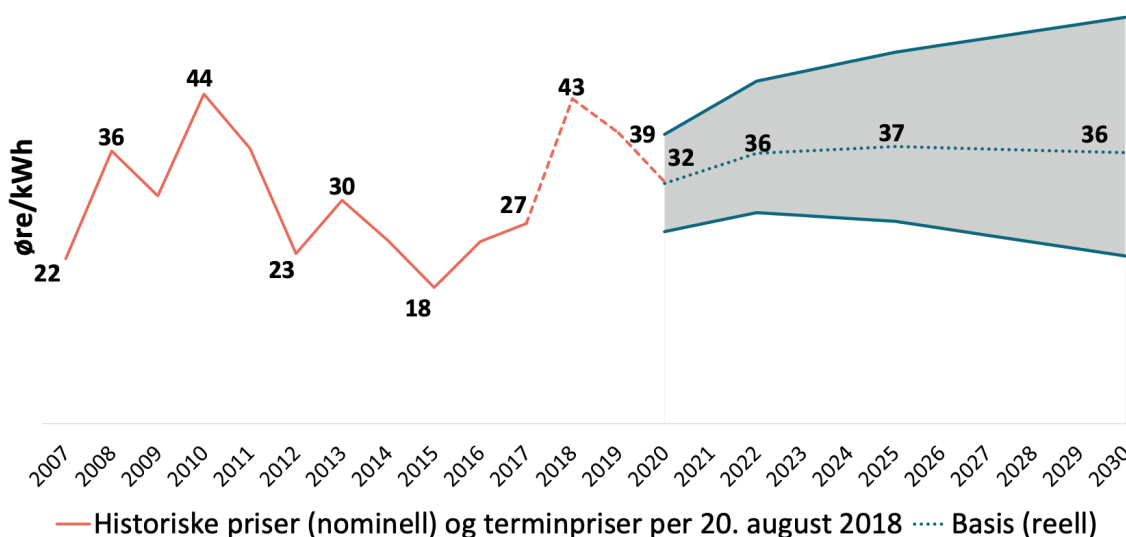
Figur 4.1: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og kvartal (SSB, 2019b) (SSB, 2019d).

Av figur 4.1 kan man altså se at det å fastsette strømkostnaden i fremtiden er svært usikker. En enkel beregning på nåverdi med faste kostnader de neste 30 årene vil få et resultat som er svært avhengig av strømkostnaden. I tillegg når hele landet begynner å få sanntidslesing på strømforbruket vil det åpne for helt nye kostnadsmodeller. Man kan blant annet bli fakturert for når på døgnet man benytter strøm og hvor stor effekt man tar ut.

Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE) utgir en årlig publisering kalt “Kraftmarkedsanalyse” (Bartnes et al., 2018). Denne ser på hvordan det norske kraftsystemet påvirkes av forskjellige utviklingstrekk frem mot 2030. I denne rapporten blir blant annet den norske kraftprisen i fremtiden stipulert, noe som kan ses nedenfor i figur 4.2:

NVEs kraftprisbane

Historikk, terminpriser og kraftpris mot 2030



Figur 4.2: NVEs kraftprisbane mot 2030 viser økende priser fra 32 øre/kWh i 2020 til 36 øre/kWh i 2030. Prisbanen er løftet fra fjorårets analyse, men prisstigningen i analyseperioden er mindre (Bartnes et al., 2018).

Man kan anta at de neste 30 årene har en kraftpris på 36 øre/kWh (Bartnes et al., 2018) + 5 øre/kWh påslag fra strømselger + 15,83 øre/kWh eks.mva forbruksavgift (Stortinget, 2018) + 32,6 øre/kWh nettleie med energiledd og fastpris (Brenna, 2017). Dette gir følgende kostnad på strøm:

$$\text{Strømpris} = 36 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} + 5 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} + 15,83 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} + 32,6 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} = 89,43 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} \text{ eks.mva} \quad (4.4)$$

$$\text{Strømpris} = 89,43 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} \text{ eks.mva} * 1,25 = 111,79 \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} \text{ inkl.mva} \quad (4.5)$$

Vi kan legge merke til fra figur 4.1 at en strømpris på 111,79 øre/kWh korresponderer med hva man betalte i 2018 og hva som ligger i det øvre sjiktet av priser de siste årene.

4.3 Energiberegninger enebolig fra 50-tallet

Eneboligen ble lagt inn i SIMIEN for å kartlegge energibehovet. Verdier fra tabell 2.11 og 2.12 ble benyttet i tillegg til skisser, dør- og vindusskjema og plantegninger fra arkitekt (Langdal, 2018c,d,e). Varmebehovet blir dekt av panelovner og vedovn hvor dekningsgraden til vedovnen er i henhold til tabell 2.6, side 30. Luftmengder fra naturlig ventilasjon er minimumsmengder basert på krav fra TEK17 på $1,20 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \text{h})$ (DiBK, 2019).

4.3.1 Energiberegning før rehabilitering

Resultatene for energiberegningene blir presentert i tabellene nedenfor.

Som man kan se i tabell 4.3 har boligen et spesifikt energibehov på $269,8 \text{ kWh/m}^2$ for Oslo som referansested. Beregninger utført i lokalt klima i Steinkjer ga et spesifikt energibehov på $269,4 \text{ kWh/m}^2$. Resultatene blir så like da værdata på de to stedene er så like. Da andre resultater på energibehov også ga såpass like resultater vil det bli antatt samme energibehov for Oslo og lokalt klima i oppgaven. Dette ble kontinuerlig sjekket gjennom alle energiberegninger. Det anbefales likevel for mer detaljerte studier hvor sommersimulering, vintersimulering og simulering på solcellepanel er i fokus å se på lokalt klima.

Tabell 4.3: Energibudsjettet for 50-talls boligen plassert i Oslo.

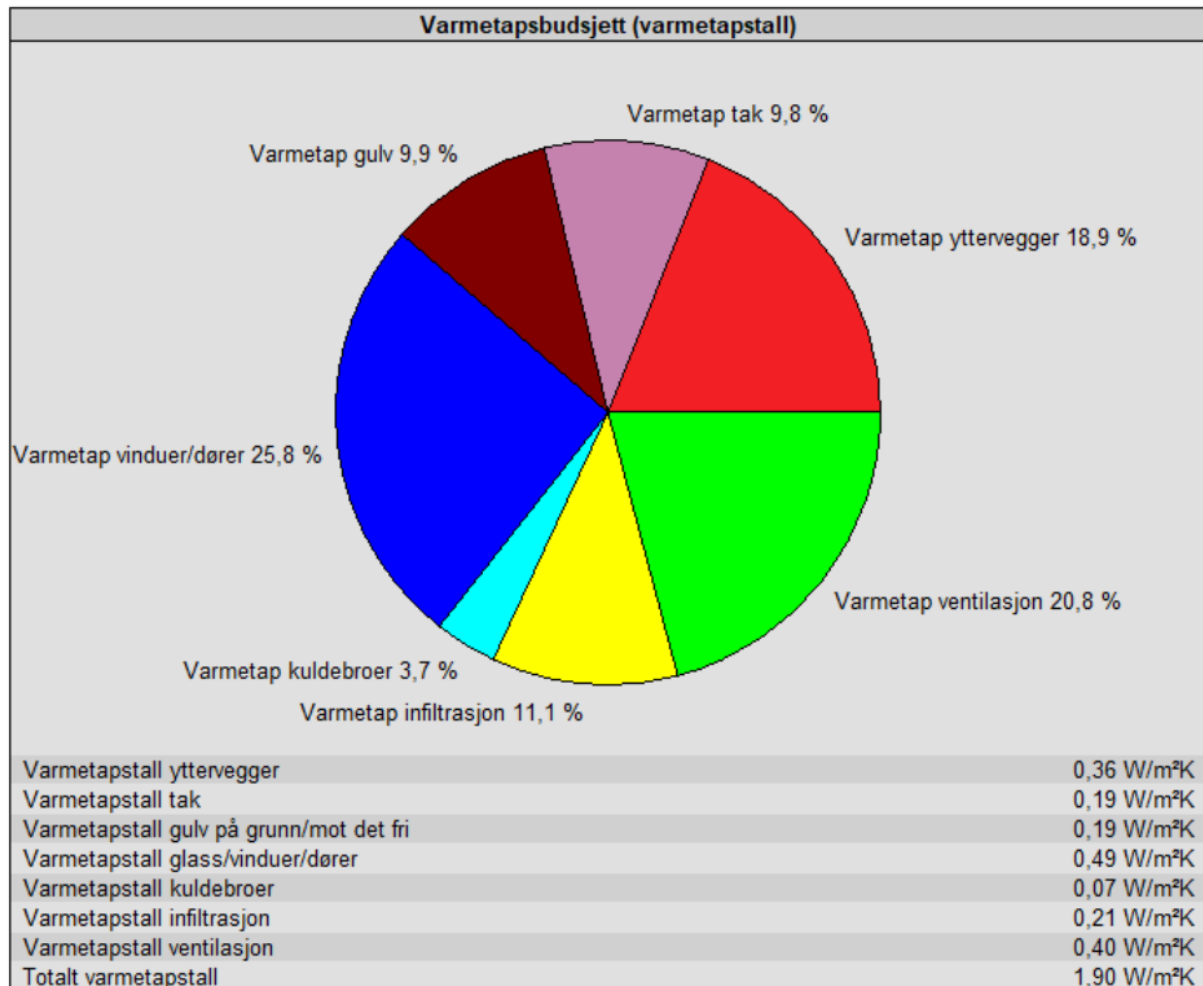
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	37765 kWh	215,8 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	4398 kWh	25,1 kWh/m ²	
3a Vifter	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
4 Belysning	1992 kWh	11,4 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	3066 kWh	17,5 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	47222 kWh	269,8 kWh/m ²	

Også for levert energi til boligen er resultatene for Oslo-klima ($322,6 \text{ kWh/m}^2$) og lokalt klima ($322,1 \text{ kWh/m}^2$) veldig like. Levert energi til boligen vist i tabell 4.4 er høyere enn energibudsjettet gitt i tabell 4.3. Levert energi er avhengig av de installerte varmesystemene og deres systemvirkningsgrader. For eksempel vil vedovner slippe ut varme fra pipen som går tapt, dette reduserer systemvirkningsgraden.

Tabell 4.4: Levert energi for 50-talls boligen plassert i Oslo.

Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi	
1a Direkte el.	40522 kWh	231,6 kWh/m ²	
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
5 Biobrensel	15932 kWh	91,0 kWh/m ²	
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²	
Totalt levert energi, sum 1-7	56454 kWh	322,6 kWh/m ²	
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²	
Netto levert energi	56454 kWh	322,6 kWh/m ²	

Varmetapsbudsjetten i figur 4.3 angir fordelingen på det relative varmetapet på de ulike parameterne. Som det fremkommer av figuren ligger det største varmetapet i dør og vindu, men like bak er varmetap fra naturlig ventilasjon. Naturlig ventilasjon kommer fra ventiler i vegger og vindu. Ingen varmegjenvinning av tilluften ved naturlig ventilasjon fører til store varmetap. Grunnen til høyt varmetap fra dør og vindu er den dårlige U-verdien som finnes.

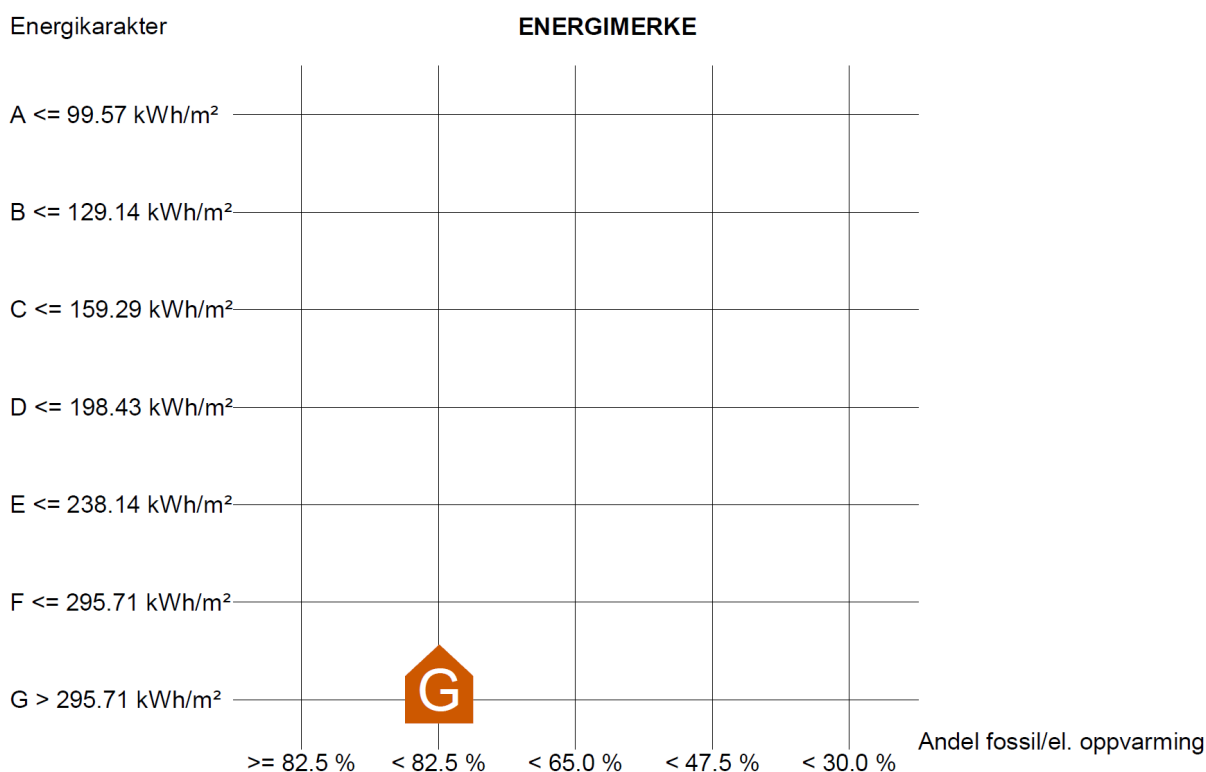


Figur 4.3: Varmetapsbudsjett for 50-talls boligen plassert i Oslo.

Tabell 4.5: Kostnader til kjøpt energi for 50-talls boligen plassert i Oslo.

Kostnad kjøpt energi		
Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	45385 kr	259,3 kr/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kr	0,0 kr/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kr	0,0 kr/m ²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m ²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m ²
4 Fjernvarme	0 kr	0,0 kr/m ²
5 Biobrensel	8763 kr	50,1 kr/m ²
6. Annen energikilde	0 kr	0,0 kr/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kr	-0,0 kr/m ²
Årlige energikostnader, sum 1-7	54147 kr	309,4 kr/m ²
Solstrøm til eksport	0 kr	0,0 kr/m ²
Netto energikostnad	54147 kr	309,4 kr/m ²

Energimerket for boligen gitt i figur 4.4 er en karakter som er lovpålagt å oppgi ved salg av enebolig i Norge. Det er også krav fra ENOVA at oppvarmingskarakteren skal være bedre enn rød for å få støtte til oppgradering av bygningskroppen. Korrespondanse med en utvikler av SIMIEN forteller at det er en rekke låste verdier ved beregning av energimerke som gjør at resultatet vil bli forskjellig fra tabell 4.3 (Dokka, 2019c). De låste verdiene er basert på tillegg A i NS3031:2014.



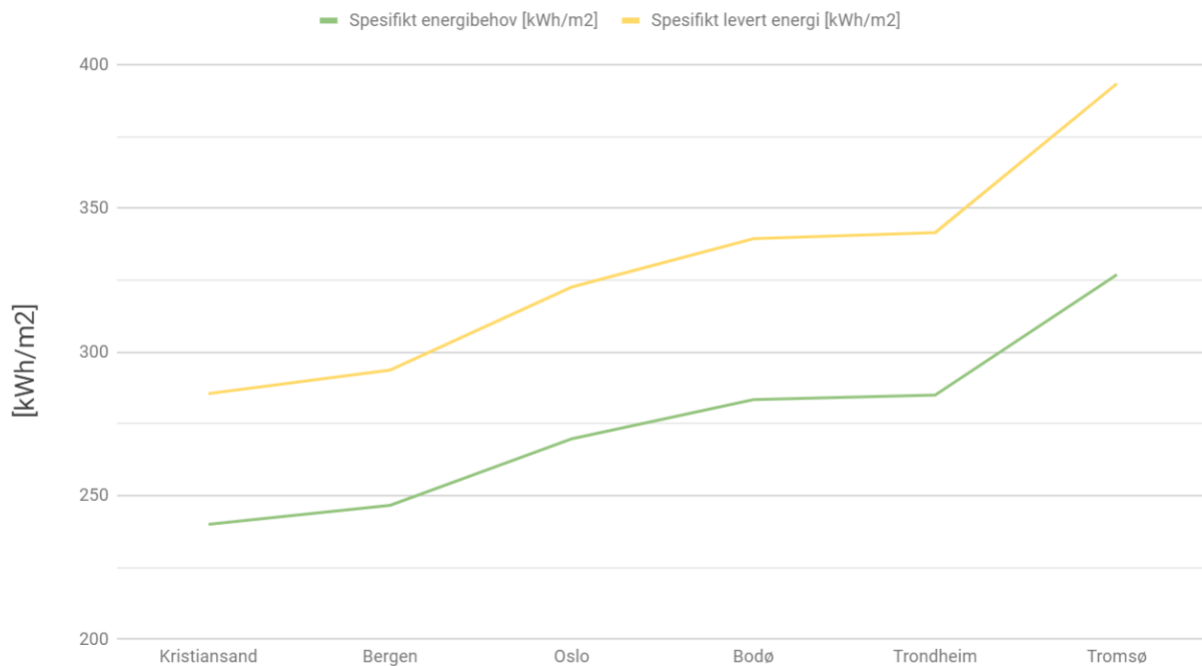
Beregnet levert energi normalisert klima: 308.73 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 76.5 %

Figur 4.4: Energimerket for 50-talls boligen plassert i Oslo.

Tabell 4.6: Energibehov for 50-talls boligen plassert i ulike byer i Norge.

	Kristiansand	Bergen	Oslo	Bodø	Trondheim	Tromsø
Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	240	247	270	283	285	327
Spesifikt levert energi [kWh/m ²]	286	294	323	339	342	393

Energibehov for 50-talls boligen ved ulike byer i Norge



Figur 4.5: Energibehov for 50-talls boligen plassert i ulike byer i Norge fra tabell 4.6.

4.3.2 Energiberegning etter ulike tiltak på energieffektivisering

I tabell 4.7 nedenfor er nåverdiberegninger utført for de ulike tiltakene uavhengig av hverandre i SIMIEN.

Tabell 4.7: Nåverdberegning på ulike tiltak for energieffektivisering av 50-talls boligen. Benyttet rente er 2,8 % i henhold til ligning 4.2 side 56. En positiv nåverdi angir at tiltaket er lønnsomt.

Økonomiske verdier				
Tiltak	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Balansert ventilasjon	-67766 kr	0.33	1000.0 år	-11.6 %
50mm utlektet isolasjon yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	61228 kr	1.54	16.5 år	6.5 %
100 mm utlektet isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	76329 kr	1.59	15.9 år	6.8 %
100mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	65134 kr	1.40	18.6 år	5.6 %
150mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	55908 kr	1.29	20.7 år	4.8 %
200mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	50538 kr	1.24	22.0 år	4.5 %
300mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	15254 kr	1.06	27.5 år	3.2 %
Dør og vindu inkl. montering og tetting	5013 kr	1.03	28.7 år	3.0 %
200mm blåseull kjellerbjelkelag	18736 kr	1.79	13.7 år	8.0 %
150mm blåseull kaldloft	13843 kr	1.77	13.8 år	7.9 %
200mm blåseull kaldloft	21382 kr	1.91	12.7 år	8.7 %
300mm blåseull kaldloft	27997 kr	1.82	13.4 år	8.1 %
400mm blåseull kaldloft	26002 kr	1.57	16.1 år	6.6 %
Luft til luft varmepumpe	76773 kr	4.07	3.1 år	33.1 %
Vindsperre + 200 mm kjeller + 300 mm kaldloft + varmepumpe	214655 kr	3.15	6.4 år	16.9 %

Tabell 4.8: Årlige besparelser (ink.mva) på ulike tiltak for energieffektivisering av 50-talls boligen. Beløpet er basert på kostnader på strøm og vedfyring angitt fra ligning 4.5 side 58 og tabell 2.6 side 30.

Årlige besparelser			
Tiltak	Energi	Beløp	CO ₂ -utslipp
Balansert ventilasjon	3831 kWh	3203 kr	307 kg
50mm utlektet isolasjon yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	9360 kWh	8671 kr	899 kg
100 mm utlektet isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	11054 kWh	10241 kr	1062 kg
100mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	12158 kWh	11264 kr	1168 kg
150mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	13259 kWh	12284 kr	1273 kg
200mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	14073 kWh	13038 kr	1352 kg
300mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	14878 kWh	13783 kr	1429 kg
Dør og vindu inkl. montering og tetting	9756 kWh	9038 kr	937 kg
200mm blåseull kjellerbjelkelag	2275 kWh	2108 kr	219 kg
150mm blåseull kaldloft	1702 kWh	1577 kr	163 kg
200mm blåseull kaldloft	2413 kWh	2236 kr	232 kg
300mm blåseull kaldloft	3341 kWh	3095 kr	321 kg
400mm blåseull kaldloft	3847 kWh	3564 kr	369 kg
Luft til luft varmepumpe	7502 kWh	8402 kr	975 kg
Vindsperre + 200 mm kjeller + 300 mm kaldloft + varmepumpe	17376 kWh	17186 kr	1860 kg

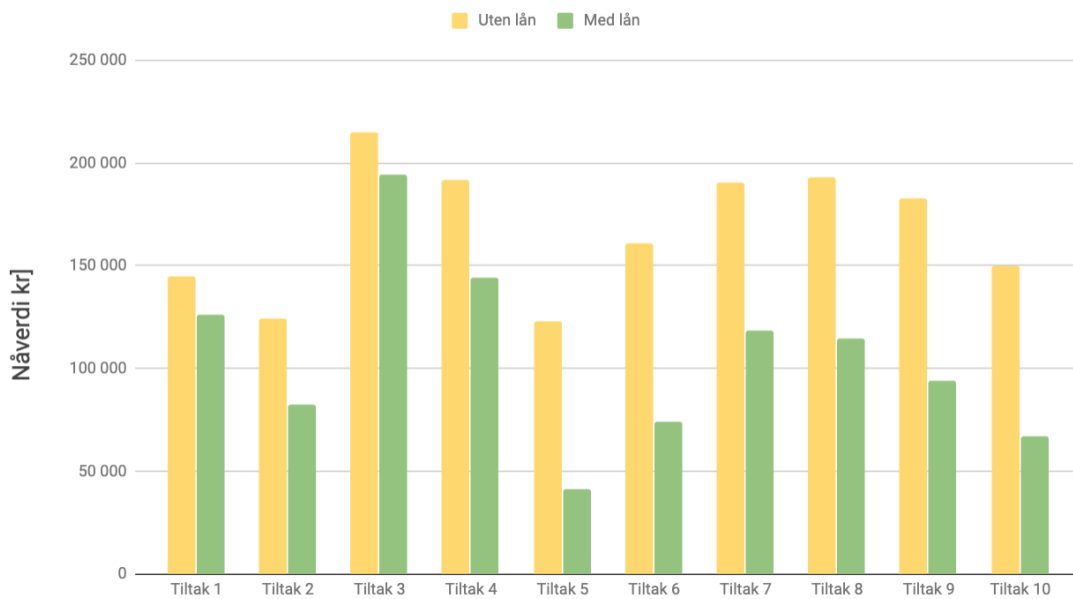
Tabell 4.9: Kostnader (ink.mva) for investering, levetid og endring i vedlikeholdsutgifter for de ulike tiltakene. Kostnad fra balansert ventilasjon er hva byggherre selv betalte inkludert 15.000,- kr i ENOVA støtte.

Sammendrag inndata tiltak			
Tiltak	Investering	Levetid	Vedlikehold
Balansert ventilasjon (under vurdering)	100503 kr	15 år	500 kr/år
50mm utlektet isolasjon yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	113215 kr	30 år	0 kr/år
100 mm utlektet isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	129680 kr	30 år	0 kr/år
100mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	161456 kr	30 år	0 kr/år
150mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	191200 kr	30 år	0 kr/år
200mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	211740 kr	30 år	0 kr/år
300mm Rockwool RedAir yttervegg m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m2 (under vurdering)	262024 kr	30 år	0 kr/år
Dør og vindu inkl. montering og tetting (under vurdering)	176799 kr	30 år	0 kr/år
200mm blåseull kjellerbjelkelag (under vurdering)	23666 kr	30 år	0 kr/år
150mm blåseull kaldloft (under vurdering)	17875 kr	30 år	0 kr/år
200mm blåseull kaldloft (under vurdering)	23595 kr	30 år	0 kr/år
300mm blåseull kaldloft (under vurdering)	34265 kr	30 år	0 kr/år
400mm blåseull kaldloft (under vurdering)	45687 kr	30 år	0 kr/år
Luft til luft varmepumpe (under vurdering)	25000 kr	15 år	0 kr/år
Vindsperre + 200 mm kjeller + 300 mm kaldloft + varmepumpe (under vurdering)	99767 kr	26 år	0 kr/år

Tabell 4.10: Lønnsomhetsanalyse på sammensatte tiltak for 50-talls boligen plassert i Oslo. Tiltakene er sortert ut fra energibesparelse. Kostnadene er sammensatt fra tabell 4.9. Tiltak 7 og 8 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 3 oppgradering av bygningskroppen fra ENOVA. Tiltak 9 og 10 oppnår støtte for balansert ventilasjon og nivå 2. Nåverdien er basert på en vektet levetid og kalkulasjonsrente 2,8 % for energibesparelse og full egenkapital for investering. Årlig netto energibehov og totalt varmetapstall er målparametere for å oppnå støtte fra ENOVA til oppgradering av bygningskroppen (ENOVA, 2019a). Alle tiltak har oppvarmingskarakter bedre enn rød. Den alternative nåverdien baserer seg på at investeringen er et lån på 15 år med årlig kalkulasjonsrente på 2,8 %. Eksempel på beregninger i tabellen kan studeres i vedlegg A.

Tiltak 50-talls bolig		Kostnad inkl.mva [kr] inkl. ENOVA støtte	Nåverdi [kr]	Avkastning	Inntjeningstid [år]	Energibesparelse [kWh]	Beløp [kr]	Nåverdi med 15 år lån på investering [kr]	Årlig netto energibehov [kWh/m ²]	Totalt varmetapstall [W/m ² K]	Vektet levetid
1	200 mm blåseull kjellerbjelkelag	83 000	145 000	1,7	7,4	12 200	12 600	126 000	243,8	1,72	25
	300 mm blåseull kaldloft										
	Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
2	200 mm blåseull kjellerbjelkelag	188 000	124 000	0,7	15	16 700	15 500	82 000	192,9	1,35	30
	300 mm blåseull kaldloft										
	100 mm utlekket isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²										
3	Vindsperre + 200mm kjeller + 300mm kaldloft + varmepumpe	100 000	215 000	2,2	6,4	17 400	17 200	194 000	215,8	1,51	26
4	200 mm blåseull kjellerbjelkelag	213 000	192 000	0,9	12,1	21 600	20 900	144 000	192,9	1,35	28
	300 mm blåseull kaldloft										
	100 mm utlekket isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²										
5	Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad	365 000	123 000	0,3	19,8	26 100	24 200	41 000	149,6	1,02	30
	200 mm blåseull kjellerbjelkelag										
	300 mm blåseull kaldloft										
6	100 mm utlekket isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²	390 000	161 000	0,4	17,9	29 500	27 900	73 000	149,6	1,02	29
	Dør og vindu										
	Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
7	200 mm blåseull kjellerbjelkelag	366 000	191 000	0,5	14,8	33 700	31 000	118 000	115,6	0,73	26
	300 mm blåseull kaldloft										
	100 mm utlekket isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²										
8	Dør og vindu	391 000	193 000	0,5	14,8	35 600	33 100	114 000	115,6	0,73	25
	Balansert ventilasjon										
	Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
9	200 mm blåseull kjellerbjelkelag	447 000	183 000	0,4	16,2	37 900	35 200	94 000	103	0,63	26
	300 mm blåseull kaldloft										
	200 mm Rockwool RedAir m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000kr/m ²										
10	Dør og vindu	480 000	150 000	0,3	18,3	38 500	35 700	68 000	99,7	0,6	26
	Balansert ventilasjon										
	Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										

Nåverdi på tiltak med og uten lån for 50-talls boligen



Figur 4.6: Nåverdi med og uten lån for de sammensatte tiltakene fra tabell 4.10.

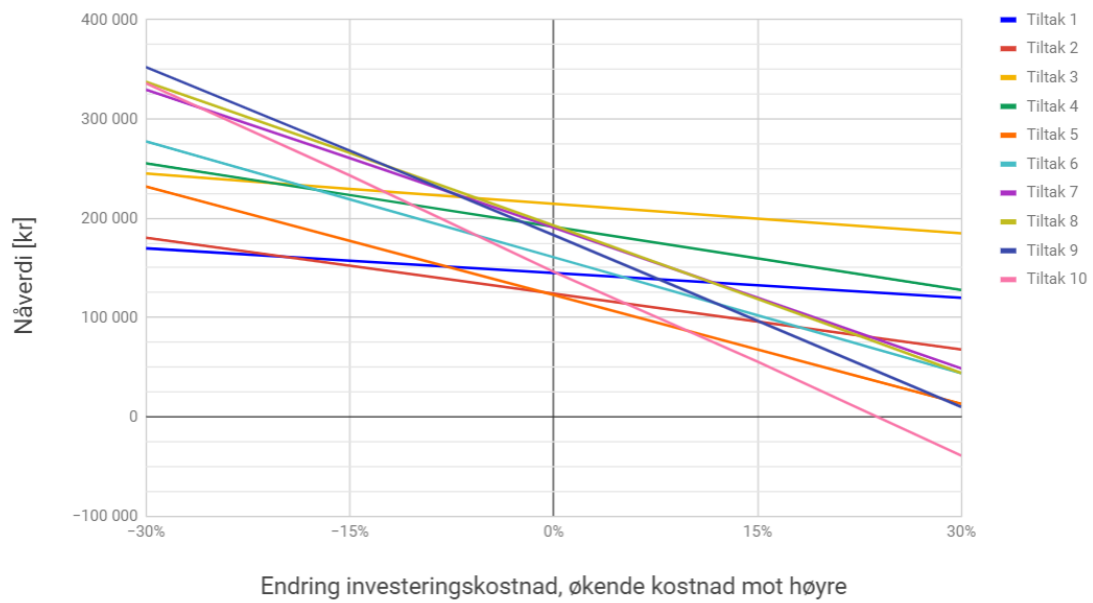
Tabell 4.11: Tabellen viser for hvert tiltak nåverdi dividert på investeringskostnad (avkastning) inkludert støtte fra ENOVA hvor verdier er tatt fra tabell 4.10. Et høyere tall angir at man får mer igjen for investeringen enn et lavt tall.

	Tiltak 1	Tiltak 2	Tiltak 3	Tiltak 4	Tiltak 5	Tiltak 6	Tiltak 7	Tiltak 8	Tiltak 9	Tiltak 10
Nåverdi uten lån / investeringskostnad	1,75	0,66	2,15	0,90	0,34	0,41	0,52	0,49	0,41	0,31
Nåverdi med lån / investeringskostnad	1,52	0,44	1,95	0,68	0,11	0,19	0,32	0,29	0,21	0,14
Nåverdi med lån / nåverdi uten lån	0,87	0,66	1,10	0,75	0,34	0,46	0,62	0,60	0,51	0,45

4.3.3 Følsomhetsanalyse energiberegninger enebolig fra 50-tallet

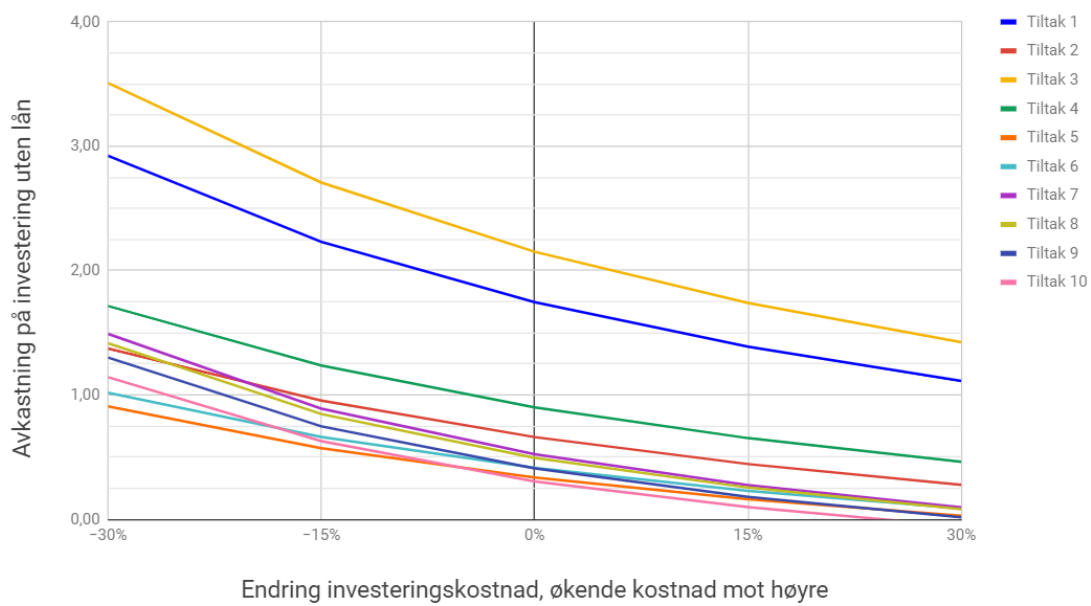
I figurene nedenfor er det gjengitt en følsomhetsanalyse som funksjon av investeringskostnad, kalkulasjonsrente og sted. Investeringskostnaden på tiltakene er antatt som egenkapital og ikke belånt. Der hvor ikke annet er nevnt er det brukt samme låste verdier som i tabell 4.10.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 50-talls bolig



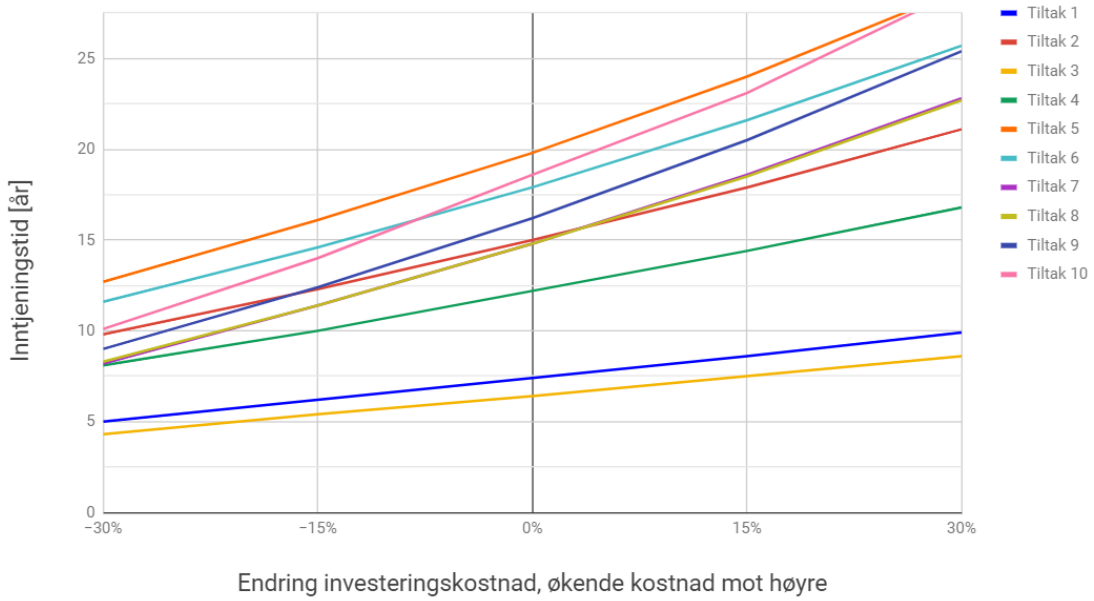
Figur 4.7: Nåverdi som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 50-talls bolig



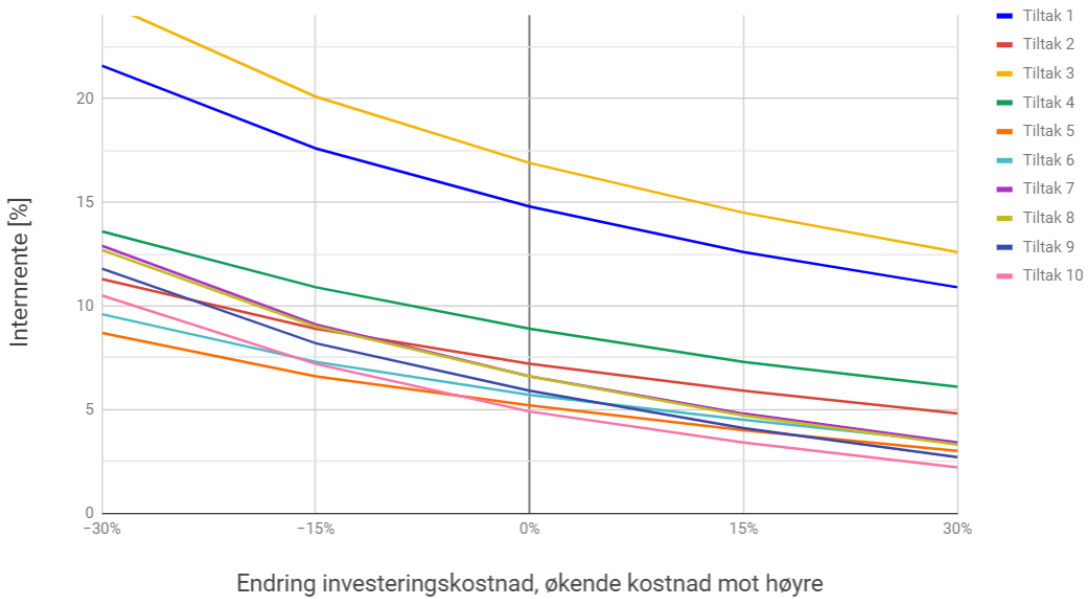
Figur 4.8: Avkastning som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 50-talls bolig



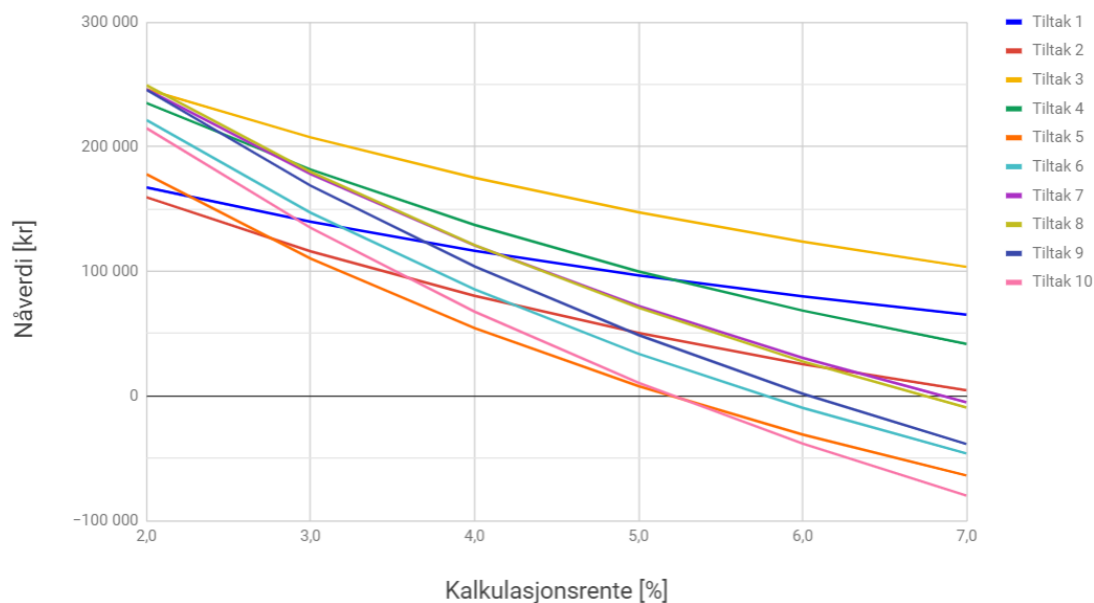
Figur 4.9: Inntjeningsstid som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 50-talls bolig



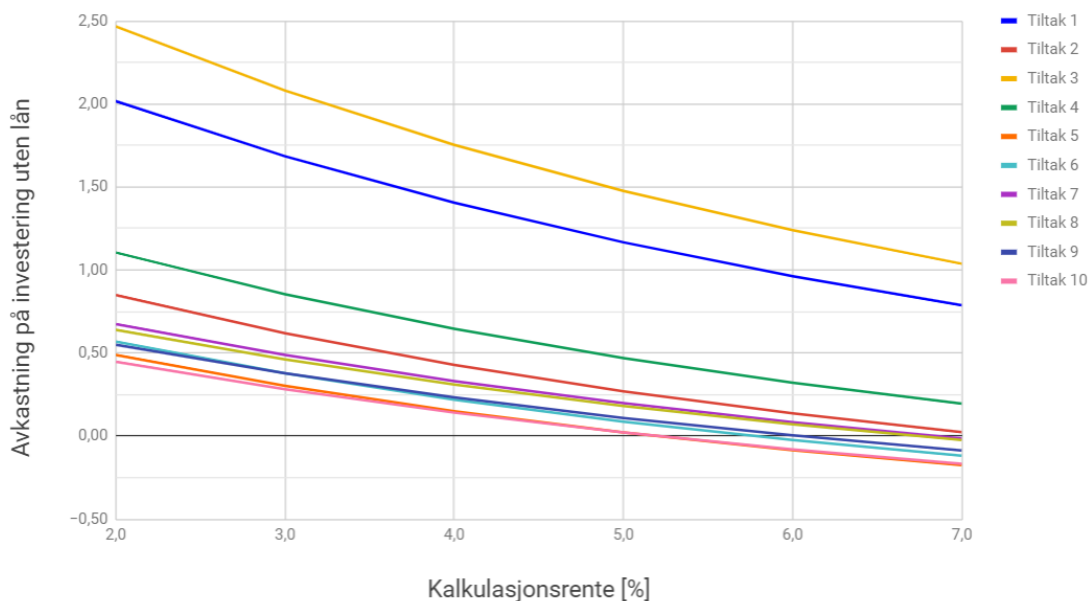
Figur 4.10: Internrente som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 50-talls bolig



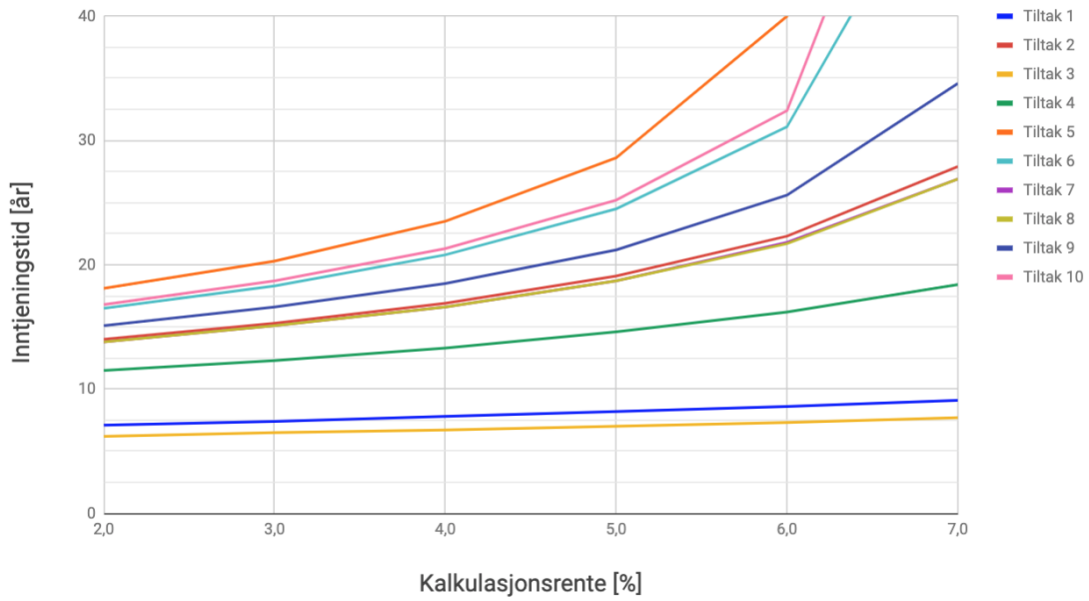
Figur 4.11: Nåverdi som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 50-talls bolig



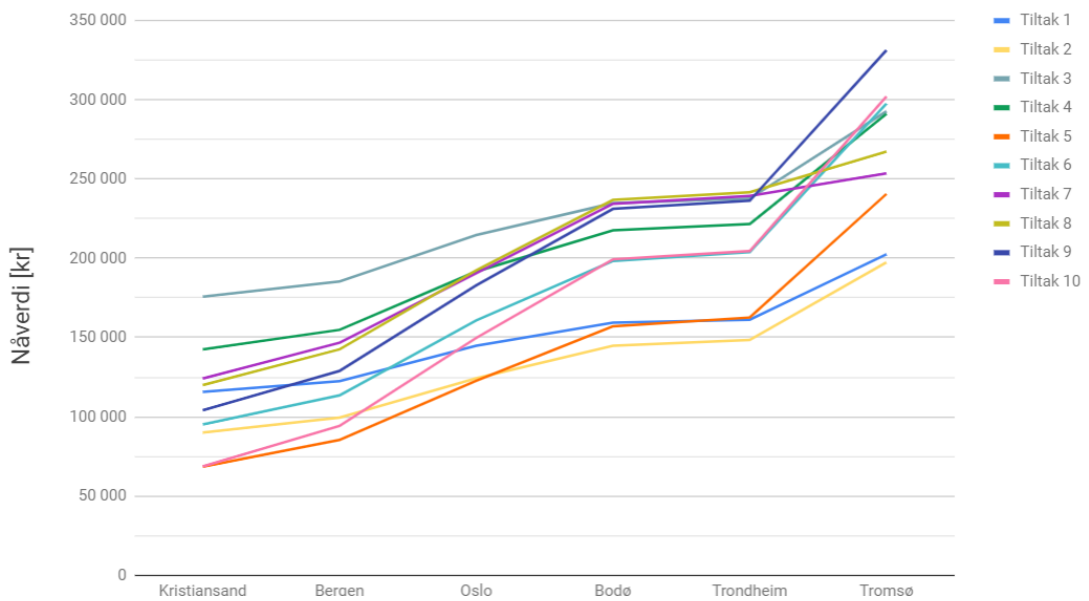
Figur 4.12: Avkastning som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 50-talls bolig



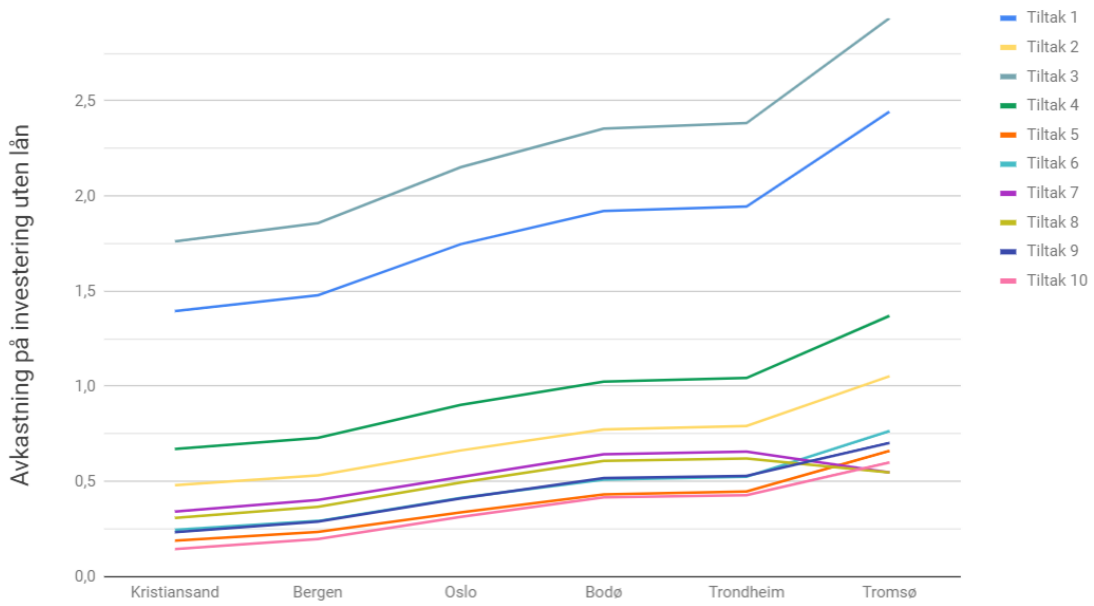
Figur 4.13: Inntjeningstid som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.10. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse plassering av 50-talls bolig i Norge



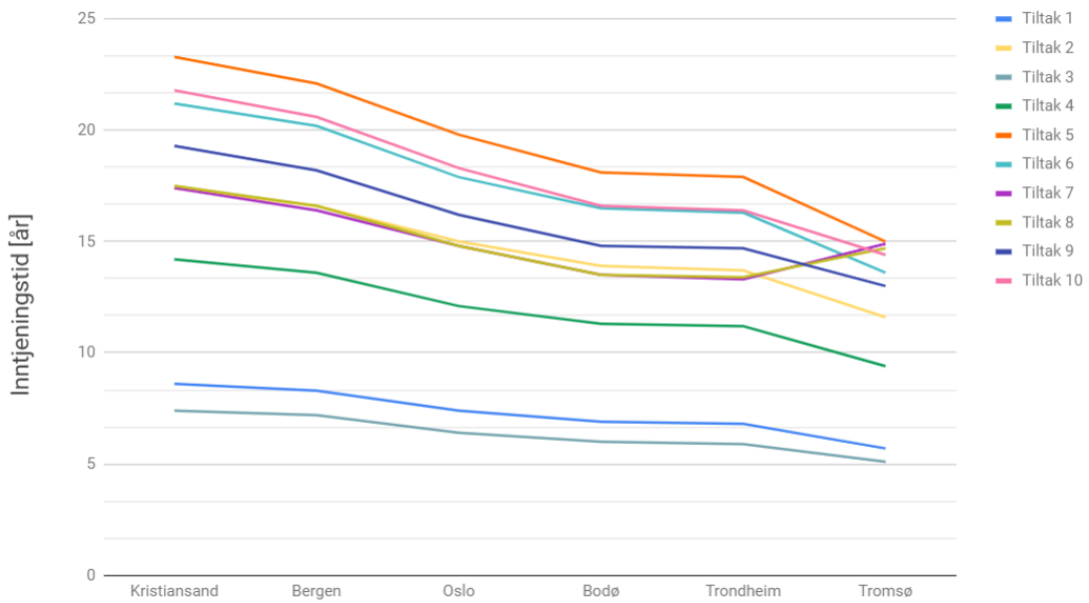
Figur 4.14: Nåverdi som funksjon av sted.

Følsomhetsanalyse plassering av 50-talls bolig i Norge

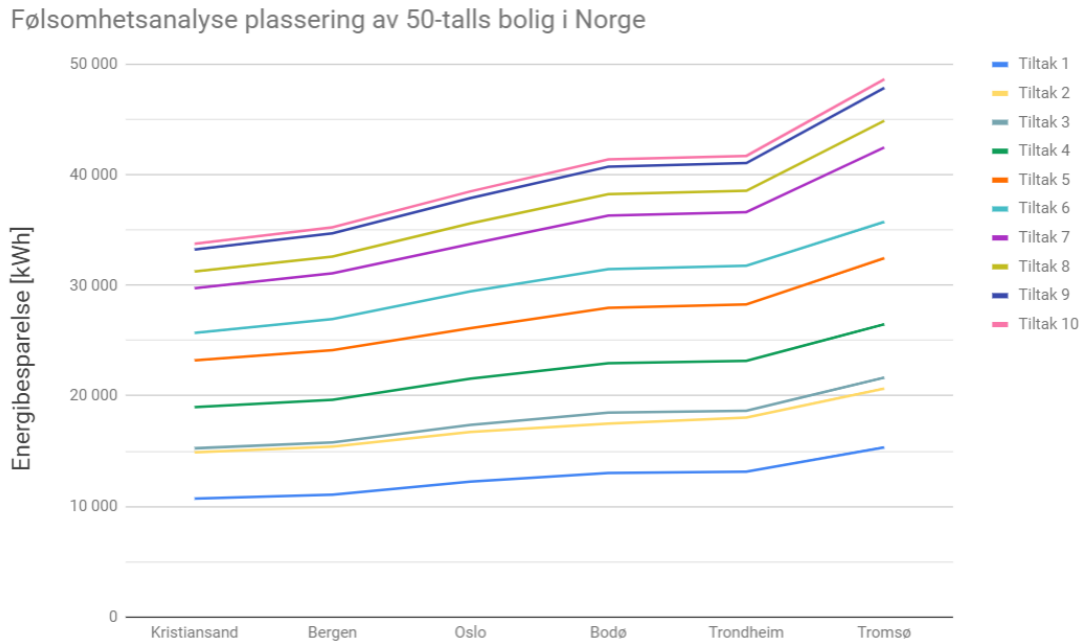


Figur 4.15: Avkastning som funksjon av sted.

Følsomhetsanalyse plassering av 50-talls bolig i Norge



Figur 4.16: Inntjeningsstid som funksjon av sted.



Figur 4.17: Energibesparelse som funksjon av sted.

4.4 Energiberegninger enebolig fra 80-tallet

Eneboligen fra 80-tallet ble lagt inn i SIMIEN for å kartlegge energibehovet. Mål og arealer ble tatt fra plantegninger og regneark (Vågen, 2018c,a). Varmebehovet blir dekt av panelovner, varmekabler og vedovn hvor dekningsgraden til vedovnen er i henhold til tabell 2.6, side 30. Luftmengder fra naturlig ventilasjon er minimumsmengder basert på krav fra TEK17 (DiBK, 2019) på $1,20\text{m}^3/(m^2h)$. Det er ikke installert balansert ventilasjon før rehabiliteringen.

4.4.1 Energiberegning før rehabilitering

Resultatene for energiberegningene blir presentert i tabellene nedenfor.

80-talls boligen er i likhet med 50-talls boligen plassert i Trøndelag, Steinkjer. Resultatet fra energiberegninger ga også her relativt like resultater mellom Steinkjer og Oslo. Som man kan se i tabell 4.12 er netto energibehov $214,1\text{ kWh}/m^2$ for boligen plassert i Oslo og $213,5\text{ kWh}/m^2$ for boligen plassert i Steinkjer.

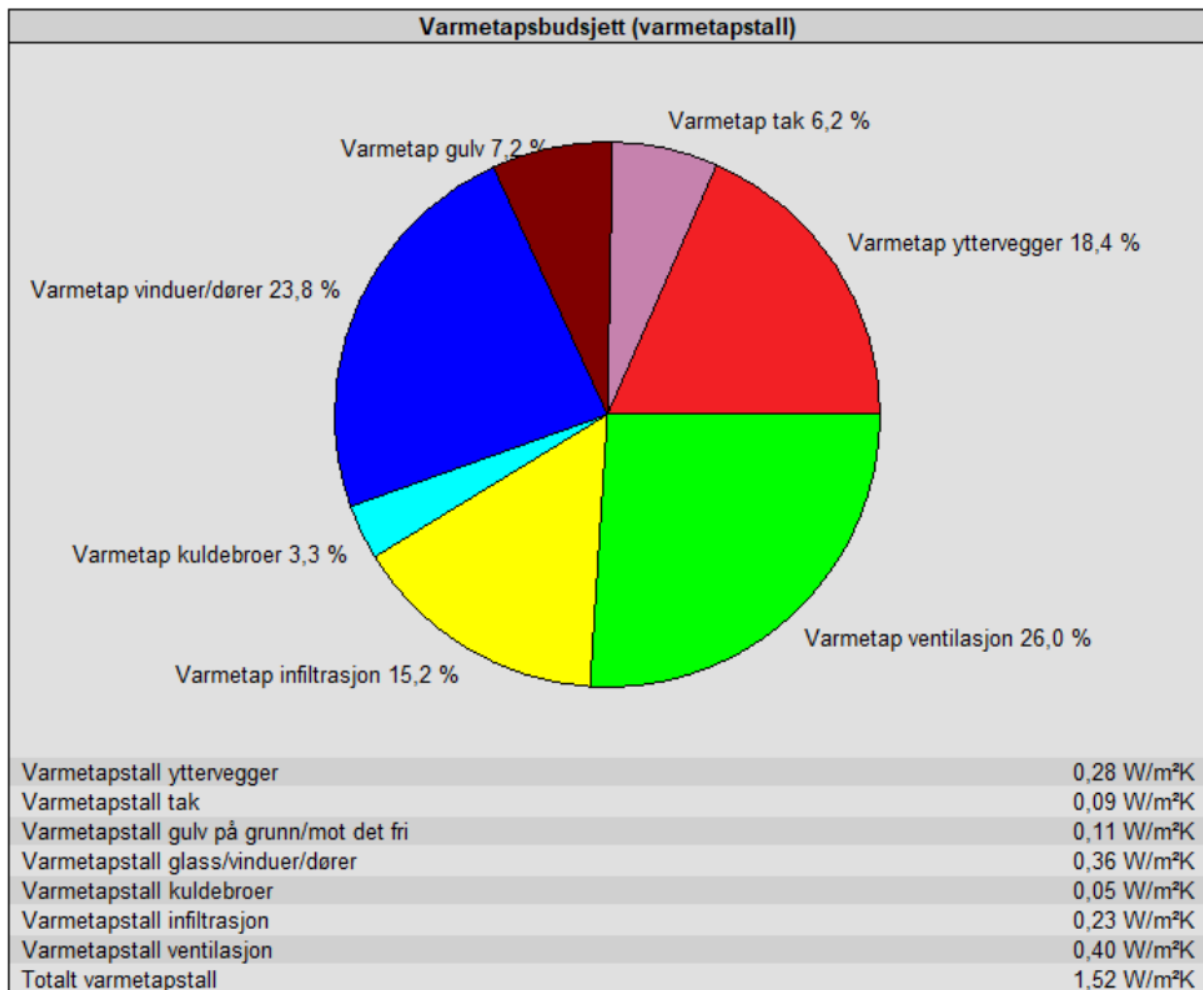
Tabell 4.12: Energibudsjettet for 80-talls boligen plassert i Oslo.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	29522 kWh	160,0 kWh/m ²
1b Ventilasjonvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4641 kWh	25,2 kWh/m ²
3a Vifter	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning	2102 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	3233 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	39498 kWh	214,1 kWh/m ²

Lvert energi for 80-talls boligen vist i tabell 4.13 er høyere enn energibudsjett fra tabell 4.12 pga tap i varmesystemene.

Tabell 4.13: Lvert energi for 80-talls boligen plassert i Oslo.

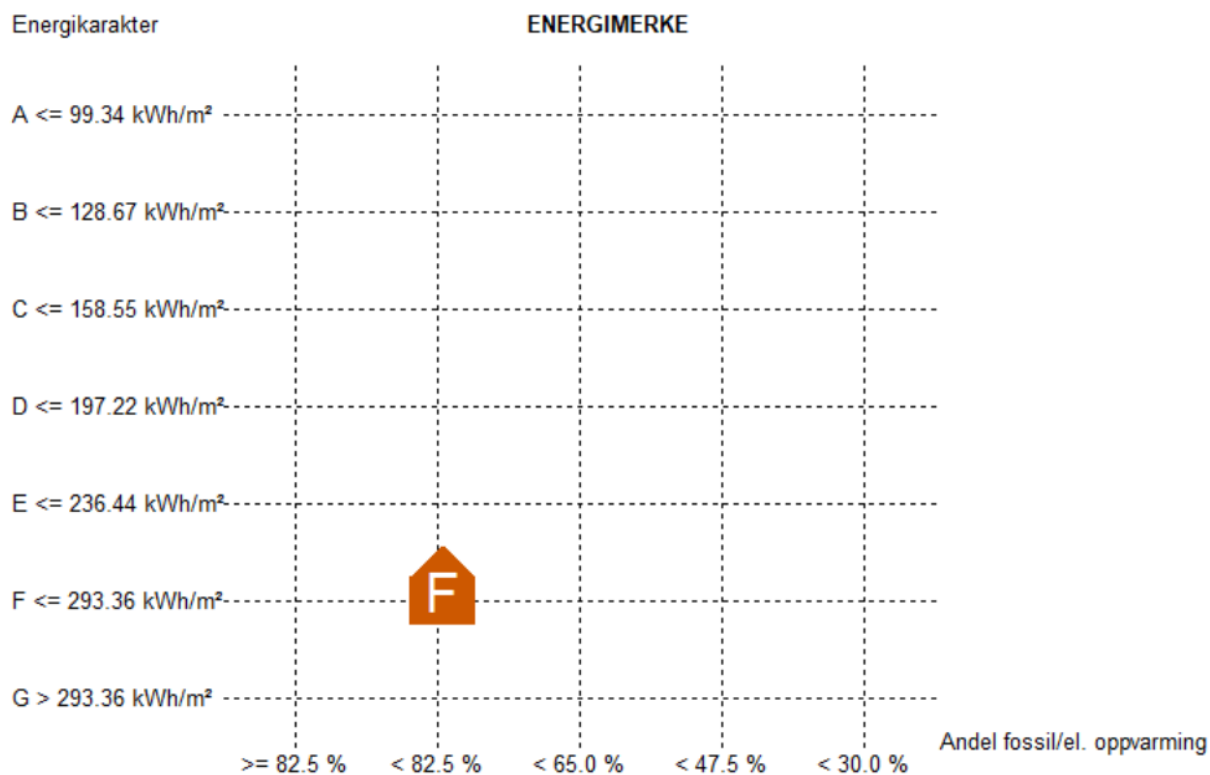
Lvert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Lvert energi	Spesifikk lvert energi
1a Direkte el.	34286 kWh	185,8 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	12455 kWh	67,5 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt lvert energi, sum 1-7	46740 kWh	253,3 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto lvert energi	46740 kWh	253,3 kWh/m ²



Figur 4.18: Varmetapsbudsjett for 80-talls boligen plassert i Oslo.

Tabell 4.14: Kostnader på kjøpt energi for 80-talls boligen plassert i Oslo.

Energivare	Kostnad kjøpt energi	
	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	38400 kr	208,1 kr/m ²
1b El. til varmepumpesystem	0 kr	0,0 kr/m ²
1c El. til solfangersystem	0 kr	0,0 kr/m ²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m ²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m ²
4 Fjernvarme	0 kr	0,0 kr/m ²
5 Biobrensel	6850 kr	37,1 kr/m ²
6. Annen energikilde	0 kr	0,0 kr/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kr	-0,0 kr/m ²
Årlige energikostnader, sum 1-7	45250 kr	245,3 kr/m ²
Solstrøm til eksport	0 kr	0,0 kr/m ²
Netto energikostnad	45250 kr	245,3 kr/m ²



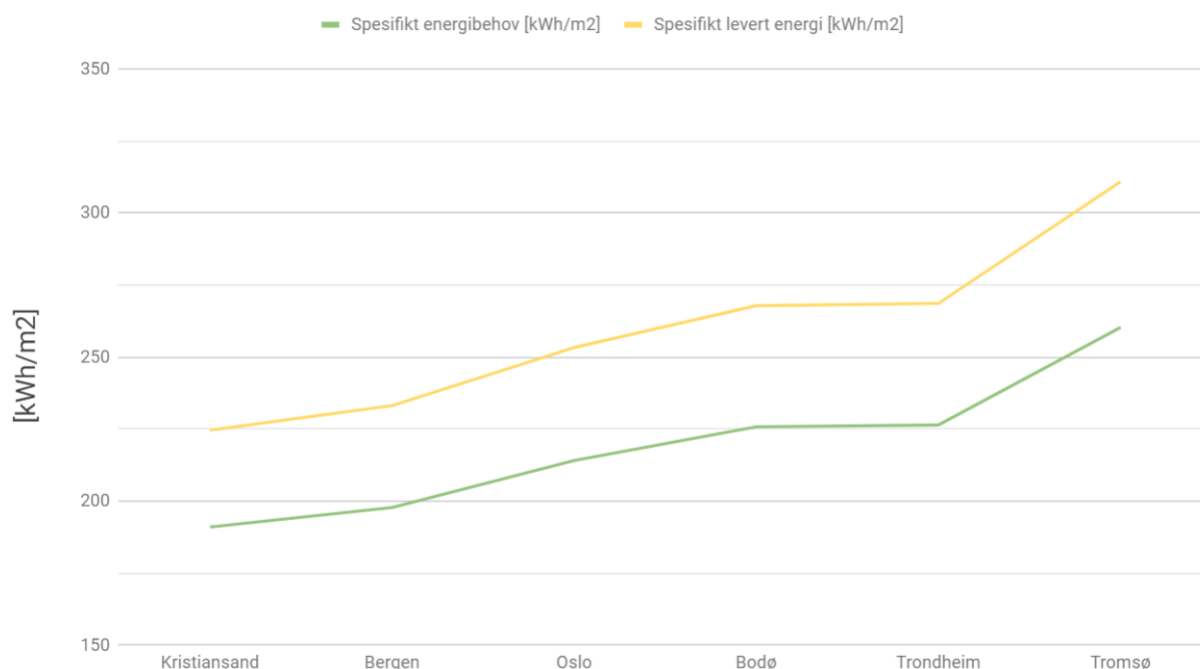
Beregnet levert energi normalisert klima: 243.16 kWh/m²
 Sum andel el/olje/gass av netto oppvarmingsbehov: 77.5 %

Figur 4.19: Energimerket for 80-talls boligen plassert i Oslo.

Tabell 4.15: Energibehov for 80-talls boligen plassert i ulike byer i Norge.

	Kristiansand	Bergen	Oslo	Bodø	Trondheim	Tromsø
Spesifikt energibehov [kWh/m ²]	191	198	214	226	226	260
Spesifikt levert energi [kWh/m ²]	225	233	253	268	269	311

Energibehov for 50-talls boligen ved ulike byer i Norge



Figur 4.20: Energibehov for 80-talls boligen plassert i ulike byer i Norge fra tabell 4.15.

4.4.2 Energeberegning etter ulike tiltak på energieffektivisering

Tabell 4.16: Nåverdiberegning på ulike tiltak for energieffektivisering. Benyttet rente er 2,8 % i henhold til ligning 4.2 side 56. En positiv nåverdi angir at tiltaket er lønnsomt. Tiltak ny vindspærre + dør og vindu + balansert ventilasjon inkluderer 115.000,- kr i støtte fra ENOVA.

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Interntrente
Yttervegg 50 mm utlektet isolasjon m vindspærre	81058 kr	2.36	9.9 år	11.3 %
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindspærre	92087 kr	2.42	9.6 år	11.6 %
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindspærre + 80mm EPS + puss grunnmur	65001 kr	1.58	16.0 år	6.7 %
Yttervegg 100 mm RedAir Flex	78994 kr	1.94	12.4 år	8.9 %
Yttervegg 150 mm RedAir Flex	72481 kr	1.73	14.2 år	7.7 %
Yttervegg 200 mm RedAir Flex	68152 kr	1.63	15.4 år	7.0 %
Yttervegg 200 mm RedAir Flex + 80 mm EPS + puss grunnmur	40835 kr	1.26	21.4 år	4.6 %
Grunnmur 50 mm EPS + puss	-29171 kr	0.30	1000.0 år	-4.6 %
Grunnmur 50 mm EPS	-5788 kr	0.68	64.9 år	0.1 %
Grunnmur 80 mm EPS + puss	-30353 kr	0.36	1000.0 år	-3.6 %
Grunnmur 80 mm EPS	-6628 kr	0.72	55.1 år	0.5 %
Dør og vindu	-11458 kr	0.92	34.2 år	2.2 %
Ny vindspærre + dør og vindu + balansert ventilasjon	164811 kr	2.22	8.0 år	13.0 %
Blåseull 150 mm kott loftetasje	127 kr	1.01	29.5 år	2.8 %
Blåseull 200 mm kott loftetasje	-1675 kr	0.89	36.4 år	1.9 %
Blåseull 300 mm kott loftetasje	-5648 kr	0.74	51.5 år	0.6 %
Varmepumpe	54513 kr	3.18	4.1 år	25.3 %
Balansert ventilasjon	-40962 kr	0.49	43.2 år	-5.8 %

Tabell 4.17: Årlige besparelser på ulike tiltak for energieffektivisering. Beløpet er basert på kostnader på strøm og vedfyring angitt fra ligning 4.5 side 58 og tabell 2.6 side 30.

Årlige besparelser			
Tiltak	Energi	Beløp	CO2-utslipp
Yttervegg 50 mm utlektet isolasjon m vindsperre	7539 kWh	6984 kr	724 kg
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindsperre	8424 kWh	7804 kr	809 kg
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindsperre + 80mm EPS + puss grunnmur	9527 kWh	8826 kr	915 kg
Yttervegg 100 mm RedAir Flex	8739 kWh	8095 kr	839 kg
Yttervegg 150 mm RedAir Flex	9184 kWh	8508 kr	882 kg
Yttervegg 200 mm RedAir Flex	9478 kWh	8780 kr	910 kg
Yttervegg 200 mm RedAir Flex + 80 mm EPS + puss grunnmur	10568 kWh	9791 kr	1015 kg
Grunnmur 50 mm EPS + puss	675 kWh	625 kr	65 kg
Grunnmur 50 mm EPS	647 kWh	599 kr	62 kg
Grunnmur 80 mm EPS + puss	928 kWh	859 kr	89 kg
Grunnmur 80 mm EPS	919 kWh	851 kr	88 kg
Dør og vindu	7273 kWh	6738 kr	698 kg
Ny vindsperre + dør og vindu + balansert ventilasjon	20757 kWh	19064 kr	1964 kg
Blåseull 150 mm kott loftetasje	621 kWh	575 kr	60 kg
Blåseull 200 mm kott loftetasje	720 kWh	667 kr	69 kg
Blåseull 300 mm kott loftetasje	874 kWh	809 kr	84 kg
Varmepumpe	5861 kWh	6565 kr	762 kg
Balansert ventilasjon	3653 kWh	3211 kr	320 kg

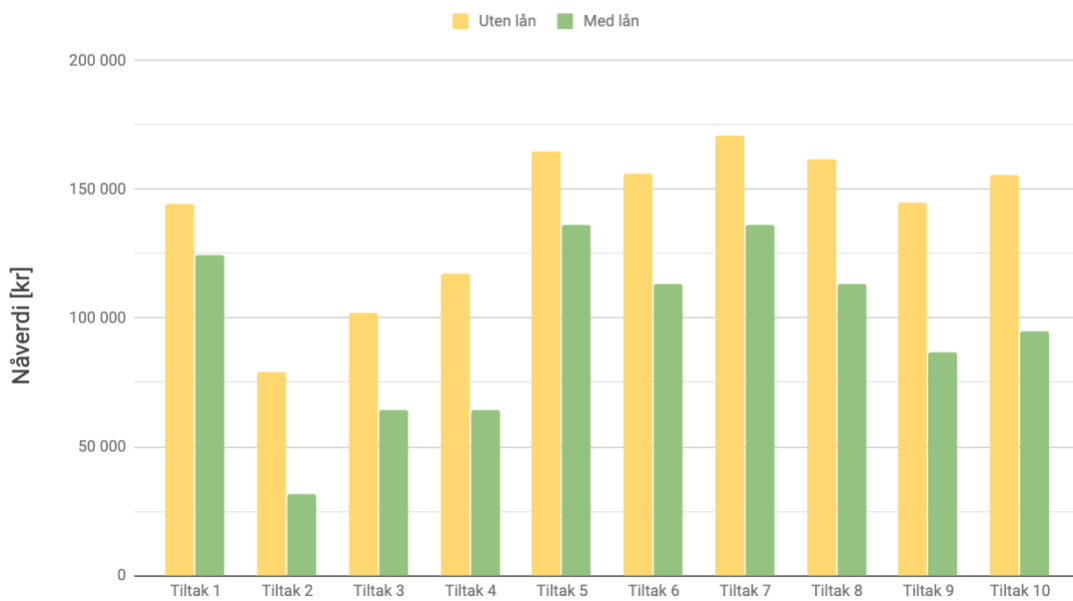
Tabell 4.18: Kostnader (ink.mva) for investering, levetid og endring i vedlikeholdsutgifter for de ulike tiltakene. Kostnad fra balansert ventilasjon er hva byggherre selv betalte inkludert 15.000,- kr i ENOVA støtte. Kostnad for tiltak ny vindsperre + dør og vindu + balansert ventilasjon er inkludert 115.000,- kr i støtte fra ENOVA.

Sammendrag inndata tiltak			
Tiltak	Investering	Levetid	Vedlikehold
Yttervegg 50 mm utlektet isolasjon m vindsperre (under vurdering)	59439 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindsperre (under vurdering)	64899 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 100 mm utlektet isolasjon m vindsperre + 80mm EPS + puss grunnmur (under vurdering)	112542 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 100 mm RedAir Flex (under vurdering)	83861 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 150 mm RedAir Flex (under vurdering)	98672 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 200 mm RedAir Flex (under vurdering)	108479 kr	30 år	0 kr/år
Yttervegg 200 mm RedAir Flex + 80 mm EPS + puss grunnmur (under vurdering)	156122 kr	30 år	0 kr/år
Grunnmur 50 mm EPS + puss (under vurdering)	41743 kr	30 år	0 kr/år
Grunnmur 50 mm EPS (under vurdering)	17848 kr	30 år	0 kr/år
Grunnmur 80 mm EPS + puss (under vurdering)	47643 kr	30 år	0 kr/år
Grunnmur 80 mm EPS (under vurdering)	23748 kr	30 år	0 kr/år
Dør og vindu (under vurdering)	147000 kr	30 år	0 kr/år
Ny vindsperre + dør og vindu + balansert ventilasjon (under vurdering)	134809 kr	21 år	0 kr/år
Blåseull 150 mm kott loftetasje (under vurdering)	11440 kr	30 år	0 kr/år
Blåseull 200 mm kott loftetasje (under vurdering)	15101 kr	30 år	0 kr/år
Blåseull 300 mm kott loftetasje (under vurdering)	21930 kr	30 år	0 kr/år
Varmepumpe (under vurdering)	25000 kr	15 år	0 kr/år
Balansert ventilasjon (under vurdering)	79850 kr	15 år	0 kr/år

Tabell 4.19: Lønnsomhetsanalyse på sammensatte tiltak for 80-talls boligen plassert i Oslo. Tiltakene er sortert ut fra energibesparelse. Kostnadene er sammensatt fra tabell 4.18. Tiltak 5-9 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 3 oppgradering av bygningskroppen fra ENOVA. Tiltak 10 mottar støtte for balansert ventilasjon og nivå 2. Nåverdien er basert på en vektet levetid og kalkulasjonsrente 2,8 % på energibesparelse og full egenkapital på investering. Beløp spart er basert på energibesparelse fra strøm og vedfyring. Årlig netto energibehov og totalt varmetapstall er målparametere for å oppnå støtte fra ENOVA til oppgradering av bygningskroppen (ENOVA, 2019a). Alle tiltak har oppvarmingskarakter bedre enn rød. Den alternative nåverdien baserer seg på at investeringen er et lån på 15 år med årlig kalkulasjonsrente på 2,8 %. Eksempel på beregninger i tabellen kan studeres i vedlegg A.

Tiltak 80-talls bolig		Kostnad ink.mva [kr] inkl. ENOVA støtte	Nåverdi [kr]	Avkastning	Inntjeningstid [år]	Energibesparelse [kWh]	Beløp [kr]	Nåverdi med 15 år lån på investering [kr]	Årlig netto energiebehov [kWh/m ²]	Totalt varmetaps tall [W/m ² K]	Vektet levetid
1	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	90 000	144 000	1,6	7,9	12 900	12 900	125 000	177,2	1,25	26
	Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
2	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	212 000	79 000	0,4	19,1	15 600	14 500	32 000	145,9	1,01	30
	Dør og vindu										
3	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	170 000	102 000	0,6	11,5	18 300	17 500	65 000	149,1	1,01	21
	Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad Balansert ventilasjon										
4	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	237 000	117 000	0,5	16,4	19 000	18 200	64 000	145,9	1,01	28
	Dør og vindu Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
5	Ny vindspærre	135 000	165 000	1,2	8	20 800	19 100	136 000	124,1	0,81	21
	Dør og vindu Balansert ventilasjon										
6	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	192 000	156 000	0,8	11,2	22 000	20 200	112 000	118,6	0,77	24
	Dør og vindu Balansert ventilasjon										
7	Ny vindspærre	160 000	171 000	1,1	8,3	23 200	21 800	136 000	124,1	0,81	20
	Dør og vindu Balansert ventilasjon Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad										
8	98mm utlekting, 100mm mineralull, 9,5mm gipspl, vindspærre duk	217 000	162 000	0,7	11,3	24 200	22 700	113 000	118,6	0,77	23
	Dør og vindu Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad Balansert ventilasjon										
9	200 mm RedAir Flex	260 000	145 000	0,6	13,5	25 100	23 400	87 000	114,3	0,74	24
	Dør og vindu Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad Balansert ventilasjon										
10	200 mm RedAir Flex + 80 mm EPS og puss på grunnmur	273 000	156 000	0,6	14,1	25 700	23 700	95 000	102,4	0,64	26
	Dør og vindu 200 mm blåseull kott loftetasje Balansert ventilasjon										

Nåverdi på tiltak med og uten lån for 80-talls boligen



Figur 4.21: Nåverdi med og uten lån for de sammensatte tiltakene fra tabell 4.19.

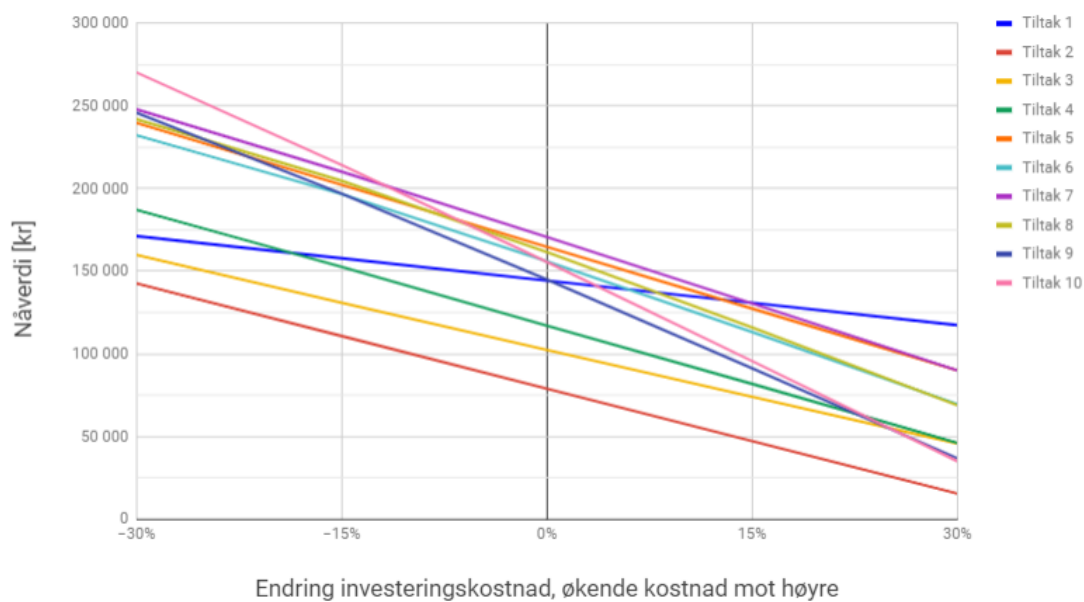
Tabell 4.20: Tabellen viser for hvert tiltak nåverdi dividert på investeringskostnad inkludert støtte fra ENOVA hvor verdier er tatt fra tabell 4.19. Et høyere tall angir at man får mer igjen for investeringen enn et lavt tall.

	Tiltak 1	Tiltak 2	Tiltak 3	Tiltak 4	Tiltak 5	Tiltak 6	Tiltak 7	Tiltak 8	Tiltak 9	Tiltak 10
Nåverdi uten lån / investeringskostnad	1,61	0,37	0,60	0,49	1,22	0,81	1,07	0,75	0,56	0,57
Nåverdi med lån / investeringskostnad	1,38	0,15	0,38	0,27	1,01	0,59	0,85	0,52	0,33	0,35
Nåverdi med lån / nåverdi uten lån	0,86	0,40	0,63	0,55	0,83	0,73	0,80	0,70	0,60	0,61

4.4.3 Følsomhetsanalyse energiberegninger enebolig fra 80-tallet

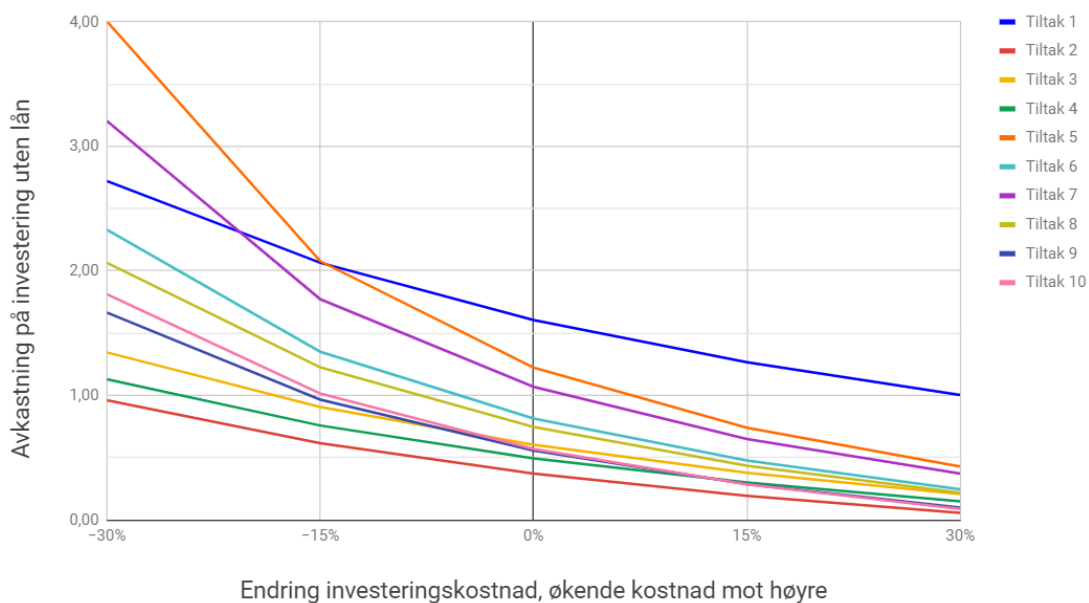
I figurene nedenfor er det gjengitt en følsomhetsanalyse som funksjon av investeringskostnad, kalkulasjonsrente og sted. Investeringskostnaden på tiltakene er antatt som egenkapital og ikke belånt. Der hvor ikke annet er nevnt er det brukt samme låste verdier som i tabell 4.19.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 80-talls bolig



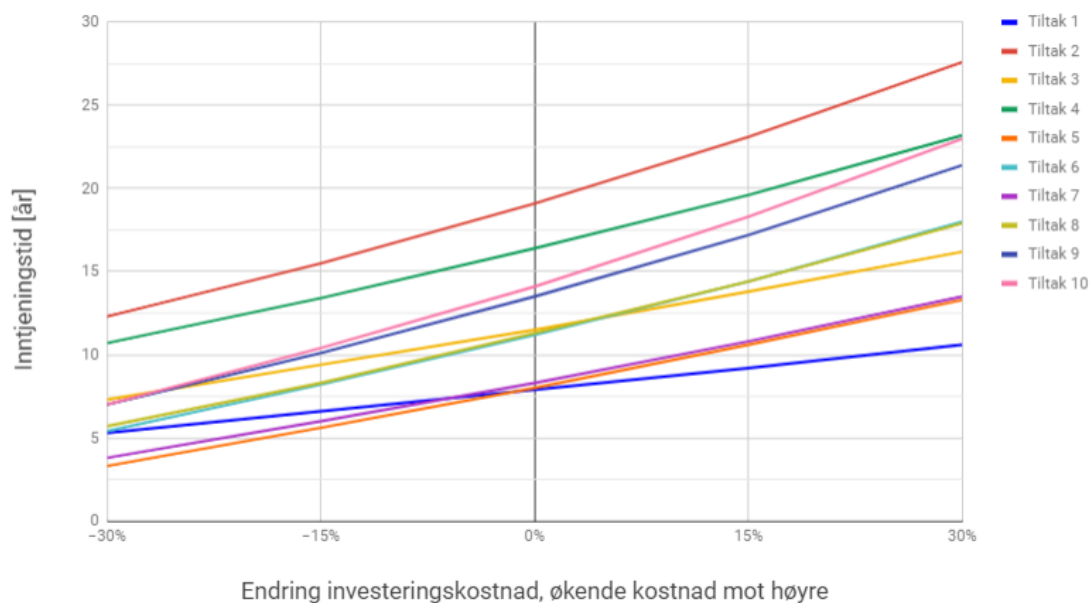
Figur 4.22: Nåverdi som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 80-talls bolig



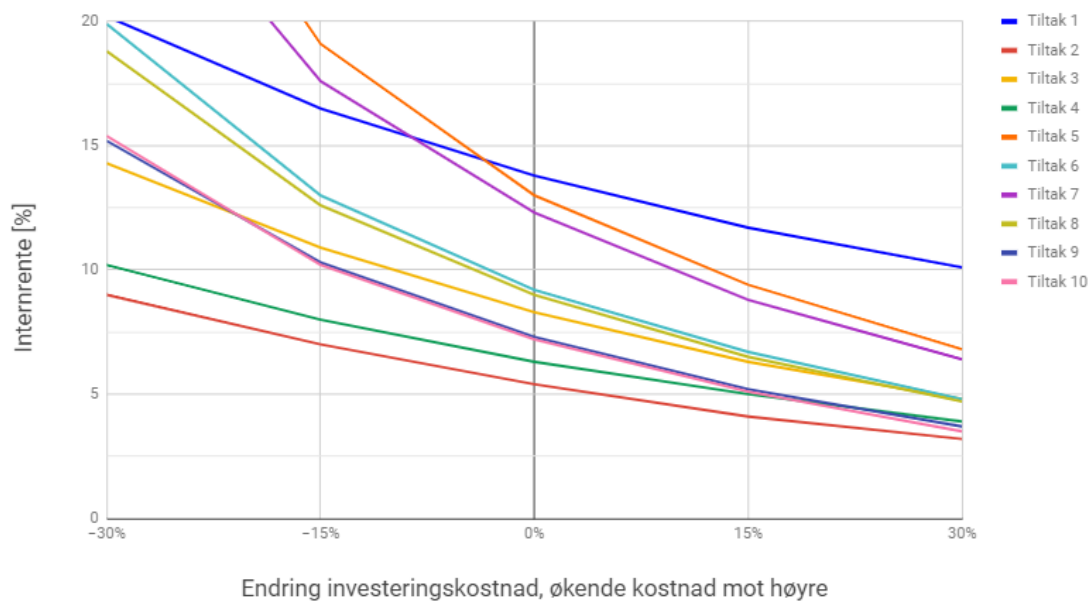
Figur 4.23: Avkastning som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 80-talls bolig



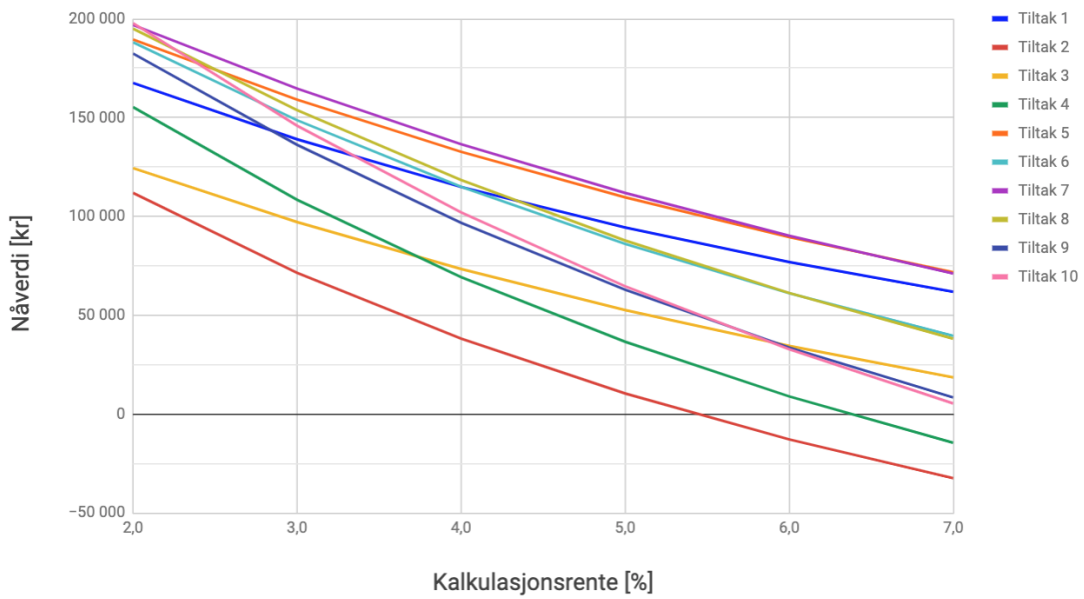
Figur 4.24: Inntjeningsstid som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse investeringskostnad 80-talls bolig



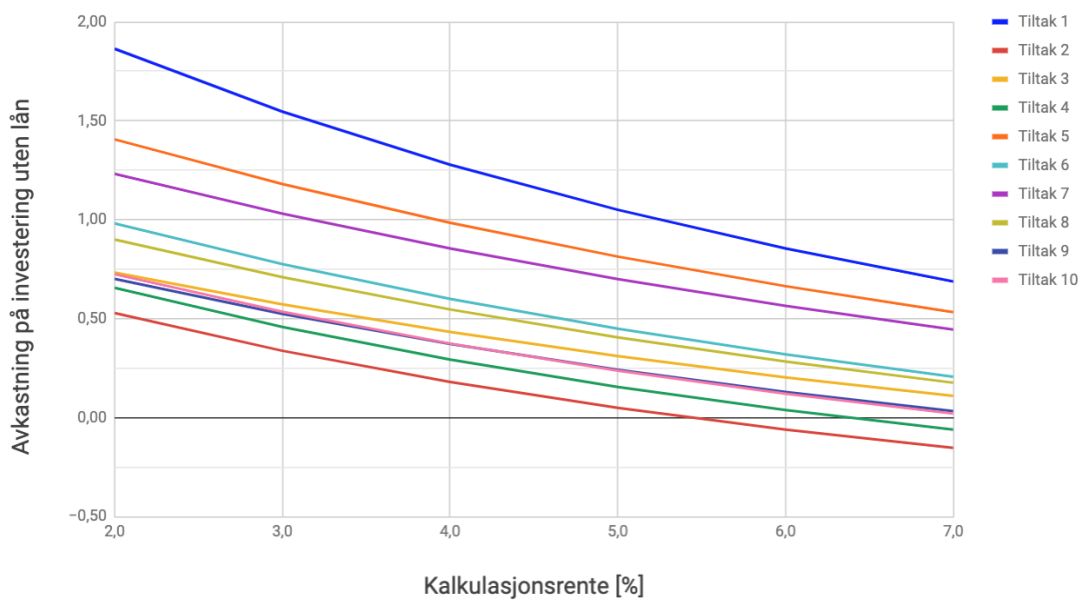
Figur 4.25: Internrente som funksjon av investeringskostnad. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 80-talls bolig



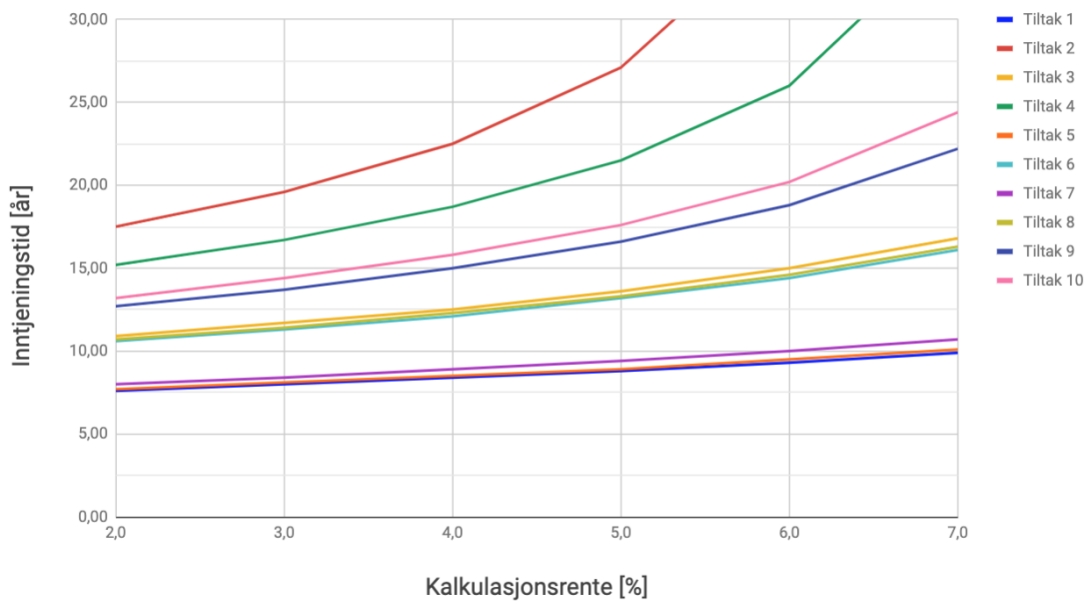
Figur 4.26: Nåverdi som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 80-talls bolig



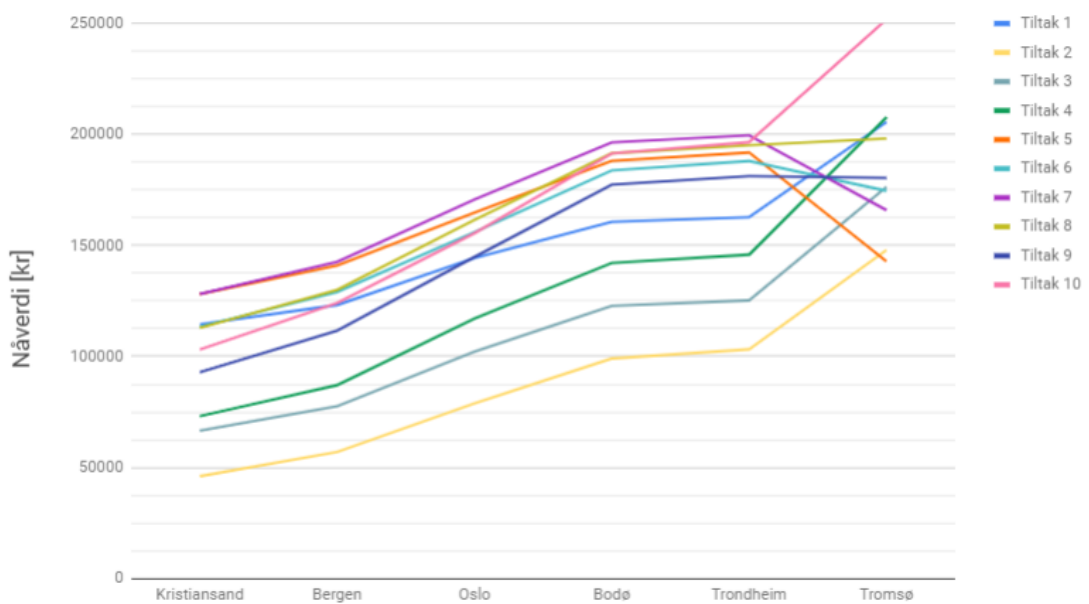
Figur 4.27: Avkastning som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse kalkulasjonsrente 80-talls bolig



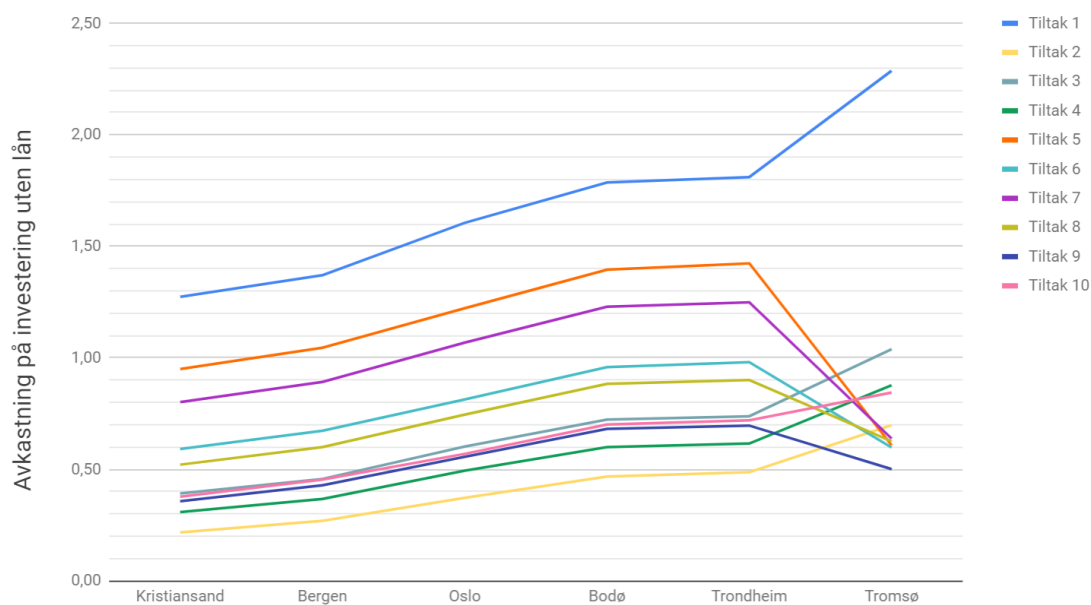
Figur 4.28: Inntjeningsstid som funksjon av kalkulasjonsrente. Nummerering av tiltak etter tabell 4.19. Sted: Oslo.

Følsomhetsanalyse plassering av 80-talls bolig i Norge



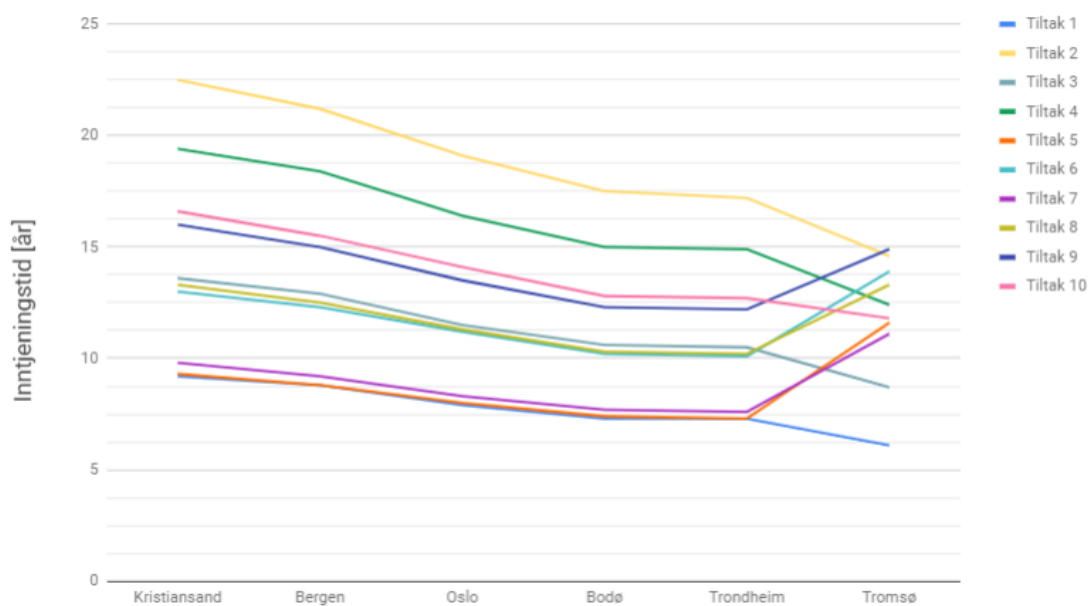
Figur 4.29: Nåverdi som funksjon av sted.

Følsomhetsanalyse plassering av 80-talls bolig i Norge



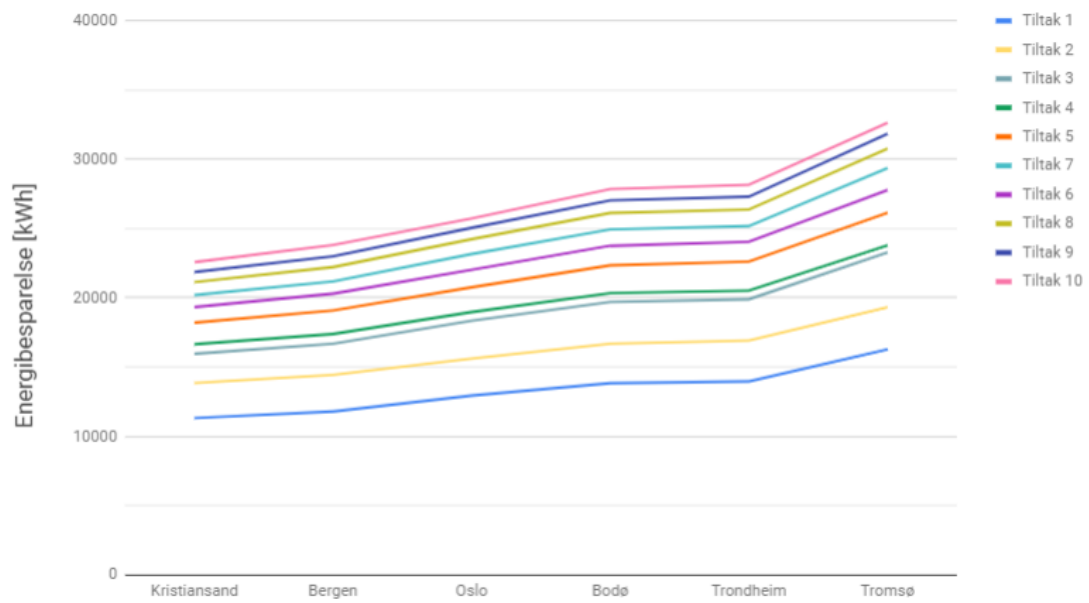
Figur 4.30: Avkastning som funksjon av sted.

Følsomhetsanalyse plassering av 80-talls bolig i Norge



Figur 4.31: Inntjeningstid som funksjon av sted.

Følsomhetsanalyse plassering av 80-talls bolig i Norge



Figur 4.32: Energibesparelse som funksjon av sted.

5. *Diskusjon*

I denne masteroppgaven har jeg sett på lønnsomhet ved energieffektivisering av eneboliger. Fokuset har vært å finne to caseoppgaver bygd mellom 1950 og 1990 da boliger fra denne epoken er klar for rehabilitering. Gjennom et samarbeid med Byggmester Binde og Binde Framtid fra Steinkjer i Trøndelag, har en bolig fra 50-tallet og en annen fra 80-tallet blitt studert. Disse boligene er beskrevet i kapittel 2.8 og 2.9. Det er videre utført energi- og lønnsomhetsberegninger i kapittel 4 noe som vil bli diskutert senere i dette kapittelet. Bruken av eksisterende boliger og et samarbeid med en byggmester var ønskelig for å få tilgang til tegninger og reelle kostnader. Da byggeforskriftene har blitt gradvis strengere var det viktig å finne to eneboliger som var bygget i forskjellig tidsepoker.

Argumentene og vurderingene som er basert på resultater og som blir diskutert i dette kapittelet er i hovedsak mine egne vurderinger. Det er likevel forsøkt å være objektiv.

Arbeidet og resultatene i oppgaven baserer seg på forutsetninger og allerede etablert teori. For at resultatene skal være så korrekt som mulig, har grunnlaget til beregninger blitt studert og gjengitt i kapittel 2. En god del teori har vært nødvendig for å forstå hva det vil si å energieffektivisere i praksis. I kapittel 2 er derfor blant annet energieffektive bygg, forskrifter og standarder, norske klimasoner og temperatursoner og varmforsyningssystem blitt diskutert. Valg av rente og strømkostnad har hatt direkte påvirkning på resultatene i kapittel 4. Ved antagelser på fremtidige renter (kapittel 4.1) og strømkostnad (kapittel 4.2) vil man aldri i nåtid vite om de er helt korrekte. Det er likevel forsøkt å bruke verdier som kan forsvares i annen litteratur og tidligere statistikk på området, dette har blitt kildeført.

Som et ledd i lønnsomhetsberegninger for energieffektivisering av boliger spiller verdiøkning en viktig rolle. En investering i energieffektivisering kan være kostbar og det kan ta svært mange år før investeringen er tjent inn. Om boligen får en verdiøkning som et resultat av denne energioppgraderingen, kan inntjeningstiden reduseres. Resultater fra andre studier fremvist i kapittel 2.6 kunne ikke konkludere med at en bolig får en verdiøkning ved energioppgradering. Derimot er det allment kjent at nytt bad, nytt kjøkken, parkett og oppussede synlige flater kan øke salgsverdien. Verken kostnader eller omfanget av slike oppgraderinger er inkludert i denne masteroppgaven. Det er derimot ønskelig at funn i denne masteroppgaven, så vel som i andre lignende studier skal hjelpe leseren til å ta gode valg. Over tid kan det bli enklere å forstå at et energieffektivt hus har positiv påvirkning på økonomien. Dette betyr at i fremtiden kan det være mulig at boliger øker merkbart i salgsverdi om de blir mer energieffektive. Tanken bak energimerkesystemet som ble innført i 2010 var at energibehovet til ulike boliger skulle bli mer synlig.

5.1 Gjengivelse av problemstilling og forskningsspørsmål

Den problemstillingen og de forskningsspørsmålene som ble definert i starten av denne masteroppgaven har vært grunnlaget for alt arbeid. Det er mange fordeler å redusere energiforbruket, både for samfunnet i sin helhet og for boligeieren. Skal disse fordelene oppstå bør det være lønnsomt for boligeier å energieffektivisere. Dette ga grunnlaget for problemstillingen:

Er det lønnsomt å rehabilitere en eksisterende enebolig i lett trekonstruksjon opp til nyere krav og forskrifter?

Problemstillingen er i seg selv et veldig åpent spørsmål, da begrepet lønnsomt kan være uklart og hva betegnes som nyere krav og forskrifter? I tillegg er Norge et vidt og langt land med store klimaforskjeller. Har plasseringen av boligen noe å si for resultatene? Tre forskningsspørsmål ble derfor definert og de vil bli diskutert i dette kapitlet samt konkludert i neste.

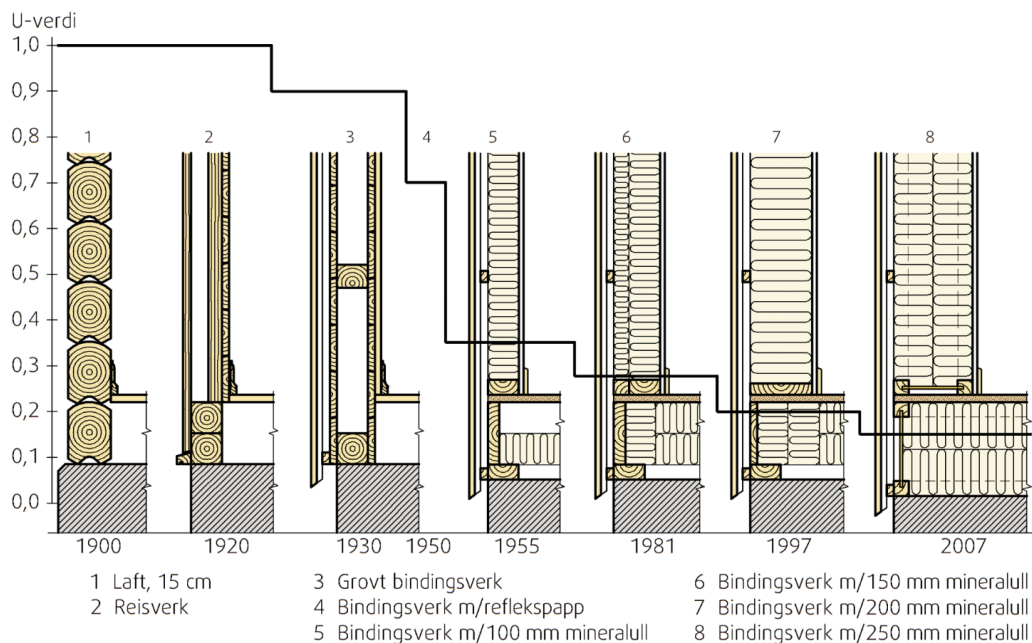
1. *Hvilke nyere krav og forskrifter har vi som kan være relevant og hva er deres kravspesifikasjoner som kan benyttes som viktige målparametere?*
2. *Basert på en privatinvestering og støtte fra etablerte offentlige foretak, hvilke nivå er det lønnsomt å energioppgradere til i området Oslo?*
3. *Hvor stor innvirkning har boligens lokalisering i Norge å si for energiforbruket?*

Første forskningsspørsmål anses som et kort litteraturstudie da nyere krav og forskrifter er offentlig tilgjengelig informasjon. Disse kravene ble presentert i kapittel 2.3. Dette vil bli kort diskutert i kapitlet nedenfor. De to siste forskningsspørsmålene er kjernen i denne masteroppgaven. Resultatene av analysene er fremstilt i kapittel 5 og de vil bli videre diskutert i dette kapitlet.

5.1.1 Moderne krav og forskrifter

Nye boliger er pålagt å følge gjeldende krav og forskrifter. Per dags dato skal en ny bolig prosjekteres etter TEK17. Mer ambisiøse boliger har også i den senere tid blitt prosjektert etter NS3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. For eksisterende boliger bestemmer man selv hvor mye isolasjon man skal legge til ved rehabilitering. Om en eksisterende bolig skal utvides med et tilbygg, må dette tilbygget prosjekteres etter TEK17. Selv om nye boliger ikke er en del av denne masteroppgaven er kunnskapen vi fremskaffer av å se på boliger bygd etter TEK10, TEK17 eller passivhuskriteriene interessant. Spørsmålet er om stadig skjerpede krav til energiytelse kan forsvares både privatøkonomisk og samfunnsøkonomisk eller bare en av de. De funnene vi finner fra studier på nettopp dette kan i noen grad relateres til eksisterende boliger også. Hva som er lønnsomt for eksisterende boliger blir diskutert i dette kapitlet.

En sentral del under lønnsomhetsanalysene i masteroppgaven har vært å se om ENOVA sine nivå for oppgradering av bygningskroppen er fornuftige nivå å sikte mot. Nivå 3 utløser den laveste støtten på 100.000,- kroner og etterligner TEK10 utgitt i 2010. Nivå 2 er mer lik TEK17 og utløser en støtte på 125.000,- kroner. Nivå 1 som utløser full støtte på 150.000,- kroner etterligner passivhuskrav til boligbygninger. Å få en lavere U-verdi krever stadig mer isolasjon og derav høyere kostnader jo lavere U-verdien blir, se figur 5.1. Spørsmålet er derfor om det finnes et optimalt nivå å oppgradere til.



Figur 5.1: Utvikling av varmeisolasjonen i yttervegger (SINTEF Byggforsk, 2019).

5.1.2 Faktorer som påvirker valg av tiltak

Før diskusjonen på mest lønnsomme rehabiliteringsnivå skal diskuteres senere i kapittelet er det viktig å fastsette hvilke kriterier som ligger til grunn. Å alene velge ett sett med tiltak som på papiret ser best ut, er ikke nok. Alle boliger har sin egen eier og ulike eiere kan være forskjellige. Det kan være to unge samboere, ung familie med barn, etablert familie med utflyttede barn eller pensjonister. Mellom alle huseiere varierer egen økonomi, ambisjoner og kunnskap om energibruk i bygninger. Også lokasjon i landet påvirker priser på arbeid og materialer, tilgjengelighet på arbeidskraft, gjennomsnittlig årstemperatur og andre forhold. Jo større en investering er, jo mer påvirker den likviditeten til huseierne slik at betalingsdyktighet midlertidig svekkes. Investeringen kan være lønnsom over tid, men skal det være mulig å utføre den kan den ikke påvirke likviditeten i slik grad at det ikke er mulig å leve i normalt. Da en energioppgradering på en bolig ikke nødvendigvis gir tilsvarende verdiøkning, må også huseierne vurdere hvor lenge de kommer til å bo i boligen.

Jeg kan ikke bedømme hva som er viktigst for hver enkelt huseier i Norge. Likevel vil noen punkter bli belyst i avsnittene nedenfor. Det kan være viktig for hver enkelt huseier å tenke igjennom hva som er viktig for dem. I denne masteroppgaven er det lagt fokus på at de beste tiltakene har en god balanse mellom høy nåverdi og god avkastning.

5.1.2.1 Sosiale faktorer

Krav som kan foreligge hos huseierne ved en rehabilitering kan i hovedsak deles mellom sosiale og økonomiske faktorer. De sosiale faktorene kan ikke direkte forsvares rent økonomisk. De handler om livskvalitet i eget hjem. En gammel bolig kan være kald og trekkfull. Det estetiske uttrykket innen- og utendørs kan være utgått på dato. En kald bolig krever enten store kostnader

til oppvarming eller en egeninnsats i form av å konstant holde fyr i vedovnen. En tilværelse av å slappe av hjemme kan bli redusert når det ikke er behagelig å ligge på sofaen uten pledd. En nylig renovert bolig kan positivt påvirke psykososiale forhold som velvære og stolthet. Man kan være stolt over å eie en verdifull og moderne bolig som direkte øker personlig selvfølelse. Dette kan gi mer livsglede til de som bor i boligen. Alt dette er umulig å sette en kroneverdi på, men er samtidig viktige faktorer som kan påvirke ambisjonen ved rehabilitering. Noen huseiere synes det er litt kos med et trekkfullt hus som man må jobbe litt for å holde varmt. En følelse flere har med en hytte på fjellet uten innlagt strøm og vann. Andre huseiere vil gjøre minst mulig og ha et rent stiluttrykk i boligen. Hvordan hver enkelt huseier er vil derfor påvirke ambisjonen på rehabiliteringen.

Under forskningsprosjektet SEOPP ble rapporten “Boligeieres beslutningsprosesser ved oppgradering” utgitt (Thomsen and Hauge, 2014). Denne rapporten ser på motivasjonsfaktorene som ligger til grunn hos huseiere når de beslutter å rehabilitere boligen. Her kom det frem at de fleste som utførte en mer ambisiøs rehabilitering hadde til utsikt å bo der i lengre tid. Blant intervjuobjektene var nødvendig vedlikehold på bolig en av de viktigste faktorene. Et mer moderne visuelt uttrykk på boligen var også en driver for rehabilitering samt det å få større plass og endre på planløsningen i huset. Likevel viste det seg at energieffektivisering ofte var en bi-effekt når tiltak først ble satt i gang. Grunnen til dette var ofte mangelen på kunnskap selv eller at det var vanskelig å fremskaffe informasjon på området. I Asker kommune har de prøvd å finne en løsning på denne utfordringen ved å tilby gratis energirådgivningstjeneste til både mindre og mer ambisiøse prosjekter for energieffektivisering. I rapporten “Energirådgivning for boligeiere” blir denne tjenesten evaluert (Hauge et al., 2017). Rapporten viste til at huseiere verdsatte muligheten for energirådgivning fra en nøytral part.

5.1.2.2 Økonomiske faktorer

Økonomiske faktorer handler ikke bare om å foreta en investering i tiltak som lønner seg over tid. Antar man investeringen ikke betaler seg tilbake i økt salgsverdi, kan det være nødvendig for huseieren å bo i huset frem til investeringen har tjent seg inn. Dette gjør det nødvendig for huseier å se for seg fremtidig opphold i bolig i forkant av energioppgraderingen. Som vi kan se i tabell 4.10 side 65 kan en inntjeningstid i dette tilfellet variere mellom 6 til 14 år med gitte forutsetninger på kostnader og kalkulasjonsrente. Kort inntjeningstid kan derfor være en økonomisk faktor for boligeiere med kortere utsikt på botid.

Egenkapital og lånemuligheter påvirker evnen til å øke kostnadene ved en investering. Når det er lite rom for en stor investering er etterisolering av kaldloft og installering av varmpumper effektive tiltak. De har en lav kostnad, krever få inngrep på bolig og gir samtidig et godt sparepotensiale.

Hvor boligen er plassert i landet har en stor påvirkning på energibehovet. Jo kaldere årsmiddeltemperaturen er, jo mer er det å hente på etterisolering. Som tidligere nevnt påvirker også tilgjengeligheten på arbeidskraft og dens kunnskap på energioppgradering både muligheter og kostnader. Derimot er også valg av oppvarmingsløsning veldig avhengig av plassering i landet. Strømkostnadene i seg selv varierer ikke så mye og de færreste boligeiere har egenprodusert strøm per dags dato. Likevel kan enten egenprodusert ved eller billig ved fra bekjente redusere oppvarmingskostnader betraktelig. For gårdbrukere med fast tilgang på ved kan installering av vannbåren oppvarming og vedkjel eller vedovn med vannkappe gi en rimelig og komfortabel

varme. Videre er det slik at luft til luft varmpumpe som er en av de mer rimelige og effektive tiltakene ikke er like effektivt i kaldere klima. I kalde klima kan sjøvarme eller bergvarme kombinert med varmpumpe være mer kostnadseffektivt om investeringskostnadene kan holdes lave nok.

5.2 Bolig fra 50-tallet

Resultater på energibehov før rehabilitering av 50-talls boligen er gjengitt i kapittel 4.3.1. Med utgangspunkt i boligens tilstand før boligeierne igangsatte en totalrehabilitering både utvendig og innvendig er det foretatt en analyse av ulike tiltak på energieffektivisering i kapittel 4.3.2. Kostnader kan variere etter etterspørsel og leverandører, og er dermed en usikker faktor. I tillegg er kalkulasjonsrenten som benyttes i beste fall et godt estimat. På grunn av dette er en følsomhetsanalyse foretatt i kapittel 4.3.3. Resultatene vil bli diskutert nedenfor.

5.2.1 Lønnsomt rehabiliteringsnivå

Forskningsspørsmål 2 ble definert som:

Basert på en privatinvestering og støtte fra etablerte offentlige foretak, hvilke nivå er det lønnsomt å energioppgradere til i området Oslo?

Forskningsspørsmålet tar utgangspunkt i at det faktisk er lønnsomt å energioppgradere en bolig før det i hele tatt er analysert. Dette er basert på en generell påstand i byggebransjen hvor det sier at man tjener inn en slik investering over tid. Det egentlige svaret er analysert og presentert i denne masteroppgaven. Resultatet for 50-talls boligen vil her bli diskutert.

5.2.1.1 Diskusjon på tiltak uavhengige av hverandre

Med utgangspunkt i figur 4.4 side 61 hvor boligen fikk den dårligste energikarakteren "G" var utgangspunktet for energieffektivisering stort. Figur 4.3 ga en pekepinn på hvilke angrepsområder som hadde store varmetap og dermed kunne være en gjenstand for oppgradering. Kake-diagrammet angitt i figuren ga spesielt inntrykk av at det kunne være mye energi spart ved å installere balansert ventilasjon med varmegjenvinner, bytte ut dør og vindu samt etterisolere ytterveggene. I tillegg kunne ekstra varmeisolering av gulv og kaldloft utføres med lave kostnader ved innblåsing av isolasjon.

Det er mange faktorer som påvirker valg av tiltak, dette ble også diskutert i kapittel 5.1.2.1 om sosiale og økonomiske faktorer. I denne masteroppgaven er det valgt å kun ta hensyn til nåverdiberegninger, inntjenings tid og følsomheten på disse parameterne. Dette for å være så objektiv som mulig og ikke ta hensyn til individuelle behov. Likevel vil det bli tatt hensyn til investeringskostnad da betalingsevnen ikke er lik hos alle.

I tabell 4.7 vil man se nåverdiberegninger for de ulike tiltakene. Her er noen tiltak direkte konkurrerende mot hverandre da det er enten det ene eller det andre. Det er totalt 6 tiltak på etterisolering av yttervegg og 4 på etterisolering av kaldloft. Tiltakene i denne tabellen var aldri

ment å utføres alene. Tiltakene ble definert for å se hvilke tiltak som burde være satsningsområder sammen med andre tiltak. Dette ga grunnlaget for beregninger utført og gjengitt i tabell 4.9 som nå vil bli diskutert.

5.2.1.2 Diskusjon på sammensatte tiltak

Tabell 4.10 side 65 viser en lønnsomhetsanalyse på ulike sammensatte tiltak. Disse tiltakene er strategisk plukket ut fra de uavhengige tiltakene vist i tabell 4.7. Det er laget totalt 10 sammensatte tiltak med fokus på ulike grader av årlig energibesparelse. Disse tiltakene får da også en økende investeringskostnad. Målet med å lage de ulike sammensatte tiltakene med forskjellig energibesparelse var for å se hva som ble mest lønnsomt. De mest ambisiøse tiltakene utløser også støtte fra ENOVA som påvirker positivt på nåverdiberegningene. Resultatene som blir vist i tabellen er basert på en rekke låste verdier. Blant annet er sted i Norge, kostnader og kalkulasjonsrente låst. På grunn av dette er det foretatt en følsomhetsanalyse på disse verdiene som er vist i kapittel 4.3.3. Dette vil bli diskutert lenger ned i dette kapittelet.

For boligeier er tabell 4.10 nyttig når ambisjon på energioppgradering av huset skal bestemmes. Det kan anbefales huseier å vurdere mellom to ambisjonsnivå. Det første ambisjonsnivået kan være moderat som sikter på en lønnsom investering med lave investeringskostnader og rask inntjeningsstid. Det andre ambisjonsnivået kan være ambisiøst hvor investeringskostnader ikke spiller like stor rolle, men en høy avkastning på investeringen er viktig. Det ambisiøse nivået gir også ekstra fordeler innen sosiale faktorer. Disse faktorene er mer stabil varme, lunere hus, lavere og mer forutsigbare energiutgifter og bedre inn klima.

5.2.1.3 Nåverdi med og uten lån

I tabell 4.10 er nåverdien på sammensatte tiltak beregnet basert på investeringskostnad og energibesparelse. Ikke alle huseiere venter til at oppspart kapital er stor nok til å rehabilitere boligen. Dette fører til at det er behov for å ta opp et lån til å finansiere rehabilitering. I tabellen er nåverdien vist både for oppspart egenkapital og for et lån med rente 2,8 %. For utregning av kalkulasjonsrente, se ligning 4.2 side 56.

Figur 4.6 viser de samme nåverdiene som tabell 4.10 i et søylediagram. Med denne figuren er det lettere å se den relative forskjellen på nåverdi for de ulike tiltakene. Det er også lettere å se forskjellen mellom ulike tiltak. Nå er det slik at den benyttede renten sjelden er helt rett, men i beste fall et godt estimat av virkeligheten. Man kan betrakte ut fra figuren at en relativt liten forskjell på nåverdien med og uten lån gir et bedre estimat på renten. For eksempel har tiltak 1 relativt liten forskjell på nåverdi med og uten lån på $(1 - 126.363/144.838) * 100 \approx 13\%$. Tiltak 5 har en større relativ forskjell på $(1 - 41.521/122.696) * 100 \approx 66\%$. Dette betyr at en endring i renten har større påvirkning på tiltak 5 enn tiltak 1. Tiltak 1 er med andre ord et sikrere tiltak å velge på grunn kort inntjeningsstid og liten avhengighet av renten. Grunnen er en relativt høy energibesparelse i forhold til investeringskostnad. Tiltak 5 og forøvrig de andre med stor relativ forskjell på nåverdi med og uten lån er mer usikre tiltak å velge. Nåverdien kan lettere bli negativ hvis renten i virkeligheten er høyere enn først beregnet.

5.2.1.4 Moderat ambisjonsnivå

Et moderat ambisjonsnivå passer huseiere som vil forbedre kvaliteten på boligen, men av ulike grunner ikke vil gå inn for å utføre alle tenkelige tiltak. Grunnen til det kan være mange, men tid og kostnad er en viktig faktor. Mindre omfattende tiltak tar mindre tid å utføre, som betyr mindre sjenanse for beboerne. Investeringskostnad er viktig for mange nyetablerte med strammere økonomi, men som samtidig vil gjøre noe for å redusere energiutgiftene. Videre kommer usikkerheten på lønnsomhet. De færreste huseiere har kunnskap og ressurser til å utføre detaljerte kalkulasjoner på ulike sammensatte tiltak som er utført i denne masteroppgaven. Dette fører til at det er vanskelig å vite hvilke tiltak som er bedre enn de andre. Når lønnsomhet ikke er kalkulert medfører det større risiko å velge tiltak.

Moderat ambisjonsnivå vil her være relativt til hva de ulike sammensatte tiltakene i tabell 4.10 har i investeringskostnader. Tiltak 1 til 4 koster alle rundt 200.000,- kr eller mindre, mens tiltak 10 som er mest kostbart, ligger like under 500.000,- kr. I tillegg kommer ekstra kostnader da tiltak på yttervegg kun omfatter kostnader i forbindelse med energieffektivisering og ikke på blant annet kledning. Tiltak 1 til 4 vil derfor her bli betraktet som moderat. Tiltak 2 til 4 innebærer arbeid på ytterveggen og det vil derfor komme ekstra kostnader til stillas, utlekting og kledning. Vurderer man derfor tiltakene opp mot hverandre kommer tiltak 2 klart dårligst ut; det har lavest nåverdi og avkastning, inntjeningstiden er lengst og internrenten er lavest. Ved moderat ambisjonsnivå vil da enten tiltak 1, 3 eller 4 være det beste. Tiltak 1 er det klart billigste, har en god nåverdi og kjapp inntjeningstid. Inntjeningstiden kan være positiv for huseiere som er usikre på hvor lenge de blir boende i boligen. Internrenten på tiltak 1 er også klart høyest. En annen fordel med tiltak 1 er at det er et tiltak som lettere kan utføres uten å være fagmann. Man må selvfølgelig ha fagfolk til å installere en varmepumpe, men å isolere et bjelkelag i kjeller eller på loftet er ikke så vanskelig. Det er derimot vanskelig å vurdere hvor fuktsikker konstruksjonen blir med tanke på dampsperre og ventilering av luft i kjeller og på kaldt loft. Tiltak 3 er i likhet med tiltak 1 også svært rimelig i forhold til de andre, men har en større nåverdi. Derimot omfatter tiltak 3 arbeid på yttervegg som medfører ekstra kostnader. Tiltak 4 er mer kostbar enn tiltak 1 og 3, men gir til gjengjeld mer energibesparelse. Tiltak 4 passer huseiere som vil være moderate i investeringen, men som likevel har en bolig som det må skiftes kledning på. Det krever ikke høye ekstrakostnader å etterinstallere nye vindu i ettertid om det ikke gjøres parallelt med etterisolering av yttervegg. Et tiltak som kan gjøres for å lettere etterinstallere vindu er å skru kledningen rundt vinduene slik at den lettere kan demonteres.

Følsomhetsanalyse på investeringskostnad

Tabell 4.10 er basert på låste verdier som det er utført en følsomhetsanalyse på i figur 4.7 til 4.17. Investeringskostnad er vanskelig å beregne helt perfekt, men det er likevel grunn til å anta at den er rimelig sikker når kostnadene er godt dokumentert. Figur 4.7 angir følsomheten på nåverdien som en funksjon av investeringskostnad. Man kan legge merke til at tiltak 1 er mindre følsom enn tiltak 4 noe som forsterker sikkerheten på beregningene til tiltak 1. Om det skulle være økende investeringskostnad ser vi at tiltak 4 får mindre nåverdi enn tiltak 1 like over 30 % økende investeringskostnad.

I figur 4.8 kan vi se avkastningen som funksjon av investeringskostnad. Selv om tiltak 4 har en høyere nåverdi enn tiltak 1, vil den enda høyere investeringskostnaden gi en lavere avkastning. Tiltak 3 som er lik tiltak 4, men uten etterisolering, har derimot bedre avkastning enn både tiltak 1 og 4. Det som derimot er interessant er den store forskjellen på avkastning mellom

tiltak 3 og 4. Tiltak 3 har grovt sett dobbelt så høy avkastning som tiltak 4. Dette viser at selv om etterisolering av yttervegg er lønnsomt, er det mer lønnsomt å kun montere ny vindspærre. Det er i begge tiltakene antatt at luftlekkasjetallet går ned fra $8h^{-1}$ til $1h^{-1}$. Et 50-talls hus har relativt dårlig lufttetthet. Ved rehabilitering er det mulig å montere en helt ny vindspærre, fuge mellom ringmur og svill, tette mellom dør og vindu mot yttervegg samt utføre tetting mellom yttervegg og tak. Når det samtidig er montert ny innlektet dampspærre på innvendig side vil alle tiltakene i sum kunne redusere luftlekkasjetallet betraktelig.

For inntjeningstiden vist i figur 4.9 er tiltak 1 bedre enn tiltak 4 ved økende og minkende investeringskostnad. Dette betyr for en huseier med behov for rask inntjeningstid og lite arbeid vil tiltak 1 være å foretrekke. For en huseier som ønsker større grep på huset kan tiltak 3 være fornuftig i og med kort inntjeningstid.

Følsomhetsanalyse på kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten ble tidligere i oppgaven beregnet til 2,8 % i ligning 4.2 side 56. Da kalkulasjonsrenten har mye å si for nåverdiberegninger er det utført en følsomhetsanalyse på den. Vi kan se i figur 4.11 nåverdien som funksjon av kalkulasjonsrenten. Tiltak 3 er klart best ved alle renter. Nåverdien i figuren er beregnet slik at investeringskostnaden er utført med egenkapital og derfor påvirker renten kun diskontering av årlige besparelser i kostnader på energibruk. I figur 4.12 kan vi se avkastningen som funksjon av kalkulasjonsrenten. I likhet med forrige diagram på nåverdi har tiltak 3 best resultat her. Derimot ser man at tiltak 1 stiller sterkere mot tiltak 4 i forhold til avkastning i stedet for nåverdi.

Inntjeningstid som funksjon av kalkulasjonsrente vist i figur 4.13 er økende med økende rente. Tiltak 1 har en inntjeningstid på under 9 år helt opp til en rente på 7 % som betyr at tiltaket tjener seg relativt fort inn selv om renten kan øke i fremtiden. Tiltak 4 holder seg under 18 år på inntjeningstid om renten skulle ligge på 7 % i fremtiden. Denne inntjeningstiden er noe lengre og innebærer at huseier må bo lenger i boligen for at den skal tjene seg inn. Til alternativ er nok en gang tiltak 3 fornuftig i forhold til tiltak 4 da inntjeningstiden er under 8 år ved alle gitte renter.

5.2.1.5 Ambisiøst ambisjonsnivå

Det høye ambisjonsnivået passer til huseiere som er villig til å investere i en mer omfattende rehabilitering som kan ha lengre byggeperiode og høyere kostnad. Det kan i tilfeller være behov for å flytte ut av boligen. Kostnadene i tabell 4.10 tar utgangspunkt i at det allerede skal gjøres tiltak på bygningskroppen. Dette betyr at kostnadene viser en ekstrakostnad huseier må ta i tillegg til rigg og drift, stillas og arbeid på bygningskroppen innvendig og utvendig.

De sammensatte tiltakene som er vurdert til denne 50-talls boligen er direkte avhengig av rehabiliteringen som ble utført på boligen i 2018 og 2019. Da boligen skulle totalrehabiliteres innvendig og utvendig ga det muligheten for å montere dampspærre og skjulte ventilasjonsrør. Hvis det skal etterisoleret 10 til 30 cm på yttervegg og 30 cm på kaldloft medfører det risiko for kondensfare og råteskader hvis ikke dampspærre er montert. I tillegg ved installering av dampspærre og vindspærre vil boligens luftlekkasjetall reduseres betraktelig. Hvis veggventiler også blir tettet vil inneluften endres betraktelig. CO_2 nivået vil øke som følge av mindre luftbytte og den relative fuktigheten kan bli så høy at det medfører fare for råteskader. Dette betyr at jo mer ambisiøs huseier er på oppgraderingen, jo mer øker behovet for balansert ventilasjon. Selv om

tiltak 5 og 6 i tabell 4.10 er beregnet og vist i denne masteroppgaven frarådes det å gå for de tiltakene. Tiltak 5 og 6 er beregnet for å vise forskjellen fra de og tiltak 7 og 8 som er relativt like, men inneholder balansert ventilasjon. Tiltak 7 og 8 får også en støtte på 115.000,- kr fra ENOVA på grunn av oppgradering av bygningskroppen og ventilasjon.

De mer ambisiøse tiltakene vist i tabell 4.10 er her definert som tiltak 5 til 10 på grunn av høyere kostnader enn tiltak 1 til 4. Alle disse tiltakene inkluderer etterisolering av yttervegg og nye dør og vindu. Igjen er det antatt at huseier skal bytte kledning utvendig og rehabilitere innvendig. Kostnader til utvendig og innvendig kledning er ikke inkludert, dette gjelder både vegg, dør og vindu. For dør og vindu er kun kostnader for montering, dør og vindu og tetting inkludert. I et tilfelle hvor huseier ikke ville ha skiftet dør og vindu hadde det uansett vært behov for å bytte kledning utvendig og innvendig rundt dør og vindu.

Hva som er det beste tiltaket er igjen en vurdering på hvor stor investeringskostnad man vil gå for og hvilken nåverdi man får igjen på investeringen. Tiltak 5 er det tiltaket i tabell 4.10 som gir minst igjen for investeringen. Tiltaket har lavest nåverdi og avkastning. I tillegg vil installering av balansert ventilasjon utlyse støtte hos ENOVA vist i tiltak 7 med samme sluttkostnad. Det samme kan argumenteres for tiltak 6 siden det ikke utlyser støtte hos ENOVA som tiltak 8 gjør. Tiltak 6 og 8 har samme sluttkostnad, men betydelig forskjell i nåverdi og ikke minst innneklima på grunn av balansert ventilasjon. Det mest ambisiøse tiltaket, nummer 10, viser at enda tykkere isolasjon på ytterveggen begynner å bli ulønnsomt. Under beregningene ble det prøvd å oppnå nivå 1 hos ENOVA, men det ble for vanskelig å klare dette uten veldig store grep på bygningskroppen. Dette innebærer veldig tykk isolasjon på yttervegg, nedlekting og isolasjon av etasjeskiller mot kjeller, økt isolasjon på kaldloft, reduksjon av luftlekkasjetall og ytterligere reduksjon av kuldebroer. Kostnadene i forbindelse med dette ble for usikre og hvilke verdier man kunne nå på tetthet og kuldebroer ble bare ren spekulasjon. Vi står derfor igjen med tiltak 7, 8 og 9 som de mest fornuftige tiltakene å gå for under en ambisiøs rehabilitering. Alle disse tiltakene utløser støtte hos ENOVA og inkluderer balansert ventilasjon. Nåverdien til disse tiltakene er alle relativt like på rundt 183.000,- til 193.000 kr. Inntjeningstiden til tiltak 9 er noe høyere enn tiltak 7 og 8. Hvilket tiltak som er smart å gå for kan derfor lettere ses gjennom følsomhetsanalysen på investeringskostnad og kalkulasjonsrente.

Følsomhetsanalyse på investeringskostnad

Tiltak 7, 8 og 9 vil her bli vurdert i en følsomhetsanalyse. Figur 4.7 viser nåverdien på tiltakene som en funksjon av investeringskostnaden. Tiltak 7 og 8 er relativt parallelle og overlappende ved enhver endring i investeringskostnad. Begge tiltakene har også positiv nåverdi på rundt 40.000,- kr ved 30 % økning på investeringskostnaden. Tiltak 9 med sin høyere investeringskostnad er også mer følsom for endringer. Ved en 30 % reduksjon er tiltaket mer lønnsomt enn tiltak 7 og 8. Derimot ved en 30 % økning når tiltaket nesten negativ nåverdi. Også ved inntjeningstid som funksjon av investeringskostnad er tiltak 7 og 8 helt like. Tiltak 9 vil alltid ha lengre inntjeningstid på 1 år ved 30 % reduksjon og nesten 3 år ved 30 % økning i investeringskostnad.

Ved investering fra egenkapital og 30 % økning på investeringskostnad ser vi i figur 4.10 at internrenten for tiltakene går helt ned til 3 % for alle tiltakene. I dette scenarioet hadde en renteøkning på over 3 % gitt negativ nåverdi på tiltakene og følgelig gjort de ulønnsomme.

Følsomhetsanalyse på kalkulasjonsrente

Figur 4.11 viser nåverdiene til alle tiltakene som funksjon av kalkulasjonsrenten. Når nåverdien

går under 0 er tiltakene ulønnsomme. Tiltak 7 og 8 blir ulønnsomme ved en kalkulasjonsrente på rundt 6,8 % og tiltak 9 blir ulønnsom ved en kalkulasjonsrente på rundt 6,0 %. Jo høyere kalkulasjonsrente tiltaket får negativ nåverdi, jo tryggere er investeringen på tiltaket.

5.2.2 Plassering av bolig i Norge

Forskningsspørsmål 3 ble definert som:

Hvor stor innvirkning har boligens lokalisering i Norge å si for energiforbruket?

Dette forskningsspørsmålet vil bli diskutert her med utgangspunkt i figur 4.14, 4.15, 4.16 og 4.17 fra side 70. På side 62 viser tabell 4.6 og figur 4.5 energibehovet til boligen før rehabilitering.

I de nevnte figurene er det foretatt en følsomhetsanalyse på 50-talls boligen plassert i ulike byer i Norge. Det er prøvd å benytte kjente byer spredt rundt i Norge med relativt høye innbyggertall. Figurene angir nåverdi, avkastning, inntjeningsstid og energibesparelse for alle de sammensatte tiltakene. Det bør legges merke til at ingen andre variabler enn sted i Norge er endret. Boligens akse i forhold til nord og hvor skjermet boligen er i forhold til topografi og vegetasjon er uendret. I tillegg er luft-til-luft varmepumpens systemvirkningsgrad uendret.

I tabell 4.6 kan vi se energibehovet til boligen plassert ulike steder i Norge. Tabellen viser en tydelig trend over en økning i energibehov nordover i Norge. Grunnen til at det er høyere energibehov i Trondheim enn Bodø kommer av kjøligere vintre i Trondheim, selv om årsmiddeltemperaturen er høyere der. Sannsynligvis er dette for at Bodø ligger nærmere kysten enn Trondheim. Dataene på temperatur og frostmengde i tabell 4.2 side 4.2 bekrefter dette. Vi kan se at frostmengden i Trondheim er høyere enn Bodø og det er en lavere dimensjonerende ute-temperatur.

5.2.2.1 Nåverdi og avkastning

Figur 4.14 viser en tydelig økning i nåverdi når breddegraden øker mot nord. Denne er litt følsom avhengig av lokale forhold som påvirkes av blant annet kysten og omkringliggende topografi. Vi kan se nåverdien på ulike tiltak er mer lik sør i Norge enn nord. I Kristiansand er det en forskjell på ca 100.000,- kr mellom de to tiltakene med størst og minst nåverdi. I Tromsø er forskjellen ca 135.000,- kr mellom største og minste nåverdi. Dette viser at valg av tiltak i Tromsø har større konsekvenser for lønnsomheten enn i Kristiansand.

Tiltak 10 som har den høyeste investeringskostnaden, er ikke nødvendigvis det mest lønnsomme tiltaket målt i nåverdi. Man kan legge merke til at tiltak 10 har lavere nåverdi enn det mest lønnsomme tiltak 3 i Kristiansand og Bergen. Tiltak 10 er også ett av de to minst lønnsomme tiltakene i Kristiansand. Derimot i Tromsø er tiltak 10 det nest mest lønnsomme tiltaket rett bak tiltak 9. Jo kjøligere klima, jo større energibesparelse kan man få fra et tiltak. Det samme tiltaket lenger sør i landet gir en mindre energibesparelse. Når investeringskostnaden er konstant vil dette føre til større lønnsomhet på kjøligere steder. Dette viser at lønnsomheten er veldig avhengig av lokale forhold og at tiltak som er lønnsomme et sted i landet ikke nødvendigvis er det i et annet.

Tiltak 1 med lav investeringskostnad og moderat energibesparelse er en av de mer lønnsomme tiltakene i Kristiansand og Bergen. Selv om nåverdien er relativt høy i Oslo, Bodø og Trondheim er tiltaket langt fra det mest lønnsomme. Likevel har det tidligere blitt diskutert at tiltak 1 kan være et godt valg for huseiere i Oslo da det har lav investeringskostnad og rask inntjeningsstid. Derimot i Tromsø har tiltak 1 nest lavest nåverdi. Vi ser her en trend over at tiltak som er moderate i ambisjonsnivå (tiltak 1 til 4) har en høyere relativ nåverdi i Kristiansand enn i Tromsø i forhold til andre tiltak. Motsatt ser vi fra de ambisiøse tiltakene at de har relativt høyere nåverdi i Tromsø i forhold til moderate tiltak. Selv om trenden viser at det er mer å hente på ambisiøse tiltak lenger nord, er det også noen få unntak. Tiltak 4 er mest lønnsomt i Kristiansand, Bergen og Oslo. Tiltaket er derimot ikke mest lønnsomt i Bodø, Trondheim og Tromsø, men ligger relativt høyt og nærme de mest lønnsomme tiltakene.

Om man ser på avkastning som funksjon av sted er forskjellene mer tydelig. Sett bort fra tiltak 7 og 8 som ikke oppnår støtte fra ENOVA i Tromsø er det ingen overlapp og kryssende kurver. Vi kan legge merke til at de moderate tiltakene 1 og 3 har høyest avkastning uansett sted. De mer ambisiøse tiltakene slik som 7, 8 og 9 har en langt lavere avkastning mellom 0,20 til 0,70. Også for avkastning er trenden at den øker ved mer kjølige steder. I tillegg har tiltak med lavere investering høyere avkastning. Ett argument for å gå for ett tiltak mellom 5 og 10 er at de inkluderer dør og vindu. Det er beregnet en kostnad vist i tabell 4.9 på 177.000,- kroner for dør og vindu. Denne kostnaden er en høy brøkdel av total investeringskostnad. For en bolig med meget slitt dør og vindu er ikke bare lavere energibehov et argument for rehabilitering. Det vil da være behov for å skifte dør og vindu for å opprettholde kvaliteten på boligen.

5.2.2.2 ENOVA sin påvirkning på nåverdi

ENOVA kan gi støtte til oppgradering av bygningskroppen for eldre boliger med en sum fra 100.000,- til 150.000,- kr. Denne summen er uavhengig av hvor gammel boligen er og hvor den er plassert i landet. Det de stiller krav til er varmetapstall, netto energibehov, oppvarmingsmerke og at varmetapstallet må minst reduseres med 30 % (ENOVA, 2019a). Ut fra figur 4.14 ser vi at det er store forskjeller i nåverdi på ulike tiltak plassert ulike steder. Det kan derfor argumenteres for at det er større behov for støtte på varmere steder. For eksempel utlyser tiltak 8 en støtte på 100.000,- kr gjennom ENOVA sitt nivå 3 i alle de oppgitte byene utenom Tromsø. Med en nåverdi på rundt 120.000,- kr i Kristiansand for tiltak 8 er støtten fra ENOVA viktig om tiltaket skal forbli lønnsomt om man også tar usikkerheter inn til betraktning. I Tromsø har tiltak 8 en nåverdi på nesten 275.000,- kr, selv om det ikke utlyser støtte fra ENOVA.

Nå er det slik at i utgangspunktet har 50-talls boligen før rehabilitering et større energibehov lokalisert lenger nord enn sør. Samfunnsøkonomisk betyr dette at det kan være viktigere at en bolig lenger nord blir rehabilitert enn lenger sør. Grunnen til det, er at relativt til de to stedene er det mer energi å spare på det samme tiltaket lenger nord enn lenger sør. Mye av energien vi benytter i boliger kommer fra strøm. Hvor stor effekt og hvor mye energi som tas ut av strømmettet påvirker kapasiteten og fremtidig behov for oppgradering. Dette er en utfordring for samfunnet.

I Trondheim og Bodø er tiltak 8 fortsatt mer lønnsomt enn i Kristiansand hvis Trondheim og Bodø ikke skulle ha fått støtte på 100.000,- kr fra ENOVA. Spørsmålet er om intervallene mellom kravene til de ulike nivåene fra ENOVA er for store. Beregninger i denne masteroppgaven viser at det kan være veldig lønnsomt å oppgradere boligene slik at man akkurat når det laveste

nivå 3 fra ENOVA. Videre viste det seg i denne oppgaven at kost-nytte-forholdet mellom å nå de to bedre nivåene, nivå 2 og nivå 1, ikke lønner seg. Den ekstra støtten mellom hvert nivå på 25.000,- er for lav om man vil at alle de tre nivåene skal være relativt lik lønnsom. Hva som er ENOVA sin ambisjon er usikkert. Skulle ambisjonen være at de tre nivåene skal ha relativt lik privatøkonomisk lønnsomhet kunne det vært behov for å endre støtten. Dette kan for eksempel gjøres ved å beholde støtten på 150.000,- kr for nivå 1, men redusere støtten for nivå 2 og nivå 3.

5.2.2.3 Inntjeningstid

Figur 4.16 viser inntjeningstid som funksjon av boligens plassering i landet. Som tidligere diskutert kan inntjeningstiden være viktig for boligeiere ved beslutning om hvilket tiltak som skal velges. En kort inntjeningstid er positivt for boligeiere som er usikre på hvor lenge de skal bo i boligen i fremtiden. Kort inntjeningstid er også positivt når man tar usikkerheter inn til betraktning. Ikke overraskende har tiltak 1 og 3 lavest inntjeningstid for alle tiltakene uavhengig av plassering i landet. Tiltakene har lave investeringskostnader og en relativt god energibesparelse i forhold til investering. Det finnes ingen regel på maksimalt anbefalte inntjeningstid, men begynner den å komme over rundt 15 til 20 år er det grunn til å spekulere på validiteten til inntjeningstiden. Derfor kan tiltak 5, 6 og 10 i Kristiansand og Bergen frarådes om man vil holde seg under 20 år inntjeningstid. Som allerede nevnt kan inntjeningstiden øke om investeringskostnaden er høyere enn budsjettet og andre bestemte faktorer tatt i betraktning ikke ble som forventet. I tillegg vil ikke en energisimulering gjennom SIMIEN være 100 % riktig. Dette kommer av at programvaren er en forenkling av virkeligheten. Temperaturdataene er også basert på statistikk fra fortiden og er i beste fall bare en god spekulasjon på fremtidige data.

Fra figur 4.16 kan man legge merke til en knekk i linjediagrammet mellom Bodø, Trondheim og Tromsø for tiltak 7 og 8. Dette kommer av at de to tiltakene ikke utløser en støtte på 100.000,- kr fra nivå 3 gjennom ENOVA. Resultatet av dette er at inntjeningstiden på tiltakene i Tromsø er relativt lik mellom Oslo og Tromsø og lavere i Trondheim og Bodø. Dette bygger på samme argumentasjon som i avsnittene tidligere ved diskusjon over oppnåelsen av støtte fra ENOVA og tiltakenes nåverdi. Også for inntjeningstid ser vi at å oppnå en støtte på 100.000,- kr for denne 50-talls boligen favoriserer mest Bodø og Trondheim som akkurat klarer å oppnå denne støtten.

5.2.2.4 Energibesparelse

Energibesparelse vist i figur 4.17 for de ulike tiltakene er uavhengig av investeringskostnad og gir derfor et ryddigere linjediagram enn de med nåverdi og inntjeningstid. Tiltakene er i utgangspunktet sortert ut fra stigende energibesparelse i Oslo og dette ser vi holder for de andre stedene også. En klar og tydelig trend viser at jo mer ambisiøst tiltak, jo mer energi er det å spare. Trenden viser også at jo lengre nord i landet, jo mer energi kan du spare på det samme tiltaket. Derimot viser ikke energibesparelsen kostnadene ved å utføre tiltaket og er derfor ikke noe tegn på lønnsomhet. Det figuren viser er forskjellen på hvor mye energi det er å spare på et spesifikt tiltak mellom ulike byer.

Den relative forskjellen på et tiltak mellom to steder er ikke lik for alle tiltakene. Om vi ser på ytterpunktene er tiltak 2 $(20.662/14.894 - 1) * 100 \approx 39\%$ mer energibesparende i Tromsø enn

i Kristiansand. Tiltak 10 er $(48.661/33.771 - 1) * 100 \approx 44\%$ mer energibesparende i Tromsø enn i Kristiansand. De resterende tiltakene ligger i mellom 39 og 44 % forskjell. Det er ikke nok data til å bekrefte at den relative forskjellen mellom ulike byer er statistisk signifikant. Likevel kan det være en god pekepinn å anta at et tiltak utført i Tromsø er rundt 40 % mer energibesparende enn i Kristiansand.

5.3 Bolig fra 80-tallet

I kapittel 4.4 side 72 har det blitt utført energiberegninger før og etter rehabilitering på 80-talls boligen. Her er det først vist resultater på boligen som den var før rehabiliteringen i 2018. Videre i kapittelet har flere ulike tiltak på energieffektivisering blitt kostnadsberegnet og det er utført energiberegninger. For å sjekke validiteten på resultatene er det i slutten av kapittelet utført følsomhetsanalyser på investeringskostnad og kalkulasjonsrente. Resultatene vil bli diskutert i dette kapittelet.

5.3.1 Lønnsomt rehabiliteringsnivå

Forskningsspørsmål 2 ble definert som:

Basert på en privatinvestering og støtte fra etablerte offentlige foretak, hvilke nivå er det lønnsomt å energioppgradere til i området Oslo?

Forskningsspørsmålet vil bli diskutert nedenfor basert på utførte nåverdiberegninger på 80-talls boligen. Tiltak er i utgangspunktet lønnsomt om nåverdien er positiv. Derimot er det flere faktorer å vurdere. Ved en vurdering mellom ulike tiltak er i utgangspunktet tiltaket med høyest nåverdi mest lønnsomt enn de med lavere nåverdi. Likevel trenger ikke tiltaket med høyest nåverdi å være det smarteste å gå for. Hvis to tiltak har lik nåverdi vil tiltaket med lavere investeringskostnad i utgangspunktet være mest lønnsomt. Følsomhetsanalyser er utført på alle tiltakene hvor validiteten på nåverdien vil bli testet. For noen tiltak har en relativt liten endring på investeringskostnad eller kalkulasjonsrente mye å si for nåverdien. Videre er det slik at ambisjonsnivået til ulike huseiere er forskjellig. Huseiere med mer moderat ambisjonsnivå ønsker tiltak med lavere investeringskostnad og kortere inntjeningsstid enn mer ambisiøse huseiere.

5.3.1.1 Diskusjon på tiltak uavhengig av hverandre

I kapittel 4.4.1 er resultater på ytelsen til 80-talls boligen vist før rehabilitering. Tabell 4.12 angir totalt netto energibehov. I følge ENOVA må dette reduseres med minst 30 %, altså ned til $214 \text{ kWh/m}^2 * 0,70 = 150 \text{ kWh/m}^2$ for å kunne utløse støtte til oppgradering av bygningskroppen (ENOVA, 2019a). Da støtte til nivå 3 først utlyses under et energibehov på $(120 + 1600/175) \text{ kWh/m}^2 = 129 \text{ kWh/m}^2$ er minimumsregelen på 30 % tilfredsstilt.

Strategi på valg av tiltak

I figur 4.18 er varmetapsbudsjettet for boligen vist. Dette budsjettet viser hvordan varmetapet i boligen er fordelt. For eksempel står kuldebroer for 3,3 % av varmetapet. Et så lavt varmetap betyr at det er liten gevinst å hente ved å øke kostnadene for å aktivt redusere kuldebroer.

Derimot er varmetapet fra ventilasjon (26,0 %), dør og vindu (23,8 %), yttervegger (18,4 %) og infiltrasjon (15,2 %) store nok til at tiltak bør vurderes. For å sikre god kvalitet på inneluften er det behov for frisk lufttilførsel og avtrekk fra bad, toalett, vaskerom og kjøkken. Dette fører til stort varmetap i boligen på ventilasjon da ingen varmegjenvinning er installert. På grunn av dette er balansert ventilasjon et tiltak som bør vurderes.

Varmetapet fra dør og vindu står nesten for en fjerdedel av varmetapet. Dør og vindu er i likhet med balansert ventilasjon et kostbart tiltak å utføre. Det er kostbare produkter som tar tid å montere. For balansert ventilasjon går mye av produktkostnadene til aggregatet og mye av arbeidskostnadene til å installere ventilasjonsrør og ventiler. Det er mye arbeid å montere hvert enkelt dør eller vindu da først gammel kledning og dør/vindu må demonteres. Deretter går det mye arbeid i å montere dør og vindu rett, utføre nødvendig tetting, isolering og til slutt kledning på innvendig og utvendig side. En måte å betraktelig redusere totalkostnaden på dør og vindu er å montere dette selv og derav slippe arbeidskostnadene. Det er ikke vurdert i denne masteroppgraden at boligeier skal utføre alt arbeid som egeninnsats.

Varmetapet fra yttervegger og infiltrasjon henger noe sammen. Infiltrasjon skjer gjennom hele bygningskroppen og angir uønskede luftlekkasjer. Disse luftlekkasjene gir økt varmetap og kan også gi råteskader. Disse råteskadene oppstår når fuktig inneluft siver gjennom konstruksjonen og kondenserer før friluft. Infiltrasjon kan reduseres ved å tette mellom svill og grunnmur og montere vind- og dampspærre på yttervegg og tak. I tillegg er tetting mellom konstruksjon mot dør og vindu viktig. Overganger mellom blant annet tak og yttervegg kan også være steder hvor det bør tas ekstra hensyn til tetting. Ved etterisolering av yttervegg er det derfor gode muligheter til å redusere infiltrasjonen. Når man åpner konstruksjonen har man mulighet til å fuge mellom svill og grunnmur, tette bedre mellom yttervegg og tak og til slutt montere en ny vindspærre. Det gir også mulighet til å tette mellom konstruksjon mot dør og vindu. Etterisolering av yttervegg og montering av ny vindspærre er på grunn av store arealer og relativt lave kostnader effektive tiltak for å redusere varmetapet.

Energiberegning på tiltak uavhengige av hverandre

I kapittel 4.4.2 er ulike tiltak kostnadsberegnet og det er utført energiberegninger på tiltakene. Tabell 4.16 angir blant annet nåverdien og inntjeningstiden på disse tiltakene uavhengig av hverandre. Denne tabellen ble benyttet til å vurdere hvilke tiltak som kunne passe som sammensatte tiltak. For eksempel ser vi at ekstra isolasjon på grunnmur med ny puss gir negativ nåverdi og er derfor et tiltak som nedprioriteres. Likevel er noen tiltak med negativ nåverdi kritisk å inkludere. Balansert ventilasjon betaler seg kanskje ikke direkte tilbake i reduserte energiutgifter, men er likevel nødvendig. Når bygningskroppen blir rehabilitert, ventiler blir kledd igjen og luftlekkasjetallet redusert betraktelig bør man installere balansert ventilasjon. Den vil da sørge for bedre kvalitet på inneluften samt redusere den relative fuktigheten i luften. I noen tilfeller kan også balansert ventilasjon være det avgjørende tiltaket for å utløse støtte fra ENOVA.

Tabellen viser også ulike tiltak på etterisolering av yttervegg. Forskjellige tiltak har ulik nåverdi. Vi ser at 100 mm utlektet isolasjon på yttervegg kommer best ut. Av den grunn blir det lagt mer fokus på det tiltaket i videre analyser. Likevel kan i noen tilfeller de andre tiltakene være mer gunstige hvis de fører til at det akkurat oppnås en støtte fra ENOVA. En forskjell på 100.000,- kr i støtte mellom to ellers like tiltak har mye å si for nåverdien. Videre har noen tiltak en positiv innvirkning på nåverdien sammen. Vi kan se at 100 mm utlektet isolasjon og 80 mm EPS på grunnmur med puss uavhengige av hverandre fører til en nåverdi på $92.087 \text{ kr} - 30.353 \text{ kr} = 61.734, - \text{kr}$. Likevel når de tiltakene er sammensatt som vist i tabellen får vi en nåverdi på

65.001,- kr. Dette kommer av at de sammen virker bedre enn uavhengige av hverandre. Det er på grunn av en reduksjon på luftlekkasjetallet ved etterisolering av yttervegg. Ekstra isolasjon på bygningskroppen har lite å si om luftlekkasjetallet er høyt. For eksempel vil et passivhus med mye isolasjon på bygningskroppen ikke klare å holde varmen hvis alle dør og vindu skulle stå åpen. Derfor vil ekstra isolasjon og en reduksjon av luftlekkasjetallet ha positiv påvirkning på hverandre.

Man kan også legge merke til at varmepumpe i seg selv er et effektivt tiltak. Den lave investeringskostnaden og den relativt høye energibesparelsen fører til en høy nåverdi og kort inntjeningsstid. Men som tidligere diskutert i oppgaven fra figur 2.17 er det ikke riktig strategi å velge oppvarmingsløsning før bygningskroppen er tilfredsstillende isolert. Vi vil også se senere i kapitlet at varmepumpens innvirkning på energibesparelsen blir mindre jo mer ambisiøse tiltak som er valgt.

5.3.1.2 Diskusjon på sammensatte tiltak

Tabell 4.19 viser de uavhengige tiltakene i tabell 4.16 satt sammen på ulike måter. Tabellen er sortert ut fra energibesparelse. Kostnadene er satt sammen fra tabell 4.18 og inkluderer støtte fra ENOVA. Hovedsakelig er det nåverdien og avkastningen som viser lønnsomheten på tiltakene. Tiltak med høyest nåverdi har fått en grønn farge og tiltak med lavest nåverdi har fått en rød farge. Hvilke tiltak som er smarte å gå for vil bli diskutert nedenfor. For 50-talls boligen ble tiltakene delt opp i enten “moderate” eller “ambisiøse”, dette vil ikke bli gjort for 80-talls boligen. Grunnen til det er at tiltakene til boligen er mer like i investeringskostnad og hva de omfatter på bygningskroppen.

5.3.1.3 Nåverdi med og uten lån

Med utgangspunkt i tabell 4.19 viser figur 4.21 nåverdien for de ulike tiltakene med og uten lån på investering. Den relative forskjellen med og uten lån for de ulike tiltakene er forskjellig av ulike grunner. I utgangspunktet går lånet på investeringskostnaden. En lav investeringskostnad vil derfor føre til et mindre kostbart lån. Videre vil energibesparelsen ha mye å si for inntjeningspotensialet gjennom levetiden til tiltaket. Om energibesparelsen er relativt lav i forhold til investeringskostnaden vil det bli stor forskjell mellom søylene som vi kan se i figuren.

Vi kan legge merke til at tiltak 1 er et sikkert valg om man tar usikkerheten med et lån til følge. For tiltak 1 er nåverdien med lån 86 % av nåverdien uten lån som vi ser i tabell 4.20. Ved flytende rente på lån gjennom 15 år kan renten endres betraktelig. Tiltak 1 viser med relativ lav forskjell med og uten lån at det er mindre følsomt ved renteendring. Om vi vurderer tiltak 2 med en større relativ forskjell med og uten lån enn tiltak 1 er svaret annerledes. For tiltak 2 er nåverdien med lån 40 % av nåverdien uten lån. Her ser vi at nåverdien for tiltak 2 er relativt høy uten lån som i utgangspunktet betyr at det er en god investering. Derimot om vi ser på søylen som viser nåverdi når investeringen er belånt, er nåverdien betraktelig lavere. Det er derfor viktig å ta lånefinansiering på investering i betraktning når man bestemmer seg for et tiltak.

5.3.1.4 Vurdering av tiltak mot hverandre

I dette delkapittelet skal ulike tiltak fra tabell 4.19 diskuteres. Ved rehabilitering av boligen kan kun ett av disse tiltakene gjennomføres. Tiltakene vil bli vurdert ut fra en rekke kriterier. Et tiltak prioriteres når det har en høy nåverdi og avkastning og kort inntjeningstid. I tillegg vil følsomheten på blant annet nåverdi og inntjeningstid i forhold til investeringskostnad og kalkulasjonsrente beskrive validiteten på resultatene.

Ser man i tabell 4.19 skiller særlig tiltak 1 og 5-10 seg ut. Disse tiltakene har høyest nåverdi både med og uten lån av de 10 tiltakene. Likevel kan vi ikke se oss blind på rene verdier. Tabell 4.20 viser at tiltak 1, 3 og 5-8 er de seks tiltakene med høyest avkastning både med og uten lån på investering. Vi ser altså at selv om tiltak 9 og 10 har høy nåverdi vil deres høye investeringskostnad redusere avkastningen. Spesielt ser vi tiltak 1, 5 og 7 skiller seg ut som de 3 med høyest avkastning. Tiltak 1 skiller seg fra 5 og 7 ved at balansert ventilasjon og nye dør og vindu ikke er inkludert. Tiltak 1 er derfor et rimelig tiltak. Levetid på dør og vindu er rundt 30 år og de er fremdeles ikke er byttet på dette 32 år gamle bygget fra 1987. Det kan derfor argumenteres for at dør og vindu bør uansett skiftes. Deres tetthet og U-verdi kan ha sunket betraktelig siden produktene i seg selv og tettingen utført har forringet med årene. Som det også har blitt diskutert tidligere i denne masteroppgaven er det behov for balansert ventilasjon i dette bygg. Det kan derfor også argumenteres for at tiltak 1 kan være en risiko for dårlig inneluft og råteskader hvis ikke balansert ventilasjon blir installert. Det kan diskuteres for og i mot mellom tiltak 5 og 7. I utgangspunktet er avkastningen høyere for tiltak 5. Likevel kan det være ønskelig for huseier å velge tiltak 7 med varmepumpe. Varmepumper er en god kilde til grunnoppvarming og har en relativt høy dekningsgrad i huset med en god plassering. Med de hetebølgene vi kan få om sommeren vil den også gi mulighet for kjøling. Varmepumper er også svært konkurranseutsatt på grunn av mange leverandører. Det kan gi mulighet til å redusere investeringskostnaden med vesentlig beløp for varmepumpe med montering.

Vurdering med og uten lån

Tabell 4.20 viser ikke bare avkastning. I nederste rad ser vi også den relative forskjellen på nåverdi med og uten lån. Som nevnt tidligere er det positivt når forskjellen er lav. Gjennom fargemerkingen på tabellen hvor de tre beste er belønnet med grønn farge og de fire dårligste med rød farge er det samme fordeling i de tre radene. For 80-talls boligen er derfor de sammensatte tiltakene med høyest avkastning, også de som har den minste relative forskjellen på nåverdi med og uten lån. I forrige avsnitt ble tiltak 5 og 7 trukket fram som de med høyest avkastning som det samtidig var smart å gå for. Dette på grunn av nye dør og vindu samt installering av balansert ventilasjon. Vi ser også i tabellen at disse tiltakene også har en relativt liten forskjell på nåverdi med og uten lån. Faktisk om vi ser i nest siste kolonne i tabell 4.19 har tiltak 5 og 7 den høyeste nåverdien med lån.

Følsomhetsanalyse på investeringskostnad

I figur 4.22 til 4.25 ser vi nåverdien, avkastningen, inntjeningstiden og internrenten som en funksjon av investeringskostnad. Selv om tiltak 5 og 7 peker seg positivt ut med låste verdier vil en følsomhetsanalyse vise hva som skjer om de låste verdiene endrer seg. Kostnadene fra dør og vindu og balansert ventilasjon kommer fra virkelige kostnader beløpt på denne 80-talls boligen. Kostnader for etterisolering av vegg og etasjeskillere er hentet fra Holte SmartKalk med noen endringer i materialkostnader hentet fra byggevareleverandører i Trondheim. Arbeidstimer er beregnet gjennom Holte SmartKalk samt annet materialbehov i forbindelse med tiltakene. På

grunn av disse faktorene er det grunn til å tro at endringen i investeringskostnad i virkeligheten ikke er så stor.

Figur 4.22 viser nåverdien som funksjon av investeringskostnaden. Vi kan legge merke til ved ingen endring er tiltak 5 (oransje) og tiltak 7 (lilla) de to høyeste. Ved en reduksjon på investeringskostnadene stiller fremdeles de to tiltakene bra. Vi ser mellom 10-15 % reduksjon og videre tar tiltak 10 (rosa) over som tiltaket med høyest nåverdi. Likevel kan tiltak 10 betraktes som et over gjennomsnittet usikkert tiltak da det har den nest laveste nåverdien om investeringskostnaden øker til 30 %. Tiltak med bratt kurve premieres ikke da det viser en større usikkerhet til sluttresultatet. Selv om tiltak 1 har den høyeste nåverdien fra 15 % økning i investeringskostnad og den minst bratte kurven er ikke tiltak 5 og 7 langt unna. Tiltak 5 og 7 ligger fremdeles med nest høyest nåverdi ved en økning på investeringskostnaden.

Figur 4.23 viser avkastningen for de ulike tiltakene. Man kan legge merke til at avkastning på alle tiltakene er positiv. Grunnen til at tiltak 1-4 har mer rette kurver kommer av ingen støtte fra ENOVA da reduksjonen i investeringskostnad ikke gjelder støtte. Dette viser at tiltak 5 og 7 får raskt bedre avkastning enn tiltak 1 så fort investeringskostnaden synker. Samtidig ved en økning i investeringskostnad er tiltakene uten støtte fra ENOVA mindre påvirket med en flatere kurve. Selv om tiltak 5 og 7 er relativt overlappende i figur 4.22 som viser nåverdi som funksjon av investeringskostnad, ser vi at figuren for avkastning gir et annet bilde. Dette kommer av at tiltakene gir relativt lik nåverdi, men investeringskostnaden for tiltak 7 er noe høyere grunnet varmepumpen. Alt i alt ser man at tiltak 1, 5 og 7 har best avkastning uansett endring i investeringskostnad.

Figur 4.24 viser inntjeningstiden som en funksjon av investeringskostnaden. Som kjent er kort inntjeningstid positivt for et tiltak. Også her ser vi de tidligere diskuterte tiltak 1, 5 og 7 har kortest inntjeningstid uansett endring. Vi ser også at med en liten endring i investeringskostnad mot begge sider har alle de tre tiltakene kun 7,5 til 9 år inntjeningstid. En inntjeningstid under 10 år kan betraktes som ganske bra. Like over tiltak 1, 5 og 7 er tiltak 3 (gul) og 4 (grønn). Selv om de har en relativt lav inntjeningstid ser vi i tabell 4.20 at avkastningen med og uten lån er mye dårligere enn for tiltak 1, 5 og 7.

Det siste diagrammet på følsomhetsanalyse for investeringskostnad er figur 4.25 som viser internrenten. Internrenten viser den kalkulasjonsrenten som gir nåverdi lik 0. Som følge av dette er en høy internrente positivt. Nok en gang ser vi tiltak 1, 5 og 7 har høyest internrente og kommer best ut. Av de tre tiltakene kommer tiltak 7 dårligst ut ved en økning på 30 % i investeringskostnaden, internrenten er da like over 6 %.

Følsomhetsanalyse på kalkulasjonsrente

I figur 4.26 til 4.28 er nåverdien, avkastningen og inntjeningstiden vist som funksjon av kalkulasjonsrenten. Investeringskostnaden er låst i henhold til tabell 4.19. Resultatene er basert på en investering uten lån. Kalkulasjonsrenten eller diskonteringsrenten gjelder da for fremtidig kostnadsbesparelser på energibruk hvor kostnadene er basert på to variabler; energiforbruk og strøm- og vedpris. Hvilken kalkulasjonsrente som er mest riktig å se på avhenger av alternative investeringer. Hvis man har en alternativ investering på fondsparing med antatt avkastning 3 % de neste årene skal man se på denne renten i figurene.

Man kan i figur 4.26 se at det er mye overlapp og kryssende kurver. Da investeringskostnaden er konstant ser vi at nåverdien på fremtidig energibesparelser er veldig avhengig av kalkulasjonsrenten. Fremtidige energibesparelser er ulike mellom hvert tiltak, hvor tiltak 10 har høyest

besparelser og tiltak 1 har lavest besparelser. Følgelig er kurvene brattere for de tiltakene med høy energibesparelse. Da fremtidig energibesparelse og energikostnad er usikker viser tiltakene med lavere energibesparelse en større sikkerhet i nåverdiberegningene.

Figur 4.27 viser avkastningen til de ulike tiltakene som funksjon av kalkulasjonsrenten. Siden investeringskostnaden er konstant er endringen i avkastning en funksjon av endring i nåverdi. Med unntak av tiltak 9 og 10 er det ingen kryssende kurver. Tidligere diskuterte tiltak 1, 5 og 7 er de tre med høyest avkastning uansett kalkulasjonsrente. Avkastningen er også positiv og alltid over 44 % ved de gitte rentene.

I figur 4.28 kan vi se inntjeningstiden som funksjon av kalkulasjonsrenten. Som vi kan se i diagrammet er det noen parallelle kurver med lik inntjeningstid, men ingen kryssninger. En kortere inntjeningstid er bedre og man kan legge merke til at tiltak 1, 5 og 7 nok en gang er best med kortest inntjeningstid. Tiltak 7 har lengst inntjeningstid av de tre tiltakene og er på 11 år ved 7 % rente.

5.3.2 Plassering av bolig i Norge

Forskningsspørsmål 3 ble definert som:

Hvor stor innvirkning har boligens lokalisering i Norge å si for energiforbruket?

I de neste underkapitlene vil dette forskningsspørsmålet bli diskutert. Det er foretatt lønnsomhetsberegninger gitt i figur 4.29 til 4.32. Byene som har blitt benyttet i analysen er spredt fra sør til nord og øst til vest i Norge og har i tillegg relativt høyt innbyggertall. Man kan i tabell 4.2 se temperaturdata for de ulike byene. I beregningene er kun sted i landet endret, det vil si at orienteringen av bygget og topografien i rundt er uendret. I tillegg til dette er systemvirkningsgraden på varmpumpen holdt konstant.

5.3.2.1 Nåverdi

Nåverdien for de ulike tiltakene er gitt i figur 4.29. Man kan se en tydelig trend i økt nåverdi for boliger plassert lenger nord i landet. På grunn av lokalt klima i Trondheim i forhold til Bodø er det registrert høyere nåverdi i Trondheim. Energibehovet for 80-talls boligen før rehabilitering kan ses i tabell 4.15 og figur 4.20. Mellom Trondheim og Tromsø er det en tydelig nedgående knekk i kurven for tiltak 5, 6 og 7 og relativt liten endring for tiltak 8 og 9. Grunnen til dette er at Tromsø ikke kvalifiserer til en støtte på 100.000,- kr fra ENOVA for disse tiltakene. Dette kommer av at energibehovet i Tromsø er for høyt i forhold til kravet fra ENOVA. Man kan se at dette har stor påvirkning på hvilke tiltak som har høyest nåverdi. Der tidligere tiltak 5 og 7 har vist gode resultater ser vi for Tromsø at de ligger nesten lavest på nåverdi. Når investeringskostnaden uten støtte for tiltakene er antatt lik for alle byene vil kun energibesparelsen være forskjellig. Man kan da se at nåverdien øker for byer som har kaldere klima.

5.3.2.2 Avkastning

Avkastningen på tiltak viser bedre inntjeningspotensiale enn kun resultater på nåverdi. I figur 4.30 er avkastningen gitt for ulike byer i Norge. Man kan legge merke til at avkastningen ge-

nerelt stiger jo lenger nord man kommer i Norge med få unntak. De tidligere diskuterte tiltak 1, 5 og 7 har også høyest avkastningen i andre byer enn Oslo sett bort fra Tromsø. Man skulle tro så langt nord som Tromsø er det mer lønnsomt med tiltak som gir ekstra energibesparelse. Problemet er at tiltakene som er mest lønnsomme i de andre byene kvalifiserte akkurat til støtte fra ENOVA. Når støtten er på 100.000,- kr eller mer vil det ha stor påvirkning på lønnsomheten. I Tromsø var det kun tiltak 10 som kvalifiserte til støtte og dermed ser vi en helt annen rekkefølge på resultatene der. Uavhengig av støtte fra ENOVA har fortsatt tiltak 1 høyest avkastning av alle tiltakene uansett by i Norge. Dette viser at med den riktige kombinasjonen av tiltak kan det likevel ligge god økonomi i å energieffektivisere boligen uavhengig av støtte fra ENOVA.

5.3.2.3 Inntjeningstid

Figur 4.31 viser inntjeningstiden for de ulike tiltakene som funksjon av sted i landet. Sannsynligvis vil det være ønskelig å holde inntjeningstiden under 15 år uavhengig av hvor man bor. Man kan legge merke til i figuren at alle stedene har en eller flere tiltak med inntjeningstid under 10 år. Trenden som vises i denne figuren er lik figurene for nåverdi og avkastning. Det er generelt sett lavere inntjeningstid jo lenger nord man kommer. Man kan også legge merke til at mellom Trondheim og Tromsø er det en tydelig knekk i kurvene for tiltak 5 til 9 da disse ikke utlyser støtte fra ENOVA i Tromsø.

5.3.2.4 Energibesparelse

Figur 4.32 viser energibesparelsen som funksjon av sted i Norge. Ikke uventet er energibesparelsen også høyere jo lenger nord man kommer i Norge med unntak av Trondheim og Bodø. Selv om figuren ikke viser resultater som kan brukes til å forstå lønnsomheten er figuren likevel nyttig. Man kan legge merke til at selv om tiltak 1 har kun halvparten av energibesparelsen til tiltak 10 har tiltak 1 likevel best avkastning som vist i figur 4.30. Det er derfor i forkant av en boligrehabilitering ikke nødvendig å ha som ambisjon at det skal oppnås størst mulig energibesparelse.

I likhet med energibesparelsene for 50-talls boligen er også de relative forskjellene mellom Kristiansand og Tromsø ganske like. For 50-talls boligen varierte forskjellen på et spesifikt tiltak med 39 til 44 %. For 80-talls boligen er denne forskjellen mellom 40 og 46 %.

5.4 Sammenligning av 50- og 80-talls bolig

Tidligere i dette kapitlet har de to ulike boligene blitt diskutert hver for seg. Diskusjonen har gått på de ulike tabellene på kostnader, energisparing og lønnsomhet i kapittel 5 samt følsomhetsanalysene. For begge boligene har diskusjonen vist at det er lønnsomt å energioppgradere når det er på tide å rehabilitere bygningskroppen. Det vil si de ekstra kostnadene som må benyttes til blant annet reduksjon av luftlekkasjetallet og bedre U-verdier sparer seg inn i løpet av ca 5 til 15 år. Uten at det har blitt kvantifisert en verdi på det, kan også beboere i begge boligene nyte godt av et bedre inneklima ved en energioppgradering.

I kapittel 4 (resultater) ble det vist at det er store forskjeller på lønnsomheten avhengig av hvor i landet boligen er plassert. På grunn av det er det viktig å unngå generalisering av resultatene. Hva som er det beste tiltaket i Oslo er ikke nødvendigvis det i Bodø eller Bergen. Det ble tidligere i oppgaven vist at Oslo og boligens plassering i Steinkjer har tilfeldigvis relativt likt energibehov. Av den grunn ble det valgt Oslo som referansested for lønnsomhetsanalysen i tabell 4.10 og 4.19. Der hvor ikke annet er nevnt vil derfor diskusjonen på lønnsomhet være basert på Oslo som referansested.

5.4.1 Sammenligning av tabell for lønnsomhet til boligene

Før man diskuterer forskjellen på resultatene til de ulike boligene må man forstå ulikhetene mellom boligene. Boligene er bygd i 1958 og 1987, det er derfor 29 år i aldersforskjell. I løpet av disse 29 årene har det skjedd mye i forbindelse med typer og kvalitet på materialer og krav satt til boligene. Man kan dermed forvente at en nyere bolig også har et lavere energiforbruk. Ytterveggene av bindingsverk i 50-talls boligen har 10 cm isolasjon og i 80-talls boligen er det 15 cm isolasjon. Sett bort fra alder er også utformingen av byggene forskjellig. Boligene har relativt likt bruksareal, men der stopper likheten, se tabell 5.1. 50-talls boligen har kald kjeller og kaldt loft. 80-talls boligen er et sokkelhus uten kjeller og med innredet loft. En varm og en kald sone er adskilt på loftet til 80-talls boligen med en knevegg på litt over en meter høyde. 50-talls boligen har både første og andre etasje over terreng, dette er vegger av bindingsverk med bordkledning utenfor. 80-talls boligen har bindingsverk med bordkledning kun i andre etasje hvor sokkeletasjen består av murpuss på utvendig side. Dette fører til at det er større kostnader forbundet med etterisolering bak bordkledning for 50-talls boligen da arealene er større. 50-talls boligen har også større areal på ytterveggene i forhold til BRA enn 80-talls boligen. Dette kommer av at 50-talls boligen ikke utnytter arealet på loftet. Arealet på gavlveggene er likevel beregnet.

Tabell 5.1: Ulike arealer på 50-talls og 80-talls boligen. Det er ikke medberegnet areal på grunnmur for 50-talls boligen da kjelleren er betraktet som kald.

	50-talls bolig	80-talls bolig
BRA [m ²]	175	191
Utvendig areal grunnmur mot terreng [m ²]	0	42
Utvendig areal grunnmur over terreng [m ²]	0	59
Utvendig areal yttervegg med bindingsverk [m ²]	238	123
Arealandel dør og vindu mot BRA [%]	17	12

Tabell 4.10 viser lønnsomheten på ulike tiltak for 50-talls boligen og tabell 4.19 viser tilsvarende for 80-talls boligen. Tabellene er satt opp likt, hvert hus har 10 sammensatte tiltak og disse er sortert ut fra energibesparelse. Man kan legge merke til at begge boligene har et relativt rimelig tiltak 1 med god nåverdi og ca lik avkastning og energibesparelse. Derimot vil det påløpe seg ekstra kostnader på 80-talls boligen for tiltak 1 da det innebærer utskiftning av utvendig bordkledning. Tiltak 1 viser altså at det ikke nødvendigvis trenger å være stor forskjell på kostnader i forhold til energibesparelsen på to ulike boliger.

50-talls boligen oppnår først en støtte på nivå 3 oppgradering av bygningskroppen fra ENOVA ved en energibesparelse på 33.700 kWh og investeringskostnad 366.000,- kr inkludert støtte. 80-talls boligen har derimot kun en energibesparelse på 20.800 kWh og investeringskostnad 135.000 NOK inkludert støtte ved samme nivå. Dette er som antatt da 80-talls boligen har i utgangspunktet før rehabilitering et lavere varmetapstall. Tiltak 7 og 8 på 50-talls boligen i tabell 4.10 oppnår begge nivå 3 og har en nåverdi på ca 190.000,- kr og avkastning på 0,5. Man kan legge merke til at tiltak 5 til 9 for 80-talls boligen i tabell 4.19 har en nåverdi på rundt 145.000,- til 170.000,- kr og en avkastning på 0,6 til 1,2. Om lønnsomhet måles i høyest nåverdi ser man at det er mer å hente på å oppgradere til nivå 3 på 50-talls boligen enn 80-talls boligen. På grunn av høyere investeringskostnader ser vi derimot at 50-talls boligen har en lavere avkastning. 50-talls boligen har også inntjeningstid på 15 år i forhold til 80-talls boligens inntjeningstid på 8 til 13,5 år. Dette viser at tiltak for energioppgradering på en eldre bolig kan ta lengre tid før investeringen har gått i null. Lignende argumenter kan brukes i diskusjon for å oppnå støtte på nivå 2 fra ENOVA. Her ser man også en høyere investeringskostnad og større energibesparelse for 50-talls boligen. Selv om nåverdien er relativt lik for tiltak med nivå 2 for begge boligene er avkastningen langt høyere på 80-talls boligen.

En interessant diskusjon er hva man skal gjøre når utvendig bordkledning byttes. Her skal man selvfølgelig ikke skjære alle over samme kam, men det har blitt svært vanlig i bransjen med 5 cm utlektet isolasjon ved rehabilitering. Man kan trygt anta at de færreste har gjennomført lønnsomhetsanalyser på tiltaket. Dette kommer av at ikke alle entreprenører utfører energisimuleringer eller leier inn konsulenter til det. I denne masteroppgaven ble det sett på forskjellen i lønnsomhet på forskjellige tiltak på yttervegg. Tiltak 3 og 4 for 50-talls boligen i tabell 4.10 er begge like sett bort fra tiltak 4 som har 100 mm utlektet isolasjon på yttervegg. Ingen av tiltakene tilfredsstilte kriteriene for støtte fra ENOVA. Med et utvendig areal yttervegg på 238 m² blir ekstrakostnaden høy ved 100 mm ekstra isolasjon. Dette fører til at tiltak 4 er rundt dobbelt så dyrt som tiltak 3 med kun vindtetting. Selv om tiltakenes nåverdi er noenlunde like er avkastningen langt bedre på tiltak 3. Tiltak 3 med kun vindsperre har også halvparten av inntjeningstiden som tiltak 4.

Får man de samme resultatene med og uten etterisolering av yttervegg på 80-talls boligen? I tabell 4.19 er tiltak 5 og 6 like sett bort fra at tiltak 6 har i tillegg 100 mm utlektet isolasjon. Da kun andre etasje og loft på boligen har bordkledning er ekstrakostnaden for isolasjon lavere her enn for 50-talls boligen. Det første man kan legge merke til er at begge tiltakene kvalifiserer til nivå 3 støtte fra ENOVA. Gjennom beregninger var det ikke hensiktsmessig mulig å få til nivå 3 støtte på 50-talls boligen med kun ekstra vindtetting på yttervegg. Dette viser at en nyere bolig trenger færre tiltak for å nå en moderne standard. For tiltak 5 og 6 på 80-talls boligen kan man legge merke til en relativt lik nåverdi. Avkastning er derimot bedre på tiltaket med kun vindtetting. Her er derimot ikke forskjellen på inntjeningstid så stor, likevel har tiltak 5 en lavere inntjeningstid på ca 3 år. Hva man i virkeligheten burde ha gått for er litt smak og behag, men rent økonomisk er tiltak 5 mer lønnsomt. I virkeligheten ble faktisk tiltak 5 med varmepumpe (tiltak 7) utført på 80-talls boligen under rehabiliteringen i 2018.

5.4.1.1 Samfunnets behov

Samfunnsøkonomiske kostnader er en av grunnene til at ENOVA utgir støtte til huseiere som oppgraderer bygningskroppen på egen bolig. Globalt sett er det svært viktig å redusere energi-

bruken i boliger da klimagassutslipp er direkte avhengig av strømforbruket. I tillegg vil Norge fortsette å vokse i innbyggertall fremover, og stadig nye elektroniske produkter som el-biler kommer på markedet. Når belastningen på strømmettet i Norge øker mot maks kapasitet, vil det medføre store kostnader til oppgradering. Om støtten fra ENOVA fungerer bra, vil den påvirke mange huseiere til å redusere energibruken. Dette kan føre til at Norge kan spare store kostnader i en eventuell utvidelse av strømmettet. I utgangspunktet så vi at 80-talls boligen har en årlig levert energi på 46.740 kWh i tabell 4.13. Dermed vil blant annet tiltak 5 og 6 med en energibesparelse på ca 20.000 kWh nesten halvere den leverte energien per år. Når boliger står for 22 % av det norske sluttbruket av energi (Olje- og Energidepartementet, 2019) ligger det et stort potensiale om Norge får halvert energibruken fra husholdningene. Eldre boliger kan redusere energibruken ved å energieffektivisere bygningskroppen. Da nyere boliger er svært energieffektive i utgangspunktet, kan energibruken kun reduseres betraktelig gjennom produksjon av energi. Populært i Norge er solcellepanel på taket som produserer strøm. Ser man i tabell 4.4 er den leverte energien i 50-talls boligen 56.454 kWh. I tabell 4.10 viser tiltak 7 som er det første som oppnår nivå 3 støtte fra ENOVA en levert energibesparelse på 33.740 kWh. Man kan derfor legge merke til at den leverte energien er mer enn halvert for 50-talls boligen. Dette er med på å bekrefte at støtte fra ENOVA hjelper med å redusere energibruken i norske husholdninger. Tiltak 7 er et lønnsomt tiltak for 50-talls boligen,. Uten støtte på 100.000,- kr for oppgradering av bygningskroppen hadde ikke tiltak 7 vært like lønnsomt relativt til andre tiltak.

Direktoratet for byggkvalitet (DiBK) er en sentral myndighet på blant annet plan- og bygningsloven. DiBK stiller krav til nye boliger gjennom TEK17 hvor energi er et av kapitlene. Dagens krav til netto energibehov er det samme som ENOVA stiller krav til for å utløse støtte til nivå 2 oppgradering av bygningskroppen. Spørsmålet er når man i denne masteroppgaven ser potensialet ved energieffektivisering, at det også burde stilles krav ved rehabilitering av eksisterende boliger? I dag trenger ikke huseier å søke om tillatelse hvis utvendig bordkledning og dør og vindu skal byttes. Derimot hvis huseier skal utføre en fasadeendring, må huseier søke til kommunen. Likevel stilles det ingen krav fra kommunen på kvalitet på materialer eller utførelse. Dette kan føre til at mye svart arbeid gjennomføres og antageligvis dårligere kvalitet enn fagmessig utført. Spesielt vindtetting av fasaden krever særdeles årvåkenhet til detaljer. Skjøter må klemmes godt og eventuelt også teipes. Overganger mellom bindingsverk og grunnmur eller dør og vindu kan også føre til store luftlekkasjer ved dårlig utførelse. Kunne kommunen stille krav til huseier gjennom forskrifter fra DiBK? Ja det er teknisk mulig å gjøre dette, spørsmålet er om det er lurt eller ikke. Man kan sammenligne dette med virkemidlet “pisk eller gulrot”. Skal det settes krav til eller skal man lokke med økonomisk støtte?

Argumentasjonen for å stille krav til energieffektivisering under rehabilitering av bolig er å nå målet på redusert energibruk fra norske husholdninger. Dette er altså et kollektivt mål for samfunnet som private personer selv må betale for. Rehabilitering av bolig er kostnadskrevende og kan allerede være kostbart for visse husholdninger. For noen boliger er det derimot ofte et akutt behov av vedlikehold ved ombygging slik at tiltaket bør gjennomføres snarest. Om man i tillegg skal stille krav, altså “piskan”, til huseier om å øke kostnadene betraktelig så kan det hende at det blir for kostbart. Man kan derfor heller vurdere “gulroten”, altså å fortsette med å utgi støtte fra ENOVA til de som velger å være mer ambisiøse. En helhetlig analyse av denne problemstillingen om å stille krav til rehabilitering faller derimot utenfor denne masteroppgavens grensesnitt.

5.4.1.2 Balansert ventilasjon

For begge boligene var det avgjørende å installere balansert ventilasjon for å oppnå støtte på minst 100.000,- kroner fra ENOVA. Man kunne alltid ha energieffektivisert mer på andre varmetap, men det hadde vært uhensiktsmessig. For eksempel kan vi ta tiltak 5 og 7 på 50-talls boligen fra tabell 4.10 som er like sett bort fra at tiltak 7 har balansert ventilasjon. Investeringskostnaden hos begge er nesten lik og ligger like over 360.000,- kr. Her utløser tiltak 7 en støtte på 100.000,- kr for oppgradering av bygningskroppen og 15.000,- kr for balansert ventilasjon. Man kan legge merke til at årlig netto energibehov synker med 34 kWh/m^2 og en nåverdi som øker med nesten 70.000,- kr. Det er altså tydelig hvor viktig det er for entreprenøren å anbefale huseier å montere balansert ventilasjon. En ting er at energibehovet til boligen reduseres. For det andre så bedrer det innklimaet og reduserer faren for råteskader.

Tilsvarende kan observeres for 80-talls boligen i tabell 4.19. Her er blant annet tiltak 2 og 6 like sett bort fra at tiltak 6 har balansert ventilasjon. Tilsvarende det samme for tiltak 4 og 8. Det er også her behov for balansert ventilasjon for å nå nivå 3 hos ENOVA. Totalkostnaden på balansert ventilasjon er 94.850,- kr på denne boligen og det fører til at tiltak 6 er rimeligere enn tiltak 2 og tiltak 8 er rimeligere enn tiltak 4. Man kan for både tiltak 6 og 8 legge merke til at nåverdien og dermed avkastningen er langt bedre. Dermed kan de samme argumentene brukt på 50-talls boligen beskrive hvor viktig balansert ventilasjon er ved rehabilitering.

5.4.1.3 Støtte fra ENOVA

For begge boligene har det vist seg at støtte fra ENOVA har vært avgjørende for lønnsomheten til de mer ambisiøse tiltakene. I Oslo har ingen tiltak vært ulønnsomme selv om de ikke hadde fått støtte. Men om støtte ikke var tilgjengelig ville mindre ambisiøse tiltak vært å foretrekke. Dette viser hvor viktig støtte til energioppgradering er om det offentlige ønsker å betraktelig redusere energibruken i norske husholdninger. For begge boligene var nåverdien og avkastningen bedre for tiltak med nivå 3 støtte i forhold til nivå 2 støtte. Det er en del vanskeligere å oppnå passivhusstandard nivå 1 på eldre boliger og ble i denne masteroppgaven ekskludert. Den reduserte energibruken og ekstra støtte på 25.000,- kr opp fra nivå 2 klarer ikke å forsvare økte investeringskostnader. Beregning av samfunnsøkonomiske kostnader er også utenfor omfanget til denne masteroppgaven. Det hadde likevel vært interessant å se beregninger på dette. Et alternativ hvis ENOVA ønsker lavere energibehov på rehabiliterte boliger er å redusere støtten på nivå 3 og øke støtten på nivå 1. Dette kunne potensielt vært et godt insentiv til huseiere for å være mer ambisiøs.

6. Konklusjon

I denne masteroppgaven er energisparepotensial og lønnsomhet blitt studert på to eneboliger fra 1958 og 1987. Boligene skal fungere som referansehus fra hver sin periode, slik at resultatene skal kunne være ganske overførbare til andre boliger fra samme periode. Energibruken før og etter rehabilitering har blitt simulert i beregningsprogrammet SIMIEN. Kostnader er tatt fra hvert enkelt prosjekt når boligene ble rehabilitert i 2018. Der hvor kostnader ikke var kjent fra prosjektet, har dette blitt beregnet i HOLTE SmartKalk og med tilbud fra leverandører. Lønnsomheten er beregnet med nåverdimetoden hvor fremtidige energibesparelser er diskontert med en kalkulasjonsrente på 2,8 %.

Innholdet i masteroppgaven har vært definert av en problemstilling og tre forskningsspørsmål. De ble først introdusert i kapittel 1 som:

Problemstilling

1. *Er det lønnsomt å rehabilitere en eksisterende enebolig i lett trekonstruksjon opp til nyere krav og forskrifter?*

Forskningsspørsmål (FS1, FS2, FS3)

1. *Hvilke nyere krav og forskrifter har vi som kan være relevant og hva er deres kravspesifikasjoner som kan benyttes som viktige målparametere?*
2. *Basert på en privatinvestering og støtte fra etablerte offentlige foretak, hvilke nivå er det lønnsomt å energioppgradere til i området Oslo?*
3. *Hvor stor innvirkning har boligens lokalisering i Norge å si for energiforbruket?*

I kapittel 4 er resultater på beregninger gjengitt i tabeller og figurer. Her ble det vist at det er lønnsomt å energioppgradere en typisk enebolig fra 50- og 80-tallet i henhold til problemstillingen. Det vil si når eneboligen er moden for rehabilitering så anbefales det å utføre tiltak på energieffektivisering. De ekstra utgiftene til energieffektivisering spares inn gjennom reduserte energiutgifter. Det er derimot forskjell på hvor lønnsomt det er å energioppgradere en bolig. Dette er basert på byggeår, hvilke tiltak som utføres og hvor boligen er lokalisert i Norge.

Kun to boliger fra 1958 og 1987 har blitt studert. Man kan likevel trekke en generell konklusjon for boliger bygd mellom 1950 til 1990. Konstruksjonen på boliger i den perioden er relativt lik hvor bygg i lette trekonstruksjoner er mest vanlig. Avhengig av utbyggers ønsker og topografi har de fleste hus gulv på grunn, sokkeletasje eller kjeller. Energieffektivitet på boliger har hovedsakelig blitt styrt av tekniske krav fra byggeforskriften 1949, 1969 og 1985/1987 gjengitt i tabell 2.1. Byggene fra 1958 og 1987 representerer ytterpunktene i perioden 1950 til 1990. Det kan da være grunn til å anta lignende resultater for 60- og 70-talls boliger også. Boliger bygd

etter 1990 er per nå ikke klar for rehabilitering. Frem til TEK97 med ikrafttredelse 1.juli 1997 var byggeforskriften 1987 gjeldende som også boligen fra 1987 er bygget etter. Av den grunn anbefales det også å vurdere lignende tiltak på boliger bygd på 90-tallet før TEK97. Om boliger bygd etter TEK97 er lønnsom å energieffektivisere er utenfor omfanget i denne masteroppgaven.

FS1 er besvart i kapittel 2.3 hvor TEK10, TEK17 og passivhusstandarden ble diskutert. De tre forskriftene er også de samme ENOVA utløser støtte på 100.000,- til 150.000,- kr ved oppgradering av bygningskroppen. Kravene er derfor gode målparametere ved energioppgradering av bolig. FS2 og FS3 vil bli besvart for hver enkelt bolig i de to neste delkapitlene.

6.1 50-talls bolig

FS2 og FS3 vil bli konkludert i de to kommende delkapitlene.

6.1.1 FS2

De ulike nivåene som boligen kunne oppgraderes til var enten lavere enn TEK10, TEK10, TEK17 eller NS 3700. Resultatene på lønnsomhet er gjengitt i tabell 4.10 med etterfølgende følsomhetsanalyser. I kapittel 5 ble to ambisjonsnivå definert som moderat og ambisiøs diskutert. Her ble det argumentert at ikke alle huseiere har de samme økonomiske forutsetningene. Med det trenger ikke nødvendigvis et spesifikt tiltak å være det beste.

Det kan konkluderes for en huseier med moderate ambisjoner å utføre tiltak 3 gitt i tabell 6.1 nedenfor. Dette tiltaket viser til en høyere nåverdi enn tiltak 4 og en langt bedre avkastning. De lave investeringskostnadene fører også til at tiltaket er ganske lønnsomt om investeringen blir finansiert gjennom et lån. Tiltaket har også en relativt kort inntjeningstid på kun 6,4 år. Med en netto levert energi før rehabilitering på 56.450 kWh, vil tiltak 3 redusere energiforbruket med 31 %.

Tabell 6.1: Tiltak 3 og 8 for 50-talls boligen tatt fra tabell 4.10.

Tiltak 50-talls bolig	Kostnad inkl. mva [kr] inkl. ENOVA støtte	Nåverdi [kr]	Avkastning	Inntjeningstid [år]	Internrente [%]	Energibesparelse [kWh]	Beløp energibesparelse [kr]	ENOVA støtte	Nåverdi med 15 år lån på investering [kr]	Årlig netto energibehov [kWh/m ²]	Totalt varmetapstall [W/m ² K]
3 Vindspærre + 200mm kjeller + 300mm kaldloft + varmepumpe	100 000	215 000	2,2	6,4	16,9	17 400	17 200		194 000	215,8	1,51
8 100 mm utlekket isolasjon m/vindspærre + 200 mm kjeller + 300 mm kaldloft + dør og vindu + varmepumpe + balansert ventilasjon	391 000	193 000	0,5	14,8	6,6	35 600	33 100	Nivå 3, balansert ventilasjon	114 000	115,6	1,51

For en huseier som ønsker å være mer ambisiøs under rehabilitering av boligen, anbefales tiltak 8 gitt i tabell 6.1 ovenfor. Dette tiltaket oppgraderer huset fra 1958 til en fullverdig moderne standard. Energiforbruket vil bli redusert med 59 %. Nivå 3 fra ENOVA tilsvarer gamle TEK10 som inntil 1.jan 2016 var gjeldende standard i Norge. Med ekstra isolasjon mellom kjeller og 1.etasje, samt yttervegger og mot kaldt loft er alle flater rundt innevolumet energieffektivisert. Nye vinduer med U-verdi 0,8 W/m²K på glasset reduserer også lokalt kaldras ved vinduene

betraktelig. Med varmepumpe og balansert ventilasjon blir det også tatt hensyn til moderne oppvarmingsmetoder, bedre inneluft og sunnere luftfuktighet. Tiltaket har en tilsvarende nåverdi som tiltak 3, men lavere avkastning da investeringskostnaden er høyere. Likevel anbefales tiltaket for ambisiøse huseiere da dette gir en moderne og energieffektiv enebolig.

6.1.2 FS3

Det ble i kapittel 4 gjennom figur 4.14 til 4.17 utført en følsomhetsanalyse på lokalisering av eneboligen på ulike steder i Norge. Resultatene viste en nåverdi som var mellom 70 til 340 % høyere i Tromsø sammenlignet med Kristiansand. Alle tiltakene hadde positiv nåverdi ved stedene. Nåverdien på tiltakene ble gradvis høyere lenger nord i landet med unntak av Trondheim som hadde høyere nåverdi enn Bodø. Konklusjonen av dette viser at det skal være mulig i de fleste deler av landet å tjene inn investeringen ved energieffektivisering. Det er derimot stor forskjell på hvor lønnsomt det er avhengig av boligens plassering i landet.

6.2 80-talls bolig

FS2 og FS3 vil bli konkludert i de to kommende delkapitlene.

6.2.1 FS2

De ulike nivåene som boligen kunne oppgraderes til var enten dårligere enn TEK10, TEK10, TEK17 eller NS 3700. Resultater på lønnsomhet er gjengitt i tabell 4.19 med etterfølgende følsomhetsanalyser. I motsetning til energioppgradering av 50-talls boligen er ikke investeringskostnadene så ulike hos 80-talls boligen. Det vil derfor kun bli anbefalt et tiltak.

Det kan konkluderes at 80-talls boligen bør utføre tiltak 7 gitt i tabell 6.2 nedenfor når boligen rehabiliteres. Dette tiltaket har høyest nåverdi av tiltakene og tredje høyest avkastning. Tiltaket sikrer også støtte fra ENOVA ved oppgradering av bygningskroppen samt støtte for balansert ventilasjon. Dette gir en enebolig med fullverdig moderne standard lik TEK10 før revisjonen 1.jan 2016. Tiltaket har også en relativt lav inntjeningstid på ca 8 år og god energibesparelse på 23.200 kWh per år. Med en netto levert energi før rehabilitering på 46.740 kWh er dermed energiforbruket halvert.

Tabell 6.2: Tiltak 7 for 80-talls boligen tatt fra tabell 4.19.

Tiltak 50-talls bolig	Kostnad inkl. mva [kr] inkl. ENOVA støtte	Nåverdi [kr]	Avkastning	Inntjeningstid [år]	Internrente [%]	Energibesparelse [kWh]	Beløp energibesparelse [kr]	ENOVA støtte	Nåverdi med 15 år lån på investering [kr]	Årlig netto energiebehov [kWh/m ²]	Totalt varmetapstall [W/m ² K]
Vindspærre + dør og vindu + 8 varmepumpe + balansert ventilasjon	160 000	171 000	1,1	8,3	12,3	23 200	21 800	Nivå 3, balansert ventilasjon	152 000	124,1	0,81

6.2.2 FS3

Det ble i kapittel 4 gjennom figur 4.29 til 4.32 utført en følsomhetsanalyse på lokalisering av eneboligen på ulike steder i Norge. Resultatene viste en nåverdi som var mellom 10 og 220 % høyere i Tromsø sammenlignet med Kristiansand. Alle tiltakene hadde positiv nåverdi ved stedene. Den lave forskjellen på noen tiltak mellom Kristiansand og Tromsø skyldes at disse tiltakene ikke kvalifiserer til støtte fra ENOVA i Tromsø. I Tromsø blir netto energibehov på disse tiltakene høyere enn kravet. I likhet med 50-talls boligen blir lønnsomheten gradvis bedre jo kaldere klimaet er. Det skal også være mulig å energieffektivisere en 80-talls bolig de fleste steder i Norge og spare inn de ekstra investeringskostnadene dette medfører.

Referanseliste

- Aschehoug, Ø., Granum, H., Hegdal, B., 1970. Trehus: Håndbok 22. Norges byggforskningsinstitutt.
- Bartnes, G., Amundsen, J. S., Holm, I. B., 2018. Kraftmarkedsanalyse 2018 - 2030. Mer vindkraft bidrar til økt nordisk kraftoverskudd.
- Biovarmebutikken, 2019. Artel class s8 7 kw. <http://shop.pleldfast.se/pelletsaminer-direkt-luftvarme/pelletsamin-artikel-classm-8-7-kw>. Sist åpnet 22.feb.2019.
- Bolig Enøk, 2019. Vår metode. <https://boligenok.no/vår-metode>. Sist åpnet 19.feb.2019.
- Brenna, A. L., 2017. Her er nettleien billigst og dyrest. <http://enerwe.no/kraft/her-er-nettleien-billigst-og-dyrest/>. Sist åpnet 11.feb.2019.
- Bryn, I. H., Petersen, A. J., Gedsø, S., 2011. Varmeløsninger og deres dekningsgrader. http://www.lavenergiprogrammet.no/wp-content/uploads/2015/12/Rapport-ferdig_Varmeløsninger-og-deres-dekningsgrader.pdf. Sist åpnet 20.feb.2019.
- Dahl, F., 2012. Reflekteres en enebolig sine fremtidige energiutgifter i markedsprisen i dag? Master's thesis, UMB, Ås.
- Dahlum, S., 2018. case-studie. <https://snl.no/case-studie>. Sist åpnet 14.mai.2019.
- Danske Bank, 2019. Boliglån med fast rente. <https://danskebank.no/privat/produkter/laan/boliglaan-med-fast-rente>. Sist åpnet 07.feb.2019.
- DiBK, 1984. Byggeforskrift 1985. Kommunal- og arbeidsdepartementet. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1985.pdf. Sist åpnet 03.feb.2019.
- DiBK, 1997. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk. Kommunal- og regionaldepartementet. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/forskrift-om-krav-til-byggverk.pdf. Sist åpnet 03.feb.2019.
- DiBK, 2017. Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk. Veiledning til kapittel 14. https://dibk.no/globalassets/byggteknisk-forskrift-tek17/veiledning-til-byggteknisk-forskrift-tek17-01.07.2017_oppdaterert-15.09.2017.pdf.
- DiBK, 2019. Byggteknisk forskrift (tek17). § 13-2. Ventilasjon i boligbygning <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-2/>. Sist åpnet 06.mar.2019.

-
- DNB, 2019. Hjem privat veiledende priser på lån for privatkunder. https://www.dnb.no/privat/priser/laan.html?WT.ac=Produkt-pm_Laan-boliglaan_prisliste_link_nk. Sist åpnet 07.feb.2019.
- Dokka, K. A., 2016. Eksempel enebolig. http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/eksempel_enebolig. Sist åpnet 06.mar.2019.
- Dokka, K. A., 2019a. Beregning av nåverdi for sammensatte tiltak simien. 02.apr.2019 [E-post].
- Dokka, K. A., 2019b. Programbyggerne. <http://www.programbyggerne.no/>. Sist åpnet 29.jan.2019.
- Dokka, K. A., 2019c. Simien: forskjell på levert energi ved energimerking og vanlig årssimulering. 07.mar.2019 [E-post].
- Edwardsen, K. I., Granum, H., Gåsbak, J. H., Juul, H., Lundby, S. E., Ramstad, T., 1982. Trehus: Håndbok 34. Norges byggforskningsinstitutt.
- Eiendomsverdi, 2019. Eiendomsinformasjon satt i system. <https://eiendomsverdi.no/>. Sist åpnet 14.feb.2019.
- Energimerking.no, 2011. Hva betyr energimerket for meg? <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/kjopeleie-bolig1/hva-betyr-energimerket-for-meg/>. Sist åpnet 03.feb.2019.
- Energimerking.no, 2015. Karakterskalaen. <https://www.energimerking.no/no/energimerking-bygg/om-energimerkesystemet-og-regelverket/karakterskalaen/>. Sist åpnet 13.feb.2019.
- ENOVA, 2015. Rehabilitering og energioppgradering av boliger. Drøfting av begreper og måling av omfang.
- ENOVA, 2019a. Beskrivelse av tekniske kriterier ved tilskudd til oppgradering av bolig. Krav til varmetapstall, netto energibehov og energiforsyning.
- ENOVA, 2019b. Luft-til-luft-varmepumpe. <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/varmepumper/luft-til-luft-varmepumpe/>. Sist åpnet 21.feb.2019.
- Finansdepartementet, 2018. Ny forskrift for pengepolitikken. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/ny-forskrift-for-pengepolitikken/id2592551/>. Sist åpnet 01.mar.2019.
- Gleinsvik, A., Busch, R., Ibenholt, K., 2016. Evaluering av lavenergiprogrammet. <https://dibk.no/globalassets/energi/evaluering-av-lavenergiprogrammet-proba-samfunnsanalysevista-analyse-2016>. Sist åpnet 27.feb.2019.
- Granum, H., Lundby, S. E., 1952. Trehus i dag. Norges byggforskningsinstitutt.
- Granum, H., Lundby, S. E., 1958. Trehus: Håndbok 8. Norges byggforskningsinstitutt.
- Granum, H., Lundby, S. E., 1961. Trehus: Håndbok 12. Norges byggforskningsinstitutt.
- Granum, H., Lundby, S. E., 1964. Trehus: Håndbok 17. Norges byggforskningsinstitutt.

-
- Gullbrekken, L., 2018. Optimalisering av bygningskroppen (arbeidspakke 2). <http://opptre.no/tema/>. Sist åpnet 29.jan.2019.
- Haarberg, K. J., Elnan, K., Essen, J. v., Hovden, A., Ekvall, T., Melbäck, J., 2009. Kostnader ved installasjon av vannbåren varme, sammenlikning av norge og sverige, endelig versjon. kostnadssstudie. Prognosesenteret. Oslo.
- Halvorsen, B., 2012. Utviklingen i strømforbruket, prisfølsomheten og strømmarkedet. Statistisk Sentralbyrå.
- Hauge, L. A., Godbolt, A. L., Denizou, K., 2017. Energirådgivning for boligeiere. Evaluering av energirådgivningstjenesten i Asker og naboeffekten av oppgradering.
- Husbanken, 2018. Oppgradering av bolig med grunnlån fra husbanken. Veileder.
- Husbanken, 2019a. Kalkulasjonsrenten. <https://husbanken.no/rente/kalkulasjonsrenten/>. Sist åpnet 07.feb.2019.
- Husbanken, 2019b. Renter. <https://husbanken.no/rente>. Sist åpnet 07.feb.2019.
- Isachsen, O. K., 2013. Praktisk veileder for energimerking. Veileder. NVE. Oslo.
- IsoEnergi, 2019. Fordeler med vår blåeisolering. <https://isobygg.no/fordeler/>. Sist åpnet 31.jan.2019.
- Jøtul, 2019. Jøtul f 481. <https://jotul.com/no/produkter/vedovner/f-480-serien/jotul-f-481>. Sist åpnet 21.feb.2019.
- Kart, 2018. Kart over oslo kommune. <https://www.ltluchttechnik.nl/kart-over-oslo-kommune.html>. Sist åpnet 14.feb.2019.
- Kartverket, 2018. Norge i nord, sør, øst og vest. https://www.kartverket.no/Kunnskap/Fakta-om-Norge/Ytterpunkter/Norges_nordligste_ostligste_sorligste_vestligste/. Sist åpnet 04.feb.2019.
- Kleppe, L.-O., 2017. Utnyttelse av energimerkeordningen for økt lønnsomhet ved boligsalg. Master's thesis, UiA, Agder.
- Klimaloven, 2017. Lov 16. juni 2017 om klimamål. Sist åpnet 29.jan.2019.
- Klinski, M., Hauge, A. L., Godbolt, A. L., Skeie, K. S., 2017a. Energioppgradering av norske boliger – evaluering av scenariorapporter og forslag til virkemidler. <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=CRISin1477171>.
- Klinski, M., Lappegard, A. H., Godbolt, A. L., Skeie, K. S., 2017b. Oppgradering av et 60-tallshus og et 70-tallshus.
- Kommunal- og arbeidsdepartementet, Des 1949a. Byggeforskrift av 15. desember 1949, bind i. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-i.pdf, sist åpnet 09.apr.2018.

-
- Kommunal- og arbeidsdepartementet, Des 1949b. Byggeforskrift av 15. desember 1949, bind ii. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1949-bind-ii.pdf, sist åpnet 09.apr.2018.
- Kommunal- og arbeidsdepartementet, Aug 1969. Byggeforskrifter 1969. https://www.regjeringen.no/contentassets/9dcd44af30c744ea999f0d122fdc1c3c/byggeforskr_010869.pdf, sist åpnet 09.apr.2018.
- Kommunal- og arbeidsdepartementet og Miljøverndepartementet, Mai 1987. Byggeforskrift 1987. https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tidligere_regelverk/historisk-arkiv-1949---1987/byggeforskrift-1987.pdf, sist åpnet 09.apr.2018.
- Kommunal- og regionaldepartementet, 2009. Bygg for fremtida Miljøhandlingsplan for bolig- og byggsektoren 2009–2012. Regjeringen.
- Langdal, J., 2018a. Småhus i lett bindingsverk fra perioden 1950 til 1990 - ett litteraturstudie på konstruksjonsoppbygging.
- Langdal, T. A., 2018b. Bilder av prosjekt i ogndal. Fotografi. Letnes Arkitektkontor. Verdal.
- Langdal, T. A., 2018c. Rehab. og tilbygg bolig ogndal. Illustrasjon. Letnes Arkitektkontor. Verdal.
- Langdal, T. A., 2018d. Rehab. og tilbygg bolig ogndal. dør- og vindusskjema. Skjema. Letnes Arkitektkontor. Verdal.
- Langdal, T. A., 2018e. Rehab. og tilbygg bolig ogndal. hovedplan, kjeller, 1. og 2. etasje og loft. Plantegning. Letnes Arkitektkontor. Verdal.
- Langdal, T. A., 2018f. Rehab. og tilbygg bolig ogndal. snitt a og b. Snitt. Letnes Arkitektkontor. Verdal.
- Myhre, L., 1995. Some environmental and economic aspects of energy saving measures in houses. Ph.D. thesis, NTH.
- Naturvernforbundet, 2016. Vedovn. <https://www.energismart.no/oppvarming/vedovn-article315-821.html>. Sist åpnet 21.feb.2019.
- Naturvernforbundet, 2019. Pelletskamin. <https://www.energismart.no/oppvarming/pelletskamin-article388-821.html>. Sist åpnet 22.feb.2019.
- Nordea, 2019. Boliglån med fastrente. <https://www.nordea.no/privat/vare-produkter/lan-og-kreditt/boliglan/boliglan-med-fast-rente.html#tab=Priser-for-ovrige-kunder>. Sist åpnet 07.feb.2019.
- Norges Byggeforskningsinstitutt, 1987. Trehus: Håndbok 38. Norges byggeforskningsinstitutt.
- NTNU og SINTEF, 2007. ENØK i Bygninger - Effektiv Energibruk. Gyldendal Undervisning.
- Olje- og Energidepartementet, 2019. Energibruken i ulike sektorer. <https://energifaktanorge.no/norsk-energibruk/energibruken-i-ulike-sektorer/>. Sist åpnet 08.mai.2019.

-
- Oljefri, 2017. Oljefyringsforbud fra 2020. <https://oljefri.no/oljefyringsforbud-fra-2020/category931.html>. Sist åpnet 30.jan.2019.
- Olsson, N., 2011. Praktisk rapportskrivning. Tapir akademiske forlag.
- Pedersen, R., 2019. Rentefradrag på skatten. <https://www.smartepenger.no/lan/298-rentefradrag-pa-skatten>. Sist åpnet 02.mar.2019.
- Prognosesenteret, Entelligens, 2011. Potensial- og barrierestudie: Energieffektivisering av norske boliger. Enova.
- ProgramByggerne, 2014. Validering. <https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/validering>. Sist åpnet 14.mai.2019.
- Rockwool, 2019. Rockwool flex systemvegg. https://www.sintef.no/globalassets/project/eksbo/dp3-forbildeprosjekter/flexsystemvegg_eksbo_kompr.pdf. Sist åpnet 01.feb.2019.
- SINTEF Byggforsk, 1995. Byggforskserien 552.109. Varmtvannssentraler og varmeanlegg.
- SINTEF Byggforsk, 1999. Byggforskserien 727.115. Senking av golv i eksisterende kjeller og kryperom.
- SINTEF Byggforsk, 2000. Byggforskserien 552.122. Vannbåret lavtemperatur golvvarmeanlegg med stor energifleksibilitet.
- SINTEF Byggforsk, 2004. Byggforskserien 701.266. Energisparende tiltak i boliger.
- SINTEF Byggforsk, 2005. Byggforskserien 525.106. Skrå tretak med kaldt loft.
- SINTEF Byggforsk, 2014. Byggforskserien 723.312. Etterisolering av betongvegger.
- SINTEF Byggforsk, 2017. Byggforskserien 700.320. Intervaller for vedlikehold og utskifting av bygningsdeler.
- SINTEF Byggforsk, 2018. Byggforskserien 451.021. Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring.
- SINTEF Byggforsk, 2019. Er huset ditt klart for en ny vinter? <https://www.sintef.no/siste-nytt/er-huset-ditt-klart-for-en-ny-vinter/>. Sist åpnet 03.apr.2019.
- Skanska, 2017. Klart for bygging av et av verdens råeste miljøbygg i trondheim. <https://www.skanska.no/hvem-vi-er/media/pressemeldinger/198915/Klart-for-bygging-av-et-av-verdens-raeste-miljobygg-i-Trondheim>. Sist åpnet 31.jan.2019.
- Skeie, K. S., Lien, A. G., Svensson, A., Andresen, I., 2016. Kostnader for nye småhus til høyere energistandard.
- Skree, J., Eggen, G., Stene, J., 2010. Større varmepumpeanlegg i norge. En serie med faktahefter fra Norsk Teknologi | Hefte nr 12.
- Smedegard, O. O., Borgersen, R. A., Bell, D., Stene, J., 2012. Faktastudie – kostnader for elektrisk og vassboren oppvarming. Faktastudie. COWI. Trondheim.

-
- SNL, 2019. Norges byggforskningsinstitutt. https://snl.no/Norges_byggforskningsinstitutt.
- Sørensen, A. L., Andresen, I., Kristjansdottir, T., Amundsen, H., Edwards, K., 2017. Zeb pilot house larvik. as build report.
- SpareBank1 SMN, 2019. Fastrentelån. https://www.sparebank1.no/nb/smn/privat/lan/boliglan/fastrentelan.html#hr_10. Sist åpnet 07.feb.2019.
- SSB, 2014. Energibruk i husholdningene. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi>. Sist åpnet 03.feb.2019.
- SSB, 2019a. 08307: Produksjon, import, eksport og forbruk av elektrisk kraft (gwh), etter statistikkvariabel og år. <https://www.ssb.no/statbank/table/08307/tableViewLayout1/>. Sist åpnet 03.feb.2019.
- SSB, 2019b. 08448: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og kvartal. <https://www.ssb.no/statbank/table/08448/chartViewLine/>. Sist åpnet 11.feb.2019.
- SSB, 2019c. 09007: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger, etter statistikkvariabel og år. <https://www.ssb.no/statbank/table/09007/chartViewLine//>. Sist åpnet 06.feb.2019.
- SSB, 2019d. 09387: Kraftpris, nettleie og avgifter for husholdninger 2012k1 - 2018k3. <https://www.ssb.no/statbank/table/09387/chartViewLine/>. Sist åpnet 11.feb.2019.
- SSB, 2019e. Elektrisitet: Produksjon og forbruk av elektrisitet. gwh. <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/elektrisitet>. Sist åpnet 11.feb.2019.
- Standard Norge, 2013a. NS 3454:2013. Livssyklus kostnader for byggverk. Prinsipper og klassifisering.
- Standard Norge, 2013b. NS 3700:2013. Kriterier for passivhus og lavenergibygninger. Boligbygninger.
- Standard Norge, 2016. SN/TS 3031:2016. Bygningers energiytelse. Beregning av energibehov og energiforsyning.
- Stene, J., 2010. Årsvarmefaktor for varmepumpesystemer. <https://www.novap.no/sites/default/files/Arsvarmefaktor.pdf>. Sist åpnet 20.feb.2019.
- Stenerud Skeie, K., Kleiven, T., Gunnarshaug Lien, A., Risholt, B., 2014. Energiplan - tre trinn for tre epoker systematisk energioppgradering av småhus - seopp. https://www.SINTEFbok.no/book/index/1027/energiplan_tre_trinn_for_tre_epoker.
- Stortinget, 2018. Avgiftssatser for 2018 og 2019. <https://www.statsbudsjettet.no/Statsbudsjettet-2019/Artikler/Avgiftssatser-2019/>. Sist åpnet 11.feb.2019.
- Thomsen, J., Gullbrekken, L., Grynning, S., Holme, J., 2017. Evaluering av boliger med lavt energibehov (eble) - samlerapport. <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2467910>.
- Thomsen, J., Hauge, A. L., 2014. Boligeieres beslutningsprosesser ved oppgradering. Systematisk energioppgradering av småhus.
- Tokle, T., Tønnesen, J., 1999. Inndeling av Norge i klimasoner. SINTEF Energiforskning.

Toshiba, 2019a. Toshiba daiseikai 9. <https://www.toshibavarmepumper.no/varmepumper-luft-luft/toshiba-daiseikai-9/>, sist åpnet 21.feb.2019.

Toshiba, 2019b. Toshiba daiseikai 9. <https://www.toshibavarmepumper.no/varmepumper-luft-luft/toshiba-daiseikai-9/>. Sist åpnet 21.feb.2019.

Vågen, M., 2018a. Areal myhr. Regneark. Binde Framtid. Steinkjer.

Vågen, M., 2018b. Bilder av prosjekt i stod. Fotografi. Binde Framtid. Steinkjer.

Vågen, M., 2018c. Plan fasader myhr. Plantegning. Binde Framtid. Steinkjer.

A. Vedlegg

Dette vedlegget er et eksempel på hvordan lønnsomhetsanalysen i tabell 4.10 ble beregnet. Legg merke til at avrundning av tallene her i forhold til tabellen kan føre til små avvik. Eksempelet beregner de for tiltak 1:

- 200 mm blåseull kjellerbjelkelag
 - Kostnad 23.666 kr, levetid 30 år
- 300 mm blåseull kaldloft
 - Kostnad 34.265 kr, levetid 30 år
- Luft til luft varmepumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29 % dekningsgrad
 - Kostnad 25.000 kr, levetid 15 år

$$\text{Total kostnad} = 23.666 + 34.265 + 25.000 = 82.931 \text{ kr} \quad (\text{A.1})$$

$$\text{Vektet levetid} = \frac{25.000 * 15 + (82.931 - 25.000) * 30}{82.931} = 25,48 \quad (\text{A.2})$$

$$\text{Nåverdi} = -82.931 + 12.624 \frac{1 - 1,028^{-25,48}}{0,028} = 144.849 \text{ kr} \quad (\text{A.3})$$

$$\text{Innt jeningstid} = (-1) * \frac{\log(1 - 82.931 * 0,028 / 12624)}{\log(1,028)} = 7,4 \text{ år} \quad (\text{A.4})$$

Internrenten kan ikke direkte beregnes i en enkel ligning, men man kan her verifisere at den internrente SIMIEN har beregnet er korrekt:

$$\text{Verifisering av internrente} = -82.931 + 12.624 \frac{1 - 1,148^{-25,48}}{0,148} \approx 0 \quad (\text{A.5})$$

Ved alternativ nåverdiberegning benyttes månedlig rente til lånet i henhold til ligning 4.3 side 56. Årlig kalkulasjonsrente benyttes til energibesparelsen:

$$\text{Nåverdi 15 år med lån} = -82.931 \frac{0,0023}{1 - 1,0023^{-15*12}} * 15 * 12 + 12.624 * \frac{1 - 1,028^{-25,48}}{0,028} = 126.407 \text{ kr} \quad (\text{A.6})$$

De resterende verdiene er et resultat av energiberegningene utført i SIMIEN:

- Energibesparelse, beløp spart pga energibesparelse, årlig netto energibehov og totalt varmetapstall.

B. Vedlegg

Dette vedlegget viser full utregning for ett av de sammensatte tiltakene i tabell 4.10. Det som blir vist her er tiltak 8:

- 200 mm blåseull kjellerbjelkelag
- 300 mm blåseull kaldloft
- 100 mm utlektet isolasjon m/vindsperre inkl. økt takutstikk 1000 kr/m²
- Dør og vindu, kun materialkostnader
- Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29 % dekningsgrad
- Balansert ventilasjon

25.01.012 Bjelkelag av tre, etterisolering innblåsing											
NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM.	ENH. TIDSF.	ENH. SELVK.	ENH. PRIS	SUM TIDSF.	SUM SELVK.	SUM PRIS	
25.01.012 Bjelkelag av tre, etterisolering innblåsing			1,00 m ²		0,07	171,60	188,76	0,07	171,60	188,76	
↳	25.01.12.12.004	Eksisterende konstruksjon	1,00	Nei	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
↳	25.01.12.12.005	CH1.51 Boring tett. hull for inbl. mineralull	0,00 m ²	Ø=50	0,000	93,60	102,96	0,00	0,00	0,00	
↳	25.01.12.12.006	SB1.51261 Innblåst mineralull i bjelkelag	1,00 m ²	200	0,065	171,60	188,76	0,07	171,60	188,76	
25.01.015 Bjelkelag av tre, etterisolering innblåsing											
25.01.015 Bjelkelag av tre, etterisolering innblåsing			1,00 m ²		0,08	249,20	274,12	0,08	249,20	274,12	
↳	25.01.12.15.004	Eksisterende konstruksjon	1,00	Nei	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
↳	25.01.12.15.005	CH1.51 Boring tett. hull for inbl. mineralull	0,00 m ²	Ø=50	0,000	93,60	102,96	0,00	0,00	0,00	
↳	25.01.12.15.006	SB1.51271 Innblåst mineralull i bjelkelag	1,00 m ²	300	0,078	249,20	274,12	0,08	249,20	274,12	

Figur B.1: Kostnad for innblåsing av 200mm og 300mm mineralull beregnet i Holte SmartKalk. Innblåsingen er korrigert med en faktor på 1,30 pga lite arbeid i forhold til kjøring og rigg etter SmartKalk sine anbefalinger. Boring av hull er ekskludert på kaldloft da etasjeskiller ikke er lukket ovenfra. Boring av hull i kjeller er ekskludert da eier har selv revet og klartgjort etasjeskiller.

	NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM	ENH. TIDSF	ENH. SELVK	ENH. PRIS	SUM TIDSF	SUM SELVK	SUM PRIS
23.01.001 Bindingsverk av tre, etterisol. ny panel 1,00 m ² 0,35 356,50 392,16 0,35 356,50 392,16											
	23.01.21.01.008	T66.424146	2 strøk beis, utvendig	0,00	m ²	9l	0,000	96,18	105,80	0,00	0,00
	23.01.12.01.009	QK1.111221	Utlekking på fasade c/c 600	1,00	m ²	48x98	0,120	122,05	134,26	0,12	122,05
	23.01.12.01.010	QK1.111221	Utlekking på fasade c/c 600	0,00	m ²	30x48	0,000	86,11	94,72	0,00	0,00
	23.01.12.01.011	QK5.212212	Gipspl. utvendig, 9,5 mm underkledd	1,00	m ²	9,5	0,150	131,65	144,82	0,15	131,65
	23.01.12.01.012	QK2.211214001	Liggende, utvendig panel m/dobbelfals	0,00	m ²	19x148	0,000	333,15	366,47	0,00	0,00
	23.01.12.01.013	SB1.11141	Mineralull A-plate	1,00	m ²	100	0,080	102,80	113,08	0,08	102,80
	23.01.12.01.014		Eksisterende konstruksjon	1,00		Nei	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.05.005	SF1.221	Vindsperrerisjikt på vegg, etasjehøy	1,13	m ²	2,8x50m	0,034	49,46	54,41	0,03	55,65
26.01.002 Taksperre, tre, ny taktro + takplater 1,00 m ² 0,53 719,74 791,71 0,53 719,74 791,71											
	26.01.12.02.007	QL1.121	Taktro av bord	1,00	m ²	15x145	0,160	235,30	258,83	0,16	235,30
	26.01.12.02.008	QL5.121	Lekter, for taktekking c/c 250	1,00	m ²	36x48	0,120	156,40	172,04	0,12	156,40
	26.01.17.02.009	SL6.3304	Taksteinimert stålplate	1,00	m ²	105x147	0,120	186,32	204,95	0,12	186,32
	26.01.12.02.010	QL5.112	Sløyfer, impregneret	1,00	m ²	36x48	0,040	50,00	55,00	0,04	50,00
	26.01.17.02.011	SF1.5232	Undertaksbelegg Diffusjonstett D-glass	1,00	m ²	1 lag	0,090	91,72	100,89	0,09	91,72
	26.01.12.02.012		Eksisterende takkonstruksjon	1,00		Nei	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00

Figur B.2: Kostnad for 100mm utvendig etterisolering av yttervegg inkludert utlekking, mineralull og vindsperre av gipsplater. Kostnad for vindsperre av duk. Kostnad for eksempel på økt takutstikk. Beregnet i Holte SmartKalk.

	NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM	ENH. TIDSF	ENH. SELVK	ENH. PRIS	SUM TIDSF	SUM SELVK	SUM PRIS
23.01.022 Vindu, trevegg toppsving 12x12 1,00 stk 2,24 6 703,07 7 373,37 2,24 6 703,07 7 373,37											
	23.01.12.22.015	QM2.2120	Utvendig karmlist dør/vindu	0,00	m	19x98	0,000	51,34	56,47	0,00	0,00
	23.01.18.22.016	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (2m)	0,00	lm	B=100	0,000	167,36	184,10	0,00	0,00
	23.01.18.22.017	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (1m)	0,00	lm	B=300	0,000	196,80	216,48	0,00	0,00
	23.01.12.22.018	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x70	0,000	70,65	77,72	0,00	0,00
	23.01.12.22.019	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x95	0,000	141,79	155,97	0,00	0,00
	23.01.12.22.020	QB8.711102	Klemlist	4,80	stk	11x23	0,240	24,93	27,42	0,24	119,64
	23.01.12.22.021	SF1.221	Vindsperre-remse, tape	5,20	lm	7,5 cm	0,104	24,61	27,07	0,10	127,96
	23.01.12.22.022	QB2.811112	Åpninger i bindingsverk, 1-2 m ²	0,00	stk	48x198	0,000	483,94	532,34	0,00	0,00
	23.01.12.22.023	SF1.331	Membran smyg vinduer-dør	1,40	m ²	230x5500r	0,105	180,24	198,26	0,11	252,34
	23.01.14.22.024	RI2.1121101282	Vindu av furu, toppsv. hvitmalt	1,00	stk	12x12	0,920	5 327,10	5 859,81	0,92	5 327,10
	23.01.12.22.025	QM6.3234	Utforing furu dør/vindu	0,00	m	21x170	0,000	183,85	202,23	0,00	0,00
	23.01.12.22.026	SF6.21	Dytteremse rundt vindu	19,20	lm	25x60 mm	0,192	10,72	11,79	0,19	205,82
	23.01.12.22.027	SF3.1208	Fuging, bunnfyllingslist, vindu+dør	5,20	lm	15mm fug	0,676	128,89	141,78	0,68	670,21
	23.01.12.22.028	QM5.31202	Karmlist furu, ferdig malt	0,00	lm	12x58	0,000	75,84	83,42	0,00	0,00

Figur B.3: Kostnad for vindu 129x129 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Tittel på post i Holte fraviker med 12x12 i stedet for 129x129 pga begrenset utvalg av mulighet i Holte. Beregnet i Holte SmartKalk.

	NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM	ENH. TIDSF	ENH. SELVK	ENH. PRIS	SUM TIDSF	SUM SELVK	SUM PRIS
23.01.023 Vindu, trevegg Toppsving 8x6 1,00 stk 1,76 3 235,60 3 559,16 1,76 3 235,60 3 559,16											
	23.01.12.23.015	QM2.2120	Utvendig karmlist dør/vindu	0,00	m	19x98	0,000	51,34	56,47	0,00	0,00
	23.01.12.23.016	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x70	0,000	70,65	77,72	0,00	0,00
	23.01.18.23.017	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (2m)	0,00	lm	B=100	0,000	167,36	184,10	0,00	0,00
	23.01.12.23.018	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x95	0,000	141,79	155,97	0,00	0,00
	23.01.18.23.019	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (1m)	0,00	lm	B=300	0,000	196,80	216,48	0,00	0,00
	23.01.12.23.020	QB8.711102	Klemlist	2,80	stk	11x23	0,140	24,93	27,42	0,14	69,79
	23.01.12.23.021	SF1.221	Vindsperre-remse, tape	3,20	lm	7,5 cm	0,064	24,61	27,07	0,06	78,75
	23.01.12.23.022	QB2.811112	Åpninger i bindingsverk, < 1m ²	0,00	stk	48x198	0,000	356,26	391,89	0,00	0,00
	23.01.12.23.023	SF1.331	Membran smyg vinduer-dør	1,00	m ²	230x5500r	0,075	180,24	198,26	0,08	180,24
	23.01.14.23.024	RI2.1121101282	Vindu av furu, toppsv. hvitmalt	1,00	stk	8x6	0,980	2 400,10	2 640,11	0,98	2 400,10
	23.01.12.23.025	SF3.1208	Fuging, bunnfyllingslist, vindu+dør	3,00	lm	15mm fug	0,390	128,89	141,78	0,39	386,66
	23.01.12.23.026	SF6.21	Dytteremse rundt vindu	11,20	lm	25x60 mm	0,112	10,72	11,79	0,11	120,06
	23.01.12.23.027	QM6.3234	Utforing furu dør/vindu	0,00	m	21x170	0,000	183,85	202,23	0,00	0,00
	23.01.12.23.028	QM5.31202	Karmlist furu, ferdig malt	0,00	lm	12x58	0,000	75,84	83,42	0,00	0,00

Figur B.4: Kostnad for vindu 59x89 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.

23.01.024		Ytterdør av tre, i bindingsverksvegg, hvit, 10x21			1,00	stk	2,50	7 030,72	7 733,80	2,50	7 030,72	7 733,80
	NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM.	ENH. TIDSF.	ENH. SELVK.	ENH. PRIS	SUM TIDSF.	SUM SELVK.	SUM PRIS	
	23.01.12.24.015	QM6.3534	Utføring dør/vindu furu limtre	0,00	m	18x180	0,000	76,11	83,72	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.24.016	QM2.2120	Utvendig karmlist dør/vindu	0,00	m	19x98	0,000	51,34	56,47	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.24.017	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x95	0,000	141,79	155,97	0,00	0,00	0,00
	23.01.15.24.018	RH2.111202010	Ytterdør, hvit med glass	1,00	stk	10x21	1,000	5 406,66	5 947,33	1,00	5 406,66	5 947,33
	23.01.18.24.019	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (1m)	0,00	lm	B=300	0,000	196,80	216,48	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.24.020	QB8.711102	Klemelist	5,20	stk	11x23	0,260	24,93	27,42	0,26	129,62	142,59
	23.01.12.24.021	SF1.221	Vindsperre-remse, tape	5,60	lm	7,5 cm	0,112	24,61	27,07	0,11	137,80	151,58
	23.01.16.24.022	RK4.210	Dørvider Ytterdør	1,00	stk	Fkr	0,300	519,20	571,12	0,30	519,20	571,12
	23.01.12.24.023	QB2.811112	Åpninger i bindingsverk, 2-3 m²	0,00	stk	48x198	0,000	629,86	692,85	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.24.024	SF6.21	Dytteremse rundt dør	15,60	lm	25x60 mm	0,156	10,72	11,79	0,16	167,23	183,95
	23.01.12.24.025	SF3.1208	Fuging, bunnfyllingslist, vindu+dør	5,20	lm	15mm fug	0,676	128,89	141,78	0,68	670,21	737,23
	23.01.12.24.026	QM5.2333	Feielist, eik lakkert, 9x50mm	0,00	lm	9x50mm	0,000	114,13	125,54	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.24.027	QM5.31202	Karmlist furu, ferdig malt	0,00	lm	12x58	0,000	75,84	83,42	0,00	0,00	0,00
	23.01.18.24.028	PN4.1446	Terskelbeslag 1 knekk, plastisert stål (1m)	0,00	stk	B=300	0,000	141,78	155,96	0,00	0,00	0,00

Figur B.5: Kostnad for ytterdør 99x209 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.

23.01.025		Ytterdør av tre, i bindingsverksvegg, hvit, 10x21			1,00	stk	2,50	8 530,72	9 383,80	2,50	8 530,72	9 383,80
	NR	KODE	NAVN	MENGD	DIM.	ENH. TIDSF.	ENH. SELVK.	ENH. PRIS	SUM TIDSF.	SUM SELVK.	SUM PRIS	
	23.01.12.25.015	QM6.3534	Utføring dør/vindu furu limtre	0,00	m	18x180	0,000	76,11	83,72	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.25.016	QM2.2120	Utvendig karmlist dør/vindu	0,00	m	19x98	0,000	51,34	56,47	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.25.017	QM2.121	Vannbrett gran for beslag	0,00	m	45x95	0,000	141,79	155,97	0,00	0,00	0,00
	23.01.15.25.018	RH2.111202010	Ytterdør, hvit med glass	1,00	stk	10x21	1,000	6 906,66	7 597,33	1,00	6 906,66	7 597,33
	23.01.18.25.019	PN4.12141	Vannbrettbeslag, galv. stål (1m)	0,00	lm	B=300	0,000	196,80	216,48	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.25.020	QB8.711102	Klemelist	5,20	stk	11x23	0,260	24,93	27,42	0,26	129,62	142,59
	23.01.12.25.021	SF1.221	Vindsperre-remse, tape	5,60	lm	7,5 cm	0,112	24,61	27,07	0,11	137,80	151,58
	23.01.16.25.022	RK4.210	Dørvider Ytterdør	1,00	stk	Fkr	0,300	519,20	571,12	0,30	519,20	571,12
	23.01.12.25.023	QB2.811112	Åpninger i bindingsverk, 2-3 m²	0,00	stk	48x198	0,000	629,86	692,85	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.25.024	SF6.21	Dytteremse rundt dør	15,60	lm	25x60 mm	0,156	10,72	11,79	0,16	167,23	183,95
	23.01.12.25.025	SF3.1208	Fuging, bunnfyllingslist, vindu+dør	5,20	lm	15mm fug	0,676	128,89	141,78	0,68	670,21	737,23
	23.01.12.25.026	QM5.2333	Feielist, eik lakkert, 9x50mm	0,00	lm	9x50mm	0,000	114,13	125,54	0,00	0,00	0,00
	23.01.12.25.027	QM5.31202	Karmlist furu, ferdig malt	0,00	lm	12x58	0,000	75,84	83,42	0,00	0,00	0,00
	23.01.18.25.028	PN4.1446	Terskelbeslag 1 knekk, plastisert stål (1m)	0,00	stk	B=300	0,000	141,78	155,96	0,00	0,00	0,00

Figur B.6: Kostnad for balkongdør 89x209 inkludert montering og tetting, ikke inkludert kledning inne og ute. Beregnet i Holte SmartKalk.

Tabell B.1: Sum total kostnad for tiltak 7 til 50-talls boligen.

Seksjon	Tiltak	Enhet	Antall enheter	Sum kostnad [(NOK/enhet) eks.mva.]	Sum kostnad [(NOK/enhet) ink.25% mva.]	Sum total kostnad [(NOK/enhet) ink.25% mva.]
Yttervegg	100 mm utlektet isolasjon	m2	220	392	490	107 844
Yttervegg	Tillegg vindsperre duk	m2	220	61	77	16 836
Yttervegg	Tillegg økt takutstikk	m2	5	800	1 000	5 000
Vindu	Vindu 129x129	stk	13	7 373	9 216	119 811
Vindu	Vindu 59x69	stk	8	3 559	4 449	35 590
Dør	Dør 99x209	stk	1	7 734	9 668	9 668
Dør	Dør 89x209	stk	1	9 384	11 730	11 730
Etasjeskiller	200mm innblåst mineralull i kjellerbjelkelag	m2	100	189	236	23 666
Etasjeskiller	300mm innblåst mineralull i bjelkelag u.hullboring	m2	100	274	343	34 265
Ventilasjon	Balansert ventilasjon inkl. prosjektering og montering	Stk	1	92 402	115 503	115 503
Oppvarming	Luft til luft varmpumpe, 2.28 årlig systemvirkningsgrad, 29% dekningsgrad	Stk	1	20 000	25 000	25 000
Total						504 912
Støtte	Oppgradering av bygningskroppen (ENOVA)	Nivå 3	1			100 000
Støtte	Balansert ventilasjon (ENOVA)	Stk	1			15 000
Total inkl. støtte						389 912

