

Muligheter for konvertering av eksisterende bygninger til lavtemperatur fjernvarme

Maren Eline Ingebretsen

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2014

Hovedveileder: Natasa Nord, EPT

Medveileder: Anders Meinert, Multiconsult

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2014-52

MASTEROPPGAVE

for

Student Maren Eline Ingebretsen

Våren 2014

Muligheter for konvertering av eksisterende bygninger til lavtemperatur fjernvarme*Possibilities for transition of existing buildings to the low temperature district heating system***Bakgrunn og målsetting**

Utfordringen for fremtiden fjernvarmesystemer er at alle store byer i Norge er utbygd med andre og tredje generasjon fjernvarme basert på høy- og mellom temperaturnivå. Fremtidens fjernvarme vil være fjerde generasjon av fjernvarme basert lavtemperatursystem. Bakgrunnen for den høye temperaturen er at de er tilknyttet eldre med bygg med radiator og ventilasjonssystemer med tur temperatur mellom 80 og 90 °C og industrikunder. I tillegg er årsaken til høy temperatur om sommeren krav til tappevann og høy retur temperatur fra sirkulasjonsledninger på grunn av legionella krav. Oppgaven har fokus å se på muligheter for å få overgang fra et høytemperatur- til lavtemperatur system i eksisterende bygninger tilknyttet til fjernvarme. Hvis fjernvarmesystem skal være lavtemperatur-basert, da bør bygninger tilknyttet til fjernvarme ha mulighet for å benytte lavtemperatur system. Vanligvis er oppvarmingsystem i eksisterende bygninger overdimensjonert. Det gir mulighet at eksisterende utstyr kan benyttes ved lavere temperatur. Oppgave skal først se på fjernvarme forbruk i ulike bygningstyper. Studenten skal kartlegge og organisere typiske utstyr til oppvarming i eksisterende bygninger. Basert på varmeforbruk samt med oppvarmingsutstyr, skal studenten utvikle modeller som kan benyttes for vurdering.

Under sin prosjektoppgave har studenten samlet data om relevante eksempler på lavtemperatur system. Dette skal benyttes som underlag til masteroppgave.

Målet med oppgaven er å analysere muligheter for overgang fra høytemperatursystem til lavtemperatursystem i eksisterende bygninger. Studenten skal gjøre statistisk analyse av varmeforbruk i eksisterende bygninger. Studenten skal lage modeller i IDA-ICE for å vurdere hvilke tiltak bør implementeres i bygninger for å muliggjøre overgang av eksisterende bygninger til lavtemperatur fjernvarme.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Litteraturstudium av tekniske løsninger for lavtemperaturfjernvarme og varmeforbruk i ulike bygningstyper.
2. Kartlegge flere bygningstyper. Se på deres varmeforbruk. Kartlegge utstyr til oppvarming. Gjør statistisk analyse av varmeforbruk.

3. Utvikle modeller i IDA-IDE for å vurdere muligheter for overgang fra høytemperatursystem til lavtemperatursystem. Benytte litteraturstudium og teorigrunnlag for å utvikle beregningsgrunnlag.
4. Presentere resultater. Foreslå tiltak for endring fra høy til lavtemperatur fjernvarme med hensyn til økte potensialer med lavtemperatur fjernvarme.

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velkrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesssteknikk.

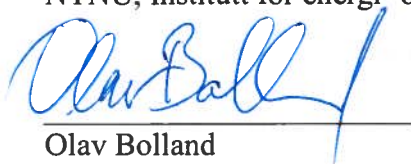
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, institutt navn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsteknisk, varmeteknisk)
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 16. januar 2014



Olav Bolland
Instituttleder



Natasa Nord
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Anders Meinert, Multiconsult, epost: anders.meinert@multiconsult.no

FORORD

Denne oppgaven er utarbeidet i forbindelse med min masteroppgave våren 2014, og er skrevet ved Institutt for Energi- og prosesseteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskaplige Universitet (NTNU).

Masteroppgaven omhandler fjerde generasjon fjernvarme, og ser på muligheten for overgang fra høytemperatur- til lavtemperaturdrift av varmesystemer i eksisterende boliger.

Beregningene i oppgaven er basert på en fiktiv bolig, konstruert basert på standardverdier og statistisk data, og er utført ved hjelp av simuleringverktøyet IDA ICE. Oppgaven vektlegges 30 studiepoeng.

Jeg vil benytte anledningen til å takke min hovedveileder Natasa Nord, førsteamanuensis ved Institutt for Energi- og prosesseteknikk, for støtte og god faglig veiledning gjennom hele prosessen. Videre vil jeg takke medveiledere Anders Meinert og Terje Hegstad Kristiansen i Multiconsult for at de ville dele sine erfaringer fra fjernvarme- og energibransjen, i tillegg til å gi gode råd under utarbeidelsen av oppgaven.

Jeg vil i tillegg takke min tidligere professor Svend Svendsen og tidligere studentveileder og Ph.D. student Marek Brand ved Danmarks Tekniske Universitet for at de velvillig delte sin kunnskap og sine erfaringer vedrørende lavtemperatur fjernvarme.

Til slutt vil jeg gi en spesiell takk til Live for alle gode råd og tips, og for at du alltid tok deg tid til å diskutere problemer som dukket opp underveis i oppgaven. Og takk til all familie og venner for støtte og oppmuntring gjennom en spennende, men hektisk periode.

Maren Eline Ingebretsen

Maren Eline Ingebretsen

Trondheim 2.6.2014

SAMMENDRAG

Denne oppgaven ser på mulighetene og utfordringene ved innføring av fjerde generasjon fjernvarme, også kjent som lavtemperatur fjernvarme. Fokuset er rettet mot eksisterende boliger med høytemperatur varmesystemer.

Referanseboligen som ble benyttet som beregningsgrunnlag i denne oppgaven er et eldre ende-rekkehus bygd før 1980, med et varmesystem kun bestående av høytemperatur-radiatorer. IDA ICE ble benyttet som simuleringsverktøy. Det ble utført simuleringer for fire overdimensjoneringsnivåer av varmesystemet, og med tre ulike energieffektiviserings-scenarier implementert på boligen. Det ble i tillegg utført beregninger på ende-rekkehuset bygd med TEK 10-standard og passivhusstandard til sammenligning. Hovedmålet med oppgaven var å undersøke under hvilke forhold lavtemperatur fjernvarme kan implementeres i eksisterende boliger uten at det går på bekostning av den termiske komforten i boligen.

Resultatene fra beregningene viser at referanseboligen, uten overdimensjonert varmesystem, kan varmes opp til 21 °C omtrent 80 % av året ved bruk av lavtemperatur fjernvarme med en turtemperatur inn på varmesystemet på 50 °C. Dersom varmesystemet er overdimensjonert med 30 % øker denne andelen til 94 %. Den resterende andelen av året må turtemperaturen økes opp mot henholdsvis 80 °C og 60 °C for at varmebehovet skal dekkes.

Dersom varmesystemet skal driftes med en maksimal turtemperatur på 50 °C hele året, uten at det går utover den termiske komforten i referanseboligen, vil det være nødvendig å redusere varmebehovet. Dersom varmesystemet ikke er overdimensjonert er det nødvendig å redusere varmebehovet med 63,9 %. Dette oppnådd ved å implementere flere energieffektiviseringstiltak på boligen. I dette tilfellet ble alle vinduene oppgradert, i tillegg til at veggene og tak ble etterisolert. Ved bruk av et varmesystem som er 30 % overdimensjonert er det nødvendig å redusere varmebehovet med 51,3 % for at det samme resultatet skal oppnås. I dette tilfellet var det kun nødvendig å oppgradere alle vinduene i tillegg til å etterisolere veggene for å oppnå det ønskede varmebehovet. Dersom rekkehuset er bygd i TEK10- eller passivhusstandard viste beregningene at en tilknytning til lavtemperatur fjernvarme er uproblematisk ved en settpunkttemperatur for oppvarming på 21 °C.

Beregningene viser at referanseboligen kan varmes opp til 21 °C gjennom hele året med en maksimal turtemperatur i varmesystemet på 50 °C dersom radiatorenhetene er overdimensjonert med hele 100 %. Det kan følgelig tenkes at lavtemperaturredatorer, som har større varmeoverføringsflater, også vil gi gode resultater ved implementering av lavtemperatur fjernvarme i eksisterende boliger, men dette krever videre undersøkelser.

Dersom temperaturene i fjernvarmenettet reduseres til under 70 °C vil det være nødvendig å implementere tekniske løsninger i eksisterende abonnentsentraler for sikker og effektiv lavtemperatur beredning av tappevann.

Rapporten konkluderer i all hovedsak med at lavtemperatur fjernvarme kan implementeres i eksisterende boliger, men avhengig av boligen kan dette kreve store investeringer både på selve boligkonstruksjonen og på abonnentsentralen.

ABSTRACT

This report looks at the possibilities and challenges of introducing fourth generation district heating, also known as low temperature district heating. Existing residential buildings with high temperature heating systems is the main focus area.

The calculations made in this report are based on a reference dwelling designed as an older end terrace house built before 1980, with a heating system consisting of only high temperature radiators. IDA ICE was chosen as simulation tool. The simulations were carried out for four levels of oversizing the heating system, and with three different energy efficiency scenarios conducted on the dwelling. There were in addition carried out simulations for the end terrace house built with TEK 10 and built as a passive house. The main objective of this thesis was to investigate under which conditions low temperature district heating can be implemented in existing buildings without compromising the thermal environment in the dwelling.

The results show that the reference dwelling, without any oversizing of the heating system, can be heated up to a set point temperature of 21 °C about 80 % of the year when using low temperature district heating with a supply temperature of 50 °C. If the heating system is oversized with 30 %, this share is increased to 94 %. For the remaining part of the year the temperature has to be increased to 80 °C and 60 °C respectively.

If the heating system is operated with a maximum supply temperature of 50 °C all year round, the heating demand has to be decreased in order to remain a satisfying thermal environment in the building. In the case without an oversized heating system, it was shown to be necessary to reduce the heating demand with 63.9 %. This was achieved by implementing energy efficiency measures on the dwelling. In this case all windows were replaced, in addition to adding insulation to both walls and roof. When using a heating system that is 30 % oversized, it was shown necessary to reduce the heating demand with 51.3 % in order to attain the same results. In this case, it was only necessary to replace all windows and adding insulation to the walls in order to achieve the desired heating demand. If the terrace house is built with TEK 10 or as a passive house, the results show that low temperature district heating can be implemented directly without problems when the set point temperature for heating is 21 °C.

If the heating system is oversized by 100 %, the simulations showed that a set point temperature for heating of 21 °C can be maintained throughout the year even with a supply temperature of 50 °C. It may thus be that low temperature radiators, which have larger heat transfer surfaces, also could provide good results when implementing low temperature district heating in existing buildings, but this requires further investigations.

If the temperatures in the district heating network is reduced below 70 °C, new and efficient solutions has to be implemented in the existing substations in order to ensure safe and efficient low temperature tap water production.

The main conclusion of this report is consequently that low temperature district heating can be implemented in existing dwellings, but depending on the house, this may require substantial investments both on the dwelling and in the substation.

LISTE OVER FIGURER

Figur 1 Temperaturgradient for gulvvarme.....	4
Figur 2 Varmeavgivelse fra gulv ved ulike overflatetemperaturer og ved varierende lufttemperaturer i oppholdssonen.....	5
Figur 3 "Svenskekobling", gulvvarmesystem	6
Figur 4 "Norskekobling", gulvvarmesystem	6
Figur 5 Temperaturgradient for radiatorvarme	7
Figur 6 Forhold mellom stråling og konvektiv varmeavgivelse for en ettpanel radiator	8
Figur 7 Konvektor	9
Figur 8 Temperaturgradient ved bruk av konvektor	10
Figur 9 Temperaturgradient ved ventilasjonsvarme.....	11
Figur 10 Fjernvarme levert til forbruker, 1991 til 2012.....	14
Figur 11 Temperaturkrav til ulike tappevannssystemer fra CEN/TR 16355	19
Figur 12 Prinsippskisse for abonnentsentral med GVV, direkte kobling	23
Figur 13 Prinsippskisse for abonnentsentral med GVV, indirekte kobling	23
Figur 14 Prinsippskisse av abonnentsentral med FVB-system, direkte kobling.....	24
Figur 15 Prinsippskisse av abonnentsentral med FVB-system, indirekte kobling.....	25
Figur 16 LMTD i en standard varmeveksler med redusert innløpstemperatur	26
Figur 17 Spesifikk tilført energi til ulike bygningstyper, steds- og temperaturkorrigert	37
Figur 18 Fordeling av varmetap fra småhus og kontorbygg med TEK 10 standard	38
Figur 19 Spesifikk tilført energi etter boligtype, temperaturkorrigert.....	38
Figur 20 Spesifikk tilført energi til boliger etter byggeår, temperaturkorrigert.....	39
Figur 21 Spesifikk tilført energi til boliger etter region, temperaturkorrigert.....	41
Figur 22 Antall boliger etter byggeår i Norge, statistikk fra 2011	47
Figur 23 Gjennomsnittlig energiforbruk for rekkehus, bolig med byggeår 1955-1970, 1971-1986 og bolig i region Oslo	49
Figur 24 Rekkehus konstruert i IDA ICE.....	52
Figur 25 Soneinndeling i 1. og 2. etg. i rekkehuset.....	52
Figur 26 Temperaturkompenseringskurve for turtemperaturen inn på varmesystemet justert etter utetemperaturen.....	58
Figur 27 Oversikt over installerte radiatorer i referanseboligen	60
Figur 28 Effekt levert til tappevannsforsyning som funksjon av varmtvannstemperaturen.....	62
Figur 29 Formålsdelt spesifikt energiforbruk etter simulerte tiltak på referansemodellen	63
Figur 30 Årsforbruk av fjernvarme med markering for en endring i elektrisitetsforbruket på 20 %	66
Figur 31 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q	69
Figur 32 Returtemperatur fra varmesystemet, Q.....	70
Figur 33 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q ₃₀	72
Figur 34 Returtemperatur fra varmesystemet, Q ₃₀	73
Figur 35 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q ₅₀	74
Figur 36 Returtemperatur fra varmesystemet, Q ₅₀	75
Figur 37 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q ₁₀₀	77
Figur 38 Utsnitt av varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q ₁₀₀	77

Figur 39 Totalt energiforbruk i referanseboligen som funksjon av temperaturen i sekundærnettet, Q_{100}	78
Figur 40 Returtemperatur fra varmesystem, Q_{100}	79
Figur 41 Fjernvarme levert til boligen og antall timer uten tilfredsstillende temperatur i boligen som funksjon av massestrømmen gjennom varmesystemet.....	80
Figur 42 Fjernvarme levert til boligen og antall timer uten tilfredsstillende temperatur boligen som funksjon av U-verdien på vinduene, inkludert karm/ramme	81
Figur 43 Gjennomsnittlig temperatur i stue om morgenen for husholdninger med ulike typer oppvarmingsutstyr.....	83
Figur 44 Spesifikt energiforbruk i boligen ved settpunkttemperatur i driftstiden på henholdsvis 23 °C og 21 °C	85
Figur 45 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i boligen for varierende driftstemperaturer og ulike scenarier for boligen og varmesystemet	90

LISTE OVER TABELLER

Tabell 1 Temperaturkrav til tappevann i utvalgte Europeiske land	20
Tabell 2 Antall rapporterte og sannsynlige tilfeller av legionellose i utvalgte Europeiske land	21
Tabell 3 Rensemeter for tappevann	29
Tabell 4 Oversikt over tekniske minstekrav fra byggt teknisk forskrift; 87, 97, 07 og 10, kriterier for passivhus og tekniske referanseverdier for «Eldre bygg»	36
Tabell 5 Målt energiforbruk over et år i syv husholdninger i rekkehus av passivhusstandard i Miljøbyen Granåsen	40
Tabell 6 Andel vannbåren varme i eksisterende norsk boligmasse.....	42
Tabell 7 Type varmeanlegg installert i eksisterende norsk boligmasse med vannbårent varmesystem.....	42
Tabell 8 Energikilder for nye bygg med vannbårne varmesystemer.....	43
Tabell 9 Gjennomsnittlig bruk av ulike oppvarmingskilder i norske husholdninger, i prosent	46
Tabell 10 Bruksareal i de ulike sonene i rekkehuset	53
Tabell 11 Tekniske spesifikasjoner for "Eldre bygg"	53
Tabell 12 Spesifikasjoner for vinduskonstruksjonene.....	54
Tabell 13 Standardverdier for driftstider samt settpunkttemperatur for oppvarming	55
Tabell 14 Installert effekt til belysning	55
Tabell 15 Tekniske parametere for ventilasjonsanlegg i <i>TEK 10</i> og <i>Passivhus</i>	57
Tabell 16 Effektbehov i de ulike sonene ved dimensjonerende betingelser	59
Tabell 17 Formålsfordelt spesifikt energiforbruk etter simulerte tiltak på referansemodellen	64
Tabell 18 Energirammer fra TEK 10 og Passivhusstandarden gjeldende for rekkehuset.....	65
Tabell 19 Endringer i totalt energiforbruk ved en endring i elektrisitetsforbruket på 20 %, verdiene er oppgitt i kWh/m ²	67
Tabell 20 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q	67
Tabell 21 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q ₃₀	71
Tabell 22 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q ₅₀	73
Tabell 23 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q ₁₀₀	76
Tabell 24 Antall timer i "verste" sone uten oppnådd settpunkttemperatur på 23 °C og 21 °C i driftstiden	84
Tabell 25 Antall timer i «verste» soverom uten oppnådd settpunkttemperatur, for kveldslufting og uten lufting	86
Tabell 26 Spesifikk tilført energi, kWh/m ² , ved kveldslufting sammenlignet med ikke kveldslufting.....	86
Tabell 27 Resultat fra varierende brukeroppførsel i passivhus og varierende turtemperatur inn på varmesystemet	88

LISTE OVER FIGURER OG TABELLER I VEDLEGG

A. 1 Temperaturforløp ved settpunkttemperatur for oppvarming definert etter NS 3031	103
A. 2 Temperaturforløp ved økt settpunkttemperatur for oppvarming.....	103
B. 1 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 60 °C.....	104
B. 2 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 55 °C.....	104
B. 3 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 50 °C.....	105
C. 1 Tekniske parametere for radiatortypen Radik Klasik.....	106
C. 2 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q	107
C. 3 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q ₃₀	107
C. 4 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q ₅₀	107
C. 5 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q ₁₀₀	108
C. 6 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q	108
C. 7 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q ₃₀	108
C. 8 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q ₅₀	109
C. 9 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q ₁₀₀	109
C. 10 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard, Q.....	109
C. 11 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard,, Q ₃₀	110
C. 12 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard,, Q ₅₀	110
C. 13 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard, Q ₁₀₀	110
D. 1 Temperaturforløp stue/kjøkken 31.12, Tiltak 2 T = 55 °C.....	111
D. 2 Temperaturforløp gang 23.12, Tiltak 3 T = 50 °C	111
D. 3 Temperaturforløp stue/kjøkken 31.12, Referansebolig T = 60 °C	112
D. 4 Temperaturforløp bad 2 31.12, Tiltak 1 T = 55 °C	112
D. 5 Temperaturforløp stue/kjøkken 31.12, Tiltak 2 T = 50 °C.....	113
D. 6 Temperaturforløp bad 2 31.12, Tiltak 1 T = 55 °C	113
D. 7 Temperaturforløp bad 2 31.12, Referansebolig T = 50 °C.....	114

INNHALDSFORTEGNELSE

Sammendrag	v
Abstract	vii
Liste over figurer	ix
Liste over tabeller	xi
Liste over figurer og tabeller i vedlegg	xii
1 Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon	1
1.2 Mål	1
1.3 Struktur	2
2 Vannbårne varmesystemer	3
2.1 Gulvvarme	3
2.1.1 Varmeavgivelse	4
2.1.2 Teknisk Utforming	5
2.2 Radiator	6
2.2.1 Varmeavgivelse	7
2.2.2 Tur- og returtemperatur	8
2.3 Konvektor	9
2.4 Ventilasjonsvarme	10
2.5 Simuleringsverktøy for analyse av vannbårne varmesystem	12
3 Fjernvarme	13
3.1 Utviklingen av fjernvarme	13
3.2 Fjerde generasjons fjernvarme	14
3.3 Regelverk for temperaturnivå i tappevannssystemer	16
3.3.1 Norske forskrifter og regelverk	16
3.3.2 Internasjonale regelverk/standarder	18
3.3.3 Oppsummering og diskusjon	20
3.4 Tekniske løsninger for lavtemperatur fjernvarme	22
3.4.1 Abonnentsentral	22
3.4.2 Varmtvannstank	28
3.5 Demonstrasjon av lavtemperatur fjernvarme	32
3.5.1 Lystrup	32
3.5.2 Albertslund	33

3.5.3	Chalvey.....	34
3.5.4	Oppsummering	34
4	Energiforbruk i bygninger i Norge.....	35
4.1	Tekniske forskrifter	35
4.2	Statistisk analyse.....	37
4.2.1	Energiforbruk i ulike bygningstyper	37
4.2.2	Energiforbruk etter byggeår	39
4.2.3	Energiforbruk etter region	41
4.2.4	Vannbårne varmesystemer i norske bygg	41
4.3	Oppsummering	44
5	Fremgangsmåte for evaluering av vannbårent varmesystem i en eksisterende bolig	45
6	Simuleringsgrunnlag	46
6.1	Referansebygg	46
6.2	Dimensjonering av varmesystem.....	50
6.3	Scenarier for konvertering av eksisterende bygninger til lavtemperatur fjernvarme	50
6.4	Simuleringsmodell.....	52
6.4.1	Bygningsgeometri	52
6.4.2	Bygningskropp og tekniske installasjoner.....	53
6.4.3	Varmebehovsberegning.....	58
7	Ytelsesanalyse av lavtemperatursystemer i eksisterende boliger	61
7.1	Beregnet energiforbruk.....	61
7.1.1	Følsomhetsanalyse	65
7.2	Ytelse uten overdimensjonert varmesystem	67
7.3	Ytelse med 30 % overdimensjonert varmesystem.....	71
7.4	Ytelse med 50 % overdimensjonert varmesystem.....	73
7.5	Ytelse med 100 % overdimensjonert varmesystem.....	75
7.6	Parameteranalyse av bygning tilknyttet lavtemperatur fjernvarme	79
7.6.1	Økt massestrøm i varmesystemet	80
7.6.2	Ytterligere oppgradering av vinduene	81
7.6.3	Brukeroppførsel.....	82
7.6.4	Brukeroppførsel i passivhus	87
7.7	Oppsummering	89
8	Diskusjon	91

9	Konklusjon.....	94
10	Videre arbeid	96
	Bibliografi	97
	Vedlegg	103
	A. Driftstid og temperaturforløp i varmesystemet	103
	B. Temperaturkompenseringskurve	104
	C. Radiator spesifikasjoner	106
	D. Lufttemperatur.....	111

1 INTRODUKSJON

1.1 BAKGRUNN OG MOTIVASJON

Regjeringen har som mål å redusere energibruken i bygg med 15 TWh innen 2020 sammenlignet med dagens nivå (Olje- og energidepartementet, 2012). For å klare å nå dette målet er det satt strenge krav til utformingen av nye bygg gjennom byggetekniske forskrifter. Energibehovet i nye bygg er dermed svært redusert sammenlignet med energibehovet i eksisterende bygg, noe som fører til en mye lavere varmetetthet i nybyggområder. Raten mellom levert energi og netteverkstap vil følgelig bli uakseptabel høyt ved bruk av dagens fjernvarmesystem i slike områder. På bakgrunn av dette er fjerde generasjons fjernvarme utviklet, tilpasset de nye behovene. Fjerde generasjon fjernvarme er et fremtidsrettet lavtemperatursystem som blant annet reduserer distribusjonstapene i fjernvarmenettet i tillegg til at det gjør det lettere å utnytte nye fornybare lavtemperaturrenergikilder. Denne nye generasjonen fjernvarme vil i fremtiden bli en del av et smart energisystem der forholdet mellom forbrukssiden og produksjonssiden blir langt mer dynamisk og det vil følgelig være mulig og både ta imot varme fra nettet og sende varme ut igjen. Forbrukeren vil da selv ha større innflytelse på forbruket sitt, og vil ha en rolle nærmere forretningspartner i et fritt energimarked enn kunde. Dette vil gi et energisystem som ivaretar forsyningssikkerheten og fleksibiliteten i fremtiden.

På grunn av de mange fordelene ved å innføre fjerde generasjons fjernvarme er det ønskelig å ta dette systemet i bruk i Norge i fremtiden. En av de største utfordringene ved å innføre et slikt system er at alle store byer i Norge er utbygd med andre og tredje generasjon fjernvarme basert på et høy- og mellom temperaturnivå. Bakgrunnen for de høye temperaturene er blant annet at de er tilknyttet eldre bygg med høyt varmebehov og eldre varmesystemer dimensjonert for en turtemperatur på 80-90 °C. Dersom temperaturene reduseres i disse varmesystemene kan det oppstå problemer med å dekke varmebehovet på de kaldeste dagene. Dagens varmesystemer er derimot ofte overdimensjonert for å sikre boligen mot nettopp for liten effektkapasitet, og for å ta høyde for varierende bruksmønster hos forbrukerne. I følge Grindal og Børresen i Statsbygg sin rapport *Vannbåren energi*, er vannbårne varmesystemer ofte 20-30 % overdimensjoner, men dette kan variere mye fra prosjekt til prosjekt (Grindal & Børresen, 1998). Ved en overgang til lavtemperatur fjernvarme i fremtiden kan det dermed være en fordel med overdimensjonerte varmesystemer ettersom en større varmeoverføringsflate gir bedre varmeavgivelse, noe som vil være nødvendig for å kunne dekke varmebehovet i bygningen ved reduserte driftstemperaturer.

1.2 MÅL

Målet med denne oppgaven er i følge oppgaveteksten; *å analysere muligheter for overgang fra høytemperatursystem til lavtemperatursystem i eksisterende bygninger*. Gjennom analysen er det ønsket å undersøke under hvilke forhold, eller eventuelt hvilke tiltak som må utføres, for at lavtemperatur fjernvarme kan implementeres problemfritt i eksisterende boliger.

Ettersom varmesystemer ofte er overdimensjonert er det ønsket å studere hvordan graden av overdimensjonering påvirker muligheten til å ta i bruk reduserte driftstemperaturer i fjernvarmenettet tilknyttet eksisterende bygg. Det er i tillegg ønsket å studere ulike energieffektiviseringstiltak som vil være nødvendig å utføre på boligen, for å redusere varmebehovet, dersom varmesystemet ikke klarer å levere nok effekt til boligen under de gitte forholdene. Som en del av denne analysen er det i tillegg ønsket å undersøke hvordan en overgang til lavtemperatur fjernvarme vil påvirke mengden effekt levert til boligen med fjernvarme og det totale energiforbruket i boligen.

Som beregningsgrunnlag defineres det en referansebolig med vannbårent varmesystem som er antatt tilknyttet til fjernvarme. Beregningene utføres ved hjelp av simuleringsverktøyet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE), som er et verktøy for evaluering av bygninger med hensyn på inneklimate og energibruk.

1.3 STRUKTUR

Oppgaven innledes i kapittel 2 med en gjennomgang av de mest brukte vannbårne varmesystemene i Norge ved tilknytning til fjernvarme, etterfulgt av en beskrivelse av et simuleringsverktøy som kan benyttes til å analysere vannbårne varmesystemer i boligbygg. I kapittel 3 følger en mer utdypende beskrivelse av fjernvarmesituasjonen i Norge i dag, etterfulgt av en presentasjon av fjerde generasjon fjernvarme og mulighetene og utfordringene ved innføring av et slikt system i dagens fjernvarmenett. Det fokuseres på tekniske løsninger for å muliggjøre implementering av lavtemperatur fjernvarme i eksisterende bygg tilknyttet til fjernvarme. Kapitlet avsluttes med en gjennomgang av tre fjernvarmeanlegg/-nett der lavtemperatur fjernvarme er vellykket tatt i bruk.

I neste del av oppgaven blir fokuset rettet mot bygninger og deres energiforbruk, da gjennomgått i form av en statistisk analyse lagt frem i kapittel 4. I kapittel 5 blir metoden for videre beregninger og simuleringer lagt frem, før beregningsgrunnlaget for å estimere mulighetene for overgang til lavtemperatursystem i et eksisterende bygg blir gjennomgått i kapittel 6. Kapittel 7 presenterer de ulike beregningene utført med tilhørende resultater.

Oppgaven avsluttes med en oppsummeringsdel bestående av diskusjon, konklusjon og anbefalinger til videre arbeid.

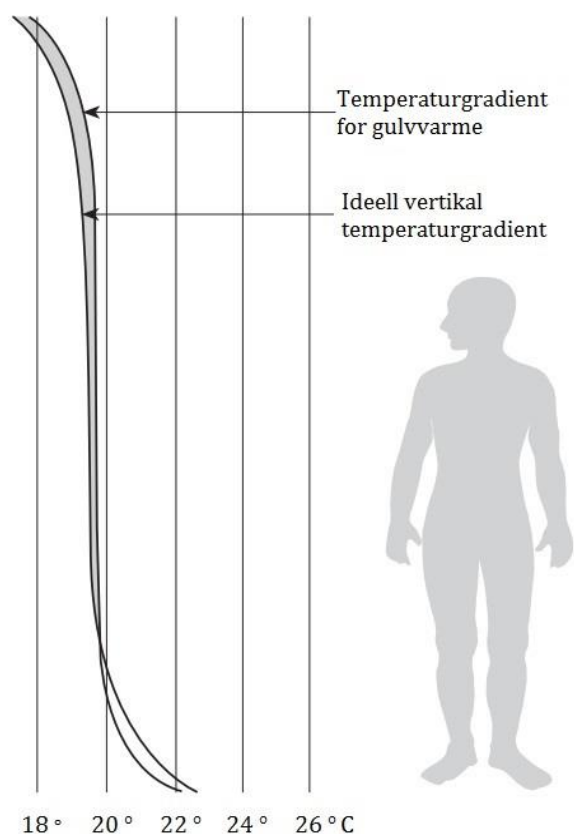
2 VANNBÅRNE VARMESYSTEMER

Bygg tilknyttet fjernvarme er utstyrt med vannbårne varmesystemer som overfører den termiske energien i fjernvarmenettet til de oppvarmede sonene i bygget. I dette delkapittelet vil detaljene rundt de mest vanlige vannbårne varmesystemene i Norge bli gjennomgått; gulvvarme, radiatorer, konvektor og ventilasjonsvarme. Der radiator og konvektor inngår i kategorien punktvarme, noe som vil si at varmeavgiveren ikke er en del av bygningskonstruksjonen i motsetning til gulvvarme. Til slutt i kapitlet er det sett på simuleringsverktøy som kan benyttes for å analysere ytelsen til vannbårne varmesystemer i bygg.

2.1 GULVVARME

Gulvvarme er et varmesystem som inngår som en del av byggkonstruksjonen. Systemet varmer opp gulvet for å kompensere for varmetap mot grunnen, i tillegg til at det avgir varme til rommet for å kompensere for øvrige varmetap. Gulvet kan varmes opp elektrisk, ved sirkulering av varm luft eller varmt vann, sistnevnte vil være aktuelt ved bruk av fjernvarme. Gulvet avgir varme til rommet gjennom varmestråling til vegger, tak og møbler i tillegg til konveksjon til luften i rommet.

Gulvvarme har flere egenskaper som gjør at det er et svært attraktivt varmesystem, spesielt i bolighus. Selve varmeavgiveren er skjult under gulvbelegget, noe som gjør at det blir mer tilgjengelig plass i rommet og møblering kan foregå uten å måtte ta hensyn til om varmeavgiveren blokkeres etc. Ettersom gulvvarme ikke er avhengig av luftsirkulasjon i rommet, annet enn naturlig oppdrift, blir spredning av støv og pollen mindre noe som fører til et bedre innemiljø (Olesen, 2002). Gulvvarme er i tillegg det varmesystemet som oppnår en vertikal temperaturgradient nærmest den ideelle, se Figur 1.

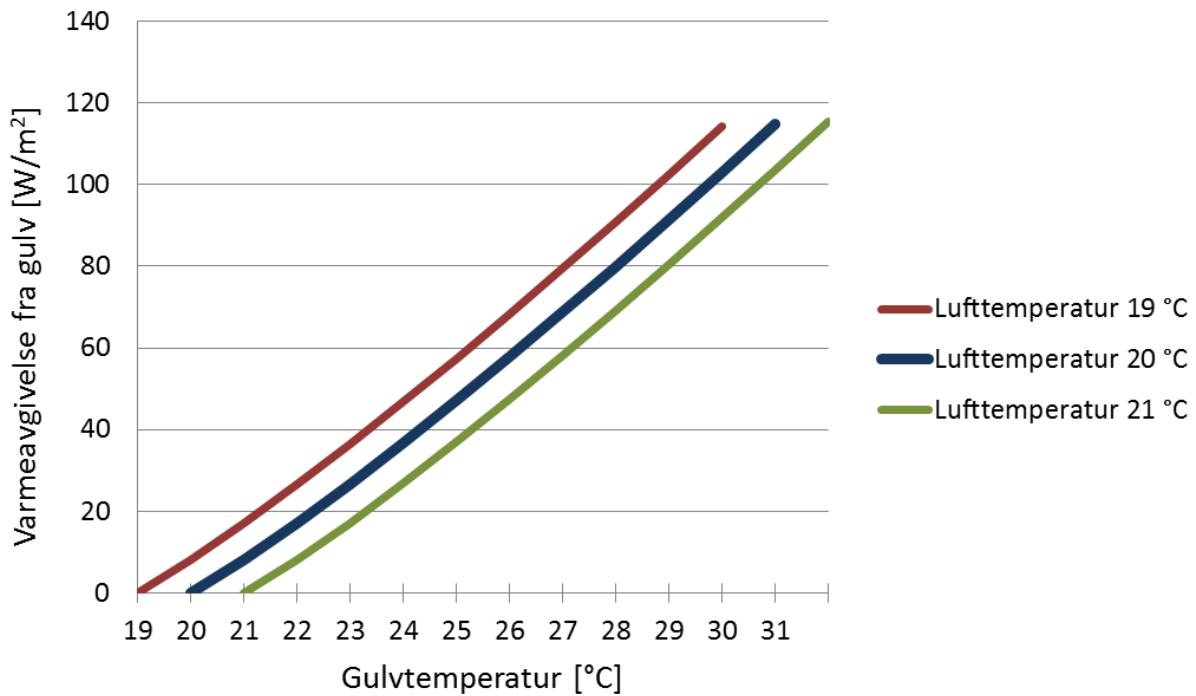


Figur 1 Temperaturgradient for gulvvarme (Uponor, u.d.)

En temperaturgradient så lik den ideelle illustrerer at varmesystemet gir svært god termisk komfort for brukerne av rommet. Ettersom gulvvarme avgir størstedelen av varmemengden som strålingsvarme vil overflater i rommet bli varmet opp av stråling, noe som gjør at varmetapet til personer i rommet blir holdt i bedre balanse og man unngår lettere ubehag (Uponor, u.d.). Det at gulvvarme avgir strålingsvarme betyr at den ønskede operative temperaturen til personer i rommet kan opprettholdes selv ved lavere lufttemperaturer. En lavere lufttemperatur gir i følge Fang et al. (1998) blant annet den fordel at den relative luftfuktigheten øker noe om vinteren, i tillegg til at luftkvaliteten oppleves som bedre i rom med lavere temperaturer (Fang, et al., 1998)

2.1.1 VARMEAVGIVELSE

Varmeavgivelsen fra gulvvarmeanlegg til rommet varierer med overflatetemperaturen på gulvet. Figur 2 illustrerer hvordan varmeavgivelsen øker nærmest proporsjonalt med gulvtemperaturen. Verdiene er beregnet basert på metode gitt i boken *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*, med en ønsket lufttemperatur lik 19, 20 og 21 °C (Zijdemans, 2012). Resultatene er gjeldende ved en operativ temperatur antatt lik lufttemperaturen i rommet.

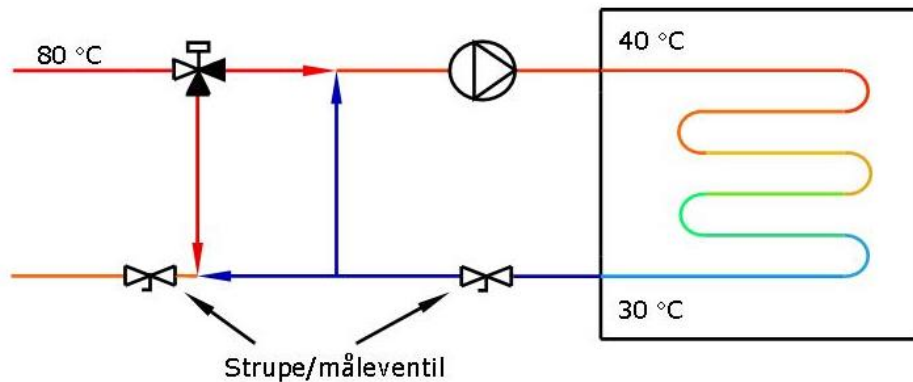


Figur 2 Varmeavgivelse fra gulv ved ulike overflatetemperaturer og ved varierende lufttemperaturer i oppholdssonen

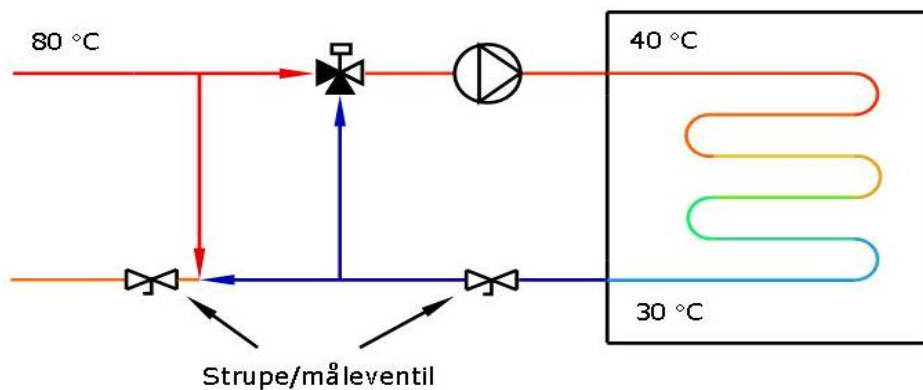
Som figuren over illustrerer vil gulvtemperaturen bli relativt høy dersom varmebehovet i rommet er høyt. Det vil si at dersom kravene fra standarden NS-EN 15377 skal overholdes, der maksimum overflatetemperatur på gulvet er 29 °C i oppholdssonen, så må varmebehovet i rommet være omtrent 90 W/m² eller mindre, avhengig av ønsket lufttemperatur (Standard Norge, 2008). Varmeavgivelsen øker ved lavere lufttemperatur og operativ temperatur, og reduseres ved høyere lufttemperatur og operativ temperatur. Dette er grunnet endret temperaturdifferanse mellom gulv og luft/overflater som påvirker både den konvektive varmeavgivelsen og varmeavgivelsen ved stråling.

2.1.2 *TEKNISK UTFORMING*

Ved bruk av en høytemperaturrenergikilde, som fjernvarme er i dag, er det nødvendig å bruke systemløsninger som gjør det mulig å redusere temperaturer på vannet før det entrer gulvarmesystemet ettersom det krever relativt lave driftstemperaturer (~35-40 °C). De fleste eksisterende systemer er i dag dermed utformet med en såkalt «svenskekobling» eller «norskekobling» (Zijdemans, 2012). En prinsippskisse av hver av koblingene er illustrert i Figur 3 og Figur 4.



Figur 3 "Svenskekobling", gulvvarmesystem (Zijdemans, 2012)



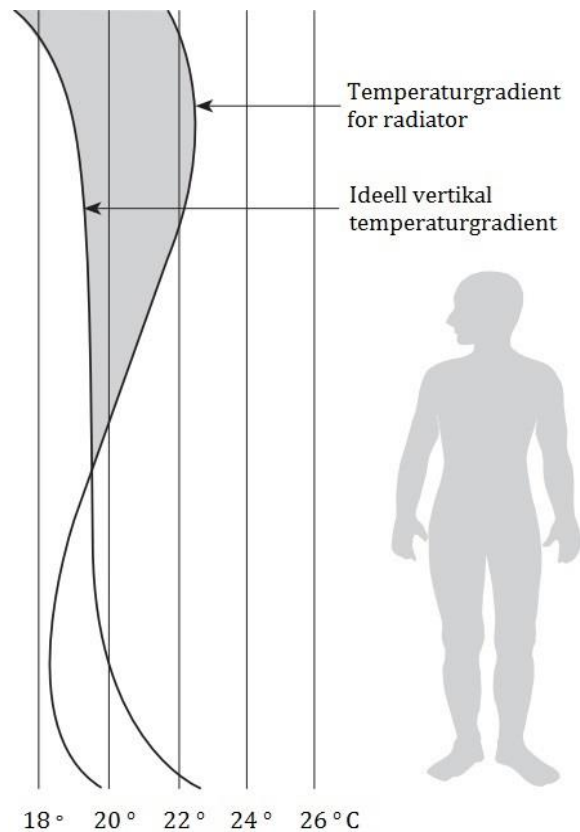
Figur 4 "Norskekobling", gulvvarmesystem (Zijdemans, 2012)

Fordelene med disse koblingene er at trykkforandringer i kretsene ikke påvirker hverandre. Ved bruk av en lavtemperatur-energikilde vil det derimot ikke være nødvendig å blande ut turvannet for å oppnå en passende temperatur. Dersom eksisterende gulvvarmesystemer skal motta energi fra LTFV vil det ikke være nødvendig med store oppgraderinger. Treveisventilen i «norskekoblingen» og «svenskekoblingen» vil kun måtte reguleres slik at vannet som er tilbakekoblet fra returen til varmesystemet stenges helt av og ikke blandes inn til turvannet.

2.2 RADIATOR

Radiatorer er mye brukt som oppvarmingssystem ved tilknytning til fjernvarme. Radiatorheteflater er i disse tilfellene dimensjonert for en middeltemperatur på 70-80 °C, og vil måtte bli omtrent 2,5 ganger større ved overgang til lavtemperaturdrift for å kunne avgi samme varmemengde (Stensaas, 2007). Dette vil si at dersom LTFV skal innføres i eksisterende bygg må det eksisterende varmesystemet vurderes for å undersøke om de kan avgi tilstrekkelig varme for å dekke byggets varmebehov selv med reduserte temperaturer. Dersom dette ikke er tilfellet kan andre tiltak vurderes, som for eksempel å etterisolere hele eller deler av bygningen, bytte vinduer for å redusere varmetapet, installere flere varmekilder eller bytte ut de eksisterende radiatorene med lavtemperaturreadiatorer.

Radiatorer er vanligvis utført i 1-1,5 mm tykke stålplater som sveises sammen, der hver flate har et vanninnhold på 1-2,5 liter pr. m² (Zijdemans, 2012). Vanlig driftstrykk er 4 bar (Stensaas, 2007). Radiatorer er normalt plassert under vinduer for å stoppe kulderaset fra den kalde overflaten. Figur 5 viser hvordan temperaturgradienten i et rom med radiatorvarme typisk vil se ut.

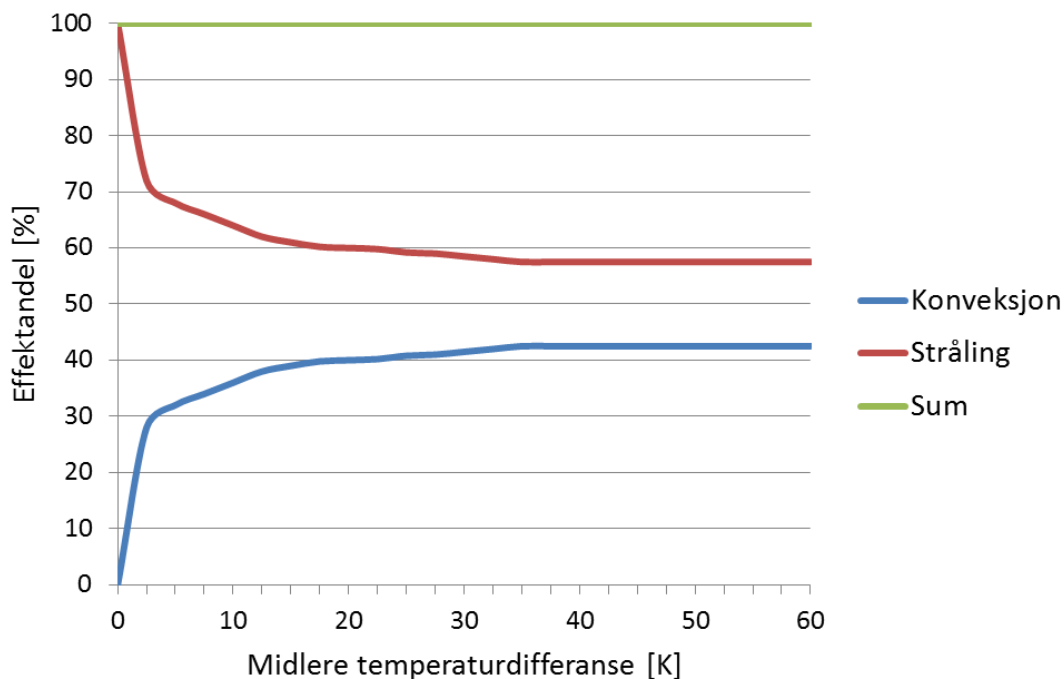


Figur 5 Temperaturgradient for radiatorvarme (Uponor, u.d.)

Som figuren illustrerer avviker denne noe mer fra den ideelle vertikale temperaturgradienten sammenlignet med det gradienten for gulvvarme gjør. Dette gjør at den termiske komforten for personene i rommet vil være noe lavere enn ved bruk av gulvvarme.

2.2.1 VARMEAVGIVELSE

Varmen fra radiatoroverflaten avgis både via konveksjon og stråling, der strålingsandelen normalt ligger i området 30-60 % (Zijdemans, 2012). Varmeavgivelsen vil bli noe redusert dersom enheten er plassert under et utspringende vindusbrett eller dersom den er innkledd ettersom strålingsandelen da vil bli noe redusert. Figur 6 viser forholdet mellom stråling og konveksjon fra en ettpanel radiator.



Figur 6 Forhold mellom stråling og konvektiv varmeavgivelse for en ettpanel radiator (Zijdemans, 2012)

Ettersom en høyere strålingsandel gir mulighet for å opprettholde den ønskede operative temperaturen til personene i rommet selv ved lavere lufttemperaturer, vil det være å foretrekke å redusere driftstemperaturene i radiatorene.

Radiatorer reagerer raskt ved temperaturendringer og har svært gode kontrolleringsmuligheter. Dette gjør at systemet egner seg godt i lavenergibyggeri der små laster kan gi store utslag. Varmesystemet vil også være ideelt i bygg med eldre vinduer som gir stort kulderas, ettersom punktvarme plassert under vinduene vil hindre kulderasene i stor grad. Et varmesystem basert på radiatorer gir et svært energieffektivt system ettersom hele enheten er plassert i rommet, noe som gjør at all varmen avgitt fra enheten går direkte til rommet og ingen energi er direkte tapt til ytre omgivelser.

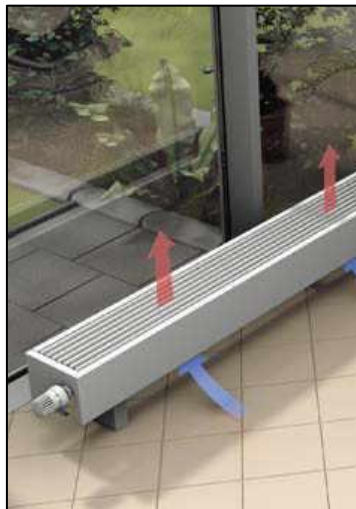
2.2.2 TUR- OG RETURTEMPERATUR

Turtemperaturen i varmesystemet avhenger av hvordan varmen produseres. I tilknytning til fjernvarme vil typisk turtemperatur ligge på omtrent 80 °C. Effektfaktoren til varmesystemet reduseres med omtrent 2-3 % pr. grad temperaturen i systemet heves (Zijdemans, 2012). Returtemperaturen kan derimot varieres og kan ligge et sted mellom turtemperatur og romtemperatur. Temperaturdifferansen mellom tur- og returvannet vil dog påvirke anleggskostnadene ettersom det nødvendige overflatearealet på radiatorene vil avhenge av middeltemperaturen i vannet for en gitt varmeavgivelse. En stor temperaturdifferanse vil i tillegg føre til mindre sirkulert vann i systemet, noe som igjen gir mindre rørdimensjoner og mindre sirkulasjonspumper. På bakgrunn av disse opplysningene kan det settes opp en oversikt over anleggskostnadene ved varierende temperaturdifferanse i systemet, på denne måten kan man finne de mest økonomisk gunstige driftstemperaturene. Det er vanlig å velge temperaturdifferanse på 10 °C eller 20 °C, noe som ligger i området rundt kostandsminimum (Zijdemans, 2012).

I dag fører flere leverandører radiatorer spesielt tilpasset lavere driftstemperaturer, med dimensjonerende tur- og returtemperatur på henholdsvis 55 °C og 25 °C ved en ønsket lufttemperatur på 20 °C (Christiansen, 2011). Disse enhetene har større varmeoverføringsflater for å kunne avgi nok varme selv med mindre temperaturredifferanse mellom omgivelser og overflater. I tillegg til å sikre god varmeavgivelse vil et slikt varmesystem også sikre en lav returtemperatur fra enhetene noe som vil være ettertraktet ved tilknytning til et fjernvarmenett.

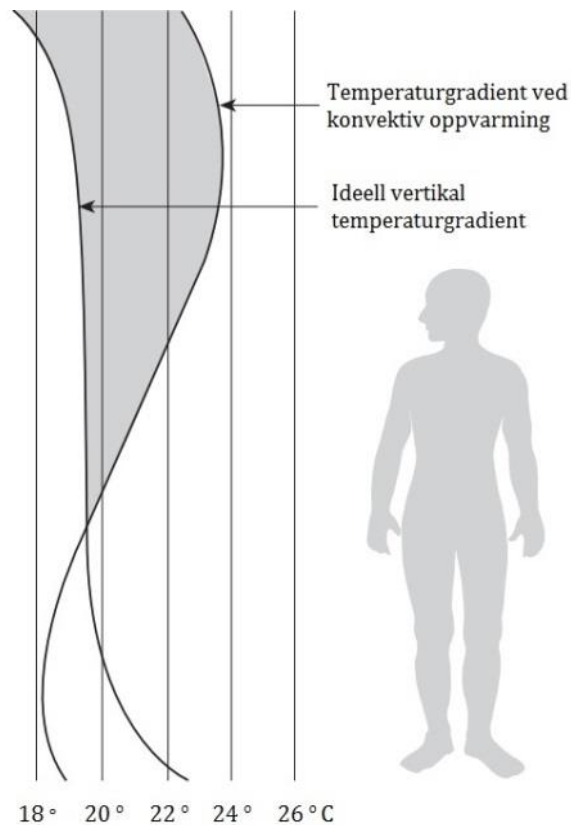
2.3 KONVEKTOR

Konvektorer er en varmeavgiver bygd opp av runde eller firkantede ribberør som er innebygd i en ramme med åpning for luftgjennomstrømning oppe og nede. Dette gir høyere lufthastigheter over varmeelementene og dermed bedre varmeovergang enn ved frittstående elementer som radiatorer (Zijdemans, 2012). Konvektorer kan utformes og plasseres på mange ulike måter, de kan blant annet plasseres i gulvbrønner, i benkløsninger, innebygd i vinduskarm eller frittstående slik som illustrert i Figur 7. For bedre varmeovergang føres ofte konvektorer med integrerte vifter for å øke luftgjennomstrømningen. Varmeoverføringen skjer da ved tvungen konveksjon.



Figur 7 Konvektor

En konvektor avgir varme i hovedsak gjennom konveksjon til luften som strømmer igjennom enheten, derav navnet. Ettersom en konvektor skaper varme, oppadgående luftstrømninger vil den vertikale temperaturgradienten blir relativt avvikende fra den ideelle temperaturgradienten grunnet høye temperaturer i øvre halvdel av rommet, se Figur 8. Dette vil øke sannsynligheten for at beboerne opplever innemiljøet som ubehagelig grunnet stor temperaturredifferanse mellom ankel og hode, noe man må være oppmerksom på dersom konvektor benyttes som varmekilde.

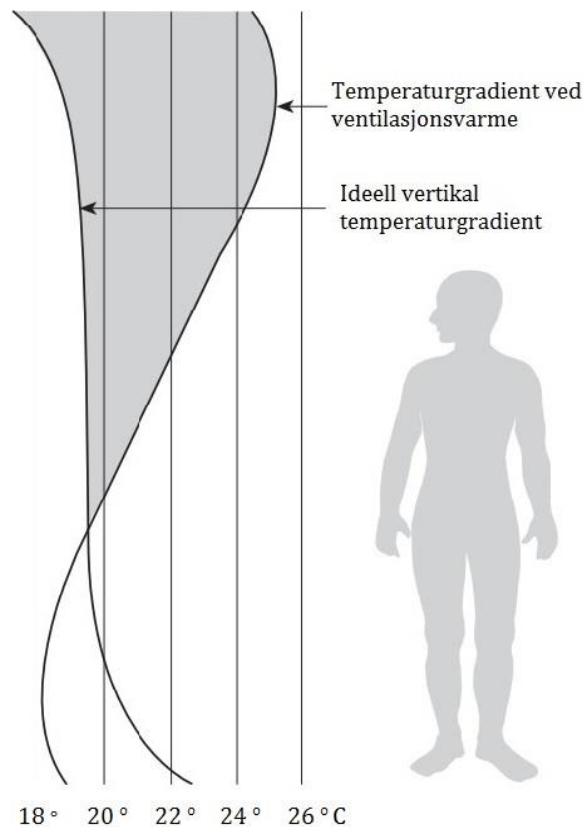


Figur 8 Temperaturgradient ved bruk av konvektor (Uponor, u.d.)

Konvensjonelle konvektorer krever relativt høye turløpstemperaturer, men det er også utviklet løsninger som er tilpasset lavere driftstemperaturer (Dimplex, u.d.). En slik konvektor har en spesialtilpasset varmeveksler med større overflater for bedre varmeavgivelse. De oppadgående luftstrømningene fra denne enheten vil i tillegg forårsake mindre ubehag enn det konvensjonelle systemet ettersom temperaturdifferansen mellom luftstrømningene og den stillestående luften vil være mindre.

2.4 VENTILASJONSVARME

Ventilasjonsvarme er foreløpig mest vanlig i industri- og kontorbygg. Ventilasjonssystemet har ofte en varmegjenvinner med virkningsgrad på 50-90 %, avhengig av utforming og dimensjonering. For å varme ventilasjonsluften helt opp til den nødvendige temperaturen benyttes et varmebatteri som gjerne forsynes med varmt vann fra varmesystemet. Dersom ventilasjonssystemet benyttes for å overvinne varmetapet mot omgivelsene må lufttemperaturen være noe høyere enn romtemperaturen. Temperaturgradienten vil da bli som illustrert i Figur 9, relativt ulik den ideelle temperaturgradienten.



Figur 9 Temperaturgradient ved ventilasjonsvarme (Uponor, u.d.)

For å oppnå et godt innemiljø er det ønskelig å tilføre ventilasjonsluften med en temperatur som helst ikke overstiger romtemperaturen. Ofte er tilluftstemperaturen 2-3 K lavere enn romtemperaturen (Zijdemans, 2012). I kalde klimasoner, som i Norge, vil ventilasjonsvarme dermed ikke være tilstrekkelig for å dekke varmebehovet i de fleste bygg. Det vil følgelig være nødvendig å kombinere ventilasjonsvarme med andre varmekilder.

I Norge i dag er det et kjent bygg som baserer romoppvarmingen kun på ventilasjonsvarme; Miljøhuset GK. Det er GK som har designet varmesystemet i sin egen kontorbygning som et bevis på at ventilasjonsvarme kan fungere godt også i Norge. Bygningen er bygget i passivhusstandard og ventilasjonssystemet benytter en varmegjenvinner med virkningsgrad på 88 %. Alle rom er utstyrt med aktive ventiler som styrer luftmengde, temperatur i rommet og lys. Ventilasjonsvarme er i dette bygget aktuelt ettersom det har et svært lavt varmebehov, selv i vintersesongen. For å ta høyde for varierende tilskudd fra internlaster, og for å kunne tilføre spissvarme på de kaldeste vinterdagene, er alle rom utført med mobile grenstaver med varmelementer på 200 W i hver enhet. GK viser til gode resultater for driften av det utradisjonelle varmesystemet, og er svært fornøyd med det termiske innemiljøet i bygget (Aronsen, 2013).

2.5 SIMULERINGSVERKTØY FOR ANALYSE AV VANNBÅRNE VARMESYSTEMER

Til analyse av en bolig tilknyttet fjernvarme er det avgjørende å bruke et simuleringsverktøy som har mulighet til å simulere driften av vannbårne varmesystemer med stor grad av nøyaktighet. Det finnes i dag flere gode programmer på markedet til energianalyse av bygninger og tilhørende varmesystemer. IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) er et simuleringsverktøy som evaluerer bygninger med hensyn på inneklima og energibruk. De fysiske modellene som opprettes i IDA ICE reflekterer den siste forskningen og de beste modellene tilgjengelige på markedet. Simuleringsresultatene fra verktøyet er i tillegg vist å stemme godt overens med målte verdier i følge U.S. Department of Energy (U.S. Department of Energy, 2011). Programmet har åpen kildekode, noe som gjør at det er mulig for brukeren å gå inn og tilpasse programmet etter sitt behov. Åpen kildekode vil i tillegg kunne øke forståelsen for beregningene som blir utført gjennom simuleringene ettersom oppbygningen av programmet er tilgjengelig. IDA ICE har i tillegg et svært pent og oversiktlig brukergrensesnitt som gjør at brukeren enkelt kan konstruere sin modell, for både enkle og mer detaljerte tilfeller, og resultatene hentes ut i oversiktlige tabeller for kjøle-, varme- og energibehov. Det internasjonale energibyrådet (IEA) har som en del av utviklingen og demonstrasjon av nye energiteknologier tatt på seg oppgaven å vurdere nøyaktigheten til ulike bygningsanalyse-verktøy. I denne sammenheng ble IDA ICE vurdert med hovedfokus på strålende varme- og kjølesystemer. Studiet bekreftet at simuleringer utført i IDA ICE resulterer i nøyaktige verdier som i dette tilfellet stemte godt overens med referanseprogrammet. De påpeker likevel at modelløren som utfører og konstruerer hele arbeidet i programmet vil ha stor påvirkning på nøyaktigheten av beregningene (Achermann & Zweifel, 2003). IDA ICE gir mulighet for å vurdere flere ulike varmesystemer som gulv- og takvarme, radiatorsystemer, ventilasjonsvarme og varme fra aktive grenstaver. De fleste av varmesystemene kan i tillegg vurderes både for elektrisk og vannbåren varmforsyning. Programvaren er dermed vist å være et godt og nøyaktig simuleringsverktøy som gir stor fleksibilitet og gode muligheter for å utføre energianalyser av vannbårne varmesystemer i bygninger.

3 FJERNVARME

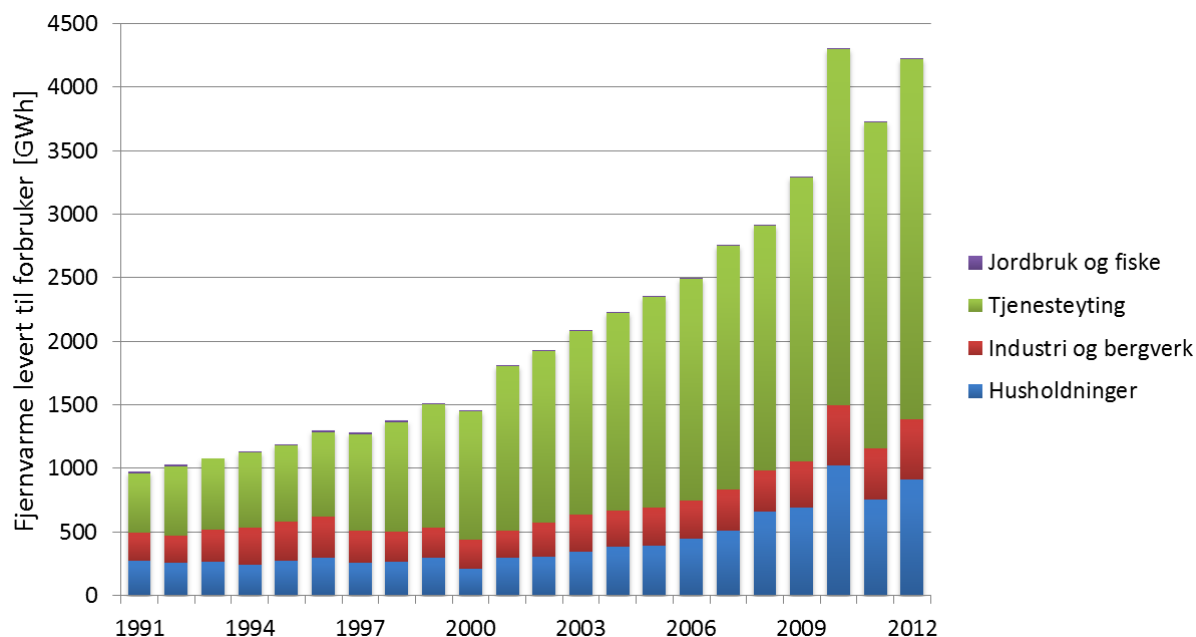
Litteraturstudiet i dette kapitlet fokuseres fjernvarme og dens utvikling en ny generasjon fjernvarme. Fjerde generasjon fjernvarme er fremtidens fjernvarmesystem og blir utdypet i dette kapitlet ettersom fokuset i denne oppgaven er rettet mot nettopp dette fjernvarmesystemet. Før fjerde generasjon fjernvarme kan implementeres i eksisterende husholdninger er det en del tekniske utfordringer som må overkommes for å sikre en trygg og effektiv drift av det nye fjernvarmesystemet. Løsninger og muligheter for tilpasning til den nye generasjonen fjernvarme er dermed studert og lagt frem.

3.1 UTVIKLINGEN AV FJERNVARME

Fjernvarme har siden oppstarten gjennomgått en drastisk systemutvikling som gjerne blir delt inn i fire hovedsystemløsninger. Disse blir referert til som første, andre, tredje og fjerde generasjon fjernvarme (Werner, 2013):

- Første generasjon fjernvarme ble utbygget i USA på 1880-tallet, der vanndamp med temperatur på omtrent 100 °C ble benyttet som energibærer. De største fjernvarmesystemene av denne typen finnes i dag i New York og Paris, men systemet er i dag utdatert grunnet høye varmetap og problem med korrosjon i nettet på grunn av svært høyt oksygen nivå i rørene.
- Andre generasjon fjernvarme ble utviklet mellom 1930 og 1970 og er vannbasert med distribusjonstemperaturer over 100 °C. Rørsystemet er gjerne lagt i betongkilverter der vannet fraktes under høyt trykk, noe som gjør at vannet holdes flytende selv med de høye temperaturene.
- Tredje generasjon fjernvarme er dagens fjernvarmesystem og ble tatt i bruk fra starten av 1980-tallet. Systemet er vannbasert med et middel temperaturnivå, ofte med temperaturer under 100 °C. Dagens fjernvarmesystem har i tillegg tilført mer effektive komponenter som minsker varmetap, initialkostander og vedlikeholdskostnader.
- Fjerde generasjon fjernvarme er under utvikling i dag, og er basert på et lavt temperaturnivå med distribusjonstemperaturer på 50-55 °C. Systemet er tilpasset fremtidens energibehov som vil være lavere, noe som krever et mer effektivt varmedistribusjonssystem. Ytterligere beskrivelse av fjerde generasjon fjernvarme er lagt frem neste delkapittel.

Fjernvarme har siden etableringsfasen i Norge på starten av 1980-tallet blitt utbygd med jevn vekst i de største byene. I dag er fjernvarmenett bygget ut eller er under utbygging i 92 % av alle norske byer med minst 10 000 innbyggere (Norsk Fjernvarme, 2013). Tall fra SSB viser at forbruket av fjernvarme har steget jevnt gjennom de siste årene, forløpet er lagt frem i Figur 10. Levert fjernvarme til forbruker var i 2012 4,2 TWh, noe som tilsvarer en økning på 13,2 % fra 2011 (SSB, 2013). Regjeringen har som mål å produsere 10 TWh fjernvarme innen 2020 noe som er mulig dersom fjernvarmebransjen klarer å opprettholde den veksten de har hatt de siste årene.



Figur 10 Fjernvarme levert til forbruker, 1991 til 2012 (SSB, 2013)

Det utbygde fjernvarmenettet i Norge i dag er en blanding av andre og tredje generasjon fjernvarme. Det vil si at nettet er basert på høye og mellom temperaturnivåer. Turtemperaturen ligger da vanligvis på 80-120 °C. Den høye temperaturen er grunnet eldre varmesystemer hos kunden som er dimensjonert for dette temperaturnivået, og industrikunder med krav til spesifikke temperaturer. Det varme distribusjonsvannet sirkulerer i isolerte rør nedgravd i bakken, men grunnet kaldere omgivelsestemperaturer vil det alltid være et visst varmetap i disse distribusjonsrørene. I følge SSB ble det i 2012 innrapportert et gjennomsnittlig varmetap i fordelingsnettet på omtrent 10,6 %, noe som utgjør totalt 500 GWh. Et fjernvarmesystem med lavere driftstemperaturer vil redusere temperaturdifferansen mellom røroverflatene og omgivelsene, noe som fører til mindre varmetap og bedre utnyttelse av varmekilden. Et slikt fjernvarmesystem er i dag under utvikling og er betegnet som fjerde generasjons fjernvarme, nærmere beskrivelse av dette systemet følger i neste delkapittel.

3.2 FJERDE GENERASJONS FJERNVARME

Både nasjonal og internasjonal politikk stiller stadig tøffere krav til energiforbruket i nye boliger. Nye boliger blir bygd med tettere bygningskropp og mer effektive varmesystemer, noe som senker oppvarmingsbehovet og energiforbruket betraktelig. Nye boligfelt vil dermed ha betydelig lavere varmetetthet enn eldre boligfelt. Dette fører i følge Lund et al. (2009) til at det ikke vil være økonomisk lønnsomt for dagens fjernvarmesystem å tilføre varme til disse områdene ettersom raten mellom nettverkstap og varme solgt til kunder blir uakseptabelt høyt (Lund, et al., 2009). Undersøkelser viser i tillegg at fjernvarme med tradisjonell teknologi har vanskeligheter med å konkurrere mot individuelle løsninger i lavenergihus som varmepumper (Rambøll & EMD, 2006). Graden dette vil påvirke implementering av fjernvarme i nye bygg vil naturligvis også avhenge av rammebetingelsene for fjernvarme. Hvis fjernvarme skal være aktuelt i fremtidige lavenergibygg er det dermed nødvendig med noen endringer, fjerde

generasjon fjernvarme eller lavtemperatur fjernvarme er en del av denne utviklingen. Dette er et system som er tilpasset nye bygg med lavere varmebehov og mer effektive varmesystemer som dermed ikke krever like høye turtemperaturer som eldre bygg med eldre varmesystemer. Lavtemperatur fjernvarme blir i denne oppgaven henvist til som LTFV.

Den viktigste endringen ved overgang til fjerde generasjons fjernvarme er at distribusjonstemperaturen vil bli redusert fra 80-120 °C til 50-55 °C. Dette vil redusere tapene i fordelingsnettene i tillegg til at det åpner opp muligheter for å ta i bruk fornybare lavtemperaturrenergikilder på produksjonssiden, som for eksempel overskuddsvarme fra bygg, solvarme og geotermisk varme. Et slikt fjernvarmesystem vil dermed bli mer effektivt og fleksibelt i forhold til valg av energikilder. Ytterligere fordeler med reduserte driftstemperaturer i fjernvarmenettet er:

- **Reduserte termiske spenninger.** Ved lavere turtemperaturer vil temperaturgradienten langs rørene bli mindre, noe som reduserer faren for lekkasje i systemet og dermed minsker vedlikeholdskostnadene.
- **Redusert rørdiameter.** En redusert returtemperatur vil senke massestrømmen i nettet, noe som igjen gir mulighet for reduserte rørdimensjoner ved legging av nye nett og følgelig reduserte investeringskostnader.
- **Redusert varmetap i varmelagringsenheter.** Lavere temperaturer vil redusere varmetapet både i lokale tanker hos forbruker og i store lagringstanker hos fjernvarmeproducentene.
- **Økt kraft til varme rate i kraftvarmeverk.** I et kraftvarmeverk avhenger varme- og kraftproduksjonen av hverandre. Redusert varmeproduksjon gir mulighet for økt produksjon av elektrisk kraft. Lavere tur og retur temperaturer i fjernvarmenettet gir følgelig mulighet til å trekke ut mer elektrisk kraft fra prosessen.
- **Økt effektfaktor, COP, i varmepumpeanlegg.** Ved reduserte turtemperaturer behøver ikke varmepumpen å utføre et like stort temperaturløft. Forholdet mellom avgitt varmeeffekt og tilført elektrisk effekt til varmepumpen øker dermed og resulterer i en høyere effektfaktor for varmepumpen.

Implementasjon av et nytt fjernvarmesystem vil også ha sine utfordringer, blant annet i forhold til tilknytning til eldre bygg. Eldre bygg har som regel et varmesystem som er dimensjonert for høye temperaturer, tilpasset dagens fjernvarmesystem. Dersom temperaturene i fjernvarmenettet reduseres i fremtiden vil dette føre til reduserte temperaturer i varmesystemene noe som igjen vil redusere varmeavgivelsen. Det kan dermed oppstå problemer med å dekke varmebehovet i bygget på de kaldeste dagene ettersom levert effekt fra enhetene vil være for lav. Tiltak som kan utføres for å gjøre en overgang til lavtemperatur fjernvarme mulig i eksisterende bygg kan dermed være å redusere varmebehovet i boligen gjennom energieffektiviseringstiltak, noe som vil bli undersøkt senere i denne oppgaven, eller oppgradere varmesystemet slik at det er tilpasset lavere temperaturer.

En av hovedårsakene til at fjernvarme leveres med et relativt høyt temperaturnivå hele året er i tillegg at det i dag er et temperaturkrav for beredning av tappevann på 70 °C. Spesifikt regelverk med ytterligere detaljer er lagt frem i delkapittel 3.3. Et slikt krav er definert for å

unngå spredning og vekst av legionellabakterier som formerer seg i vann med temperatur på 20-50 °C. Smitte av legionella fører til en infeksjonssykdom som avhenger av den aktuelle bakterietypen i smitekilden. Legionellose er brukt som en fellesbetegnelse for Legionærsykdom og Pontiacfeber som er de vanligste infeksjonssykdømmene grunnet legionellebakterien. Disse sykdommene varierer i alvorlighetsgrad med milde influensasympptomer ved Pontiacfeber og alvorlig lungebetennelse med høy dødelighet ved Legionærsykdom (Pettersen, 2012).

Brukskravet til tappevannstemperaturen avhenger derimot kun av tappested. I følge Dansk Standard skal temperaturen på vann som benyttes til personlig hygiene kunne oppnå en temperatur på 40 °C, og vann som benyttes til oppvask må ha en temperatur på minimum 45 °C (Dansk Standard, 2009). En turtemperatur i fjernvarmenettet på 50-55 °C vil dermed være tilstrekkelig til å kunne levere tappevannstemperaturer på dette nivået i de fleste nett, noe avhengig av det spesifikke distribusjonsnettet og lokale omstendigheter. Et slikt temperaturnivå benyttes som tidligere nevnt ikke i dagens tappevannsinstallasjoner grunnet risikoen for vekst av legionellabakterier i vannsystemet. I det neste delkapittelet vil utvalgte norske og europeiske regelverk for temperaturkrav på tappevannet bli gjennomgått for å undersøke hvordan kravene til norske vanninstallasjoner er sammenlignet med internasjonale krav.

3.3 REGELVERK FOR TEMPERATURNIVÅ I TAPPEVANNSSYSTEMER

Forskrift om tekniske krav til byggverk, varmenormen og folkehelseinstituttets veiledning til forebygging av legionellasmitte, utgjør krav og anbefalinger i forhold til prosjektering, drift og vedlikehold av tappevannsinstallasjoner for å unngå smitte og spredning av legionella. De nevnte forskriftene vil bli gjennomgått i dette kapittelet. Utvalgte internasjonale regelverk er i tillegg inkludert for å kunne se de norske kravene i sammenheng med andre lands anbefalinger.

3.3.1 NORSKE FORSKRIFTER OG REGELVERK

3.3.1.1 Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK10)

Forskrift 26.3.2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk, kapittel 15 *Installasjoner og Anlegg*, stiller hygieniske krav til vann- og avløpsinstallasjoner (Lovdata, 2010).

§ 15-5. Generelle krav til innvendige vann- og avløpsinstallasjoner

(1) Innvendige vann- og avløpsinstallasjoner skal prosjekteres og utføres slik at god hygiene og helse blir ivaretatt, at vannkvaliteten ikke forringes og slik at avløpsvann bortledes i takt med tilført vannmengde

I veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk er det definert spesifikke sikkerhetstiltak anbefalt for å tilfredsstill § 15-5 i forskrift om tekniske krav til byggverk (Direktoratet for byggkvalitet, 2011).

- Varmtvann i sirkulerende system bør holde minimum 65 °C.
- Enkelte plastmaterialer utgjør næring for bakteriene og bør unngås.
- Røranlegg dimensjoneres slik at installasjonen har normal vannhastighet for den enkelte rørdimensjon

3.3.1.2 Varmenormen

Avsnitt 10.5.2 *Varmtvannsproduksjon* i VVS-bransjens varmenorm stiller spesifikke temperaturkrav til varmtvannsproduksjon (VVS-bransjens varmenorm, 2012).

10.5.2 Varmtvannsproduksjon

b) Temperaturkravene for å hindre legionellavekst og spredning skal oppfylles. For å holde legionellavekst under kontroll må anlegget dimensjoneres slik at temperaturen på hvert tappested når minst 60 °C innen ett minutt etter at kranen er åpnet.

Returtemperaturen i sirkulasjonssystem bør ikke synke under 55 °C mer enn 20 minutter hver dag. Temperaturen i varmtvannsberederen bør være minst 70 °C, varmtvannet må blandes ned til 62 °C med kaldt vann for å unngå skolding på tappestedene. For barnehager og andre brukere med stor skoldingsrisiko skal temperaturen på tappested blandes ned til 38 °C.

e) Forvarmeberederen må prosjekteres slik at det er mulig å varme hele tanken opp til 70 °C automatisk en gang per uke.

3.3.1.3 Folkehelseinstituttet – veiledning vannrapport 118

Folkehelseinstituttet har sammenfattet en veiledning, skrevet for kommunehelsetjenesten, for å spre kunnskap om forebygging av legionellasmitte. Veiledningens hensikt er å gi råd om fremgangsmåte og tiltak for å tilfredsstill kravene i forskriftene (Pettersen, 2012)..

Et varmtvannssystem med sirkulasjonsledning må utformes slik at en temperatur på 60 °C oppnås på alle tappepunkt innen et minutt etter at kranen er åpnet. Dersom

varmtvannsbereder benyttes skal dette vannet holde en temperatur på minst 70 °C.

Veiledningen gir i tillegg råd om gode driftsrutiner for å sikre at temperaturen i kaldtvannsføringen ikke overstiger 20 °C.

3.3.2 INTERNASJONALE REGELVERK/STANDARDER

3.3.2.1 NS-EN 806-2, Krav til drikkevannsinstallasjoner i bygninger

Den europeiske standarden EN 806 er godkjent av European Committee for Standardization, CEN. Ettersom Norge er et CEN-medlemsland skal standarden ha status som en nasjonal standard, denne er Norge da forpliktet til å følge. EN 806 er dermed implementert til norsk standard, NS-EN 806, og omhandler krav til drikkevannsinstallasjoner i bygninger. I del 2; *Utførelse*, tar standarden for seg krav til temperaturnivået i drikkevannsinstallasjoner (European Standard, 2005).

3.6 Drifts temperaturer

30 s etter åpning av tappekran skal ikke temperaturen på avtrekkspunkt overskride 25 °C på kaldtvanns tappepunkter og ikke synke under 60 °C i varmtvannssystemet hvis ikke annet er spesifisert i nasjonale reglementer.

Varmtvannssystemet skal være tilrettelagt slik at det er mulig å heve temperaturen til 70 °C for desinfeksjon.

8.1 Kaldt tappevann


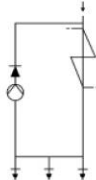
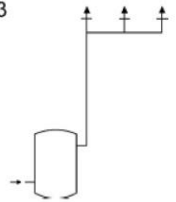
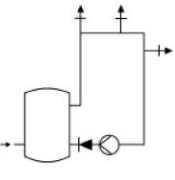
Rørføringer med kaldt tappevann i bygninger skal ikke følge føringene til romvarming eller varmtvannsrør eller føres gjennom oppvarmede arealer slik som tørkeskap eller, der lokal nærhet er uunngåelig, skal varmt- og kaldtvannsrørene isoleres fra hverandre.

(Utdrag oversatt fra engelsk)

3.3.2.2 CEN/TR 16355:2012, Europeisk CEN standard

CEN har definert en teknisk rapport med anbefalinger for å redusere legionellisikoen i tappevannsanlegg. Rapporten er utført i overenstemmelse med EN 806 og har fått navnet: *Recommendations for prevention of Legionella growth in installations inside buildings conveying water for human consumption.*

Rapporten definerer temperaturkrav for ulike utforminger av tappevannsinstallasjoner. Installasjonstype A1 i Figur 11 har ingen temperaturkrav, dette er et system uten sirkulasjon eller lagring av varmt tappevann. Et slikt system vil være svært aktuelt i nye bolighus der LTFV er tenkt innført. Dersom et bygg har sirkulasjon av varmt tappevann er kravet at vannet i sirkulasjonsrøret ikke faller under 50 °C.

Hot and cold water separately			
No storage		Storage	
No circulation of hot water	With circulation of hot water	No circulation of hot water	With circulation of hot water
A 1 	A 2 	A 3 	A 4 
	b The volume of water contained in the pipework between the circulation system and the tap which has the greatest distance to the system, has to be kept below 3 Liters E The water in the circulation loop shall be minimum 50 °C	a ≥ 55 °C the whole day or at least 1 h per day ≥ 60 °C. c Remove the sediment from the storage water heater taking into account local conditions and at least once a year.	b The volume of water contained in the pipework between the circulation system and the tap which has the greatest distance to the system to be kept below 3 Liters c Remove the sediment from the storage water heater taking into account local conditions and at least once a year. e The water in the circulation loop shall be minimum 50 °C

Figur 11 Temperaturkrav til ulike tappevannssystemer fra CEN/TR 16355 (Buhl, 2012)

3.3.2.3 Tysk regelverk - Arbeitsblatt W 551

Den tyske foreningen for Gass og Vannsystemer (DVGW) har utarbeidet et teknisk regelverk med tiltak for å redusere vekst av legionella i drikkevannsanlegg; *Arbeitsblatt W 551 Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen - Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums - Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen* (Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches, 2004).

I regelverket blir det skilt mellom store og små anlegg. Små anlegg er alle installasjoner i enmanns- eller tomannsboliger og installasjoner som har lagringskapasitet på ≤ 400 l og vannmengde i rørledningene på ≤ 3 l mellom tank/veksler og tappepunkt. Alle andre anlegg betraktes som store anlegg.

6. Drift

Store anlegg må holde en temperatur på ≥ 60 °C ved utløp fra varmtvannstank/veksler ved normal drift. Mindre anlegg anbefales å holde en temperatur > 60 °C, men er kun påkrevd å ha temperatur ≥ 50 °C ut fra varmtvannstank/veksler.

Om fjernvarme benyttes til oppvarming av tappevann, skal turtemperaturen velges slik at en temperatur på 60 °C oppnås ved utløp fra varmtvannstank/veksler i store anlegg.

Sirkulasjonssystemer skal designes slik at det aldri oppstår en temperaturreduksjon på mer enn 5 °C fra beholder til tappepunkt.

(Utdrag oversatt fra tysk)

3.3.2.4 Dansk standard - DS 439, Norm for vandinstallationer

Den danske standarden *Norm for vandinstallationer* stiller blant annet krav til temperaturen i tappevannsinstallasjoner (Dansk Standard, 2009).

2.5 Varmt brugsvand

Av hensyn til risikoen for bakterievekst bør vannet i varmtvannsbeholderen kunne varmes opp til minst 60 °C. Vanninstallasjonen skal videre utformes slik at temperaturen, i alle deler av anlegget, ikke faller under 50 °C ved normaldrift eller 45 °C ved spissbelastning.

(Utdrag oversatt fra dansk)

3.3.3 OPPSUMMERING OG DISKUSJON

Tabell 1 gir en oversikt temperaturkravene til tappevann i noen utvalgte europeiske land. Kravene er hentet fra regelverkene og standardene gjennomgått i dette delkapittelet, i tillegg til at noen verdier er hentet fra IEA sin rapport fra en tidligere Workshop om legionella (Warmerdam & Caris, 2001)

Tabell 1 Temperaturkrav til tappevann i utvalgte Europeiske land

		Temperatur ved tappekran	Temperatur ved bruk av varmtvannsbereder
Norge		≥ 60 °C	≥ 70 °C
Tyskland	Store anlegg	≥ 45 °C	≥ 60 °C
	Små anlegg	≥ 45 °C	≥ 50 °C
Danmark		≥ 50 °C	≥ 50 °C (må kunne varmes til 60 °C)
EU		-	≥ 60 °C
Nederland		-	≥ 60 °C
Frankrike		≤ 50 °C	≥ 60 (ved lagring i mer enn 24 timer)
Sverige		≥ 50 °C	≥ 60 °C
Belgia		-	≥ 60 °C
England		-	≥ 60 °C

Som oversikten viser er Norge er det eneste landet med krav til 60 °C på alle tappesteder, i tillegg til at temperaturkravet i varmtvannsberedere også er høyere enn i alle de opplistede europeiske landene. Ettersom legionella naturlig nok opptrer likt i alle land er det diskusjonsverdig at de norske temperaturkravene ligger minimum 10 °C over andre Europeiske land sine krav. Kravene er i følge folkehelseinstituttet satt så høye for å sikre at legionellautbrudd ikke skal finne sted i norske bygg. Det europeiske senter for sykdomsforebygging og kontroll har overvåket antall rapporterte tilfeller av legionellose i EU landene i tillegg til Norge og Island. Resultatet fra utvalgte land er lagt frem i Tabell 2.

Tabell 2 Antall rapporterte og sannsynlige tilfeller av legionellose i utvalgte Europeiske land. (Beauté, et al., 2013).

	2009		2010	
	Tilfeller	Rate pr. 100 000 innbygger	Tilfeller	Rate pr. 100 000 innbygger
Finland	22	0,41	24	0,45
England	374	0,61	376	0,61
Tyskland	503	0,61	688	0,84
Norge	34	0,70	48	0,99
Sverige	114	1,23	100	1,07
Nederland	251	1,52	466	2,81
Italia	1207	2,01	1238	2,05
Island	7	2,20	2	0,63
Danmark	123	2,23	133	2,40
Spania	1231	2,68	1150	2,48

Som det kommer frem av figuren har Norge en relativ lav rate av rapporterte legionellose tilfeller både i 2009 og 2010. Tyskland som har lavere temperaturkrav for tappevann enn Norge, både for store og små anlegg, har derimot enda lavere antall rapporterte tilfeller av legionellose per innbygger enn Norge. Det er vanskelig å si hvor mange mørketall som ligger bak disse innrapporterte og sannsynlige tilfellene av legionella og hva grunnen til de ulike tilfellene er, men skal vi stole på statistikken som er samlet inn på vegne av *European Legionnaires' Disease Surveillance Network*, ser det ut til at det å senke minstekravet på tappepunkt til 50 °C ikke nødvendigvis vil ha innvirkning på antall legionellose-utbrudd. Variasjonene i antall utbrudd i de ulike landene kan derimot heller skyldes varierende rutiner i forhold til rengjøring av rør og anlegg, isolering av kaldtvannsrør, tappefrekvensen på de ulike tappestedene og virkelige driftstemperaturer i de spesifikke anleggene. Det kan dermed være viktigere å sette fokus på, og eventuelt stille krav til, slike tiltak istedenfor å kreve formålsløst høye temperaturer i tappevannsinstallasjonene.

I delkapittel 3.4 *Tekniske løsninger for lavtemperatur fjernvarme*, vil ulike løsninger for abonnentsentralen tilknyttet fjernvarme og varmtvannstanker bli gjennomgått med det hensyn å finne gode løsninger som kan unngå vekst og spredning av legionella selv med reduserte driftstemperaturer. Disse løsningene kan være aktuelle for bruk i norske tappevannsinstallasjoner dersom det tillates å senke tappevannstemperaturen under dagens krav ved eventuelle kompromisstiltak.

3.4 TEKNISKE LØSNINGER FOR LAVTEMPERATUR FJERNVARME

Varmtvannssystemer og varmesystemer i eksisterende bygg har som oftest vært dimensjonert for en tur- og returtemperatur på 90/70 °C eller 80/60 °C. Dette gir en temperaturdifferanse på 20 °C, noe som har vært ansett som det mest økonomisk gunstige (Stensaas, 2007). I nye bygg blir varmeanlegg nå gjerne dimensjonert for lavere driftstemperaturer, dette for å kunne utnytte varmekilder med lavere temperaturer som spillvarme og solvarme, og varme produsert fra varmepumpe som får bedre COP ved lavere temperaturløft. Av samme grunn er det som tidligere nevnt også ønskelig å redusere temperaturen i fjernvarmenettet i fremtiden. Dette vil i tillegg redusere varmetapene i distribusjonsnettene kraftig, noe som fører til økte besparelser hos fjernvarmeleverandørene. LTFV er allerede blitt tatt i bruk i noen utvalgte boligområder, blant annet i Danmark og England, der varme distribueres med temperatur på omtrent 55 °C (Christiansen, 2011) (SSE, u.d.). Med en returtemperatur på 45 °C vil middeltemperaturen i nettet bli 50 °C og temperaturdifferansen kun 10 K. En slik endring i driftstemperaturer vil ha stor innvirkning på oppvarming av tappevann og driften av varmesystemet i de aktuelle bygningene. Begge disse systemene vil igjen være avhengig av at bygget har en abonnentsentral som klarer å hente ut så mye av varmen i fjernvarmevannet som mulig. I dette avsnittet vil ulike tekniske løsninger for abonnentsentraler, tappevannssystemer og varmesystemer bli gjennomgått for å se hva som skal til for at LTFV kan utnyttes på best mulig måte i norske bygninger.

3.4.1 ABONNENTSENTRAL

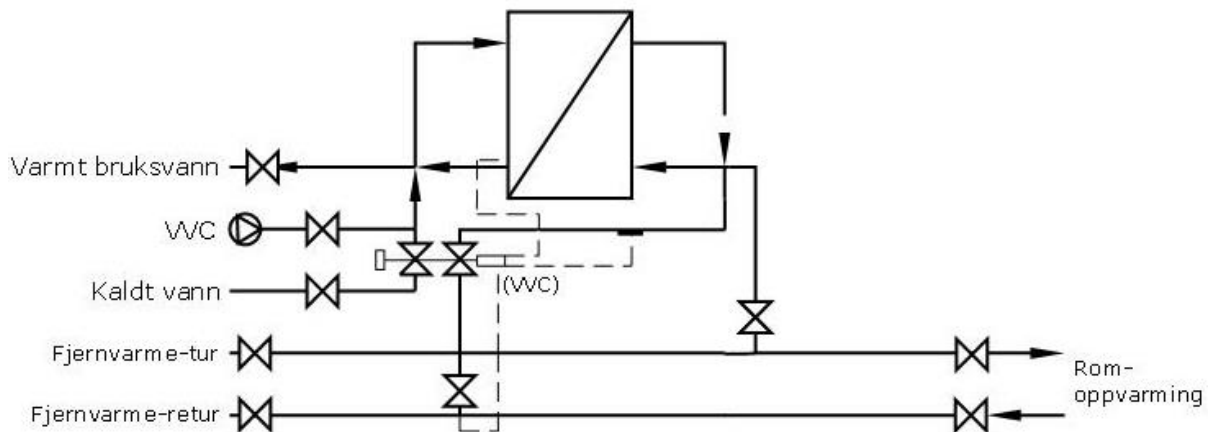
Det finnes i dag hovedsakelig to ulike abonnentsentraler som er spesialdesignet for lavtemperaturdrift, både på primær- og sekundærsiden, og som ofte benyttes i nye bygg tilknyttet LTFV; gjennomstrømningsvarmeveksler (GVV) og fjernvarmebeholder (FVB).

3.4.1.1 GVV

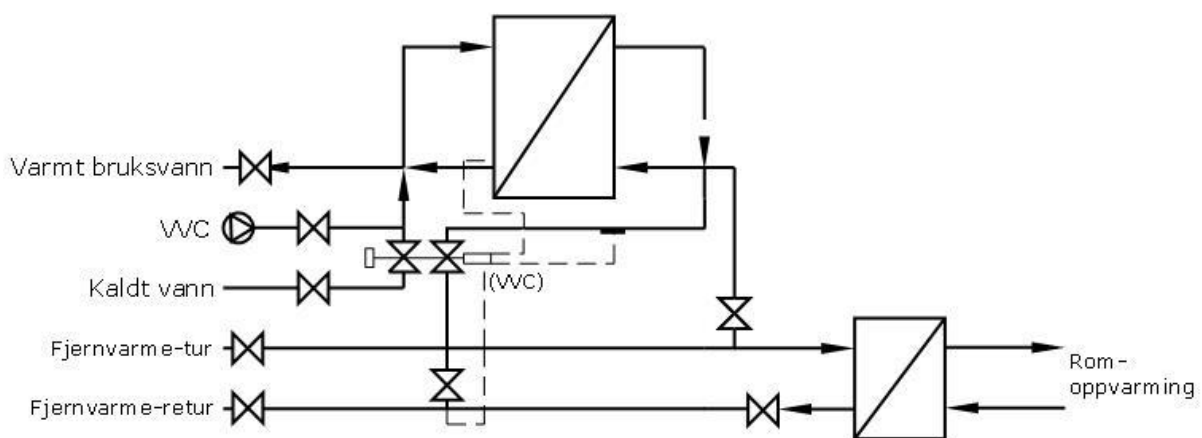
En abonnentsentral basert på gjennomstrømningsvarmeveksling har ikke noe lagringssystem for tappevann, varmtvannet beredes direkte når behovet er der. Ulempen med bruk av GVV er dermed at hele nettet må dimensjoneres for et høyere effektbehov ettersom det ikke er noe buffersystem som kan ta imot raske lastendringer. Varmervekslere spesialdesignet for bruk i lavtemperatur fjernvarmenett er dermed utviklet slik at de kan levere nok effekt til vannet på sekundærsiden ved lav temperaturdifferanse og høyere massestrømning på primærsiden. Fordelen med GVV er på den andre siden at dersom vannvolumet mellom veksler og tappepunkt er mindre enn 3 l, er risikoen for vekst av legionellabakterier ansett som svært liten og det er kun temperaturkravet på tappepunkt som er bestemmende for beredningstemperaturen. Det er den europeiske CEN standarden CEN/TR 16355:2012, gjennomgått i avsnitt 3.3.2.2, som har definert disse kravene for tappevannssystemer. Standarden stiller ingen temperaturkrav dersom tappevannet ikke lagres eller sirkulerer på sekundærsiden. Dersom vannet sirkulerer må det ha en temperatur på minimum 50 °C, og vannvolumet mellom veksler og tappepunkt med lengst avstand til systemet må være mindre enn 3 liter (Buhl, 2012).

GVV for beredning av tappevann benyttes blant annet i lavenergibyggene i Lystrup i Danmark som er tilknyttet LTFV (Christiansen, 2011). Disse boligene har direkte kobling til varmesystemet, og lavtemperaturvarmeveksler til tappevann. Dette vil være mindre aktuelt i

Norge ettersom landskapet som regel er mer kupert, noe som fører til at primærnettet må driftes med et høyere trykk for å kunne levere tilstrekkelig med varmt vann til den mest kritiske kunden. For å unngå fordyrende utstyr i varmeanlegget hos kunden som må tåle høyere trykk, vil det være mer aktuelt å ha indirekte kobling til varmesystemet i Norge. Figur 12 og Figur 13 viser prinsippskisser for en abonnentsentral med GVV for beredning av tappevann, med henholdsvis direkte og indirekte kobling til varmesystemet.



Figur 12 Prinsippskisse for abonnentsentral med GVV, direkte kobling (Christiansen, 2011)

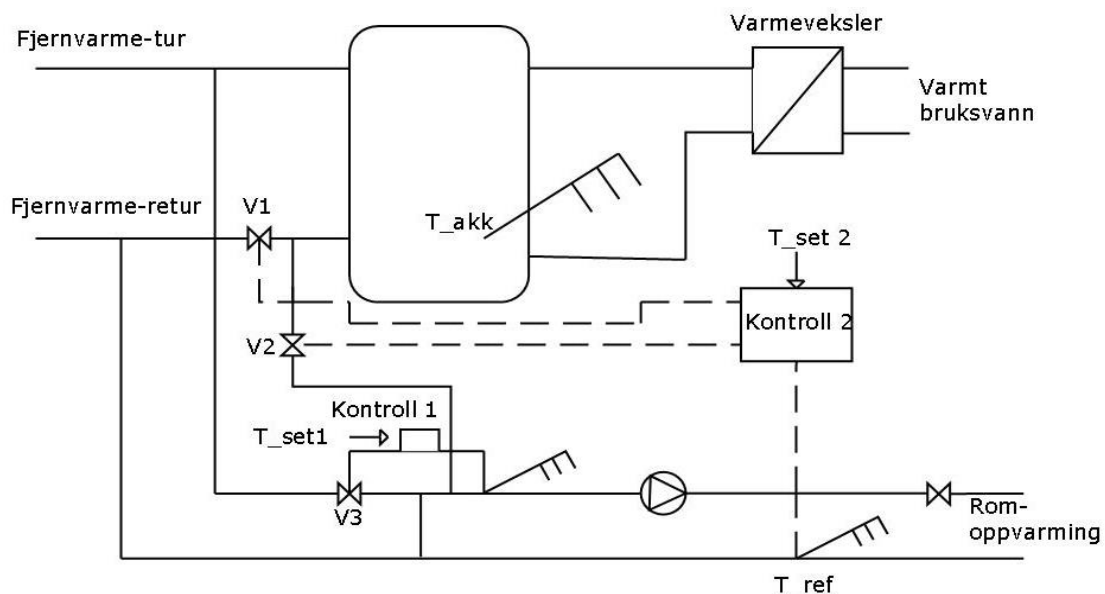


Figur 13 Prinsippskisse for abonnentsentral med GVV, indirekte kobling

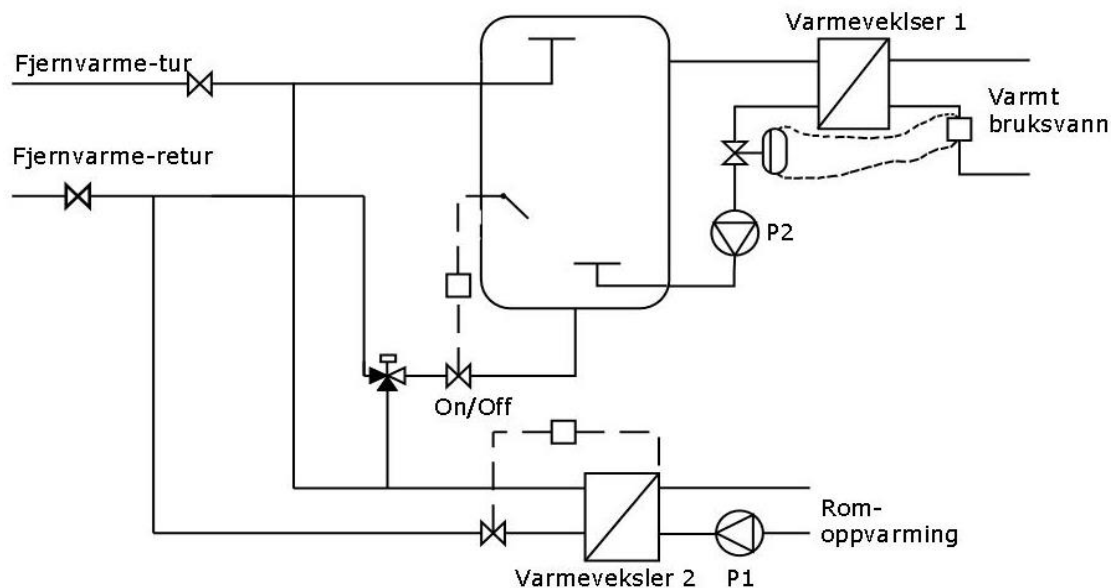
3.4.1.2 FVB

En abonnentsentral med FVB er en teknisk løsning der fjernvarmebeholderen, eller buffertanken, til beredning av tappevann plasseres på primærsiden av varmeveksleren. På denne måten vil den hydrauliske belastningen på nettet bli mindre, og dimensjonene i fjernvarmenettet kan reduseres sammenlignet med bruk av direkte gjennomstrømningsveksler. Dersom LTFV skal innføre i eksisterende nett i Norge vil en slik abonnentsentral være mest aktuell ettersom det eksisterende nettet er dimensjonert for lagring av tappevann og muligens ikke vil klare å levere nok effekt til alle kundene dersom det ble benyttet direkte veksling. En ulempe ved bruk av fjernvarmebeholder er at returtemperaturen ut fra tanken vil være relativt høy når tanken nærmer seg fulladet. Dette vil føre til en høyere returtemperatur i fjernvarmenettet, noe som igjen fører til større varmetap i nettet og muligens lavere virkningsgrad på produksjonsanlegget. Flere systemer er følgelig utstyrt med en kobling fra returen ut av varmtvannsbeholderen og til varmesystemet (Christiansen, 2011). Dersom returtemperaturen ut fra varmesystemet er lavere enn returtemperaturen fra varmtvannsbeholder, vil returvannet fra beholder gå gjennom varmesystemet før det returnerer ut i fjernvarmenettet igjen. På denne måten blir den totale returtemperaturen ut fra bygget så lav som mulig.

Figur 14 og Figur 15 viser prinsippskisser for en abonnentsentral med FVB-enhet, med henholdsvis direkte og indirekte kobling til varmesystemet.



Figur 14 Prinsippskisse av abonnentsentral med FVB-system, direkte kobling (Paulsen, et al., 2008)



Figur 15 Prinsippskisse av abonnentsentral med FVB-system, indirekte kobling (Paulsen, et al., 2008)

Som figurene illustrerer lagres varmt bruksvann i en tank på primærsiden i nettet. Når det er behov for varmt tappevann veksles vannet fra beholderen slik at det varmer opp selve bruksvannet. På denne måten overføres prinsippet fra GVV-sentralen der legionellisikoen holdes lav uavhengig av vanntemperatur grunnet et lavt vannvolum mellom veksler og tappepunkt.

3.4.1.3 Eksisterende abonnentsentral

For å unngå ytterligere investeringskostnader kan det være ønskelig og fortsette å bruke de eksisterende vekslerne i abonnentsentralene dersom LTFV innføres. Det vil da være viktig å sikre at dagens vekslerne klarer å levere tilstrekkelig effekt til kunden selv med lavere driftstemperaturer før systemet tas i bruk. Den største temperaturredifferansen som er teknisk mulig å oppnå over abonnentsentralen hos forbruker er avhengig av hvordan tappevannsvexleren er dimensjonert. Likning 1 beskriver den riktige drivkraften, logaritmiske midlere temperaturredifferanse (LMTD), i alle typer varmevekslere (Frederiksen & Werner, 2013).

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad [1]$$

Der ΔT_1 er temperaturredifferansen på den ene siden av varmeveksleren, side 1

ΔT_2 er temperaturredifferansen på den andre siden av varmeveksleren, side 2

Varmeovergangen i varmeveksleren kan deretter beregnes blant annet ved hjelp av den logaritmiske midlere temperaturredifferansen, sammenhengen presentert i Likning 2 (Frederiksen & Werner, 2013).

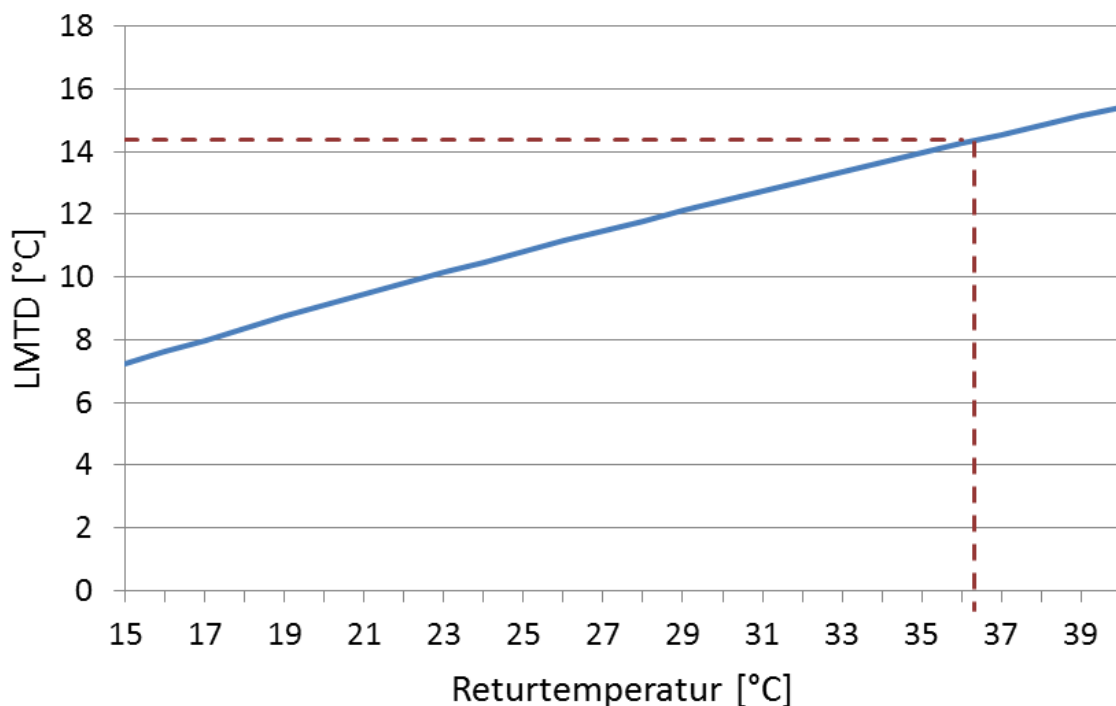
$$P = K \cdot A \cdot LMTD [W]$$

[2]

Der K er varmeoverføringskoeffisienten [W/m^2K]

A er varmeoverføringsarealet [m^2]

Overføringsarealet i en spesifikk varmeveksler vil naturlig nok alltid være konstant, temperaturdifferansen og massestrømmen som påvirker varmeoverføringskoeffisienten vil følgelig avgjøre varmeovergangen i de installerte vekslerne i nettet. Akershus Energi dimensjonerer sine tappevannsvexlere slik at de oppnår en tappevannstemperatur på 60 °C (70 °C i eldre anlegg) ved en turtemperatur i fjernvarmenettet på 75 °C (Akershus Energi Varme AS, 2013). Returtemperaturen er ønsket så lav som mulig og dimensjoneres gjerne til å være 25 °C. Dersom designtemperaturen til tappevann settes lik 65 °C, og dimensjonerende kaldtvannstemperatur settes til 5 °C gir dette en LMTD på 14,4 °C. For å vurdere ytelsen til den samme veksleren ved reduserte driftstemperaturer beregnes LMTD med nye driftstemperaturer. Med en turtemperatur i fjernvarmenettet på 55 °C og en ønsket tappevannstemperatur til forbruker på 50 °C, beregnes LMTD med varierende returtemperaturer. Figur 16 viser hvordan resultatet endres med varierende returtemperatur ut fra veksleren.



Figur 16 LMTD i en standard varmeveksler med redusert innløpstemperatur

For at en tappevannsvexler på 100 kW, designet for et temperaturnivå på 75-25/65-5 °C, skal klare å ha like stor effektoverføring når turtemperaturen i fjernvarmenettet reduseres til 55 °C må returtemperaturen økes. I dette tilfellet må den økes helt til 36 °C for å oppnå lik varmeovergang ettersom dette gir LMTD på 14,4 °C, se Figur 16. Den termiske effekten levert til kundene er definert ved hjelp av Likning 3 og avhenger av turtemperaturen i fjernvarmenettet, returtemperaturen ut fra abonnentsentralen og massestrømmen til vannet i nettet (Frederiksen & Werner, 2013).

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T [W] \quad [3]$$

der \dot{m} er massestrøm [kg/s]

c_p er spesifikk varmekapasitet for vann [J/kgK]

ΔT er differansen mellom tur- og returtemperatur (ts-tr) [K].

Ettersom temperaturdifferansen blir redusert på både primær- og sekundærsiden av veksleren ved overgang til LTFV, må massestrømmen økes på begge sidene for å klare å levere den samme effekten. Likning 3 benyttes dermed til å estimere den nødvendige økningen i massestrøm, på både sekundær- og primærsiden, for å klare å levere den effekten veksleren er designet for selv med reduserte temperaturer.

$$\dot{Q}_{\text{primær},1} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (75 - 25)K = 100 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{primær},2} = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot (55 - 36)K = 100 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \cdot \frac{75-25}{55-36} = \dot{m}_1 \cdot 2,63$$

$$\dot{Q}_{\text{sekundær},1} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (65 - 5)K = 100 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{sekundær},2} = \dot{m}_2 \cdot c_p \cdot (50 - 5)K = 100 \text{ kW}$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_1 \cdot \frac{65-5}{50-5} = \dot{m}_1 \cdot 1,33$$

Ved å benytte Likning 3 til å sammenligne de ulike temperaturforholdene over veksleren er det sett av dersom temperaturdifferansen reduseres fra 50 °C i dagens tilfelle på primærsiden, til 19 °C i lavtemperaturtilfellet må massestrømmen økes til 2,63 · \dot{m} . På sekundærsiden må massestrømmen økes til 1,33 · \dot{m} . Dersom en slik økning i massestrøm ikke er mulig å oppnå i det spesifikke nettet vil det være nødvendig å installere nye tappevannsvekslere med større overføringsareal, som kompensere for den reduserte midlere temperaturdifferansen, for å kunne levere nok effekt til kunden.

Dersom en returtemperatur på 25 °C skal opprettholdes selv med reduserte driftstemperaturer vil varmeovergangen i veksleren reduseres fra 100 kW, i dette eksempelet, til 60 kW. Alternativt kan massestrømmen økes til 1,67 · \dot{m} for å opprettholde en varmeovergang på 100 kW. Normalt vil dette ikke være spesielt betydningsfullt ettersom det ikke vil påvirke den totale returtemperaturen i fjernvarmenettet ettersom varmtvannsirkulasjon (VVC) blir mye brukt i større bygninger. VVC rørene sirkulerer varmtvann over vekslere og opp til mest kritiske forbruker for å unngå for lang ventetid på varmtvann. Det vil dermed ikke være mulig å redusere returtemperaturen, på primærsiden, ut fra tappevannsveksleren under vanntemperaturen i VVC røret, laveste mulige returtemperatur i bygg med VVC vil dermed være på omtrent 40 °C.

En mulig løsning for å redusere returtemperaturen noe kan dermed være å fjerne VVC. En slik løsning vil kunne redusere returtemperaturen i fjernvarmenettet betraktelig, men vil også føre til en noe lengre ventetid på varmtvannet, spesielt i større bygg, noe som kan skape misnøye hos

beboerne. En mulighet kan da være og kun skru av sirkulasjonspumpen noen timer om natten og midt på dagen når tappevannsbehovet er svært lavt. På ettermiddagen vil det være et jevnt forbruk av tappevann noe som fører til en naturlig sirkulasjon av varmtvann i rørene, og for lang ventetid kan unngås. For å kunne optimalisere utbytte av en eventuell innføring av LTFV vil det dermed være nødvendig å studere mulighetene og konsekvensene ved slike tiltak.

3.4.2 *VARMTVANNSTANK*

Temperaturnivået i dagens varmtvannstanker er bestemt på bakgrunn av vekstbetingelsene for legionella. En temperatur på godt over 50 °C vil drepe de eksisterende bakteriene, og blir i dag brukt i de fleste tappevannsinstallasjoner for å desinfisere vannet og dermed unngå vekst og spredning av legionellabakterien. Før LTFV kan implementeres og brukes til å varme opp tappevann er det dermed nødvendig å ta i bruk løsninger hos forbruker som sikrer at spredning av bakterier unngås. I bygninger der det er en abonnentsentral for hele bygningen vil det blant annet være mulig å installere en varmtvannstank med varmeveksler installert etter lagringstanken, se avsnitt 3.4.1. På denne måten vil risikoen for vekst av legionella være lav grunnet et lite vannvolum mellom tappepunkt og veksler. For å kunne ta i bruk et slikt system i eldre bygg vil det kreve noe investeringskostnader ettersom deler av den eksisterende abonnentsentralen må byttes ut. Dette er derimot et system som benyttes mye i nye bygg der LTFV implementeres, og vil være en god løsning for slike tilfeller.

Ettersom prinsippet fra det europeiske CEN regelverket, beskrevet i avsnitt 3.3.2.2, foreløpig ikke er godkjent for bruk i norske bygg, og ettersom det er mest vanlig med kun en abonnentsentral per bygning i Norge, kan det i noen områder være mer aktuelt å desinfisere tappevannet i eksisterende bygg dersom LTFV blir innført. På denne måten vil man unngå store og kostbare oppgraderinger på tappevannsanlegget. En oversikt over de mest vanlige rensemetodene og deres fordeler og ulemper er lagt frem i Tabell 3.

Tabell 3 Rensemetoder for tappevann

Rensemetode	Fordeler	Ulemper
Termisk desinfisering	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen tilsatte produkter • Krever ingen ekstra installasjoner • Effektivt dersom hele anlegget kan bli gjennomspylt (Blanc, et al., 2004) 	<ul style="list-style-type: none"> • Beskytter ikke kaldtvannsrørene • Energikrevende • Rask bakterie-gjenvekst (Blanc, et al., 2004) • Bakteriene kan utvikle resistans (Allegra, et al., 2010). • Øker faren for skolding, kalkdannelse i rørene og korrosjon (Buhl, 2012)
UV-stråling	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Påvirker ikke vannkvaliteten og etterlater ingen biprodukter (Muraca, et al., 1990) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen residual virkning • Må beskytte enheten mot partikler og slam som kan reduserer effektiviteten (Pettersen, 2012)
Klorering	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Har effekt nedstrøms i hele systemet, der vannet får sirkulert (Lin, et al., 1998) • Relativt billig 	<ul style="list-style-type: none"> • Er svært korrosjonsfremmende (Andersson, et al., 2010) • Kan være vanskelig å fjerne all klorrester etter sjokk-klorering (Andersson, et al., 2010) • Kan gi lukt til vannet
Klordioksid	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Fjerner biofilm (Pettersen, 2012). • Enkelt å overvåke dosering 	<ul style="list-style-type: none"> • Blir brutt ned av UV-lys (Pettersen, 2012). • Kan danne kloritt og klorat (Pettersen, 2012). • Noe høye investeringskostnader
Kobber-sølv ionisering	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Relativt lave driftskostnader • Enkelt å vedlikeholde • Danner ikke biprodukter (Lin, et al., 1998) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bakterien kan teoretisk utvikle resistens mot ionene (Rohr, et al., 1999) • Må overvåke ion-konsentrasjonen ettersom mattilsynet stiller krav til konsentrasjon (Pettersen, 2012). • Krever rensing av anlegg dersom legionella allerede er til stede i systemet

Anodisk oksidasjon	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Dreper de gjennomstrømmende bakteriene i tillegg til å fjerne biofilm • Ingen tilsatte kjemikalier • Lave service- og driftskostnader (TermoRens AS, u.d.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Noe høye investeringskostnader
Ozon	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Kraftig og effektiv oksidasjonsmiddel (Domingue, et al., 1988) • Enkelt å overvåke dosering 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen residual effekt • Kan skade rørene (Pettersen, 2013) • Har ikke effekt på biofilm • Betydelige investeringskostnader • Det stilles strenge krav til fremstilling av gassen ettersom den er helse- og eksplosjonsfarlig (Pettersen, 2013)
Ultrafiltrering	<ul style="list-style-type: none"> • Uavhengig av temperatur • Ingen tilsatte endring i vannets kjemiske sammensetning • Gode resultater etter korttidstesting (Bagh, u.d.) (Pringler, 2001) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investering i, og utskiftning av membraner er relativt kostbar • Er noe plasskrevende

Det er ingen behandlingsmetoder som i dag kan eliminere legionella i tappevann fullstendig, noe som også gjelder for kontinuerlig termisk behandling som benyttes i dag. Desinfeksjonsmetodene som er gjennomgått i denne tabellen har alle både fordeler og ulemper, det som hovedsakelig skiller dem fra hverandre er at noen har effekt i hele vandistribusjonssystemet, mens noen kun har momentan effekt. Metodene kan dermed kombineres for å få full effekt av behandlingene. Hva som passer for et tappevannssystem vil variere ut fra spesifikasjonene og utformingen av de ulike anleggene. Ettersom behandlingsmetodene blant annet skal brukes på private eiendommer er det viktig å ha et system som er driftssikkert og som forsyner kundene med vann av sikker og god kvalitet. Metoder som fører til skader på eksisterende vannsystemer anses dermed ikke som aktuelle. Dette gjelder blant annet klorering, som øker faren for korrosjon i rørene i tillegg til at det kan gi noe smak til vannet. Ozon, som er en helse- og eksplosjonsfarlig gass, vil også være noe mer risikabelt og krever at fjernvarmeselskapet tar på seg et større ansvar ved installering av et slikt behandlingssystem for å sikre trygge omgivelser for beboerne.

Installasjon- og driftskostnader vil i tillegg spille en viktig rolle når behandlingsmetode skal velges. Systemet skal installeres på privat eiendom, men dersom dette innføres i sammenheng med reduserte temperaturer i fjernvarmenettet vil det være fjernvarmeselskapets ansvar å sikre en fortsatt trygg drift av tappevannsanleggene selv med reduserte temperaturer. Det vil dermed være i deres interesse å installere et system som har lave investerings- og driftskostnader i tillegg til at det krever lite oppfølging.

I tillegg til at valg av riktig vannbehandlingsmetode er viktig ved innføring av LTFV, vil det også være viktig å drifte anleggene riktig. Jevnlig tapping fra alle tappepunkt er vesentlig for å opprettholde et lavt temperaturnivå i kaldtvannsrøret og et høyere temperaturnivå i varmtvannsrøret. Sirkulasjon av vannet både på kaldtvanns- og varmtvannssiden kan være et godt alternativ for å holde temperaturen i rørene under 20 °C og over 50 °C. Det vil også være viktig å rense anleggene godt for å unngå for mye begroing både i rør og på vekslere ettersom dette gir gode vekstvilkår for bakterier.

Jens Eirik Pettersen i Folkehelseinstituttet sier at det i dag ikke foreligger god nok dokumentasjon av de ulike behandlingsmetodene og deres virkning ved senkede tappevannstemperaturer til at de kan anbefale dette fremfor bruk av dagens temperaturanbefalinger. De best dokumenterte behandlingsmetodene per i dag er klordioksid og kobber-sølv ionisering (Pettersen, 2013).

3.5 DEMONSTRASJON AV LAVTEMPERATUR FJERNVARME

Lavtemperatur fjernvarme er i dag implementert flere steder, da først og fremst i nybygde eller renoverte boligområder der varmetettheten er lav. For å få et bedre innblikk i hva som kreves for å utvikle og drifte et vellykket lavtemperaturnettverk skal det i dette kapitlet bli sett nærmere på tre eksisterende områder der et lavtemperatursystem er innført; Lystrup og Albertslund i Danmark og Slough i England.

3.5.1 LYSTRUP

I Lystrup i Danmark er det utført et prosjekt der LTFV er blitt demonstrert i syv boligblokker av energiklasse 1. Fjernvarmesystemet er basert på EFP 2007 rapporten; *Udvikling og demonstration af lavenergigjernvarme til lavenergibyggeri*, der et nytt fjernvarmesystem for reduserte temperaturer er utviklet. Systemkonseptet går ut på å redusere varmetapet i nettet ved å redusere ledningsdimensjonen, temperaturene i nettet og å bruke twin-rør istedenfor enkeltrør. Ledningsdimensjonene kan reduseres ettersom det blir brukt fjernvarme-beholdere (FVB) i noen av boligblokkene som fører til at volumstrømmen i nettet kan reduseres på grunn av redusert belastning på nettet, se Figur 15 for illustrasjon av en typisk FVB. Det er i tillegg installert en booster-pumpe for å øke differansetrykket i området, noe som igjen fører til at ledningsdimensjonene kan reduseres. I noen av byggene er det kun installert gjennomstrømningsvarmevekslere (GVV) til tappevann, uten noe lagringssystem. Veksleren er spesialdesignet for lavere temperaturer og er dimensjonert ved en effekt på 32 kW for et temperaturnivå på 50/20 °C – 10/45 °C. Investeringskostnadene er høyere ved bruk av FVB enn ved installasjon av GVV, men som nevnt kan rørdimensjonene reduseres ved bruk av FVB noe som reduserer rørkostnadene og varmetapet noe.

Temperaturene i distribusjonsnettet er dimensjonert slik at de ikke skal falle under 50 °C noe sted for å sikre tappevann på 47 °C på alle tappepunkt. Fremløpstemperaturen i nettet er dermed dimensjonert til å være 55 °C fra varmesentralen. Returtemperatur fra GVV er antatt å være 22 °C. Temperaturen ut fra FVB vil være noe høyere, omtrent 25 °C, men dersom returvannet fra varmesystemet er lavere enn dette vil vannet bli ledet gjennom denne kretsen for etterkjøling. Det er beregnet at returtemperaturen dermed kan reduseres til 20 °C.

Resultatene fra målingene i Lystrup har derimot vist at returtemperaturene er noe høyere i realiteten enn det som var beregnet. I sommerperiodene var gjennomsnittstemperaturen i returvannet helt oppe i 43,6 °C fra boligene der FVB var installert og 40,3 °C der GVV var installert. Dette skyldes først og fremst tekniske problemer i noen av enhetene og det bemerkes i rapporten at returtemperaturene i denne perioden lå på henholdsvis 29 °C og 26 °C ut fra de enhetene som fungerte som de skulle. I fyringssesongen ligger returtemperaturen på mellom 30 °C og 36 °C.

Varmesystemet i boligene består av RIO panelradiatorer av typen PKII, dimensjonert for et temperaturnivå på 55 °C/25 °C. På grunn av boligenes lave varmebehov vil ikke radiatorene bli vesentlig større enn dem plassert i tradisjonelle boliger.

Det rapporteres gode resultater fra prøveperioden med en varmetapsbesparelse på 75 % sammenlignet med et tradisjonelt fjernvarmesystem. Det er heller ikke registrert noen klager fra beboerne som er tilsynelatende fornøyde med systemet. Det skal sies til slutt at dette kun

er et demonstrasjonsprosjekt for et lavtemperatursystem noe som vil si at det ikke er gjort noen endringer i forhold til selve produksjonen av fjernvarme. Vannet er i dette tilfellet kun blandet ut til den ønskede temperaturen (Christiansen, 2011).

3.5.2 ALBERTSLUND

I den sydlige delen av Albertslund i Danmark er det blitt innført LTFV i 544 renoverte rekkehus og 1000 renoverte eneboliger fra 1960-tallet. Hele røرنettet i området var 50 år gammelt, og modent for renovasjon. Som en del av oppgraderingen ble alle rørene byttet ut og traseene i røرنettet endret. Fra før å ligge i krypkjellere ble nå rørlledningene lagt midt mellom husradene for å korte ned rørstrekkene noe, dette sparer inn på rørkostnader og varmetap. Rørene i det nye nettet er twin-rør med effektiv isolering for å oppnå lavest mulig varmetap.

I tillegg til å oppgradere hele røرنettet ble alle boligene som skulle forsynes med LTFV totalrenovert. De renoverte boligene ble oppgradert til lavenergiklasse 2. Boligene er utstyrt med individuell GVV for beredning av tappevann. Ulempen med en slik varmeveksler er at hele nettet må dimensjoneres for høyere effektbehov ettersom den må klare å dekke lasten umiddelbart når den trengs. Fordelen med å veksle vannet er derimot at tappevannet da ikke krever like høy temperaturer som hvis det hadde blitt lagret. En slik veksler kan benyttes med temperaturer ned mot 50 °C dersom vannvolumet mellom veksler og tappepunkt er mindre enn 3 l, se delkapittel 3.3.2.3, risikoen for vekst av legionellabakterier er da ansett som svært liten. Nettet kunne dermed bli dimensjonert med en turtemperatur på 55 °C og en returtemperatur på 25 °C. Sammenlignet med det daværende fjernvarmenettet med turtemperatur på 85 °C og returtemperatur på 50 °C ble det beregnet en forventet reduksjon i varmetapet på 62 % ved innføring av det nye lavtemperaturnettet.

Tilbakebetalingstiden for omkostningene av renoveringen av de 544 rekkehusene er beregnet til 19 år ved en forventet levetid på systemet på 50 år. Dette er beregnet utfra anleggsomkostninger på omtrent 20 mill. DKK og varmetapsbesparelser på 1 mill. DKK pr. år. Basert på antakelsene og beregningene til Albertslund kommune vil de de totale besparelsene følgelig blir på 31 mill. DKK gjennom de resterende 31 årene av levetiden, grunnet reduserte varmetap i nettet. Det har dermed vært svært lønnsomt for fjernvarmeselskapet i Albertslund å gjennomføre denne oppgradering ettersom deres investeringskostnader ikke har vært for store på grunn av betydelig støtte fra Albertslund kommune.

Fjernvarmeproduksjonen er basert på oppkjøp av varme gjennom Vestegnens Kraftvarmeselskap (VEKS), som forsyner vest Danmark med varme fra flere ulike kraftvarmeverk og to avfallsanlegg. Det er dermed ikke gjort store endringer i varmeproduksjonsmetoden i dette tilfellet ved innføring av LTFV, men muligheten ligger til rette for å ta i bruk lavtemperaturrenergikilder i fremtiden (Christensen, 2011) (COWI, u.d.).

3.5.3 *CHALVEY*

I Chalvey i England er det bygget ut et lavtemperaturnett som forsyner et lite boligfelt bestående av ti nullutslipps hus. Boligene er utstyrt med solceller for å dekke elektrisitetsbehovet mens fjernvarmen skal dekke varmebehovet. Hver bolig er utstyrt med en GVV som varmer tappevannet til den nødvendige brukstemperaturen. Fjernvarmen blir produsert ved biomasse, en luft til vann varmpumpe, to bergvarmepumper og 20 m² med solvarmepanener. Fjernvarmesentralen er utstyrt med en stor lagringstank for å kunne dekke varmebehovet når etterspørselen er høyere, noe som øker fleksibiliteten i nettet.

Fjernvarmeproduksjonen er optimalisert for et lavtemperatursystem, der varme fra lavtemperaturrenergikilder utnyttes ved bruk av varmpumper og solvarmepanener som leverer varme til nettet med en temperatur på 55 °C. Fjernvarmeleverandørene har dermed utnyttet de mulighetene som åpner seg når temperaturene i fjernvarmenettet reduseres ved å ta i bruk fornybare lavenergikilder. Samtidig ivaretas fleksibiliteten i systemet ved bruk av en større lagringstank som buffer i systemet.

Boligene tilknyttet nettet er utstyr med lavtemperaturradiatorer til romoppvarming. Enhetene er seriekoblet for å sikre en lav returtemperatur i fjernvarmenettet, noe som er svært viktig for å øke varmpumpenes virkningsgrad og for å redusere varmetapene i nettet så mye som mulig (SSE, u.d.).

3.5.4 *OPPSUMMERING*

Lystrup, Albertslund og Slough er bare tre av flere områder der fjerde generasjon fjernvarme er innført. Disse tre byene har allikevel vist at det er mulig å innføre LTFV med gode resultater både når det kommer til varmetapsbesparelser, introduksjon av fornybar lavtemperatur varmeproduksjon og fornøyde kunder. Det som går igjen i alle eksemplene er at fjernvarmesystemet opererer med en temperatur i nettet på 55 °C, og med en design returtemperatur på 20-25 °C. Alle boligene er i tillegg lavenergiboliger med varme- og tappevannsystemer designet for disse driftstemperaturene, noe som gjør at varmt vann kan forsynes uten risiko for legionella samtidig som varmebehovet dekkes hele året ved hjelp av lavtemperatur radiatorer.

4 ENERGIFORBRUK I BYGNINGER I NORGE

Energi- og varmemforbruket i bygninger varierer avhengig av blant annet av byggeår, varmesystem, størrelse, bruksområdet og lokalt klima. Dette vil være avgjørende ved dimensjonering av varmesystem for bygningene, og for muligheten til å redusere temperaturen i de aktuelle varmesystemene.

I dette kapittelet vil de siste tekniske forskriftene for bygg bli lagt frem i tillegg til statistisk data om energiforbruk i bygg med ulikt byggeår, størrelse, bruksområdet og plassering for å få et bedre bilde av hvordan disse variablene spiller inn på byggets varme- og energibehov.

4.1 TEKNISKE FORSKRIFTER

Byggets tekniske utforming avgjør varmetapet fra bygningskroppen, og påvirker overflatetemperaturene inne i bygget som igjen spiller inn på lufttemperaturen og den operative temperaturen til personene i rommet. Energi- og varmebehovet til et bygg er dermed svært tett knyttet opp mot de tekniske utformingene som er brukt for den aktuelle konstruksjonen.

Kommunal- og moderniseringsdepartementet utformer *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk* for å definere de gjeldende kravene ved utforming av nye bygg. Dette er blitt utført i lang tid, med jevnlig forbedringer og oppgraderinger. I Tabell 4 er det gitt en oversikt over krav fra utvalgte tekniske forskrifter utgitt mellom 1987 og 2010, i tillegg til krav og typiske verdier for passivhus. Alle verdier er maksimumsverdier som er gjeldende dersom det samlede glass- og dørarealet i bygget er mindre eller lik verdien oppgitt i øverste rad i tabellen, og innnetemperaturen i bygget er større eller lik 20 °C. Det er lagt til en kolonne kalt «Eldre bygg» som angir tekniske referanseverdier for bygg bygd før 1987, verdiene er hentet fra Enovas håndbok *Manual for Enøk Normtall* (Enova, 2004).

Tabell 4 Oversikt over tekniske minstekrav fra byggteknisk forskrift; 87, 97, 07 og 10, kriterier for passivhus og tekniske referanseverdier for «Eldre bygg» (Direktoratet for byggkvalitet, 2013), (Lovdata, 2010) (Standard Norge, 2013)

Beskrivelse	«Eldre bygg»	TEK 87	TEK 97	TEK 07	TEK 10	Passivhus
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	15	15	20	20	20	-
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,50	0,30	0,22	0,18	0,18	0,10 - 0,12**
U-verdi tak [W/m ² K]	0,40	0,20	0,15	0,13	0,13	0,08 - 0,09**
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,40	0,30 og 0,20	0,15	0,15	0,15	0,08**
U-verdi glass/vinduer/dører, inkludert karm/ramme [W/m ² K]	2,8	Vindu-2,40 Dør – 2,00	1,6	1,2	1,2	0,8
Normaliserte kuldebroverdi [W/m ² K]	*	*	*	0,06 (0,03 for småhus)	0,06 (0,03 for småhus)	0,03
Lekkasjetall (ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger/time]	Antatt som i TEK 87	4 – Småhus 3 - Bygg med inntil 2 etg. 1,5 – Bygg med over 2 etg.		2,5 – Småhus 1,5 – Andre bygningskategorier		0,6

* Virkning av kuldebroer, som følge av dårlig eller ingen isolasjon lokalt, skal tas med i beregningen av bygningsdelens U-verdi og tas med i betraktningen ved planlegging av inn klima

** Typiske U-verdier for passivhus fra NS 3700, ikke minstekrav

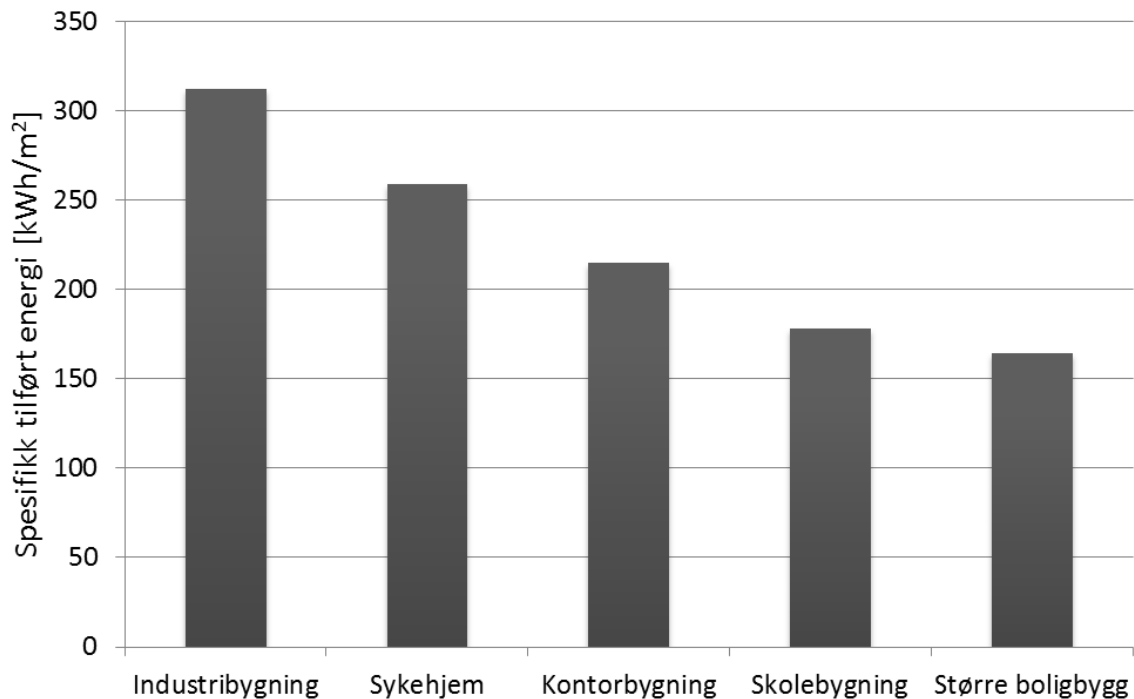
Det er tydelig at de tekniske kravene i byggteknisk forskrift er blitt skjerpet inn og forbedret opp gjennom årene, noe som ses gjennom generelt lavere U-verdi krav til alle deler av bygget. Kuldebroverdier og luftlekkasjetall har også blitt spesifisert og strammet inn i de siste to forskriftene. Dette fører til at nye bygg har en tettere bygningskropp, noe som igjen gjør at nye bygg gjerne har et redusert varmetap fra klimaskjermen sammenlignet med eldre bygg. Det totale varmebehovet avhenger derimot av flere variabler som gjør at det ikke er mulig å definere et konkret varmebehov for bygg bygd med samme tekniske utforming. Klimaet der bygget er plassert vil blant annet være svært betydende for varmebehovet, i tillegg til bygningskategorien, drift og vedlikehold, teknisk utstyr og brukeratferd. I de følgende avsnittene vil statistiske verdier for bygningers energiforbruk bli gjennomgått for å få et bedre bilde av hvordan noen av de nevnte parameterne påvirker det totale energibehovet bygninger.

4.2 STATISTISK ANALYSE

4.2.1 ENERGIFORBRUK I ULIKE BYGNINGSTYPER

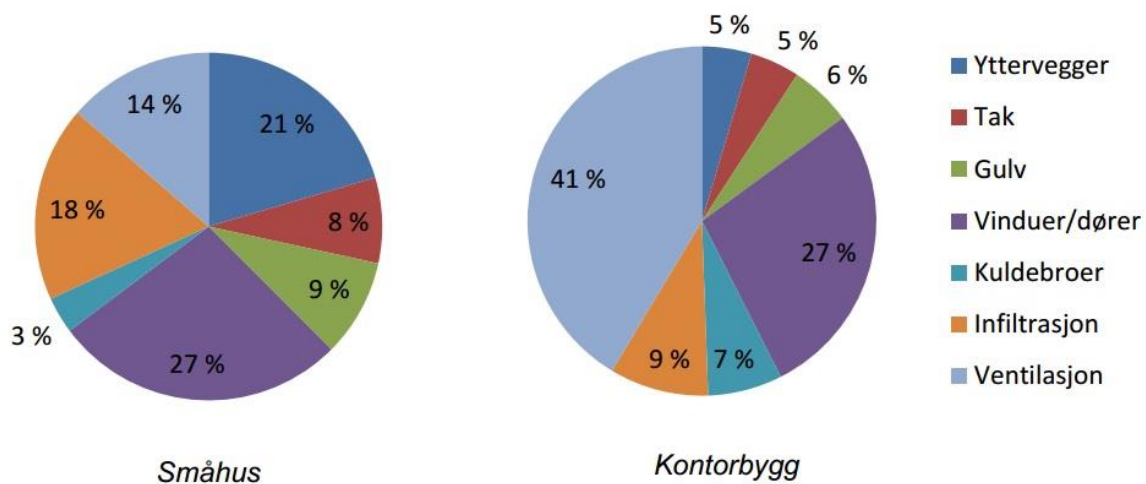
Figur 17 gir en oversikt over energiforbruk i noen utvalgte bygningskategorier.

Energiforbruket er oppgitt i spesifikk tilført energi, som er mengden tilført energi i løpet av et år dividert på oppvarmet areal. Energibruken er i tillegg temperaturkorrigert for normalår og stedskorrigert, dette betyr at både eksterne og lokale variabler blir eliminert og byggenes energibehov kan sammenlignes uavhengig av hvor i landet de er plassert.



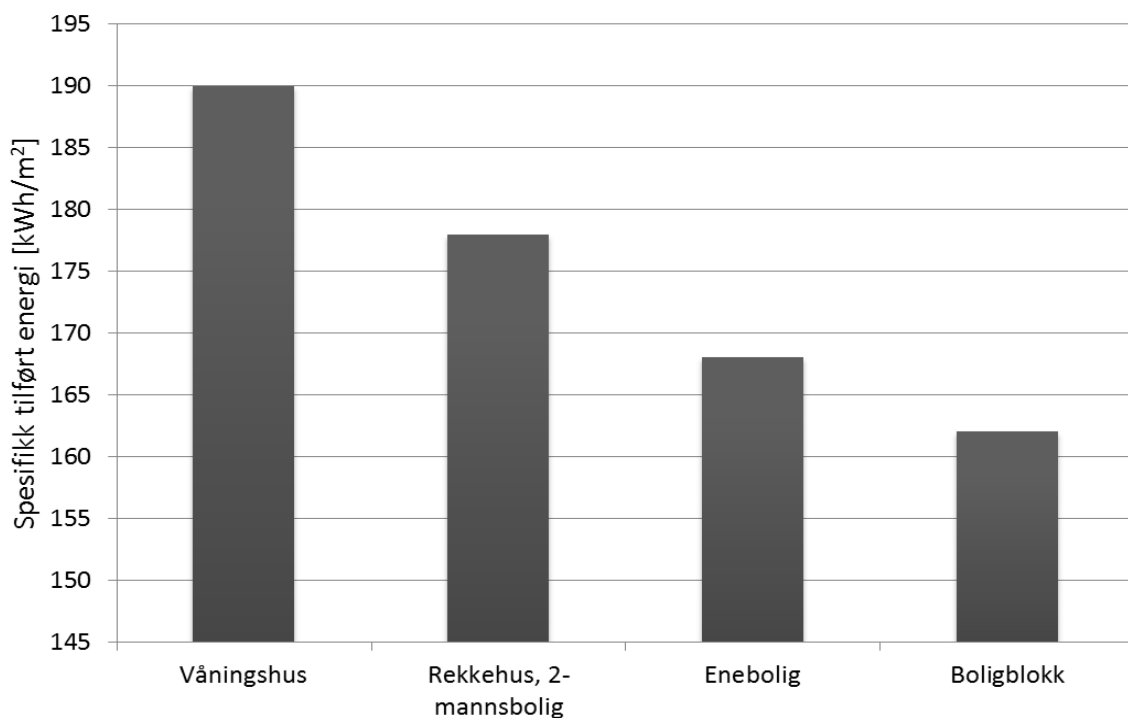
Figur 17 Spesifikk tilført energi til ulike bygningstyper, steds- og temperaturkorrigert (Enova, 2011)

Som figuren tydelig illustrerer bruker både store boligbygg og skolebygninger mindre energi sammenlignet med industribygg og annen tjenesteytende næring, differansen er på omtrent 100-150 kWh/m². Denne differansen kan blant annet skyldes at de sistnevnte bygningstypene har et mye høyere ventilasjonsbehov, noe som fører til at mye varme går tapt gjennom ventilasjonsanlegget. Figur 18 fremstiller andelen varmetap gjennom ventilasjonsanlegget i kontorbygg sammenlignet med småhus, begge bygd med TEK 10 standard. I dette tilfellet er varmetapet gjennom ventilasjonsanlegget omtrent tre ganger så stort som i småhus.



Figur 18 Fordeling av varmetap fra småhus og kontorbygg med TEK 10 standard (Norconsult, 2013)

Kakediagrammene illustrerer tydelig at størstedelen av varmen i kontorbygg går tapt gjennom ventilasjonsanlegget, i motsetning til småhus der mesteparten av varmen går tapt gjennom vinduer og yttervegger. Dette skyldes som tidligere nevnt at kontorbygg har et mye større ventilasjonsbehov. I tillegg er ofte kontorbygg større bygg, over flere etasjer, noe som gjør at yttervegger/vindusareal per bruksareal (BRA) blir mindre og andelen varme tapt gjennom selve klimaskjermen blir følgelig lavere. Den sistnevnte årsaken ses tydelig igjen i statistikken fra SSB om energiforbruk i ulike boligtyper, lagt frem i Figur 19. Statistikken viser at rekkehus og våningshus bruker mer energi enn både eneboliger og boligblokker, der spesielt sistnevnte har langt mindre andel yttervegger per oppvarmet BRA. Det skal også nevnes at verdiene er gitt som spesifikk tilført energi, noe som betyr at ulikt gjennomsnittlig areal i de ulike boligtypene også vil spille inn på statistikken.

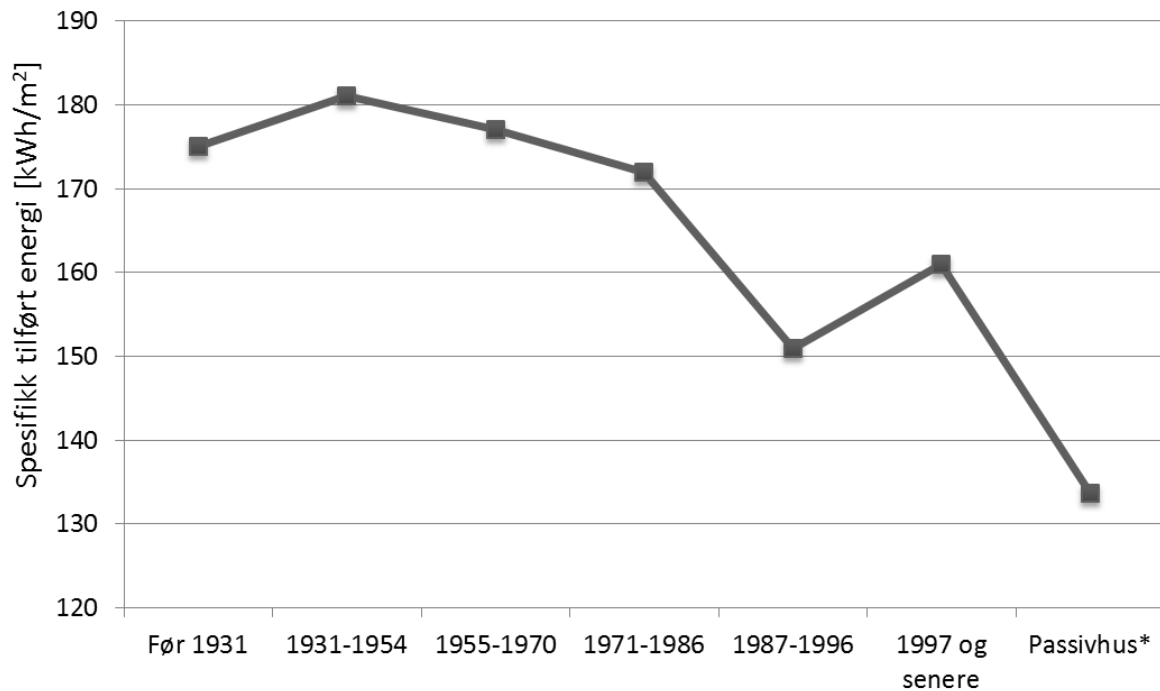


Figur 19 Spesifikk tilført energi etter boligtype, temperaturkorrigert (SSB, 2011)

Det spesifikke energiforbruket i de ulike boligkategoriene ligger generelt en del lavere enn for industribygg, forretningsbygg og bygninger tilknyttet annen tjenesteytende næring. Dette skyldes blant annet at de sistnevnte bygningskategoriene gjerne inneholder mer teknisk utstyr enn boliger, i tillegg til at de har et høyere ventilasjonsbehov, noe som igjen fører til et høyere totalt energibehov m^2 .

4.2.2 ENERGI FORBRUK ETTER BYGGEÅR

Figur 20 legger frem gjennomsnittlig energiforbruk i boliger etter byggeår.



* Basert på målte verdier for 7 passivhus i Miljøbyen Granåsen

Figur 20 Spesifikk tilført energi til boliger etter byggeår, temperaturkorrigert (SSB, 2011)

Det spesifikke energiforbruket i boliger bygd fra før 1931 og frem til 1986 holder seg relativt stabilt før en nedgang for boliger bygd fra 1987 og senere. En slik reduksjon i energibruken skyldes blant annet kraftige innskjerpinger av de tekniske kravene til byggverk som ble utført i 1986 og senere ytterligere skjerpet i 1997, 2007 og 2010, se Tabell 4. Selv om de tekniske kravene til byggverk ble ytterligere skjerpet inn i 1997 er det tydelig av statistikken at den spesifikke energibruken i boliger bygd etter 1996 faktisk er noe økende. Den totale energibruken er derimot i gjennomsnitt 19 837 kWh for boliger bygd mellom 1987-1996, og 15 672 kWh for boliger bygd fra 1997 og senere. Den økende spesifikke energibruken kan dermed skyldes at de nyere boligenhetene i snitt er noe mindre, sammenlignet med dem bygd på 80-90-tallet. Det kan dermed konkluderes med at det totale energiforbruket per boligenhet er redusert for nyere boliger.

Det siste punktet i Figur 20, gjeldende for passivhus, er gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk for syv passiv-rekkehus lokalisert i Miljøbyen Granåsen i Trondheim. Ettersom verdiene er hentet fra relativt få boliger, alle lokalisert på samme sted, er det ikke mulig å si noe konkret om energiforbruket i passivhus generelt. Verdiene er derimot veiledende for

driften av passivhus. Det er tydelig at passivhus bruker mindre energi enn ordinære boliger, noe som er som forventet. Det som er merkbart er derimot først og fremst at energibruken er relativt mye høyere enn det som er estimert fra passivhusstandarden og fra det beregnede energibudsjettet for de aktuelle boligene. Passivhusstandarden setter krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming for passivhus. For boliger med oppvarmet BRA over 250 m² er den øvre grensen satt på 15 kWh/m², mens den er noe oppjustert for mindre boliger. Energibudsjettet for passivhusene i Granåsen definerer et spesifikt energibehov til oppvarming på 9,3 kWh/m², altså godt under kravet fra passivhusstandarden, mens det totale energibudsjettet er på 74,9 kWh/m². Det årlige energiforbruket er målt for de syv boligene, og er gjengitt i Tabell 5. Verdiene er ikke temperatur- eller stedskorrigert.

Tabell 5 Målt energiforbruk over et år i syv husholdninger i rekkehus av passivhusstandard i Miljøbyen Granåsen

Hus/Leilighet	BRA [m ²]	El-forbruk [kWh]	Fjernvarme-forbruk [kWh]	Spesifikt varmeforbruk [kWh/m ²]	Spesifikt energiforbruk [kWh/m ²]
H4-1 (Ende-rekkehus)	122,9	10 996	7 626	62,1	151,5
H4-3	124,6	6 293	5 014	40,2	90,8
H4-4	124,6	9 250	7 915	63,5	137,8
H4-5 (Ende-rekkehus)	123,0	10 004	8 942	72,7	154,0
H5-2	124,2	13 279	7 149	57,6	164,5
H5-5	124,1	7 558	7 934	63,9	124,8
H5-6 (Ende-rekkehus)	122,9	5 467	8 420	68,5	113,0
Gjennomsnitt				61,2	133,7

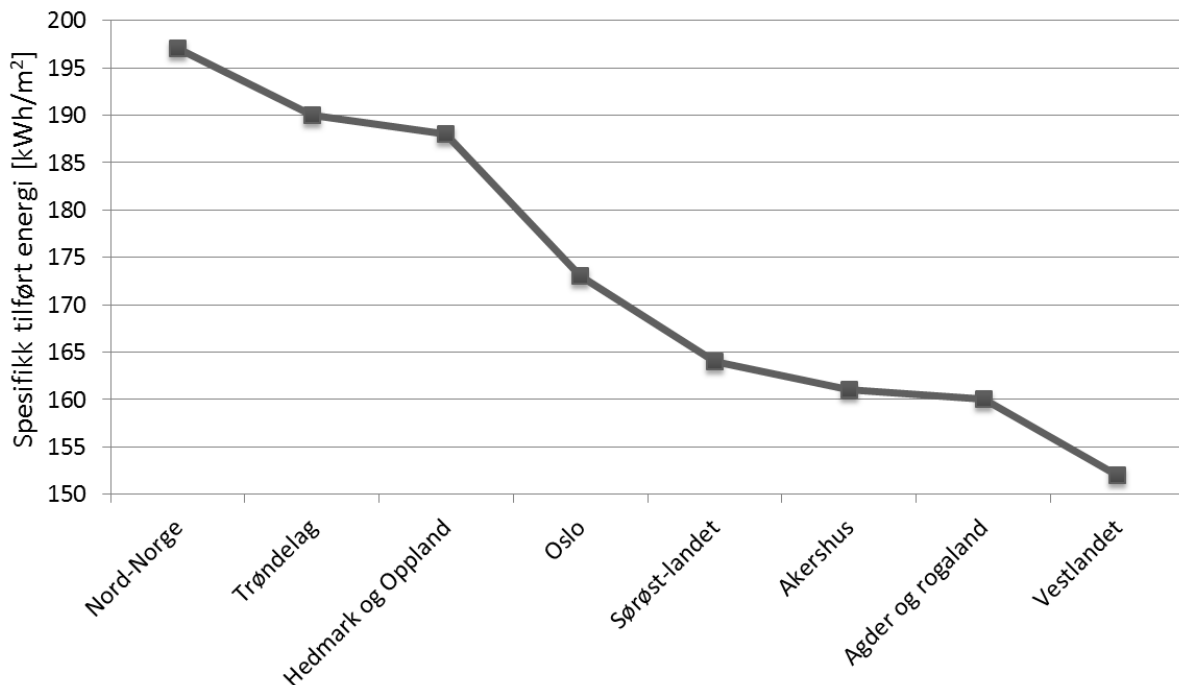
Det målte energiforbruket er svært mye høyere enn det som opprinnelig var budsjettert for boligene. Dette kan være grunnet at beboerne i passivhus tenker at de bor i så energieffektive bygg at de kan bruke litt mer energi for å øke komforten enn de normalt ville gjort. For at et passivhus skal operere optimalt er det i tillegg avhengig av at beboerne drifter huset som det er tiltenkt. Dette er spesielt viktig ved drift av ventilasjon- og klimaanlegget, og eventuell solskjerming. Dersom vinduer og dører åpnes for lufting når klimaanlegg står på, eller solskjermingen ikke benyttes, vil kjøleanlegget kjøre mer enn det er designet for og energiforbruket vil bli høyere enn nødvendig.

Ende-rekkehusene er markert ettersom disse boligenhetene har større andel ytterareal per BRA sammenlignet med de resterende boligenhetene. Dette fører til et høyere varmetap og følgelig et høyere spesifikt varmeforbruk, noe som er bekreftet gjennom målingene.

Energikildene for passivhus velges på bakgrunn av det budsjetterte energibehovet i boligen, noe som gjør at mange passivhus utstyres med varmepumpe, solfangere eller pelletsaminer som er godt egnet for boliger med et lavt energibehov (Enova, u.d.). Dersom det reelle energibehovet faktisk er høyere enn budsjettert, som i tilfellet på Granåsen, kan dette sette spørsmål ved om benyttet energikilde til boligen er det mest fornuftige valget tross alt.

4.2.3 ENERGI FORBRUK ETTER REGION

Varmebehovet i boliger er svært avhengig av det ytre klimaet omkring boligen. Ettersom Norge er et stort land vil varierende klima skape varierende energiforbruk i boliger på ulike steder i landet. Figur 21 viser statistiske verdier for gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk i boliger etter region.



Figur 21 Spesifikk tilført energi til boliger etter region, temperatorkorrigert (SSB, 2011)

Som figuren illustrerer er det gjennomsnittlige energiforbruket i norske boliger størst i Nord-Norge og Trøndelag, noe som hovedsakelig skyldes et kaldere klima i disse regionene. Til sammenligning er det gjennomsnittlige energiforbruket på Vestlandet 23 % lavere enn i Nord-Norge, noe som utgjør 45 kWh/m² per boligenhet. En boligs geografiske plassering er dermed svært avgjørende når energiforbruket skal vurderes. En god løsning er å stedskorrigere energiforbruket slik at det kan sammenlignes med andre boliger uten at lokale variabler påvirker resultatet.

4.2.4 VANNBÅRNE VARMESYSTEMER I NORSKE BYGG

Rapporten *Vannbåren varme i Norge – et studium av markedsutviklingen i perioden 2008-2011* gir en oversikt over andelen vannbåren varmesystemer i norsk boligmasse og type varmeanlegg installert i disse bygningene. Resultatet er hentet fra rørleggerundersøkelsen 2011 og er gjengitt i Tabell 6 og Tabell 7.

Tabell 6 Andel vannbåren varme i eksisterende norsk boligmasse (Haarberg, et al., 2013)

	Andel vannbåren varme
Enebolig	26,6 %
Småhus	16,1 %
Leiligheter	27,9 %
Yrkesbygg	30,4 %
Totalt	26,7 %

Tabell 7 Type varmeanlegg installert i eksisterende norsk boligmasse med vannbårent varmesystem (Haarberg, et al., 2013)

	Enebolig	Småhus	Leilighet	Yrkesbygg
Radiatorer	9,8 %	21,1 %	74,7 %	57,3 %
Vannbåren gulvvarme	84,6 %	61,6 %	20,5 %	33,9 %
En kombinasjon av alternativene over	5,6 %	17,3 %	4,8 %	8,8 %

Undersøkelsen kommer frem til at omtrent en fjerdedel av norske boliger utstyrt med vannbårent varmesystem, mens andelen er nesten en tredjedel for yrkesbygg. Totalt domineres installerte varmeanlegg av to ulike systemer; radiatorer og vannbåren gulvvarme. Gulvvarme er mest populært i eneboliger og småhus, mens radiatorer dominerer i leiligheter og yrkesbygg. Det kommer også frem av rapporten at en liten prosentandel av nye eller restaurerte bygg installerer viftekonvektorer eller annet vannbårent varmesystem. Viftekonvektor benyttes mest i industribygg, samfunnsbygg eller renoverte leilighetsbygg i følge rapporten.

Hva slags energikilde som benyttes i boliger med vannbårne varmesystemer avhenger av boligtypen og plassering i landet. Tabell 8 gir en oversikt over hvilke energikilder som benyttes i nye boliger med vannbårne varmesystemer.

Tabell 8 Energikilder for nye bygg med vannbårne varmesystemer (Haarberg, et al., 2013)

	Frittliggende enebolig	Småhus (kjedehus, tomannsbolig, firemannsbolig, rekkehus)	Boligblokk/leiligheter	Yrkesbygg
Fjernvarme	5 %	44 %	67 %	33 %
Elektrisitet	34 %	28 %	15 %	35 %
Olje	0 %	0 %	8 %	12 %
Varmepumpe (luft til luft, vann til vann og luft til vann)	100 %	61 %	46 %	44 %
Gass	7 %	11 %	15 %	12 %
Solenergi	3 %	0 %	3 %	3 %
Bioenergi	2 %	0 %	3 %	6 %

En stor andel av byggene benytter flere energikilder til oppvarming. Som det kommer frem av Tabell 8 benytter 100 % av de nye eneboligene som er med i undersøkelsen varmepumper til oppvarming, der en del av byggene supplerer med andre energikilder i tillegg. Fra undersøkelsen kommer det også frem at fjernvarme er den energikilden som dekker størst areal, men utgjør mindre andel av antall prosjekter. Dette skyldes at svært få eneboliger og enkeltstående bygninger av mindre størrelse er tilknyttet fjernvarme ettersom det er mest lønnsomt for fjernvarmeselskapene å tilføre varme til områder med høy varmetetthet. Dette for å unngå for stort distribusjonstap. En typisk terskel for lønnsomheten av fjernvarme i et bebygd område settes på 40-50 kWh/m², men dette avhenger noe av konkurransemarkedet innenfor fjernvarmeleveranse i området (Frederiksen & Werner, 2013). Fjernvarme er dermed mest aktuelt til forsyning av varme til boligblokker, leilighetskomplekser, flerfamiliehus, eller industribygg der varmebehovet pr. oppvarmet grunnareal er relativt høyt. Det vil følgelig være disse byggene som vil bli påvirket ved en eventuell overgang til LTFV. Ettersom gulvvarme allerede er et lavtemperatur-varmesystem vil hovedutfordringen ved overgang til LTFV, i forhold til å dekke varmebehovet, falle på flerfamiliehus, leiligheter og yrkesbygg som kun benytter radiatorer eller en kombinasjon av gulvvarme og radiatorer til oppvarming.

4.3 OPPSUMMERING

Basert på Enovas *Byggstatistikk 2011* og statistisk data fra SSB vedrørende bygninger og husholdningers energiforbruk kan det ses noen tendenser for energiforbruket i bygg etter byggeår, bygningskategori, region og størrelse. Varmebehovet er lavest i boligblokker der ytterarealet pr. oppvarmet bruksareal er lavt. Bruksforholdene i boligbygg gir i tillegg et lavere varme- og energibehov sammenlignet med industribygg og tjenesteytende næring grunnet stort varmetap gjennom ventilasjonsanlegget og et større elektrisitetsbehov til drift av elektrisk utstyr i sistnevnte bygningskategorier.

Nyere bygg har som tidligere nevnt strenge krav til konstruksjonen og teknisk utstyr for å sikre et lavt varme- og energibehov i bygningen. Det er allikevel sett fra statistikken at boliger bygd fra 1997 og senere har et høyere spesifikt energiforbruk enn boliger bygd på 80-90 tallet. Det totale energiforbruket er derimot lavere i de nyere boligene, noe som indikerer at nyere boligheter er noe mindre enn dem bygd på 80-90 tallet. Målt energiforbruk i syv passiv-rekkehus i Miljøbyen Granåsen er inkludert i statistikken om energiforbruk etter byggeår. Energiforbruket i passivhusene ligger godt under det i eldre boliger, noe som er som forventet. Sammenlignet med det budsjetterte forbruket, og kravene satt til passivhus, ligger det målte forbruket derimot langt over. Dette kan tyde på en økt termisk komfort i passivhus og et økt elektrisitetsforbruk. Det kan dermed bli stilt spørsmål til om riktig energikilde er valgt til boligen ettersom forbruket nå overstiger det tiltenkte nivået.

Av rapporten *Vannbåren varme i Norge – et studium av markedsutviklingen i perioden 2008-2011* er det funnet at det i dag i hovedsak er rekkehus, boligblokker og yrkesbygg som er tilknyttet fjernvarme. I disse bygningene er det mest utbredt å ha gulvvarme eller radiatorer installert, andre vannbårne varmesystemer er lite brukt.

5 FREMGANGSMÅTE FOR EVALUERING AV VANNBÅRENT VARMESYSTEM I EN EKSISTERENDE BOLIG

Denne oppgaven har som mål å analysere et vannbårent varmesystem i en bolig, med den hensikt å vurdere muligheten for å implementere lavtemperatur fjernvarme i eksisterende boliger. Dette skal utføres ved å vurdere innetemperatur og energiforbruket i boligen ved varierende driftstemperaturer i varmesystemet, og under ulike driftsmessige forhold. Det er ønsket å utføre beregningene på en bolig der resultatene vil være aktuelle og relevante for flest mulig fjernvarmekunder, noe som vil si at statistisk data er svært viktig for å danne grunnlaget for dette simuleringstilfellet. Den spesifikke boligen, inkludert varmesystem, som studiet blir utført på konstrueres dermed på bakgrunn i statistisk data og litteraturstudie utført med fokus på boliger med vannbårent varmesystem tilknyttet fjernvarme.

Til å utføre beregningene benyttes et simuleringstøytøy som kan simulere realistiske verdier for både inneklima, energiforbruk og drift av varmesystem. I denne oppgaven er det valgt å benytte simuleringstøytøyet IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) som evaluerer bygninger med hensyn på inneklima og energibruk. Programmet utfører detaljerte dynamiske simuleringer for hele året basert på lokale værfiler. Simuleringene vil dermed resultere i realistiske verdier for energibehovet og inneklimaet i bygget basert på dets tekniske spesifikasjoner, bruksmønsteret og de termiske forholdene gjeldende for byggets geografiske plassering. IDA ICE ble i denne oppgaven valgt som simuleringstøytøy på bakgrunn av muligheten til å benytte spesifiserte varmesystemer, i denne oppgaven vannbårent. I tillegg til at simuleringene resulterer i en detaljert oversikt over det termiske inneklimaet i boligen med mulighet for full overvåking av temperaturene i alle sonene i boligen gjennom hele året. Ettersom IDA ICE kun har en standardisert klimafil for Norge; Oslo, Fornebu, benyttes denne til beregningene. Resultatene i oppgaven er ikke stedskorrigert, noe som vil si at de kun er sammenlignbare med boliger lokalisert i det samme eller tilsvarende område.

Beregningsgrunnlaget i oppgaven er basert på data gitt i NS 3031 der det er tilgjengelig, og statistisk data fra SSB og Enova. Dagens byggeteknisk forskrift, TEK 10, og Passivhusstandarden er i tillegg benyttet til konstruksjon av to boliger av gitt standard. Disse er inkludert for å kunne sammenligne resultatene fra referanseboligen med boliger av nyere standard.

Det utføres simuleringer basert på ulik grad av overdimensjonering av varmesystem ettersom dette vil påvirke resultatet i stor grad, og ettersom overdimensjonering praktiseres i Norge i dag. Videre tas det i bruk ulike energieffektiviseringstiltak på boligen for å vurdere hvordan dette påvirker muligheten for å ta i bruk LTFV ved å redusere varmebehovet.

Resultatene oppnådd gjennom simuleringene vil bli sammenlignet med kriterier fra TEK 10, Passivhusstandarden og statistisk data fra SSB.

6 SIMULERINGSGRUNNLAG

6.1 REFERANSEBYGG

Et referansebygg blir gjerne benyttet i studier for å ha et fast utgangspunkt som alle beregningene baseres på og resultatene sammenlignes opp mot. I denne oppgaven skal en bolig tilknyttet fjernvarme, og følgelig med vannbårent oppvarmingssystem, vurderes. Referanseboligen spesifiseres i dette avsnittet på grunnlag av statistisk data og vurderinger tatt på bakgrunn av det spesifikke tilfellet som skal undersøkes i denne oppgaven. Den statistiske dataen og andre beslutninger som tas i forhold til referanseboligen gjennomgås og begrunnes i dette avsnittet.

Bygningskategori og byggeår

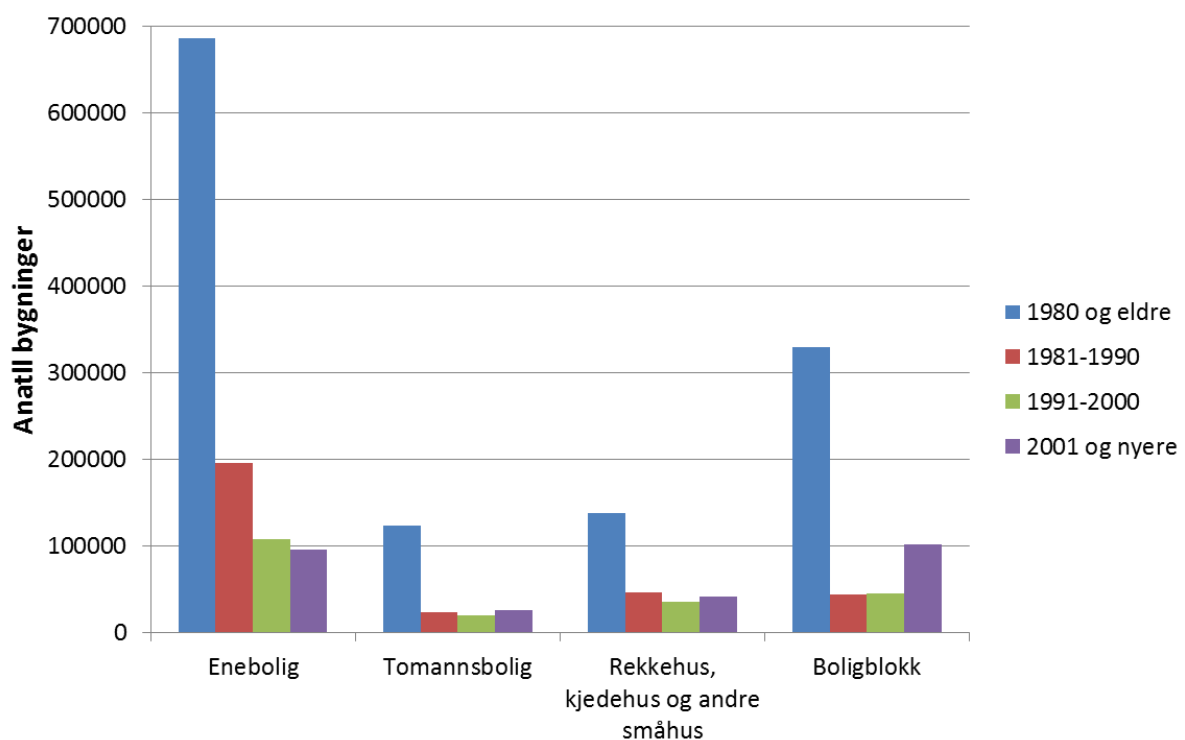
I dag er andelen fjernvarme levert til husholdninger omtrent 22 %, der den resterende andelen blir fordelt til industri og tjenesteytende næringer (SSB, 2013). Av husholdningene tilknyttet fjernvarme er hovedandelen flerfamiliehus (Juhler, 2013) (Haarberg, et al., 2013). Det er noe leveranse til eneboliger i Oslo og Trondheim, men dette er kun grunnet krav fra kommunen. Ettersom alle beregningene i denne oppgaven skal basere seg på en bolig tilknyttet fjernvarme velges referanseboligen dermed til å være en flerfamiliebolig, mer spesifikt et ende-rekkehus. Bakgrunnen for det spesifikke valget av rekkehus er at en slik bolig vil ha større varmetap gjennom bygningskroppen sammenlignet med en bolig plassert i midten av et rekkehus eller en leilighet i et leilighetskompleks, på grunn av større andel ytterflater. På denne måten vil et «verste- tilfelle» bli undersøkt, og andre flerfamilieboliger vil ha et bedre utgangspunkt for overgang til reduserte driftstemperaturer i deres varmesystem sammenlignet med den undersøkte referanseboligen.

Oppvarmingskildene i norske boliger er varierende, men det har i lang tid vært sterk tradisjon for å benytte elektrisk oppvarming grunnet den sikre tilgangen på fornybar elektrisk energi fra vannkraft. I tillegg har vedovnen også spilt en viktig rolle som oppvarmingskilde i vintersesongen i de norske hjem. Med økende fokus på energisparing og grønn energi er det løpet av de siste årene derimot kommet flere nye oppvarmingskilder på markedet, som i økende grad blir implementert i norske hjem. Tabell 9 viser fordelingen av ulike oppvarmingskilder i norske boliger, med gjennomsnittlige verdier fra 1993-1995, 2001, 2004 og 2009, alle verdiene er oppgitt i prosent.

Tabell 9 Gjennomsnittlig bruk av ulike oppvarmingskilder i norske husholdninger, i prosent (SSB, 2011)

Oppvarmingskilde	Gjennomsnitt 1993-1995	2001	2004	2009
Elektriske ovner	58,3	59,8	53,8	47,7
Varmekabler	6,2	9,1	8,1	7,1
Varmepumpe i alt	0,0	0,0	2,7	14,8
Vedovn/peisovn/peis	17,4	17,3	20,6	17,5
Fjernvarme	0,6	0,8	0,8	2,0
Egen eller felles sentralfyr i alt, utenom fjernvarme	9,5	6,0	6,0	6,0
Annet utstyr	8,0	7,1	6,1	5,0

Basert på statistikken er det tydelig at av norske husholdninger er andelen som benytter fjernvarme som oppvarmingskilde svært lav, men tendensen har allikevel vært stigende fra begynnelsen av 1990-tallet og utover. Andelen boliger som er tilknyttet fjernvarme vil derimot være noe høyere i storbyene sammenlignet med landsgjennomsnittet lagt frem i Tabell 9. Dette er en konsekvens av at det er i de største tettbebygde strøkene fjernvarme er mest lønnsomt, og dermed har vært tidligst og kraftigst utbygd. I Trondheim startet utbyggingen av fjernvarme til boligfelt fra midten av 1980-tallet, mens det i Oslo har vært fjernvarme fra 1937 med tilknytting til boligkunder siden den tid. Fra 70-80 tallet og frem til i dag er fjernvarme blitt, og fortsatt blir, tilknyttet flere og flere boliger, da gjerne eksisterende, eldre boliger med vannbårne varmesystemer (Bakken, 2014). Dette er tilfellet blant annet ettersom godt over halvparten av den norske boligparken er bygd før 1980, se Figur 22. I tillegg er ofte eldre boliger utstyrt med sentralfyr noe som gjør at en overgang til fjernvarme ikke bare er relativt enkelt å utføre, men også lønnsomt både når det kommer til energikostnader og miljøkonsekvenser.



Figur 22 Antall boliger etter byggeår i Norge, statistikk fra 2011 (SSB, 2013)

For at resultatene fra denne oppgaven skal være aktuell for en størst mulig andel av forbrukerne av fjernvarme er det dermed valgt å konstruere referanseboligen slik at den gjenspeiler en bolig bygd før 1980. Eldre bygninger vil i tillegg ha et relativt høyt varmebehov grunnet dårlig isolering og vinduer med høyere U-verdi, noe som gjør at det vil være en større utfordring å redusere driftstemperaturene i eldre bygg sammenlignet med bygg av nyere dato. Resultatene som denne rapporten kommer frem til vil følgelig være for et «verste-tilfelle», og på denne måten kan resultatene fra simuleringene med referansebygget skape en øvre grense for de oppgraderingstiltak som er nødvendige å implementere for å muliggjøre en overgang til LTFV i eksisterende boligbygg.

Varmesystem

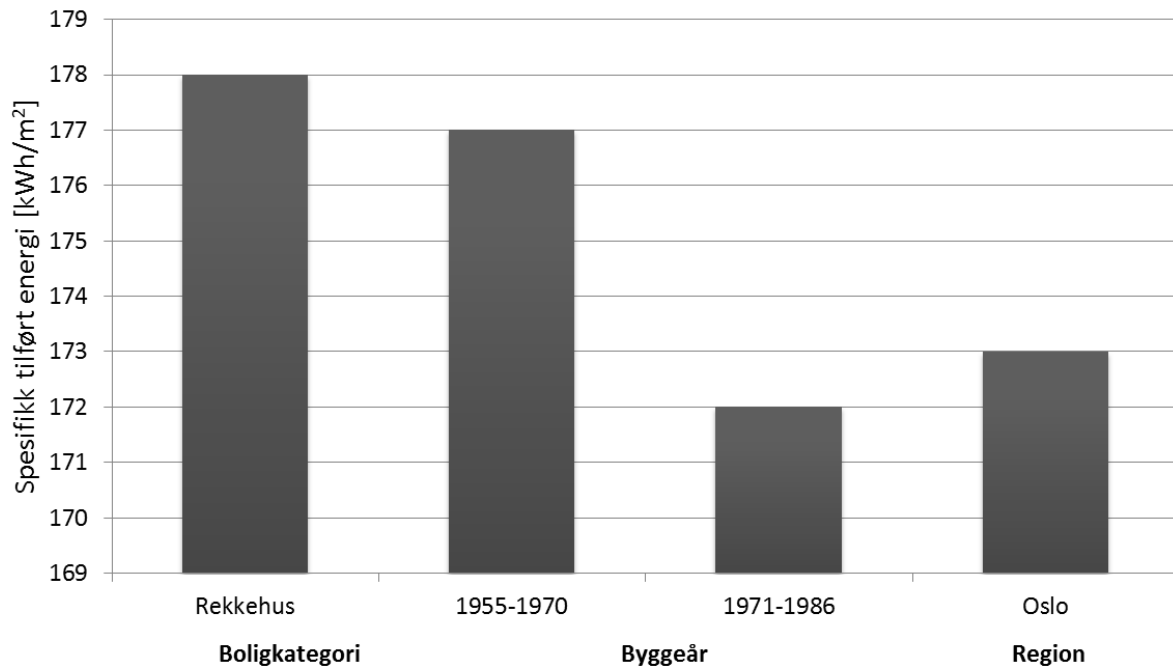
Foretrukket varmesystem i småhus er gulvvarme, som benyttes i størst grad etterfulgt av radiatorer, mens fordelingen i boligblokker og yrkesbygg er motsatt (Haarberg, et al., 2013). Statistikken er lagt frem i Tabell 7. Selv om gulvvarme er det mest benyttede vannbårne varmesystemet i småhus i Norge er det valgt å utføre beregningene i denne oppgaven på et rekkehus med et varmesystem kun bestående av radiatorer. Dette er valgt ettersom gulvvarme allerede er et lavtemperaturvarmesystem, som beskrevet i avsnitt 2.1, noe som betyr at det i boliger med oppvarming kun basert på gulvvarme i utgangspunktet ikke skal være noe problem å dekke varmebehovet dersom LTFV ble innført. utfordringen vil derimot først og fremst oppstå i boliger basert på et høytemperaturvarmesystem, som eldre radiatorsystemer. Simuleringene skal i tillegg utføres på en eldre bolig, bygd før 1980, og på denne tiden var det mest vanlig med radiatorsystemer ved bruk av vannbåren varme. Radiatorsystemer for eldre bygg har som regel dimensjonerende turtemperatur på 80 °C og en returtemperatur på 60 °C ved en romtemperatur på 20 °C (80/60/20) (Bakken, 2014). Dette temperaturnivået blir følgelig benyttet i beregningene.

Geografisk plassering

Til simuleringene i IDA ICE benyttes det klimafil som skal simulere et realistisk klima for den lokale plasseringen av boligen. For Norge inneholder IDA ICE kun klimafil for Oslo, Fornebu. Beregningene og simuleringene i denne oppgaven vil dermed være basert på en bolig lokalisert i Oslo, noe som også er passende for en bolig tilknyttet fjernvarme da dette er mest utbygd i de største byene i Norge.

Tekniske spesifikasjoner

Ettersom simuleringen skal gjelde for boligbygninger bygd før 1980 er det ikke noen konkret teknisk forskrift som vil gjelde for konstruksjonen til en slik bygning. Tekniske referanseverdier for «Eldre bygg», spesifisert av Enova i håndboken *Manual for Enøk Normtall*, er gitte referanseverdier for bygninger bygd før 1987. Spesifikasjonene gitt i Tabell 4 vil ikke være gjeldende for alle bygninger bygd før 1987, men de representerer et omtrentlig gjennomsnitt av U-verdiene for de ulike bygningskonstruksjonene (Enova, 2004). Det er ønsket å konstruere en referansebolig i IDA ICE som er representativ for en reell bolig av samme kategori, rekkehus bygd før 1980. Det tilstrebes dermed å oppnå et energiforbruk som er på nivå med det gjennomsnittlige energiforbruket for boliger av denne kategorien, funnet gjennom statistisk data fra SSB. Gjennomsnittlig energiforbruk for en bolig av typen rekkehus, en bolig bygd i 1955-1970, 1971-1986 og en bolig lokalisert i Oslo er lagt frem i Figur 23.



Figur 23 Gjennomsnittlig energiforbruk for rekkehus, bolig med byggeår 1955-1970, 1971-1986 og bolig i region Oslo (SSB, 2011)

Det er sett at det gjennomsnittlige energiforbruket for en bolig lokalisert i Oslo-regionen, eller bygd mellom 1971 og 1986, er relativt lavt sammenlignet med gjennomsnittet for rekkehus og boliger bygd i perioden 1955-1970. Gjennomsnittlig energiforbruk for en boligenhet i Oslo er lavere ettersom boligmassen består av en stor andel boligblokker som ofte har et lavt spesifikt energibehov grunnet liten andel yttervegger per oppvarmet BRA. Det lave energiforbruket for boliger bygd mellom 1971 og 1986 kan på den andre siden forklares med en byggeboom av større eneboliger i denne perioden (Tyholt, et al., 2009). Store eneboliger har et høyt totalt energiforbruk, men det spesifikke energiforbruket blir gjerne noe lavere enn for mindre boligenheter grunnet et stort BRA. Energiforbruket til begge disse kategoriene vil dermed ikke være spesielt relevante for referanseboligen. Et forbruk på omtrent 178 kWh/m², basert på statistikken for rekkehus benyttes dermed som utgangspunkt for å definere et realistisk energiforbruk i referanseboligen.

Oppsummering

- Ende-rekkehus
- Bygd før 1980
- Tekniske spesifikasjoner som referanseverdiene fra Enova for «Eldre bygg»
- Varmesystem basert på høytemperaturreadiatorer (80/60/20)
- Energiforbruk på omtrent 180 kWh/m²
- Lokalisert i Oslo

6.2 DIMENSJONERING AV VARMESYSTEM

Ved dimensjonering av varmesystemer til boliger og yrkesbygg blir anleggene ofte overdimensjonert for å sikre boligen mot for liten effektkapasitet, og for å ta høyde for varierende bruksmønster hos forbrukerne. I følge Grindal og Børresen (1998) i Statsbygg sin rapport *Vannbåren energi*, er vannbårne varmesystemer ofte 20-30 % overdimensjonert, men dette kan variere mye fra prosjekt til prosjekt (Grindal & Børresen, 1998).

Overdimensjonering kan være et problem ettersom det fører til et høyere investeringsnivå enn nødvendig, i tillegg til at varmesystemene gjerne blir vanskeligere å regulere for det effektbehovet bygningen faktisk har. Ved en overgang til LTFV i fremtiden kan det derimot være en fordel med overdimensjonerte varmesystemer ettersom en større varmeoverføringsflate gir bedre varmeavgivelse, noe som vil være nødvendig for å kunne dekke varmebehovet i bygningen ved reduserte driftstemperaturer. Det er dermed ønsket å utføre beregninger for referanseboligen basert på fire ulike dimensjoneringsnivåer for varmesystemet. På denne måten kan konsekvensen av overdimensjonerte varmesystemer ved overgang til LTFV vurderes.

Varmebehovet for boligen beregnes gjennom en statisk simulering i IDA ICE ved dimensjonerende utetemperaturer for Oslo. Det beregnede effektbehovet, Q , benyttes deretter som utgangspunkt for dimensjonering av varmesystemet og de videre beregningene. Med 30 %, 50 % og 100 % overdimensjonering defineres de resterende tre beregningsgrunnlagene som navngis og beskrives som følger:

- Q - varmesystemet er dimensjonert direkte etter beregnet effektbehov for boligen
- Q_{30} - varmesystemet er overdimensjonert med 30 % fra beregnet effektbehov
- Q_{50} - varmesystemet er overdimensjonert med 50 % fra beregnet effektbehov
- Q_{100} - varmesystemet er overdimensjonert med 60 % fra beregnet effektbehov

6.3 SCENARIER FOR KONVERTERING AV EKSISTERENDE BYGNINGER TIL LAVTEMPERATUR FJERNVARME

I eldre boliger, som referanseboligen i denne oppgaven er, kan en overgang til LTFV kreve implementering av energieffektiviseringstiltak for å redusere varmebehovet i boligen. I denne oppgaven er det valgt å utføre beregninger i IDA ICE med tre ulike renovasjonstiltak med økende effektbesparelser. De ulike tiltakene er beskrevet under. Det er i tillegg lagt til to scenarier som representerer den samme boligen, bygd med henholdsvis TEK 10- standard og med passivhusstandard. På denne måten vil det bli lettere å kunne vurdere mulighetene for overgang til LTFV i eldre bygg sammenlignet med bygg av nyere standard.

Tiltak 1: Utskiftning av vinduene i hele boligen til nyere og mer energieffektive enheter. De implementerte vinduene har en U-verdi på $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ inkludert karm og ramme, noe som er i samsvar med de nyeste byggtekniske forskriftene, TEK 07 og TEK 10. Utskiftninger av vinduer og karm vil i tillegg til å redusere varmeovergangen gjennom vinduet også redusere trekken, noe som fører til at den totale infiltrasjon i bygningen reduseres. I følge Brand og

Svendsen vil en slik oppgradering av vinduene redusere infiltrasjonen med omtrent 15 %, til 3,4 luftvekslinger/time i referanseboligen (Brand & Svendsen, 2013).

Tiltak 2: Utskiftning av vinduer som i Tiltak 1, i tillegg til etterisolering av alle yttervegger. Det legges inn 10 cm mineralull av typen Glava 38 med varmekonduktivitet, $\lambda = 0,038$ W/mK, noe som resulterer i over en halvering av U-verdien for ytterveggen fra $0,50$ W/m²K til $0,22$ W/m²K (Glava isolasjon, u.d.).

Tiltak 3: Utskiftning av vinduer og etterisolering av vegg som i Tiltak 2, i tillegg til etterisolering av tak. Også her legges det inn 10 cm mineralull av typen Glava 38 med varmekonduktivitet, $\lambda = 0,038$ W/mK. Etterisolering av taket fører til en halvering av U-verdien fra $0,40$ W/m²K til $0,20$ W/m²K.

TEK 10: Rekkehuset bygges med TEK 10-standard. De tekniske spesifikasjonene er lagt frem i Tabell 4. Ventilasjonsanlegget i boligen følger minstekravene fra TEK 10 med en spesifikk vifteeffekt, SFP, på $2,5$ kW/(m³/s) og årgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad i varmegjenvinner på 70 % (Lovdata, 2010). Spesifikk luftmengde tilført fra ventilasjonsanlegget er $1,2$ m³/(h·m²) i alle rom, etter NS 3031 (Standard Norge, 2011).

Passivhus: Rekkehuset bygges i dette tilfellet med passivhusstandard med tekniske spesifikasjoner som definert i Tabell 4. Ventilasjonsanlegget i boligen følger minstekravene fra NS 3700 med en spesifikk vifteeffekt, SFP, på $1,5$ kW/(m³/s) og årgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad i varmegjenvinner på 80 % (Standard Norge, 2013). Spesifikk luftmengde tilført fra ventilasjonsanlegget er $1,2$ m³/(h·m²) i alle rom, etter NS 3031 (Standard Norge, 2011).

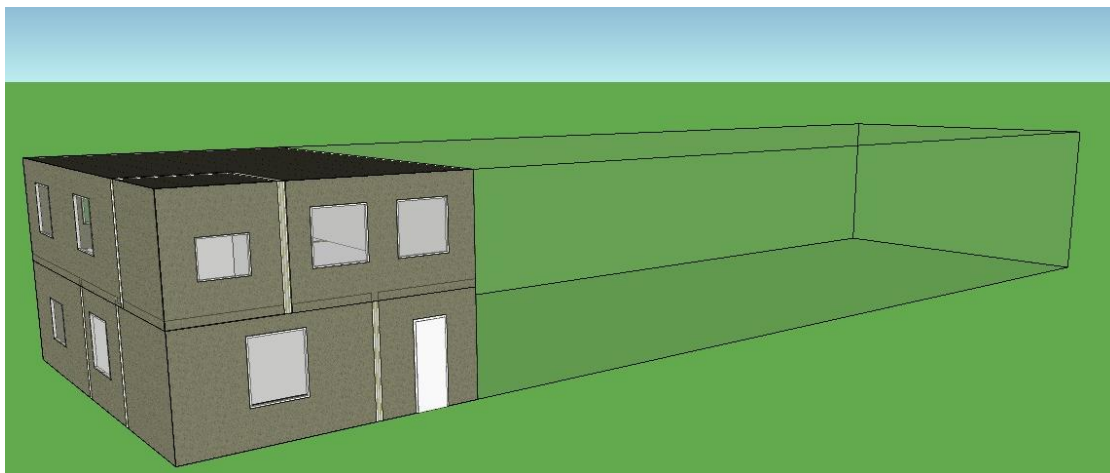
Det må bemerkes at de to scenariene *TEK 10* og *Passivhus* ikke representerer en oppgradering av referanseboligen, men derimot den samme boligen oppbygd med TEK-10 og passivhusstandard. De respektive scenariene skal dermed illustrere hvordan en temperaturreduksjon vil påvirke varmesystemet i boliger som opprinnelig er bygd opp med den nyeste byggt tekniske forskriften. Varmesystemene i disse tilfellene er dermed dimensjonert etter varmebehovet i de respektive boligene, og ikke etter varmebehovet i referanseboligen.

6.4 SIMULERINGSMODELL

De ulike innstillingene og valgene tatt i forbindelse med konstruksjonen av boligen er gjennomgått i dette delkapittelet.

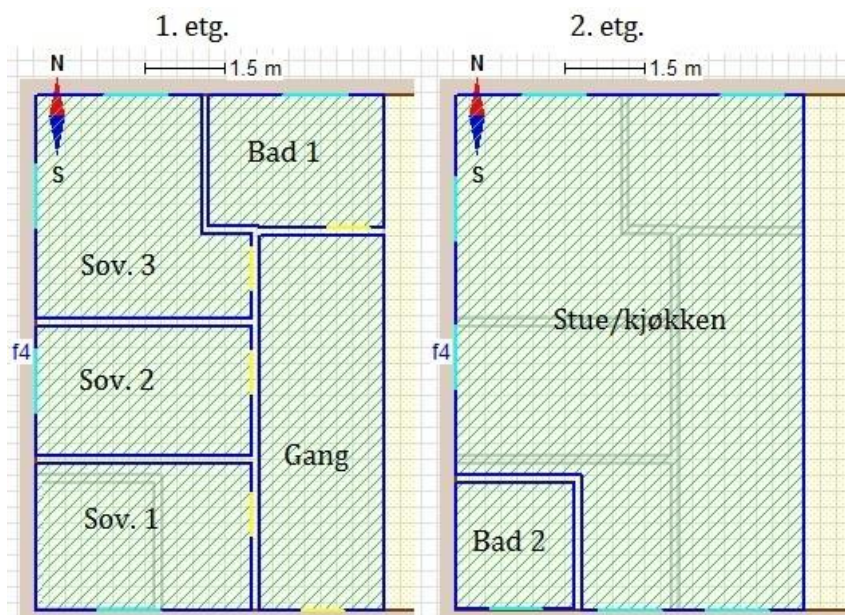
6.4.1 BYGNINGSGEOMETRI

Rekkehuset er konstruert direkte i IDA ICE og er bygget opp som et enderekkehus der tre av fire vegger grenser mot det ytre klimaet. Boligen er illustrert i Figur 24.



Figur 24 Rekkehus konstruert i IDA ICE

Boligen har et oppvarmet BRA på 122,2 m² der de to etasjene er inndelt i totalt syv soner som illustrert i Figur 25.



Figur 25 Soneinndeling i 1. og 2. etg. i rekkehuset

De tekniske referanseverdiene for «Eldre bygg» definert av Enova er kun gjeldende dersom det totale vindusarealet i boligen ikke overstiger 15 % av BRA (Enova, 2004). I scenariene

TEK 10 og Passivhus er denne andelen 20 %. Vinduene er plassert som illustrert i Figur 25 og dimensjonert for boligen slik at de gitte kravene blir overholdt. Bruksarealet i de ulike sonene er gitt i Tabell 10.

Tabell 10 Bruksareal i de ulike sonene i rekkehuset

Sone	BRA
Sov. 1	11,10 m ²
Sov. 2	9,80 m ²
Sov. 3	14,50 m ²
Gang	16,40 m ²
Bad 1	8,10 m ²
Bad 2	5,30 m ²
Stue/Kjøkken	57,00 m ²
Totalt	122,2 m²

6.4.2 BYGNINGSKROPP OG TEKNISKE INSTALLASJONER

Det er en del parametere som må defineres i IDA ICE for at beregningene skal bli korrekte, og mest mulig realistiske. De fleste av parameterne er basert på referanseverdier for «Eldre bygg» og gitte verdier og anbefalinger fra NS 3031. Den gjeldende utgaven av NS 3031 er oppdatert i 2011 som en tilpasning til TEK 10. De verdier eller anbefalingene hentet fra NS 3031 er dermed verdier som er antatt å være uavhengig av bygningsstandard. Alle parametere og innstillinger definert i IDA ICE er gjennomgått i de påfølgende avsnittene.

6.4.2.1 Bygningskropp

De tekniske spesifikasjonene for bygningskroppen er i overensstemmelse med referanseverdiene for «Eldre bygg» gitt av Enova. U-verdiene for vegg, gulv mot grunn, tak og vinduer er gjengitt i Tabell 11. Materialene i de ulike bygningskonstruksjonene er ikke definert ettersom dette vil variere fra bygg til bygg. Hovedmålet er kun å oppnå riktig U-verdi i de ulike konstruksjonsdelene slik at varmetapet fra bygningskroppen blir realistisk for den respektive byggestandarden.

Tabell 11 Tekniske spesifikasjoner for "Eldre bygg"

Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	15
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,50
U-verdi tak [W/m ² K]	0,40
U-verdi gulv mot grunn [W/m ² K]	0,40
U-verdi vindu, inkludert karm/ramme [W/m ² K]	2,80
U-verdi ytterdør [W/m ² K]	2,00*
Normaliserte kuldebroverdi [W/m ² K]	Inkludert i U-verdi kravene
Lekkasjetall (ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger/time]	4 – for rekkehus

* Verdi hentet fra, og antatt lik, byggeforskrift 1969 (Direktoratet for byggkvalitet, 2013)

For TEK 10 og Passivhus gjelder de tekniske spesifikasjonene gitt i Tabell 4.

6.4.2.2 Kuldebroer og infiltrasjon

Kuldebroer og infiltrasjon defineres etter spesifikasjoner i Tabell 11. Det defineres dermed ingen kuldebroverdi i IDA ICE for referanseboligen ettersom dette er inkludert i de gitte U-verdi kravene.

Infiltrasjonen eller lekkasjetallet settes lik 4 luftvekslinger per time ved en trykkdifferanse på 50 Pa. Trykkoeffisientene for bygget er automatisk fylt ut av IDA ICE og varierer avhengig av hvor bygget er plassert, og dermed hvor utsatt det er for vind. I denne oppgaven er det valgt trykkoeffisienter som gjelder for bygg som er «Semi-exposed». Det vil si at bygningen er noe utsatt for vind, og vil være passende for bygg lokalisert i urbane områder noe som er aktuelt for bygninger tilknyttet fjernvarme.

For *TEK10* og *Passivhus* gjelder kuldebroverdiene og infiltrasjonsmengden gitt i Tabell 4. Trykkoeffisientene for bygget er likt som for referanseboligen.

6.4.2.3 Vindu

Vinduene som benyttes i referanseboligen har U-verdi lik 2,8 W/m²K, inkludert karm og ramme. Scenariene *TEK 10* og *Passivhus* har vinduer med U-verdi på henholdsvis 1,2 W/m²K og 0,8 W/m²K, inkludert karm og ramme. De resterende spesifikasjonene for vinduene er definert basert på sannsynlige verdier for et vindu med den respektive U-verdien, inspirert av vinduene i databasen til IDA ICE. Verdiene er gjengitt i Tabell 12.

Tabell 12 Spesifikasjoner for vinduskonstruksjonene

	«Eldre bygg»	TEK 10/Passivhus
Solfaktor, g	0,76	0,40
Soltransmisjon, τ	0,70	0,34
Emissivitet, ϵ	0,84	0,84
Synlig soltransmittans, T_{vis}	0,81	0,66

Vinduene er plassert i boligene slik at hvert rom oppnår et vindusareal per oppvarmet BRA på 15 % i «Eldre bygg» og 20 % i *TEK 10* og *Passivhus*. Vinduene utstyres med indre solavskjerming ettersom dette er det vanligste alternativet for boligbygninger. Avskjermingen justeres basert på lysforholdene inne i boligen.

6.4.2.4 Oppvarming

Driftstiden for oppvarming avhenger av bruksområdet til bygget, ikke bygningsåret. Standardverdier fra NS 3031 gjeldende for småhus benyttes dermed i beregningene, verdiene er gjengitt i Tabell 13.

Tabell 13 Standardverdier for driftstider samt settpunkttemperatur for oppvarming (Standard Norge, 2011)

Bygnings- kategori	Driftstid timer/døgn/uker			Settpunkt-temperatur for oppvarming [°C]		Settpunkt- temperatur for romkjøling [°C]
	Oppvarming, varmtvann, belysning og utstyr	Ventilasjon	Personer	I driftstiden	Utenfor driftstiden	
Småhus	16/7/52	24/7/52	←	21	19	-

I denne oppgaven er det valgt å definere driftstiden for oppvarming fra 07.00 til 23.00, noe som utgjør 16 timer av døgnet og er i overensstemmelse med NS 3031. Klokken 05.00 om morgenen er det definert at varmesystemet skal starte og øke settpunkttemperaturen fra natttemperaturen på 19 °C til driftstidstemperaturen på 21 °C frem mot klokken 07.00. Boligen får dermed tid til å varmes opp til settpunkttemperatur innen kl. 07.00. Temperaturforløpet til settpunkttemperaturen i varmesystemet er illustrert i Figur A. 1 i Vedlegg.

6.4.2.5 Utstyr, belysning og varmetilskudd

For å kunne beregne den realistiske ytelsen til et varmesystem og de faktiske temperaturene i boligen er det nødvendig å innføre internlast. Dette vil også føre til et mer realistisk bilde av det totale energiforbruket i boligen. Det er allikevel betydelig variasjon i interne varmetilskudd i boliger ettersom dette er svært avhengig av brukervaner og boligkategori. Til å definere varmetilskuddet i referanseboligen fra belysning benyttes dermed referanseverdier fra *Manual for Enøk normtall* og anbefalinger fra boken *Enøk i Bygninger*. For et eldre rekkehus er referanseverdiene for energiforbruk til belysning på 25 kWh/m², noe som gir et effektforbruk på 6 W/m² (Enova, 2004). Basert på standardverdier for varmetilskudd fra belysning, fra NS-EN ISO 13790 gjengitt i *Enøk i bygninger*, på 9 W/m² for oppholdsrom og kjøkken, og 3 W/m² for andre oppvarmede rom, ble installert effekt til belysning justert slik at energiforbruket for et år ble omtrent 25 kWh/m² (Novakovic, et al., 2007). Installert effekt i alle rom er lagt frem i Tabell 14

Tabell 14 Installert effekt til belysning

	Installert effekt til belysning [W/m ²]
Sov. 1	3,16
Sov. 2	3,16
Sov. 3	3,16
Gang	4,2
Bad 1	4,2
Bad 2	4,2
Stue/Kjøkken	10

Dette gir et varmetilskudd på 2.65 W/m^2 . Sammenlignet med referanseverdi for varmetilskudd fra NS 3031 (2007-utgaven) på $2,9 \text{ W/m}^2$ og fra NS 3031 (2011-utgaven) på $1,95 \text{ W/m}^2$, så er varmetilskuddet fra belysningen i referanseboligen på et realistisk nivå (Novakovic, et al., 2007) (Standard Norge, 2011).

Elektrisk utstyr i boliger er noe mindre avhengig av klima og boligkategori. I fagboken *Enøk i bygninger* er det oppgitt at man kan regne at ca. 60 % av energiforbruket til elektrisk husholdningsutstyr gir et nyttig bidrag til romoppvarmingen, og tilsvarer omtrent 3000 kWh på årsbasis for en familiebolig (Novakovic, et al., 2007). Det totale energibehovet til husholdningsutstyr i en familiebolig er dermed omtrent 5000 kWh. I rapporten *Strømforbruk i norske husholdninger* er det lagt frem målingsresultater for spesifikt strømforbruk til husholdningsutstyr i 15 husholdninger. Målingene viser at gjennomsnittlig årlig energiforbruk til husholdningsutstyr er 5266 kWh, noe som stemmer godt overens med verdiene oppgitt i *Enøk i bygninger* (Kure, 2011). For referanseboligen defineres dermed installert effekt til elektrisk utstyr slik at årlig varmetilskudd blir omtrent 3000 kWh, og totalt energiforbruk til elektrisk utstyr blir på mellom 5000 kWh og 5300 kWh. Det er følgelig installert elektrisk husholdningsutstyr i boligen med effekt på totalt $10,1 \text{ W/m}^2$ i alle rom, noe som gir et årlig energiforbruk til elektrisk utstyr på 5218 kWh.

I tillegg til varmetilskudd fra belysning og elektrisk utstyr bidrar også beboerne med varme til oppholdssonene. Enova definerer også her en referanseverdi for «Eldre bygg» av typen rekkehus. I IDA ICE beregnes derimot varmetilskudd fra mennesker i boligen fra et gitt antall beboere per m^2 . Ved å bruke referanseverdien fra Enova for avgitt effekt fra menneske per BRA, og avgitt effekt for én person, omtrent 84 W ved lufttemperatur på $21 \text{ }^\circ\text{C}$ og under lett arbeid, kan referanseverdien for antall personer i referanseboligen beregnes (The Engineering ToolBox, u.d.) (Enova, 2004).

- Avgitt personvarme ved $21 \text{ }^\circ\text{C}$ under lett arbeid: 84 W/person
- Personvarme per BRA, referanseverdi fra Enova, «Eldre bygg»: $1,8 \text{ W/m}^2$
- BRA: $122,2 \text{ m}^2$

$$1,8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot 122,2 \text{ m}^2 = 220 \text{ W}$$

$$\frac{220 \text{ W}}{84 \text{ W/person}} = 2,6 \text{ personer}$$

$$\frac{2,6 \text{ personer}}{122,2 \text{ m}^2} = 0,021 \text{ personer/m}^2$$

I IDA ICE blir det dermed definert at det er 2,6 beboere i boligen, noe som gir $0,021$ beboere/ m^2 . Driftstiden for personer ved beregning av varmebehov er definert i NS 3031 til å være alltid tilstede, se Tabell 13. Denne driftstiden benyttes dermed også for beregningene i denne oppgaven og spesifiseres i IDA ICE.

6.4.2.6 Avtrekk

Det er ikke nødvendig med mekanisk ventilasjon i hele referanseboligen ettersom infiltrasjonsnivået i eldre bygninger er relativt høyt. I rom der det produseres mye vanndamp er det allikevel nødvendig med luftavtrekk for å unngå fukt. Dette er dermed aktuelt i baderom, dusjrom, kjøkken og vaske-/tørkerom. Fra Enovas håndbok *Manual for Enøk normtall* er det oppgitt referanseverdier for ventilasjonsmengden i «Eldre bygg» av typen rekkehus. En luftmengde på $1,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ er oppgitt som passende, og benyttes dermed i boligens to baderom og i stue/kjøkken.

Scenariene *TEK 10* og *Passivhus* representerer rekkehuset bygd med henholdsvis TEK 10-standard og med Passivhusstandard. I begge disse tilfellene vil det være nødvendig med mekanisk ventilasjon ettersom bygningskroppen er relativt tett, med et lekkasjetall på henholdsvis 2,5 og 0,6 luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell. Ventilasjonssystemet installert i boligene er spesifisert etter krav fra forskriftene til de to ulike boligstandardene, og i henhold til NS 3031. De spesifikke tekniske parameterne er gjengitt i Tabell 15.

Tabell 15 Tekniske parametere for ventilasjonsanlegg i *TEK 10* og *Passivhus* (Lovdata, 2010) (Standard Norge, 2013)

	TEK 10	Passivhus
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	$\geq 70 \%$	$\geq 80 \%$
SFP-faktor	$\leq 2,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Spesifikk luftmengde	$1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$	$1,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$

6.4.2.7 Varmtvann

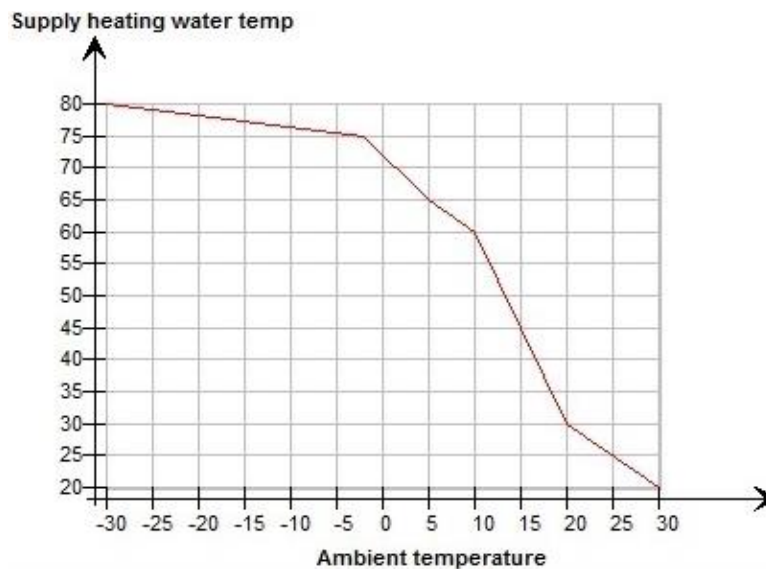
Beredning av varmt tappevann påvirker ikke ytelsen til varmesystemet, men det vil påvirke det totale energibehovet til bygget. Varmtvannsforbruket er hovedsakelig avhengig av beboernes vaner, og ikke av byggestandard. Standardverdier for varmtvannsforbruk fra den norske standarden NS 3031 benyttes i alle beregningene i denne oppgaven. For småhus definerer NS 3031 en standardverdi for varmtvannsforbruk på $5,1 \text{ W}/\text{m}^2$, noe som gir et årlig energiforbruk til varmt tappevann på $29,8 \text{ kWh}/\text{m}^2$.

Ettersom reduserte driftstemperaturer i varmesystemet i denne oppgaven simulerer reduserte temperaturer i hele fjernvarmenettet, vil temperaturnivået på tappevannet reduseres i takt med temperaturene i varmesystemet. Det er antatt at den opprinnelige temperaturen i varmtvannstanken, før temperaturene i fjernvarmenettet reduseres, er $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Dette nivået er definert på bakgrunn av anbefalt temperaturnivå fra varmenormen, se Tabell 1. Ved en turtemperatur inn på varmesystemet på $80 \text{ }^\circ\text{C}$ er temperaturen på tappevannet dermed satt til $70 \text{ }^\circ\text{C}$. Når turtemperaturen i varmesystemet reduseres til henholdsvis $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $55 \text{ }^\circ\text{C}$ og $50 \text{ }^\circ\text{C}$ følger temperaturen på varmtvannet med. Den nedre grensen for tappevannstemperaturer er satt til $50 \text{ }^\circ\text{C}$, og er definert på bakgrunn av erfaringer fra eksisterende lavtemperatur fjernvarmenett lagt frem i avsnitt 3.5. Tappevannstemperaturen var i de tilfellene $50 \text{ }^\circ\text{C}$ hos forbruker for å sikre en temperatur på minimum $47 \text{ }^\circ\text{C}$ på alle tappepunkt. Ved så lave tappevannstemperaturer er det nødvendig å ta i bruk metoder og utstyr som forhindrer all

risiko for vekst av legionella i bruksvannet, ulike alternativer er beskrevet i avsnitt 3.4; *Tekniske løsninger for lavtemperatur fjernvarme.*

6.4.2.8 Temperaturkompensering

Temperaturen inn på varmesystemet kompenseres etter utetemperaturen. Dette gjøres for å unngå unødvendig høye returtemperaturer fra varmesystemet som igjen vil påvirke returtemperaturen i fjernvarmenettet. Høye returtemperaturer i nettet er uønsket ettersom dette kan redusere virkningsgraden til produksjonsentralen i fjernvarmenettet, avhengig av produksjonsmetode, i tillegg til at varmetapene i nettet øker. Temperaturkompensering er ikke en styringsform, men et reguleringsprinsipp, og implementeres for å kunne drifte varmesystemet på en mest mulig effektiv måte. Den nøyaktige kompenseringsskurven benyttet i referanseboligen er definert slik at varmebehovet dekkes i referanseboligen uten noen energieffektiviseringstiltak implementert. Turtemperaturen inn på radiatorsystemet i boligen er kompensert med forløp som illustrert i Figur 26.



Figur 26 Temperaturkompenseringsskurve for turtemperaturen inn på varmesystemet justert etter utetemperaturen

Ved driftstemperaturer inn på varmesystemet under 80 °C reduseres kun den maksimale turtemperaturen i kompenseringsskurven, mens de resterende verdiene beholdes som i Figur 26. Grafer for de resterende kompenseringsskurvene er vedlagt i avsnitt B i Vedlegg.

6.4.3 VARMEBEHOVSBEREGNING

Varmesystemet dimensjoneres basert på en statisk simulering i IDA ICE der varmebehovet i hvert enkelt rom beregnes. «Ideal heaters», eller ideelle varmeenheter, blir benyttet i simuleringen. Dette er varmeenheter uten noen spesifikk plassering eller dimensjoner i rommet, i motsetning til en reell radiator. En slik varmeenhet benyttes kun dersom detaljert informasjon om varmeenhetene som benyttes i rommet ikke er tilgjengelig, som når varmesystemet ikke er dimensjonert. For å kunne bestemme det maksimale varmebehovet til hvert rom utføres simuleringene uten noen interne varmetilskudd, og med settpunkt temperatur for oppvarming fra NS 3031, se Tabell 13. Varmebehovet beregnes ved å kjøre en simulering over et døgn med dimensjonerende utetemperaturer for et Oslo-klima:

- Tørrkuletemperatur, min: -22,0 °C
- Tørrkuletemperatur, maks: -17,0 °C
- Våtkuletemperatur, maks: -17,5 °C

Resultatet fra beregningene gir den effekten som må tilføres i alle rom for å opprettholde en lufttemperatur på 21 °C, under dimensjonerende utetemperatur. Resultatet er lagt frem i Tabell 16.

Tabell 16 Effektbehov i de ulike sonene ved dimensjonerende betingelser

	Effekt levert av ideelle varmere
Sov. 1	543,3 W
Sov. 2	307,5 W
Sov. 3	647,9 W
Gang	312,4 W
Bad 1	331,0 W
Bad 2	400,7 W
Stue/kjøkken	2623,0 W

Varmen tilført til hver sone er den maksimale effektmengden som må tilføres for å varme opp boligen til 21 °C ved konstant lav utetemperatur på mellom -17 °C og -22 °C. Basert på effektbehovet funnet for hver sone, lagt frem i Tabell 16, dimensjoneres et passende helårs oppvarmingssystem for boligen.

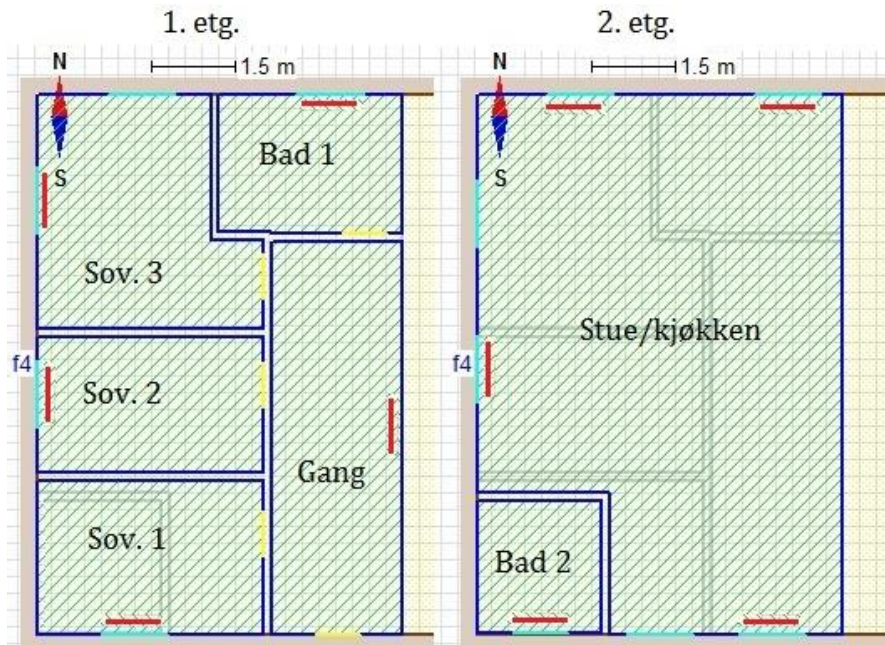
6.4.3.1 Valg av radiatorer

Radiatorer satt inn i boligen er valgt fra Korado som er en av Europas største leverandører av radiatorer (Korado, u.d.). Radiatorene i referansebygget er dimensjonert for en tur- og returtemperatur i enheten på henholdsvis 80 °C og 60 °C ved en lufttemperatur på 20 °C. De spesifikke radiatorer valgt for boligen for de fire ulike dimensjoneringsnivåene beskrevet i avsnitt 6.2 er lagt frem i avsnitt C under Vedlegg.

I rekkehuset konstruert med TEK 10- og Passivhusstandard, lagt frem som henholdsvis scenariene *TEK 10* og *Passivhus*, dimensjoneres varmesystemet som et lavtemperatursystem ettersom dette er vanlig praksis i boliger med så lavt varmebehov. Grunnen til at et lavtemperatursystem er foretrukket i boliger med et lavere varmebehov er at disse boligene er termodynamisk trege. Dette kan skape reguleringsmessige problemer ved bruk av høytemperatursystemer, ettersom små endringer i varmesystemet kan gi store utfall i boligen. Bygg med TEK 10-standard og passivhusstandard har i tillegg et svært lavt effektbehov, noe som betyr at et høytemperatur-varmesystem kun behøver å sirkulere svært små vannmengder for å dekke varmebehovet, noe som igjen kan gi reguleringsmessige problemer. Det vil dermed være enklere å kontrollere varmesystemet i boligen dersom den driftes med et lavere temperaturnivå. Temperaturnivået i varmesystemet som implementeres i *TEK 10* og *Passivhus* bestemmes på bakgrunn av tidligere boligprosjekter der radiatorsystemer er benyttet i TEK 10- og passivhus tilkoblet fjernvarme, og erfaringer fra VVS-konsulenter. Driftstemperaturene i varmesystemet i begge boligene blir følgelig dimensjonert for en tur- og

returtemperatur på henholdsvis 60 °C og 40 °C ved en lufttemperatur på 20 °C (Dokka & Helland, 2008) (Kristiansen, 2014).

Alle radiatorenhetene installert i boligen er av typen Radik Klasik. Radiatorene er plassert i boligen som illustrert med røde streker i Figur 27.



Figur 27 Oversikt over installerte radiatorene i referanseboligen

Radiatorene plasseres under vinduene der det er mulig for å hindre kulderas. I stue/kjøkken og soverom 3, der det er flere vinduer enn radiatorene i rommet, plasseres radiatorene kun under utvalgte vinduer så spredt som mulig for å få jevn varmeavgivelse i hele rommet. I tilfellene med kraftig overdimensjonering vil det være nødvendig å øke antall radiatorene i stue/kjøkken og soverom 3, disse blir da plassert under de resterende vinduene.

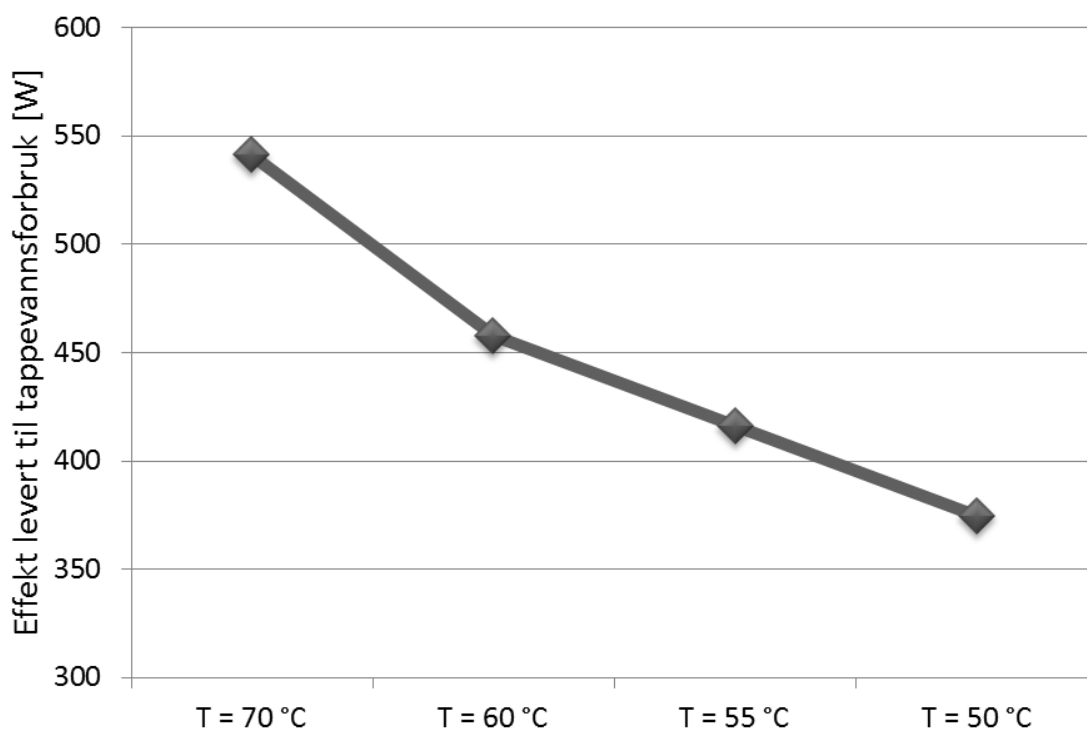
7 YTELSESANALYSE AV LAVTEMPERATURSYSTEMER I EKSISTERENDE BOLIGER

For å vurdere ytelsen til varmesystemet og dets evne til å dekke boligens varmebehov ved reduserte driftstemperaturer utføres det dynamiske simuleringer i IDA ICE for ett helt år i et standardisert Oslo-klima. I dette kapitlet blir energiforbruket i boligen, før og etter implementering av de ulike energieffektiviseringstiltakene, først gjennomgått. Det blir i tillegg utført en følsomhetsanalyse for å få et innblikk i hvordan varierende elektrisitetsforbruk vil påvirke varmeforbruket og dermed varmesystemets mulighet til å driftes med reduserte temperaturer. Videre blir varmesystemets evne til å dekke varmebehovet i boligen vurdert på bakgrunn av varierende grad av overdimensjonering, varierende driftstemperaturer og implementering av effektiviseringstiltak.

7.1 BEREGNET ENERGIFORBRUK

Det totale energiforbruket i en bolig er svært avhengig av beboernes oppførsel og vaner ettersom dette påvirker både det el-spesifikke forbruket og varmeforbruket i boligen. Det el-spesifikke forbruket og settpunkttemperaturen for oppvarming er til å begynne med holdt lik den verdien definert i avsnitt 6.4.2. Energiforbruket i boligen vil dermed kun variere på bakgrunn av bygningskroppens utførelse og settpunkttemperaturen på det varme tappevannet.

Ved å redusere settpunkttemperaturen på det varme tappevannet reduseres effekten som trengs for å varme opp dette vannet, noe som igjen vil føre til et redusert energibehov til oppvarming av tappevann. Effekt levert til tappevannsforbruk som funksjon av varmtvannstemperaturen er lagt frem i Figur 28.

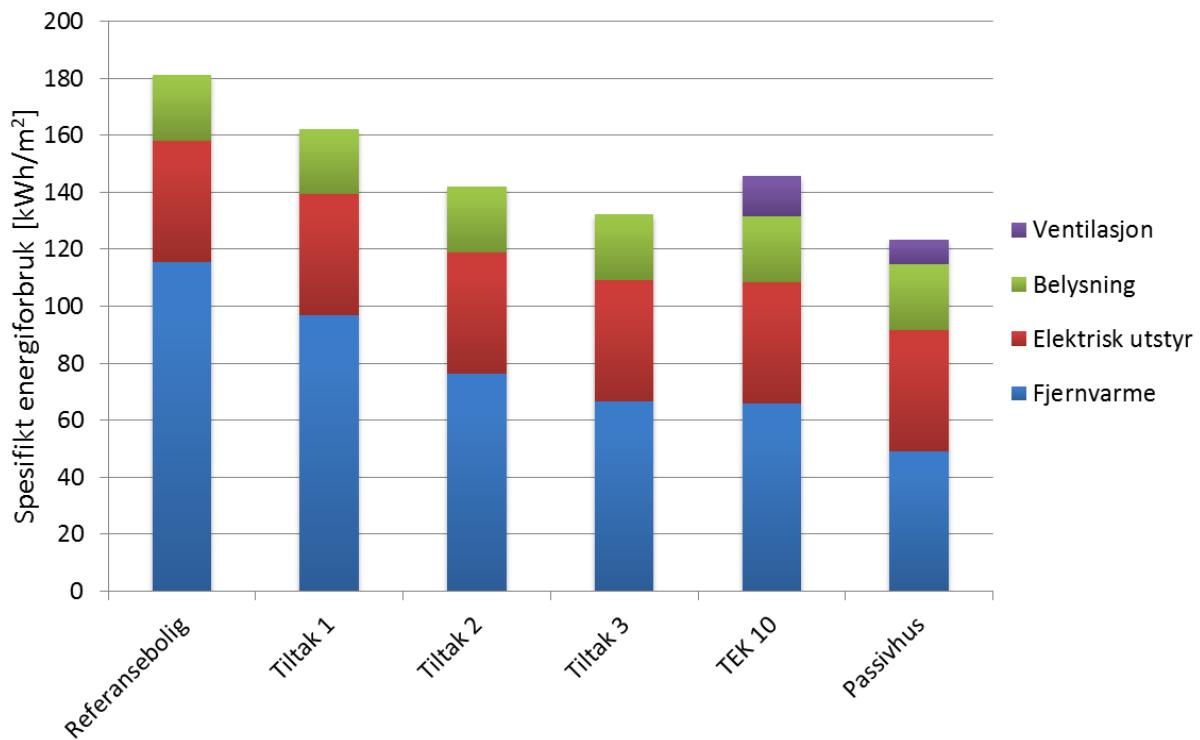


Figur 28 Effekt levert til tappevannsforbruk som funksjon av varmtvannstemperaturen

Ved å redusere temperaturen på tappevannet fra 70 °C til 50 °C, som er valgt som en nedre verdi for å sikre en temperatur på minimum 47 °C på alle tappepunkt, reduseres effekt levert til tappevannsforbruk med 30,8 %. Dette utgjør på årsbasis et redusert energiforbruk til tappevann på omtrent 12 kWh/m². En slik overgang er avhengig av at sikre og effektive løsninger som hindrer vekst av legionella i tappevannet implementeres, utvalgte metoder som er testet og brukt i LTFV-systemer er lagt frem og utdypet i avsnitt 3.4.

Formålsdelt spesifikt energiforbruk for referanseboligen er lagt frem i Figur 29, og er sammenlignet med spesifikt energiforbruk etter implementering av energieffektiviseringstiltak på boligen. Verdiene er gitt for en turtemperatur inn på varmesystemet på 80 °C på de kaldeste dagene, med temperaturkompensering som illustrert i Figur 26. For *TEK 10* og *Passivhus* er derimot den høyeste temperaturen i varmesystemet 60 °C ettersom disse scenariene representerer rekkehuset bygd med henholdsvis TEK 10- og Passivhusstandard. Varmesystemet er følgelig tilpasset det lave varmebehovet i disse byggene, og driftes med reduserte temperaturer.

Det varme tappevannet holder i en konstant temperatur på 70 °C gjennom hele året i alle scenariene lagt frem i Figur 29.



Figur 29 Formålsdelt spesifikt energiforbruk etter simulerte tiltak på referansemodellen

Referanseboligen har et totalt energiforbruk på $181,3 \text{ kWh/m}^2$, og ligger dermed noe over det statistiske gjennomsnittlige forbruket for rekkehus lagt frem i Figur 23. Forbruket er allikevel ansett som realistisk ettersom referanseboligen er et eldre hus noe som gjør at boligen får et høyere varmebehov. Boligen er i tillegg et ende-rekkehus, varmebehovet vil dermed også være noe høyere enn det for et gjennomsnittlig rekkehus ettersom andelen yttervegger per oppvarmet BRA er høyere. Dette er sett igjen og bekreftet fra det målte energiforbruket til syv husholdninger i rekkehus i Miljøbyen Granåsen lagt frem i Tabell 5.

Den andelen av energiforbruket som er markert som fjernvarme utgjør energiforbruk til både romoppvarming og til varmt tappe vann. Ettersom tappevannsforbruket er uendret gjennom de ulike scenariene, er det reduserte fjernvarmeforbruket et resultat av et redusert varmebehov i boligen. Det er kun varmeforbruket som påvirkes av de implementerte effektiviseringstiltakene. Dette er tilfellet ettersom tiltakene kun påvirker bygningens varmetap og ikke beboernes forbruksvaner. Det er tydelig ut fra figuren at de ulike effektiviseringstiltakene resulterer i store energibesparelser. Konkrete verdier på formålsdelt energiforbruk i boligen og resulterende besparelser etter implementerte tiltak er lagt frem i Tabell 17.

Tabell 17 Formålsfordelt spesifikt energiforbruk etter simulerte tiltak på referansemodellen

	Referansebolig	Tiltak 1	Tiltak 2	Tiltak 3	TEK 10	Passivhus
Drift av ventilasjonsanlegg [kWh/m²]					14,4	8,6
Belysning [kWh/m²]	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1	23,1
Elektrisk utstyr [kWh/m²]	42,6	42,6	42,6	42,6	42,6	42,6
Fjernvarme [kWh/m²]	115,6	96,7	76,2	66,5	65,8	49,0
Totalt spesifikt energiforbruk [kWh/m²]	181,3	162,4	141,9	132,2	145,9	123,3
Redusert fjernvarmeforbruk [kWh/m²]		18,9	39,4	49,1	49,8	66,6
Prosentvis besparelse i fjernvarmeforbruk [%]		16,3	34,1	42,5	43,1	57,6

Tabellen over legger frem verdiene for energiforbruk fordelt etter formål og etter utført tiltak på boligen. Til sammenligning er spesifikt forbruk for boligen bygd med TEK 10- og passivhusstandard lagt ved. Den nederste raden viser prosentvise besparelser i fjernvarmeforbruk ved gjennomføring av de ulike tiltakene. Ved å utføre en kraftig renovasjon av boligen, som Tiltak 3 gjenspeiler, reduseres fjernvarmeforbruket med 42,5 %. En lett renovasjon av boligen, her lagt frem som Tiltak 1, gir en reduksjon i varmeforbruket på 16,3 % og en middels renovasjon, som i Tiltak 2, gir besparelser på 34,1 %. Ved å implementere Tiltak 3, etterisolering av vegger og tak i tillegg til oppgradering av alle vinduene i boligen, oppnår referanseboligen omtrent lik standard som boligen bygd med TEK 10. Boligen i *TEK 10* har allikevel et totalt netto energibehov over det i Tiltak 3 ettersom det ikke er tatt i bruk ventilasjonsanlegg i den sistnevnte scenariet. CO₂ nivået i boligen, og «alderen» på luften er omtrent lik i Tiltak 3 som i referanseboligen, og det er dermed antatt at ventilasjonsanlegg ikke er nødvendig i dette tilfellet.

Energiforbruk for boligen bygd med TEK 10-standard og med passivhusstandard oppnår et totalt fjernvarmeforbruk som ligger henholdsvis 43,1 % og 57,6 % under nivået til referanseboligen. Det totale energiforbruket for scenariene *TEK 10* og *Passivhus* er noe høye sammenlignet med de kravene som er definert for boliger i TEK 10 og i Passivhusstandarden. I TEK 10 er det definert energirammer for totalt netto energibehov, mens det i Passivhusstandarden kun er satt et krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming. Rammeverdiene er gjengitt i Tabell 18 med tilhørende forutsetninger.

Tabell 18 Energirammer fra TEK 10 og Passivhusstandarden gjeldende for rekkehuset

	Energiramme	Forutsetninger
TEK 10 Totalt netto energibehov [kWh/m ²]	$120 + \frac{1600}{m^2 \text{ oppvarmed BRA}}$	Småhus, samt fritidsboliger over 150 m ² oppvarmet BRA
Passivhusstandarden Netto energibehov til oppvarming [kWh/m ²]	$15 + 5,4 \cdot \frac{(250 - A_{fl})}{100}$	A_{fl} (oppvarmet del av BRA) ≤ 250 m ² Årsmiddeltemperatur, $\theta_{yl} \geq 6,3$ °C $\Theta_{yr} = 6,7$ °C i IDA ICE sin klimafil for Fornebu, Oslo

De endelige energiramme for rekkehuset i *TEK 10* og *Passivhus* blir dermed henholdsvis 133 kWh/m² (totalt netto energibehov) og 21,9 kWh/m² (totalt netto energibehov til oppvarming). Som sett fra Tabell 17 blir ikke kravene i *TEK 10* overholdt, da det totale energibehovet til boligen er 145,9 kWh/m². Dette kan skyldes at det i alle tiltakene er installert effekt til elektrisk utstyr og belysning basert på et realistisk forbruksnivå og ikke etter den standardiserte inndataen fra NS 3031. Dersom energiforbruk til belysning og elektrisk utstyr hadde vært som standardverdiene i NS 3031, på henholdsvis 11,4 kWh/m² og 17,5 kWh/m², hadde det totale energiforbruket i *TEK 10* blitt redusert med 36,8 kWh/m². Det totale energiforbruket i boligen ville følgelig falt godt under energiramme fra *TEK 10*. Etersom boligen er konstruert etter de tekniske spesifikasjonene definert i den byggtekniske forskriften er det antatt oppvarmingsbehovet er realistisk for en bolig av *TEK 10*-standard.

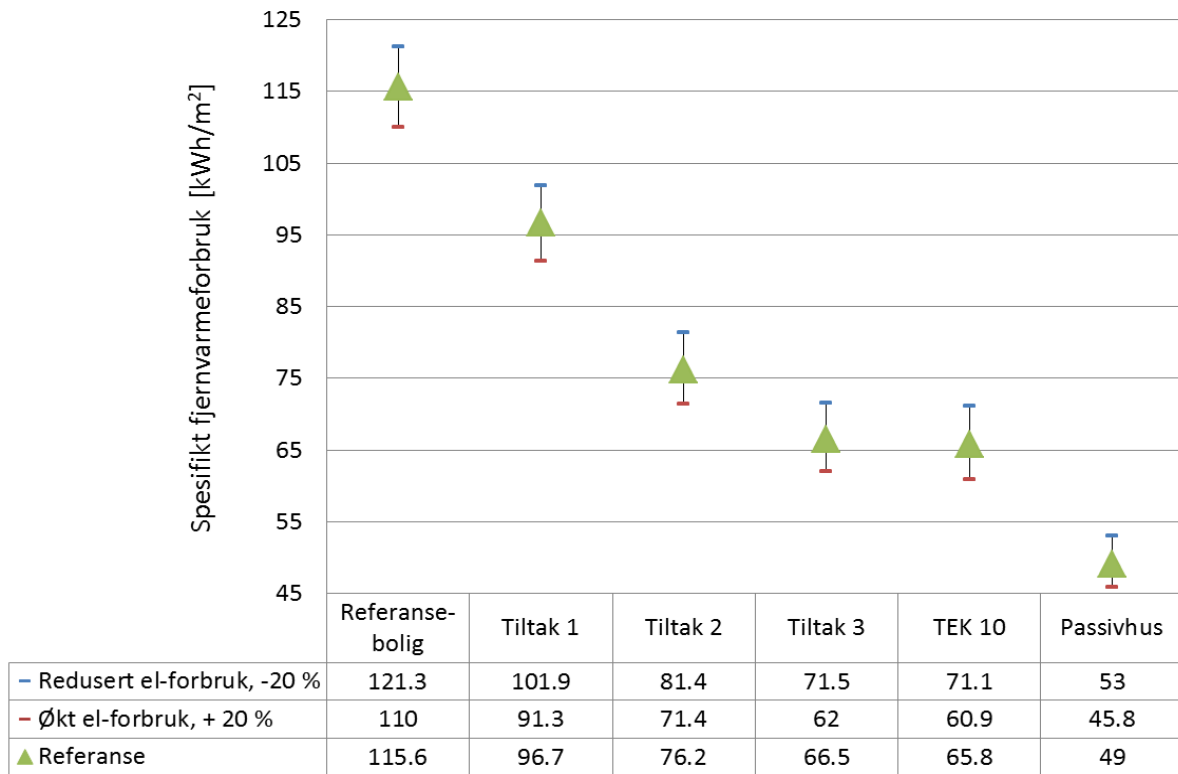
I *Passivhus* er mengden fjernvarme levert til boligen 49,0 kWh/m². Av dette går 10,2 kWh/m² til oppvarming av boligen, mens det resterende går til oppvarming av varmt tappevann. Varme levert fra varmebatteriet i ventilasjonsanlegget er kun 1,19 kWh/m² per år, noe som gjør at det totale energibehovet til oppvarming ligger godt under energiramme på 21,9 kWh/m² per år. Det er også sett at det totale energiforbruket i *Passivhus* på 123,3 kWh/m² ligger noe under det gjennomsnittlige energiforbruket i de syv rekkehus-boligene i Miljøbyen Granåsen på 133,7 kWh/m². Dette avviket gjenspeiler et noe lavere forbruk av fjernvarme i scenariet *Passivhus*, med et forbruk på 49 kWh/m² mens gjennomsnittet i Granåsen ligger på 61 kWh/m². Dersom man tar utgangspunkt i denne noe snevre statistikken fra Granåsen er det el-spesifikke forbruket i det konstruerte rekkehuset realistisk, mens varmeforbruket muligens er noe lavt. Dette kan skyldes at beboere i passivhus, og også generelt, ønsker å ha det noe varmere i sin bolig enn den definerte settpunkttemperaturen på 21 °C fra NS 3031, for å øke den generelle komforten i hjemmene.

7.1.1 FØLSOMHETSANALYSE

Varmebehovet i et bygg vil være noe avhengig av interne varmetilskudd. I referanse-rekkehuset i denne oppgaven er det installert 10,1 W/m² med elektrisk utstyr, der det er antatt at ca. 60 % av energiforbruket gir et nyttig bidrag til romoppvarmingen. Det er i tillegg installert omtrent 4,6 W/m² belysning som også bidrar til romoppvarmingen.

Elektrisitetsforbruket vil i realiteten variere mye fra bolig til bolig ettersom dette er svært

avhengig av hva slags utstyr beboerne har valgt å bruke i sin bolig og hva slags forbruk beboerne har. En følsomhetsanalyse er dermed utført for å studere hvordan en endring i elektrisitetsforbruket vil påvirke varmekonsumet, og igjen det totale energiforbruket i boligen. Det utføres dermed en dynamisk simulering for referanseboligen, og for boligen med de fem ulike tiltakene implementert, ved en endring i elektrisitetsforbruket på 20 %. Resultatet er lagt frem i Figur 30.



Figur 30 Årsforbruk av fjernvarme med markering for en endring i elektrisitetsforbruket på 20 %

Figur 30 viser årsforbruket av fjernvarme i rekkehuset med en markering for endringer ved en eventuell reduksjon eller økning i elektrisitetsforbruket på 20 %. Ved et økt elektrisitetsforbruk vil de interne varmelastene i boligen øke, noe som igjen reduserer oppvarmingsbehovet i boligen. Endringen i varmebehov varierer i omfang, i dette tilfellet fra 5,7 kWh/m² i referanseboligen til 4,0 kWh/m² i *Passivhus*. Variasjonen er grunnet et generelt lavere oppvarmingsbehov i det sistnevnte tilfelle sammenlignet med referanseboligen, mens prosentvis endring er derimot større i dette tilfellet. Et økt elektrisitetsforbruk kan dermed påvirke varmebehovet med opptil 5,7 kWh/m² i dette tilfellet, noe som kan få konsekvenser for dekningsgraden til varmesystemet og muligheten til å redusere driftstemperaturene.

Endring i det totale energiforbruket i boligen ved en endring i elektrisitetsforbruket på 20 % er lagt frem i Tabell 19.

Tabell 19 Endringer i totalt energiforbruk ved en endring i elektrisitetsforbruket på 20 %, verdiene er oppgitt i kWh/m²

	Referanse-bolig	Tiltak 1	Tiltak 2	Tiltak 3	Tiltak 4	Tiltak 5
Økt el-forbruk, + 20 %	189,9	171,2	151,2	141,8	154,2	134,2
Redusert el-forbruk, -20 %	174,9	155,9	139,9	125	138,1	115,0
Referanse	182,2	163,3	142,8	133,1	148,2	123,3

Resultatene i Tabell 19 viser at det totale energiforbruket øker ved et høyere elektrisitetsforbruk, noe som vil si at varmebesparelsene ikke veier opp for det økte forbruket. Det samme gjelder ved et redusert elektrisitetsforbruk. Endringen i elektrisitetsforbruket vil alltid overvinne den endringen i varmebehov som oppstår som kompensering for økt/reduisert interne varmelaster, ettersom det kun er omtrent 60 % av den installerte effekten som blir avgitt til nyttbar varmeenergi i boligen.

Ettersom de resterende beregningene kun er basert på et at boligen har installert effekt til elektrisk utstyr og belysning som beskrevet i avsnitt 6.4.2.5 må det tas høyde for en usikkerhet i varmebehovet på minimum 5-10 % ettersom elektrisitetsforbruket i en bolig vil variere i realiteten. Resultatene som følger i dette kapittelet må dermed vurderes på bakgrunn av denne usikkerheten.

7.2 YTELSE UTEN OVERDIMENSJONERT VARMESYSTEM

Varmesystemets evne til å dekke boligens varmebehov blir vurdert på bakgrunn av om settpunkttemperaturene på 21 °C i driftstiden og 19 °C utenfor driftstiden blir overholdt, og eventuelt hvor mange timer i løpet av ett år de ikke blir overholdt. Varmesystemet blir vurdert for varierende turtemperaturer inn på radiatorene, og etter implementering av tre ulike energieffektiviseringstiltak i tillegg til to scenarier som representerer boligen bygd etter TEK 10-standard og passivsstandard. Tabell 20 viser antall timer i løpet av et år uten tilfredsstillende temperatur i den «verste» sonen i boligen, altså det rommet med flest antall timer som ønsket lufttemperatur ikke blir opprettholdt.

Tabell 20 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q

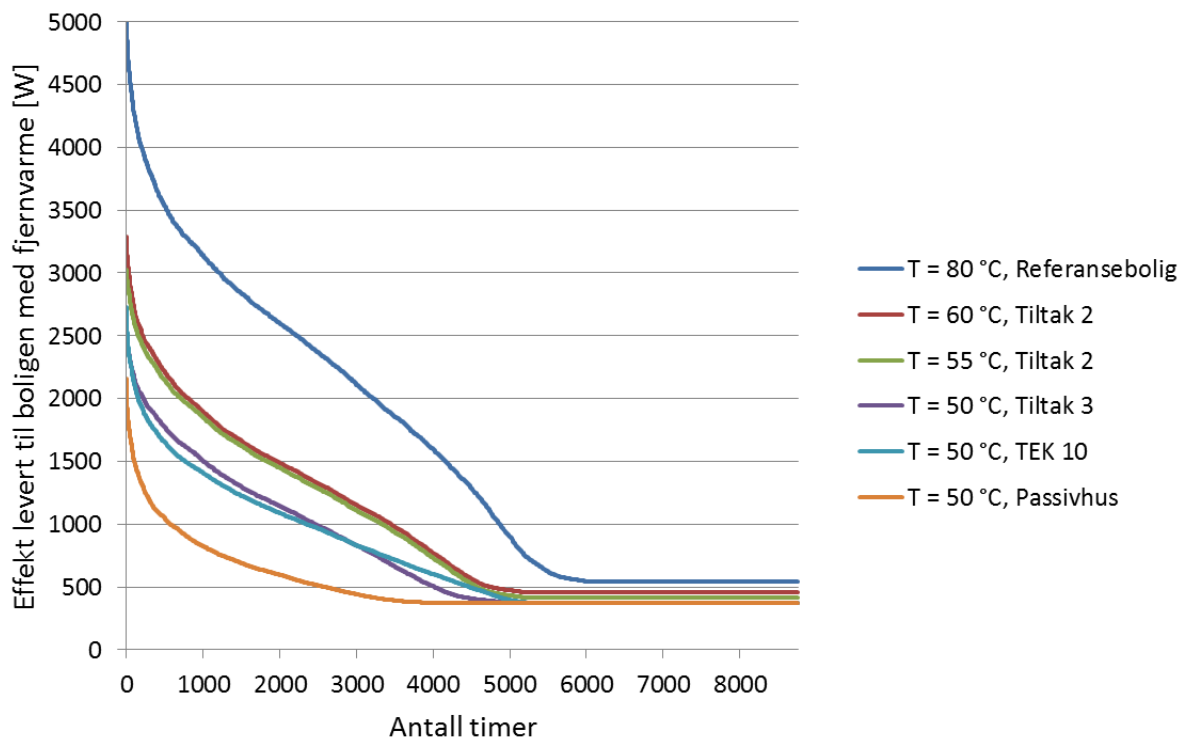
	Turtemperatur inn på varmesystemet			
	80 °C	60 °C	55 °C	50 °C
Referansebolig	0	329	767	1750
Tiltak 1	0	122	368	921
Tiltak 2	0	0	12	109
Tiltak 3	0	0	0	8
TEK 10	-	0	0	5
Passivhus	-	0	0	0

De grønne rutene i tabellen illustrerer de tilfellene der et tilfredsstillende inneklime blir opprettholdt gjennom hele året, mens oransje ruter indikerer at varmesystemet ikke klarer å levere nok varme til boligen under de gitte driftsforholdene. Det er vurdert at dersom timene der varmebehovet ikke blir dekket oppstår om natten, når beboerne normalt skal sove, eller over en kort tidsperiode, og dersom temperaturen ikke synker til et urimelig nivå, godtas det noen timer med temperaturer under settpunkt. I slike tilfeller markeres rutene i tabellen grønne og temperaturforløpet i den kritiske perioden for hvert av tilfellene er lagt ved under avsnitt D i Vedlegg.

Som det kommer frem av tabellen vil det være nødvendig å utføre effektiviseringstiltak på referanseboligen dersom driftstemperaturen i varmesystemet skal reduseres, og dersom varmesystemet er dimensjonert direkte etter det faktiske varmebehovet i boligen. Ved overgang til LTFV vil det være realistisk å forvente en turtemperatur i fjernvarmenettet på 55 °C, noe som vil gi en maksimal turtemperatur inn på varmesystemet hos forbruker på omtrent 50 °C. I dette tilfellet vil det da være nødvendig å implementere Tiltak 3 på boligen, noe som innebærer oppgradering av alle vinduene i boligen i tillegg til etterisolering av vegger og tak, for å klare å dekke varmebehovet med det eksisterende varmesystemet. Dersom temperaturen i fjernvarmenettet ikke reduseres så drastisk med det første, og en maksimal turtemperatur på 55 °C gjennom varmesystemet kan opprettholdes, kan boligen varmes opp til 21 °C i driftstiden og 19 °C utenfor driftstiden kun ved å implementere Tiltak 2 på boligen, oppgradere alle vinduene og etterisolere veggene.

Både *TEK 10* og *Passivhus*, der boligen har et varmesystem som er dimensjonert for en tur- og returtemperatur på henholdsvis 60 °C og 40 °C, vil det ikke være noe problem å redusere turtemperaturen i systemet til 50 °C, selv uten overdimensjonering av varmesystemet. Årsaken til dette er at radiatorene opprinnelig er dimensjonert for relativt lave temperaturer noe som fører til at varmeoverføringsflatene er noe større. Radiatorenhetene vil dermed klare å avgi mer effekt ved lavere driftstemperaturer sammenlignet med varmesystemer dimensjonert for høyere temperaturer. Boligene har i tillegg et relativt lavt effektbehov til oppvarming noe som gjør at det ikke kreves like mye av varmesystemet for å dekke varmebehovet.

Ved å redusere temperaturen i varmesystemet samtidig som energieffektiviseringstiltak implementeres på boligen, vil effekttoppen i løpet av et år reduseres kraftig. Figur 31 illustrerer varighetskurven for levert fjernvarme til boligen for de fire definerte temperaturnivåene, og med det tilhørende renoveringstiltaket nødvendig for å oppnå tilfredsstillende inneklime. Varighetskurven for *TEK 10* og *Passivhus* er lagt ved til sammenligning.



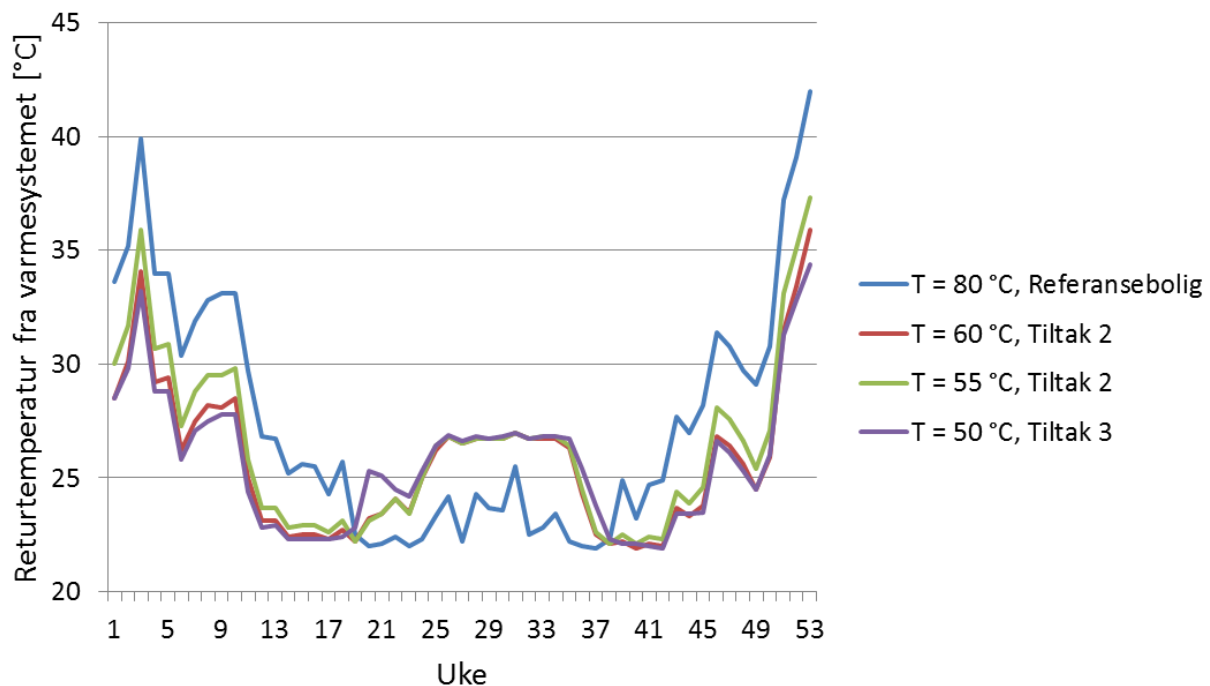
Figur 31 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q

Fra utgangspunktet med en turtemperatur på 80 °C i referanseboligen til en turtemperatur på 60 °C og implementering av Tiltak 2 reduseres effekttoppen med 35,5 %. Effekttoppen reduseres først og fremst grunnet et lavere effektbehov ettersom det er implementert energieffektiviseringstiltak på boligen. Dersom temperaturen reduseres videre til 55 °C reduseres derimot effekttoppen med ytterligere 5,2 prosentpoeng til en total reduksjon på 40,7 %. Dette tydeliggjør det faktum at effekttoppen også reduseres noe som følge av reduserte driftstemperaturer i varmesystemet. Det kan forklares ved at lavere driftstemperaturer gjør det umulig å avgi samme mengde effekt fra varmesystemet som ved bruk av et høyere temperaturnivå, selv om det noen timer i løpet av året det kunne vært nødvendig for å opprettholde det ønskede temperaturnivået i boligen. I tillegg reduseres levert effekt grunnet lavere settpunkttemperatur for tappevannsproduksjon. Dersom Tiltak 3 implementeres i boligen samtidig som turtemperaturen på varmesystemet reduseres til 50 °C, reduseres den maksimale effektbelastningen i boligen med 50,4 %. Fjernvarmenettet vil dra nytte av reduserte effekttopper hos kundene sine ettersom dette fører til redusert belastning på nettet, selv på de mest kritiske dagene, noe som vil gi mulighet for tilknytting til flere kunder eller bruk av mindre dimensjoner ved legging av nye rør.

Returtemperaturen ut fra varmeenhetene er også essensielle for en effektiv drift av et lavtemperatur fjernvarmesystem. En lav returtemperatur vil redusere den sammenlagte returtemperaturen i fjernvarmenettet og er som tidligere nevnt ønsket ettersom dette reduserer varmetapene i nettet, i tillegg til at det kan øke virkningsgraden i produksjonsentralen avhengig av produksjonsmåte.

Returtemperaturen ut av varmeenhetene varierer avhengig av turtemperatur inn på systemet, størrelsen på varmeoverføringsflatene og varmebehovet i boligen. Høyere turtemperatur gir

mulighet for å redusere massestrømmen gjennom enhetene ettersom effektavgivelsen er høy, noe som fører til reduserte returtemperaturer. Større overføringsflater vil i tillegg redusere returtemperaturen ettersom enhetene har mulighet til å avgi mer varme. En siste parameter som påvirker returtemperaturen er som nevnt varmebehovet. Ved et redusert varmebehov i boligen vil effektmengden levert fra varmesystemet kunne justeres ned, gjerne ved at massestrømmen reduseres og dermed også returtemperaturen fra enhetene. Alt dette påvirker det aktuelle temperaturnivået ut fra varmesystemet i hvert scenario. I Figur 32 er gjennomsnittlig returtemperatur fra varmesystemet for hver uke gjennom hele året lagt frem for de fire temperaturnivåene, med tilhørende renoveringstiltak nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende inneklima.



Figur 32 Returtemperatur fra varmesystemet, Q

Som figuren illustrerer ligger returtemperaturen fra varmesystemet i referanseboligen noe over de resterende scenariene grunnet et høyere varmebehov. Returtemperaturen for de tre scenariene med lavest driftstemperaturer er noe høyere om sommeren. I denne sammenheng illustrerer dette kun et varmesystem som ikke er i drift. Vanntemperaturen i varmesystemet er dermed kun avhengig av omgivelsestemperaturen for systemet. Referanseboligen har derimot et noe høyere varmebehov og IDA ICE velger dermed å kjøre varmesystemet i noen kaldere perioder om sommeren. Ettersom det er et svært lavt effektbehov i boligen om sommeren vil massestrømmen i systemet justeres ned, og returtemperaturen blir følgelig relativt lavt. I dette tilfellet mellom 22 °C og 25 °C. I realiteten vil det sannsynligvis ikke være behov for å tilføre varme fra varmesystemet i denne perioden ettersom det er sommer og effektbehovet er så lavt. Det kan dermed antas at varmesystemet er avslått i denne perioden for alle scenariene.

7.3 YTELSE MED 30 % OVERDIMENSJONERT VARMESYSTEM

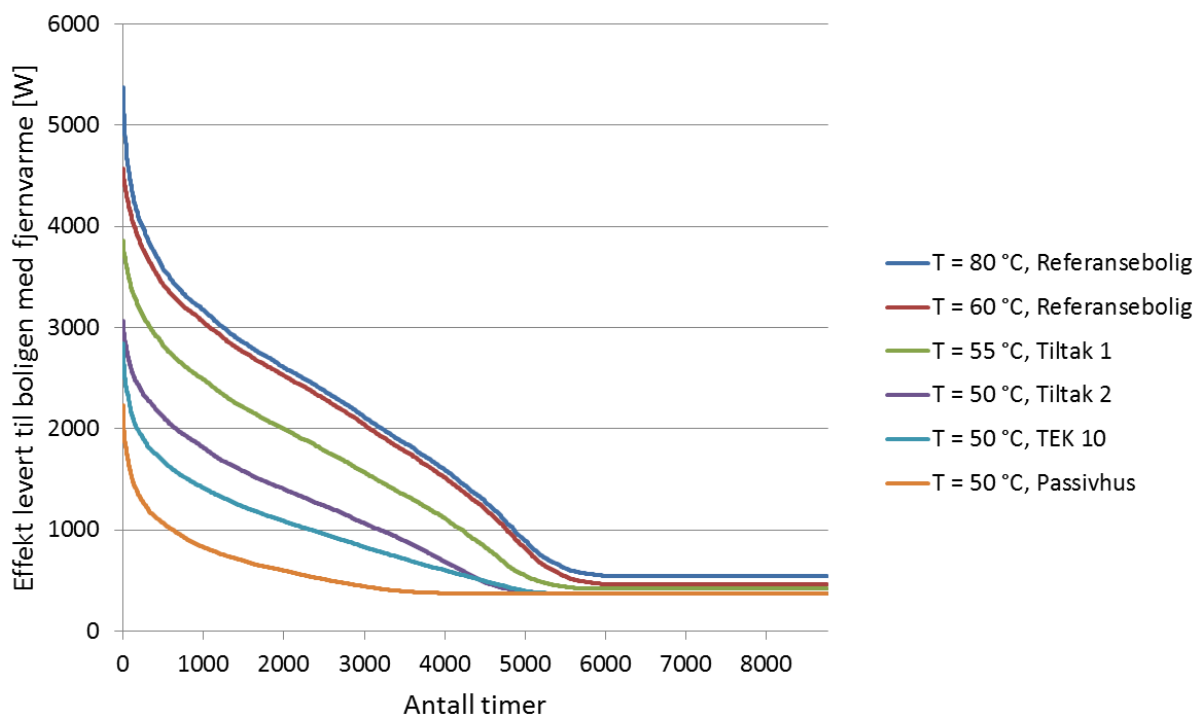
Ved å overdimensjonere varmesystemet vil varmeoverføringsflatene på radiatorene øke mer enn det som i utgangspunktet er nødvendig, noe som igjen fører til høyere initialinvesteringer. Noe overdimensjonert varmesystem vil derimot være en fordel dersom temperatuene i fjernvarmenettet reduseres, ettersom større varmeoverføringsflater vil gi bedre varmeavgivelse ved lavere temperaturer. Tabell 21 viser hvilke scenarier som gjør det mulig å opprettholde et godt inneklima i referanseboligen ved reduserte driftstemperaturer, markert med grønt, dersom varmesystemet er overdimensjonert med 30 %.

Tabell 21 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q₃₀

	Turtemperatur inn på varmesystemet			
	80 °C	60 °C	55 °C	50 °C
Referansebolig	0	16	181	513
Tiltak 1	0	0	33	250
Tiltak 2	0	0	0	4
Tiltak 3	0	0	0	0
TEK 10	-	0	0	0
Passivhus	-	0	0	0

Som tabellen over viser vil et overdimensjonert varmesystem gi bedre mulighet for å redusere driftstemperaturene uten at det går utover det termiske inneklimaet. En overgang til LTFV vil følgelig ikke kreve like omfangsrike effektiviseringstiltak på boligen sammenlignet med tilfellet uten overdimensjonert varmesystem. Temperaturen kan uten problemer senkes til 60 °C i referanseboligen ettersom timene uten oppnådd settpunkttemperatur kun oppstår i korte perioder om natten eller tidlig morgen. Figur D. 3 i Vedlegg viser temperaturforløpet på verste dag for dette scenariet. Ved ytterligere temperaturreduksjon vil det derimot være nødvendig å redusere varmebehovet i boligen ved å implementere energieffektiviseringstiltak. For at boligen skal oppnå et tilfredsstillende inneklima ved en temperatur inn på varmesystemet på 55 °C er det nødvendig med en oppgradering av alle vinduene med tekniske spesifikasjoner som oppgitt for Tiltak 1. Dersom temperaturen senkes ytterligere til 50 °C må også veggene etterisoleres, som beskrevet i Tiltak 2, for å få et lavt nok varmebehov som varmesystemet kan klare å dekke.

Figur 33 viser varighetskurven for levert fjernvarme for de fire definerte temperaturnivåene, og med det tilhørende renoveringstiltaket nødvendig for å oppnå tilfredsstillende inneklima. Varighetskurvene for scenariene *TEK 10* og *Passivhus* er lagt ved til sammenligning, begge gjeldende for boligene med varmesystem som er overdimensjonert med 30 %.

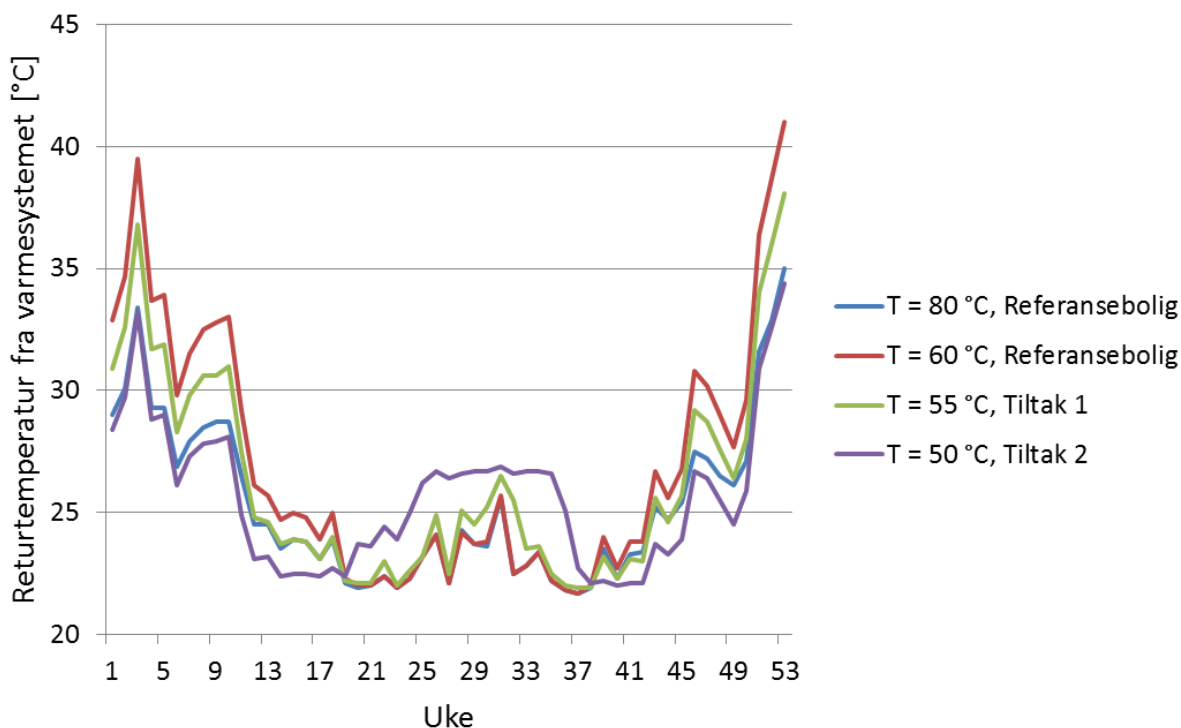


Figur 33 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q_{30}

Det er sett fra figuren at kun ved å redusere temperaturen i varmesystemet senkes effekttoppen noe. Fra utgangspunktet med en turtemperatur på 80 °C i referanseboligen til en turtemperatur på 60 °C reduseres den med 15 %. Dette kan blant annet forklares med at varmesystemet ikke klarer å avlevere like mye effekt til oppholdssonen ved reduserte temperaturer og vil dermed ikke klare og fullstendig dekke varmebehovet på de aller kaldeste dagene. Dette gjenspeiles med de 16 timene temperaturen i boligen ikke er tilfredsstillende, se Tabell 21. Den resterende effektreduksjonen skyldes redusert settpunkttemperatur for tappevannet. Den totale årlige energibesparelsen grunnet temperaturreduksjon i varmesystemet fra 80 °C til 60 °C, og i varmtvannstanken fra 70 °C til 60 °C, er 6,8 kWh/m².

Dersom temperaturen reduseres videre til 55 °C samtidig som Tiltak 1 implementeres, eller til 50 °C samtidig som Tiltak 2 implementeres vil effekttoppen reduseres med henholdsvis 28,2 % og 43 %. I tillegg til at effekttoppene reduseres vil også det totale energiforbruket i boligen reduseres kraftig på grunn av de ulike effektiviseringstiltakene, de totale energibesparelsene er lagt frem i Tabell 17.

I Figur 34 er gjennomsnittlig returtemperatur fra varmesystemet, for hver uke gjennom hele året, lagt frem for de fire temperaturnivåene med tilhørende renoveringstiltak nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende inn klima.



Figur 34 Returtemperatur fra varmesystemet, Q_{30}

Høyest returtemperatur i dette tilfellet oppstår i referanseboligen dersom turtemperaturen inn på varmesystemet er 60 °C. Dette er forårsaket av at varmesystemet må klare å avgi mer effekt ved lavere temperaturer, sammenlignet med referanseboligen med turtemperatur på 80 °C, noe som fører til at massestrømmen gjennom systemet øker og dermed også returtemperaturen. Lavest returtemperatur oppnås i scenariet med en turtemperatur på 50 °C og Tiltak 2 implementert på boligen ettersom varmebehovet i dette tilfellet er relativt mye lavere sammenlignet med de andre scenariene som er representert i figuren.

7.4 YTELSE MED 50 % OVERDIMENSJONERT VARMESYSTEM

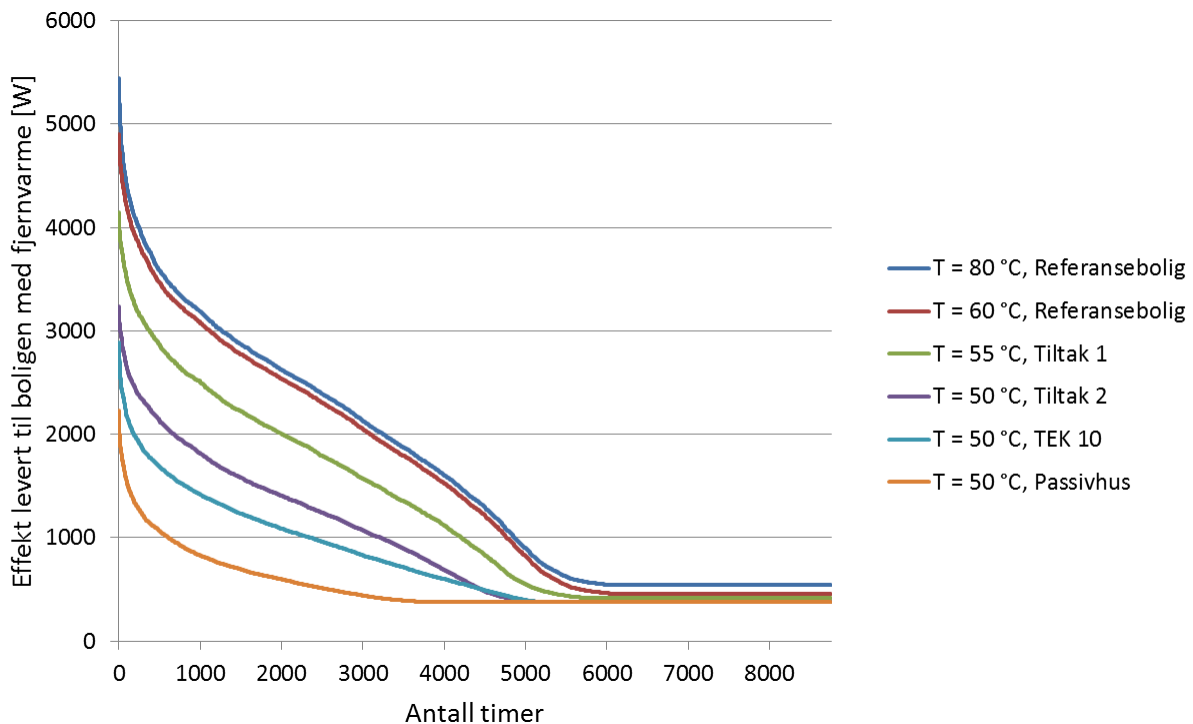
Tabell 22 viser hvilke scenarier som gjør det mulig å opprettholde et tilfredsstillende termisk inn klima i boligen ved reduserte driftstemperaturer, og ved bruk av et varmesystem som er 50 % overdimensjonert.

Tabell 22 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q_{50}

	Turtemperatur inn på varmesystemet			
	80 °C	60 °C	55 °C	50 °C
Referansebolig	0	0	88	358
Tiltak 1	0	0	7	153
Tiltak 2	0	0	0	0
Tiltak 3	0	0	0	0
TEK 10	-	0	0	0
Passivhus	-	0	0	0

Selv om varmesystemet i dette tilfellet er overdimensjonert med 50 % må de samme energieffektiviseringstiltakene implementeres i boligen dersom temperaturen skal reduseres til henholdsvis 55 °C og 50 °C som ved tilfellet med 30 % overdimensjonert varmesystem. Ved større overdimensjonering er det allikevel færre timer i løpet av året der settpunkttemperaturen i rommet ikke oppnås. Dette bekrefter at varmesystemet har bedre evne til å dekke varmebehovet grunnet større varmeoverføringsflater. Selv om varmesystemet i dette tilfellet er relativt kraftig overdimensjonert vil det være nødvendig å oppgradere alle vinduene i boligen og etterisolere ytterveggene, som beskrevet i Tiltak 2, før LTFV vellykket kan implementeres i boligen.

Figur 35 viser varighetskurven for levert fjernvarme til boligen for de fire definerte temperaturnivåene, og med det tilhørende renoveringstiltaket nødvendig for å oppnå tilfredsstillende inneklima. Varighetskurven for scenariene *TEK 10* og *Passivhus* er lagt ved til sammenligning, også disse med et varmesystem som er overdimensjonert med 50 %.

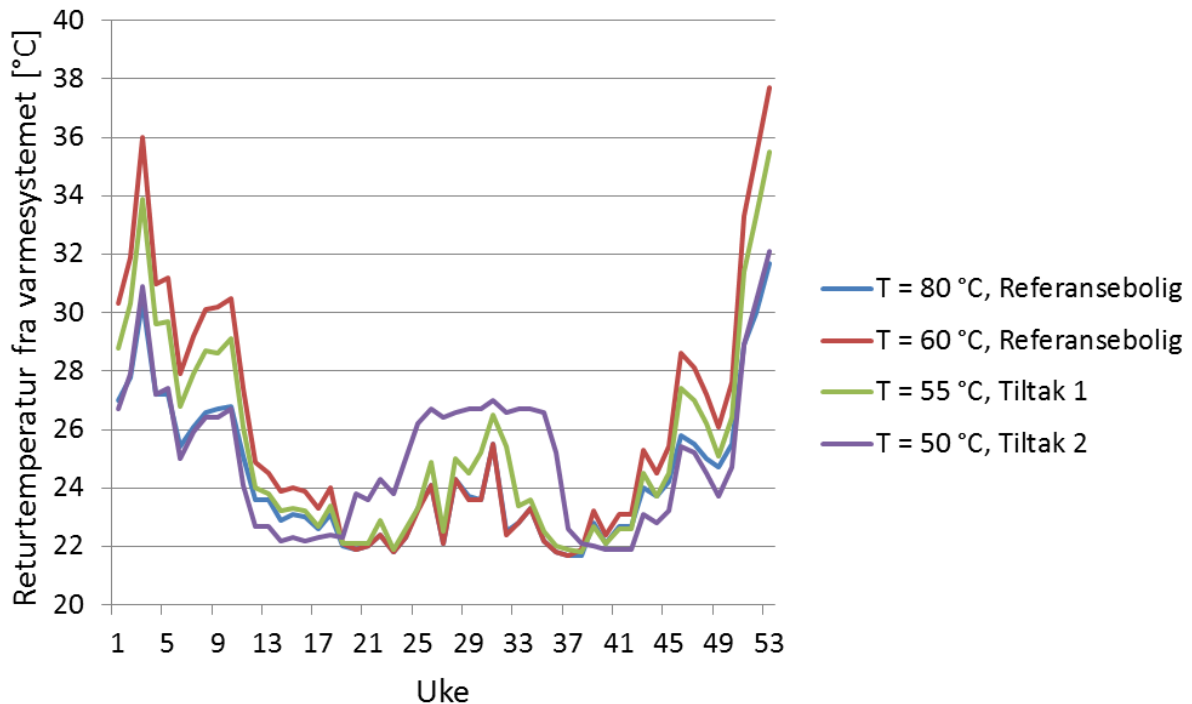


Figur 35 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q_{50}

To av varighetskurvene gjengitt i Figur 35 følger hverandre tett ettersom de begge illustrerer situasjonen i referanseboligen uten noen effektiviseringstiltak implementert, kun med varierende temperatur i varmesystemet. Ved å redusere temperaturen fra 80 °C til 60 °C vil effekttoppen for referanseboligen reduseres med 10 %, i tillegg til at effektforbruket blir noe lavere gjennom hele året grunnet lavere settpunkttemperatur på det varme tappevannet. For det totale energiforbruket i boligen betyr dette en reduksjon på henholdsvis 6,6 kWh/m² i året. Effektreduksjonen og energibesparelsen er noe lavere i dette tilfellet sammenlignet med tilfellet der varmesystemet er overdimensjonert med 30 %. Dette skyldes at det ved ytterligere overdimensjonering er færre timer i løpet av året der settpunkttemperaturen ikke blir oppnådd,

4 timer ved Q_{50} sammenlignet med 16 timer ved Q_{30} , noe som betyr at varmesystemet klarer å yte noe mer enn det gjorde ved 30 % overdimensjonering.

I Figur 36 er gjennomsnittlig returtemperatur fra varmesystemet, for hver uke gjennom hele året, lagt frem for de fire temperaturnivåene med tilhørende renoveringstiltak nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende inneklimate.



Figur 36 Returtemperatur fra varmesystemet, Q_{50}

Forholdet mellom de ulike scenariene lagt frem i Figur 36 er likt som i tilfellet for et varmesystem som er 30 % overdimensjonert lagt frem i Figur 34. Dette er tilfellet ettersom hvert av temperaturnivåene representerer boligen for de samme tilstandsscenarioene. Varmesystemet er i dette tilfellet derimot overdimensjonert i større grad, noe som fører til at alle returtemperaturene ligger noe lavere grunnet større varmeoverføringsflater som gir mulighet til å avgir mer varme fra enhetene. Et varmesystem som er overdimensjonert i større grad vil dermed føre til lavere returtemperaturer, noe som kan påvirke den totale returtemperaturen i fjernvarmenettet.

7.5 YTELSE MED 100 % OVERDIMENSJONERT VARMESYSTEM

Tabell 23 viser hvilke scenarier som gjør det mulig å opprettholde et tilfredsstillende termisk inneklimate i boligen ved reduserte driftstemperaturer, og ved bruk av et varmesystem som er 100 % overdimensjonert. Å overdimensjonere varmesystemet med 100 % er muligens ikke helt realistisk i norske boliger i dag, men resultatene er inkludert i denne oppgaven for å illustrere hvordan større overføringsflater på radiatorenheter påvirker muligheten for overgang til LTFV. I tillegg er det ønsket å sammenligne energibesparelsene og

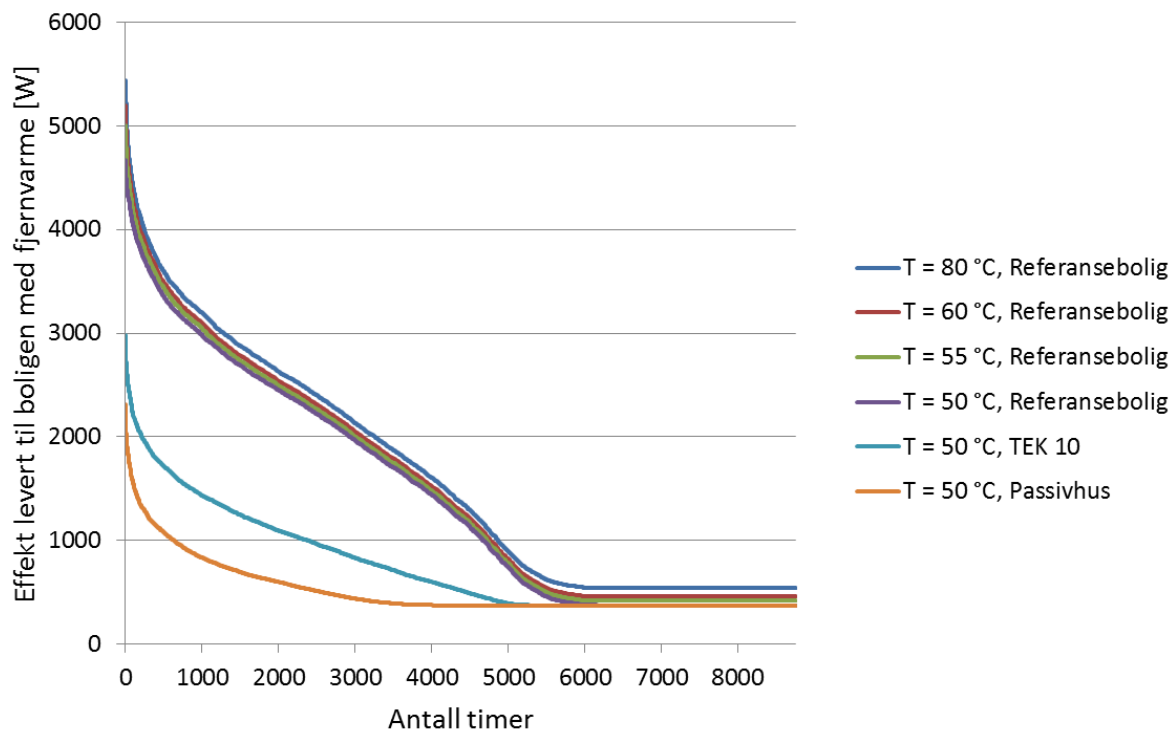
effektreduksjonene mellom de ulike temperaturnivåene i fjernvarmenettet direkte uten at noen effektiviseringstiltak implementeres på boligen.

Tabell 23 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i "verste" sone i referanseboligen, Q_{100}

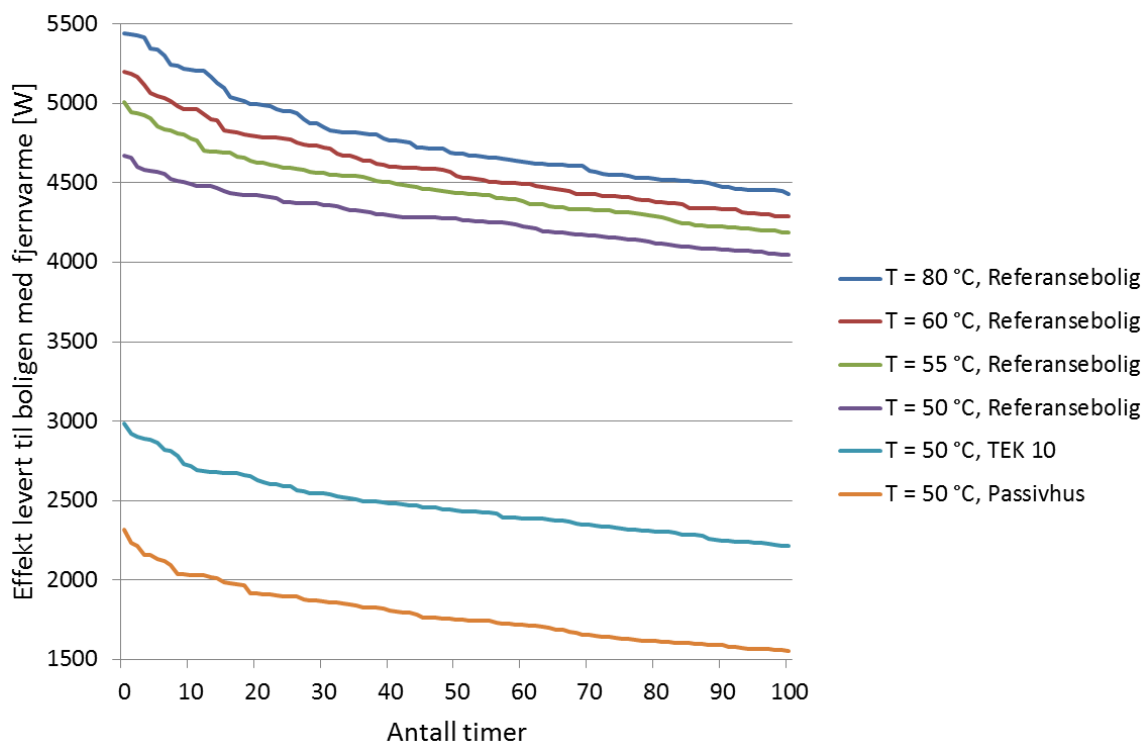
	Turtemperatur inn på varmesystemet			
	80 °C	60 °C	55 °C	50 °C
Referansebolig	0	0	0	23
Tiltak 1	0	0	0	0
Tiltak 2	0	0	0	0
Tiltak 3	0	0	0	0
Tiltak 4	-	0	0	0
Tiltak 5	-	0	0	0

Selv med et varmesystem som er 100 % overdimensjonert vil det være noen få timer i løpet av året da settpunkttemperaturen i boligen ikke blir fullstendig oppnådd ved en turtemperatur i varmesystemet på 50 °C. Ettersom dette kun oppstår 23 timer i løpet av året er det derimot sett på som uproblematisk. Temperaturforløpet i referanseboligen for den sonen, og på den dagen, med lavest temperatur i løpet av hele året er lagt frem i Figur D. 7 i Vedlegg.

Figur 37 viser varighetskurvene for levert fjernvarme til boligen for de fire definerte temperaturnivåene, og med tilhørende effektiviseringstiltak nødvendig for å dekke varmebehovet i boligen. I dette tilfellet er det ikke nødvendig å utføre noen tiltak på boligen dersom temperaturen reduseres helt til 50 °C, ettersom varmesystemet er så overdimensjonert. Varighetskurvene for de fire temperaturnivåene i Figur 37 og Figur 38 vil dermed alle gjelde for referanseboligen. Scenariene *TEK 10* og *Passivhus* er lagt ved til sammenligning. Figur 37 viser et utsnitt av de 100 timene i året med høyest effektforbruk i boligen.



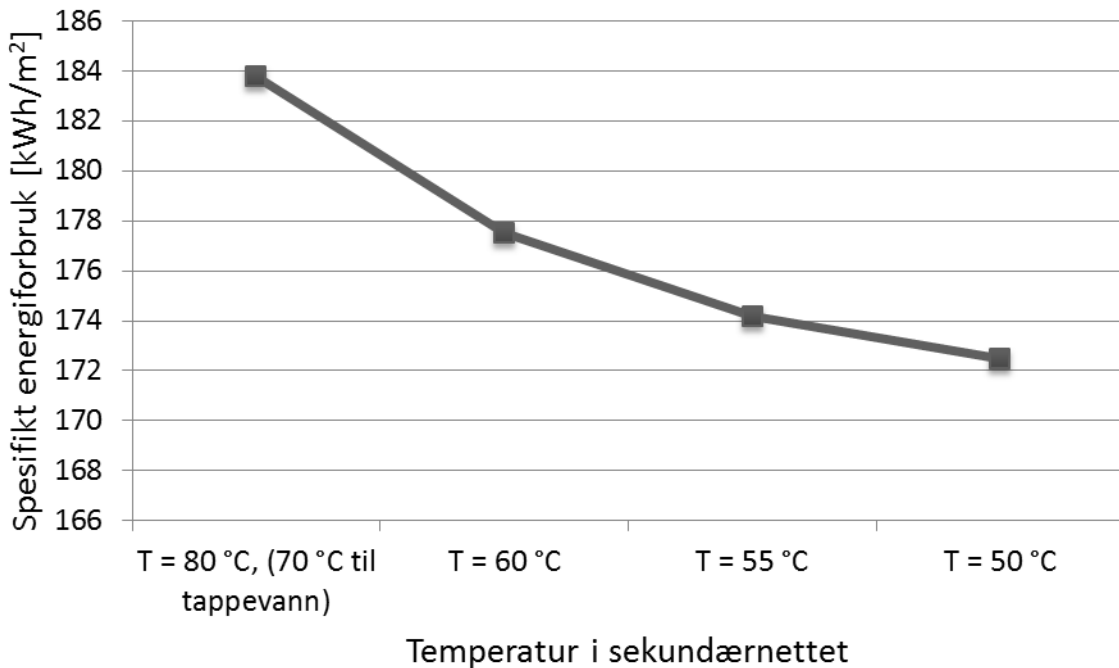
Figur 37 Varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q_{100}



Figur 38 Utsnitt av varighetskurve for levert fjernvarme til boligen, Q_{100}

Ved 100 % overdimensjonering kan man som nevnt redusere temperaturen ned til $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ i referanseboligen, uten noen form for effektiviseringstiltak utført på bygget. På grunn av dette vil varighetskurvene for effekt levert med fjernvarme til boligen, i alle tilfellene for referanseboligen, følge hverandre tett. Kurvene vil derimot aldri bli overlappende ettersom den reduserte temperaturen i sekundærnettet både vil redusere effekttoppene i varmesystemet

i tillegg til å senke effekten levert til tappevannsoppvarming. Figur 38 illustrerer tydelig reduksjonen i levert effekt til boligen ved reduserte driftstemperaturer i varmesystemet, her med et utsnitt av de 100 timene i året med høyest effektforbruk. Sammenlignet med en turtemperatur på 80 °C reduseres effekttoppen i dette tilfellet med 4,4 %, 7,9 % og 14,1 % ved å drifte varmesystemet ved en turtemperatur på henholdsvis 60 °C, 55 °C og 50 °C. Redusert effektforbruk vil følgelig påvirke det totale energiforbruket i boligen. Spesifikt energiforbruk i boligen som funksjon av temperaturen i sekundærnettet er lagt frem i Figur 39.

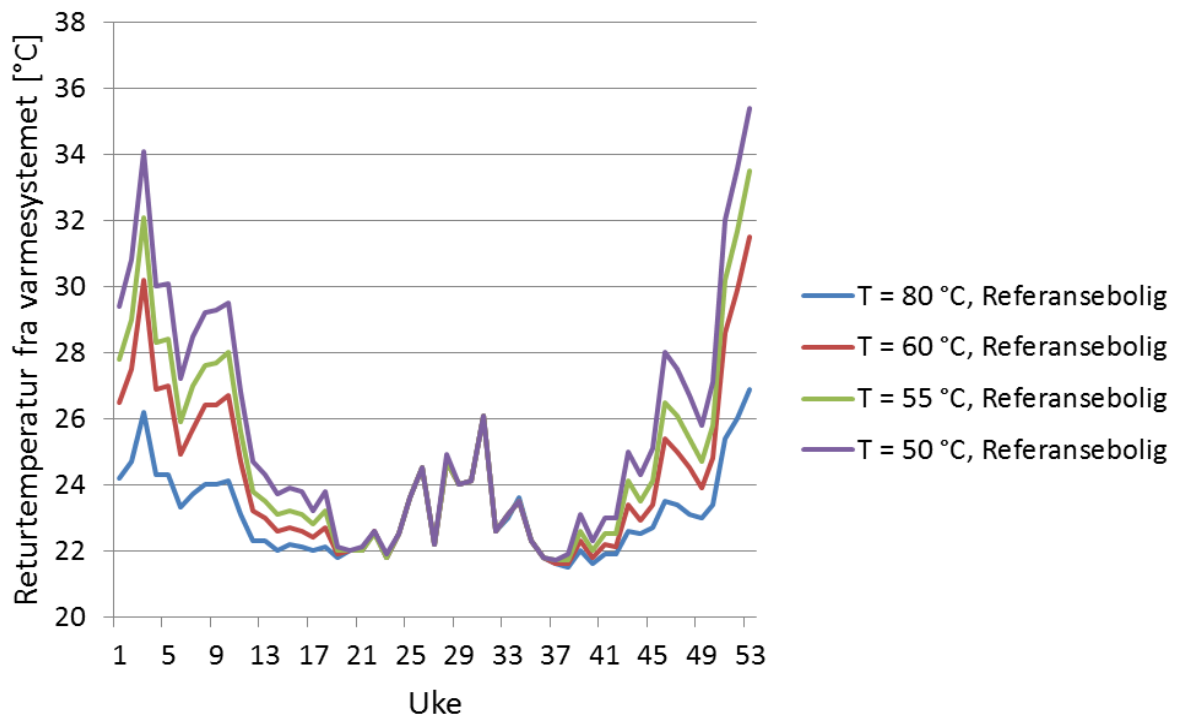


Figur 39 Totalt energiforbruk i referanseboligen som funksjon av temperaturen i sekundærnettet, Q_{100}

Som det kommer frem av figuren vil det årlige energiforbruket i boligen reduseres fra omtrent 184 kWh/m² til 172,5 kWh/m² dersom LTFV implementeres og temperaturen i sekundærnettet følgelig reduseres fra 80 °C til 50 °C. I referanseboligen utgjør dette årlige energibesparelser på 1382 kWh. Dersom varmesystemet har evnen til å dekke varmebehovet ved reduserte temperaturer, og det implementeres løsninger for sikker lavtemperatur-varmtvannsproduksjon, vil det dermed lønne seg for beboerne å kobles til et LTFV-nett.

Resultatene gjelder for et årlig varmtvannsforbruk på 29,8 kWh/m², energibesparelsene vil dermed bli større dersom varmtvannsforbruket i en bolig er høyere enn dette og lavere i motsatt tilfelle.

I Figur 40 er gjennomsnittlig returtemperatur fra varmesystemet, for hver uke gjennom hele året, lagt frem for de fire temperaturnivåene med tilhørende renoveringstiltak nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende inneklima.



Figur 40 Returtemperatur fra varmesystem, Q_{100}

Alle scenariene lagt frem i Figur 40 er i dette tilfellet gjeldende for referanseboligen, uten noen energieffektiviseringstiltak implementert, noe som betyr at varmebehovet er likt i alle scenariene. Den laveste returtemperaturen oppstår dermed i tilfellet med høyest turtemperatur. Dette er en konsekvens av at massestrømmen økes når turtemperaturen reduseres for å klare å avgi nok effekt til sonene som skal varmes opp, noe som fører til at vannet ikke vil klare å avkjøles i like stor grad. Returtemperaturen er derimot relativt lav i alle scenariene ettersom varmesystemet i dette tilfellet er overdimensjonert i svært stor grad, noe som fører til at varmeoverføringsflatene er større og igjen resulterer i at vannet vil klare å avkjøle seg i større grad sammenlignet med scenariene der varmesystemet ikke er like mye overdimensjonert.

7.6 PARAMETERANALYSE AV BYGNING TILKNYTTET LAVTEMPERATUR FJERNVARME

Det er ønsket å utføre en ytterligere analyse av utvalgte parametere i IDA ICE for å vurdere varmesystemets og varmebehovets følsomhet overfor noen ytterligere tiltak som mulig kan implementeres på boligen. Denne analysen er utført med den hensikt å studere hvordan en slik parameterendring kan påvirke muligheten for å implementere LTFV i referanseboligen.

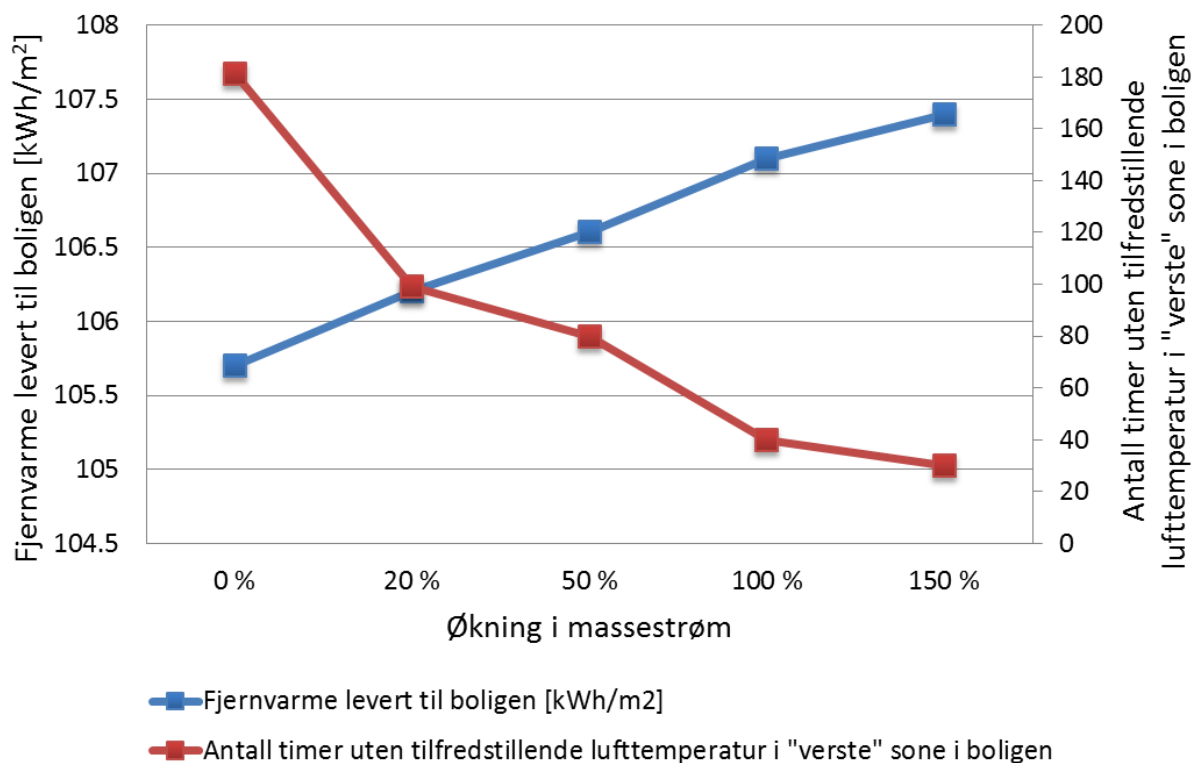
I de følgende beregningene studeres referanseboligen med et varmesystem som er 30 % overdimensjonert. I første avsnitt studeres effekten av å øke massestrømmen i varmesystemet ettersom dette vil øke varmeavgivelsen fra enhetene, og muligens kan føre til at temperaturene i systemet kan reduseres ytterligere uten at kostbare effektiviseringstiltak må implementeres. Videre i neste avsnitt undersøkes effekten av å installere vinduer med lavere U-verdi enn dem beskrevet i Tiltak 1 ettersom det i dag finnes svært energieffektive vinduer på markedet som vil redusere varmebehovet ytterligere. Til slutt er det ønsket å vurdere

resultatene følsomhet overfører endret brukeroppførsel til beboerne. Økt innetemperatur og mulighet for å lufte på soverommene på kvelden er undersøkt for å se om varmesystemet klarer å takle slike driftsendringer.

7.6.1 ØKT MASSESTRØM I VARMESYSTEMET

Beregningene utføres på scenariet med 30 % overdimensjonert varmesystem, og med en temperatur inn på varmesystemet på 55 °C. Det valgte temperaturnivået benyttes ettersom varmesystemet med en slik overdimensjonering uten problem kan driftes med en turtemperatur på 60 °C. Det er dermed ønsket å undersøke hva som skal til for at temperaturen kan reduseres ytterligere til 55 °C. Massestrømmen gjennom varmesystemet økes gradvis fra den opprinnelige massestrømmen som er tilpasset hver av radiatorne. Den spesifikke massestrømmen til hver av radiatorne er oppgitt i Tabell C. 3 i Vedlegg.

Mengden fjernvarme levert til boligen som en funksjon av økt massestrøm gjennom varmesystemet er lagt frem i Figur 41 sammen med antall timer uten tilfredsstillende temperatur i «verste» sone i boligen i hvert av de simulerte tilfellene.



Figur 41 Fjernvarme levert til boligen og antall timer uten tilfredsstillende temperatur i boligen som funksjon av massestrømmen gjennom varmesystemet

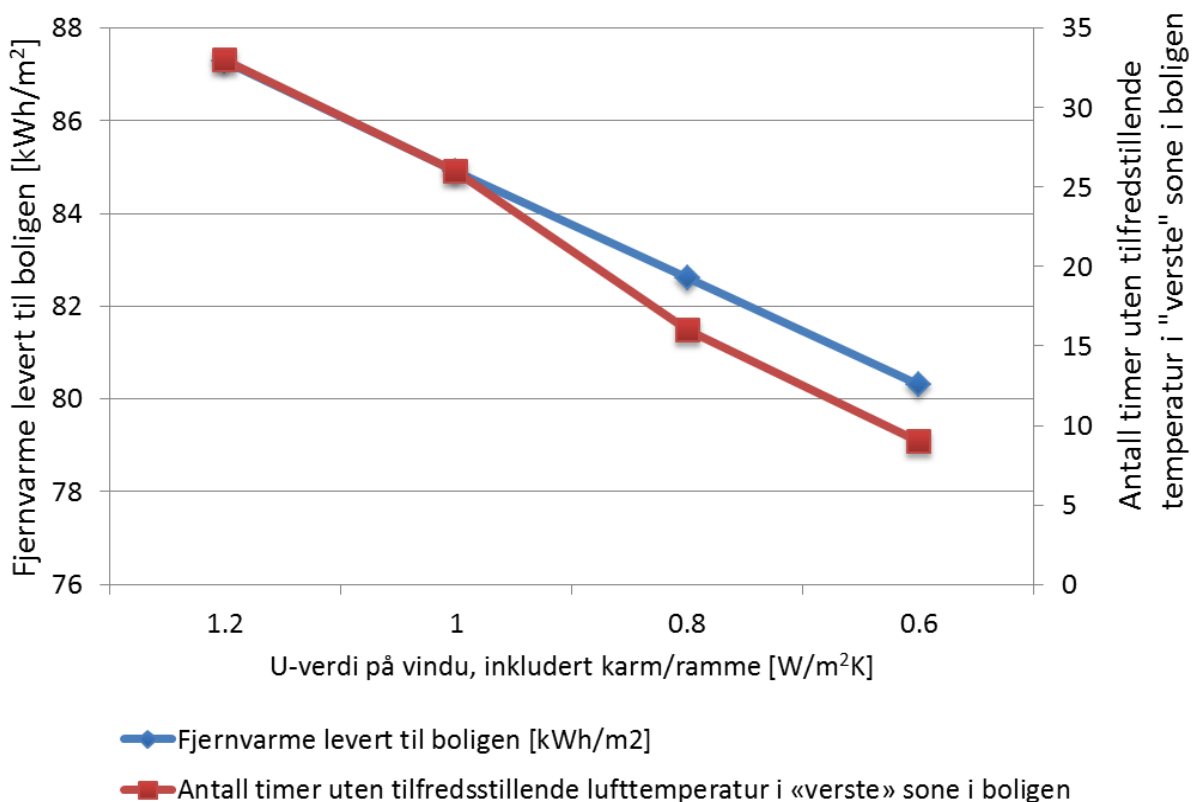
Som figuren illustrerer vil en økt massestrøm gjennom varmesystemet gjøre det mulig å redusere temperaturen ytterligere 5 °C, sammenlignet med opprinnelig massestrøm, til 55 °C i scenariet med 30 % overdimensjonert varmesystem. Med den opprinnelige massestrømmen er det omtrent 180 timer uten tilfredsstillende temperatur i den verste sonen i boligen, mens antallet reduseres til 30 når massestrømmen økes med 150 %, noe som er ansett som akseptabelt. Det er samtidig sett at mengden fjernvarme levert til boligen øker ved økt

massestrøm, noe som skyldes at varmeavgivelsen fra systemet økes. Ved å øke massestrømmen med 150 % øker varmeavgivelsen til oppholdssonen med 1,7 kWh/m² per år.

En økning i massestrømmen på 150 % er en drastisk endring i driften av varmesystemet, og vil kreve mer av komponentene i systemet. Om en slik drift er mulig vil dermed avhenge av varmesystemets utforming og dimensjoner, noe som naturlig nok må undersøkes før en slik løsning kan implementeres i et varmesystem.

7.6.2 YTTERLIGERE OPPGRADERING AV VINDUENE

Noen av de mest energieffektive vinduene på markedet i dag består av trelags isolerrute med belagte glass, argongass mellom lagene, og isolert ramme og karm som reduserer U-verdien betraktelig ned mot 0,5-0,7 W/m²K (VELFAC, u.d.). Ved å implementere vinduer med lavere U-verdi enn dem beskrevet i Tiltak 1 vil varmebehovet i boligen reduseres ytterligere, og følgelig også antall timer uten tilfredsstillende lufttemperatur i boligen. Det er dermed ønsket å undersøke hvor mye varmebehovet i boligen reduseres ved å implementere ulike vindusenheter med reduserende U-verdi. Resultatet fra de dynamiske simuleringene i IDA ICE er lagt frem i Figur 42.



Figur 42 Fjernvarme levert til boligen og antall timer uten tilfredsstillende temperatur boligen som funksjon av U-verdien på vinduene, inkludert karm/ramme

Ved å implementere vinduene med lavest U-verdi i boligen, sammenlignet med dem implementert gjennom Tiltak 1, kan varmebehovet reduseres med ytterligere 7 kWh/m². Det er derimot ikke tilstrekkelig for at temperaturen kan reduseres ytterligere ned til 50 °C i dette tilfellet. Det reduserer derimot det generelle varmebehovet i boligen, noe som gir

kostnadsbesparelser eller mulighet for å øke lufttemperaturen i boligen dersom dette er ønskelig fra beboernes side.

Sammenlignet med tilfellet der de opprinnelige vinduene var installert i boligen, med U-verdi på $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, til implementering av nye energieffektive vinduer med en U-verdi lik $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ inkludert ramme og karm, vil energien levert til boligen med fjernvarme reduseres fra $106,7 \text{ kWh/m}^2$ til $80,3 \text{ kWh/m}^2$. Dette betyr at varmebehovet er betydelig redusert med hele $26,4 \text{ kWh/m}^2$ per år.

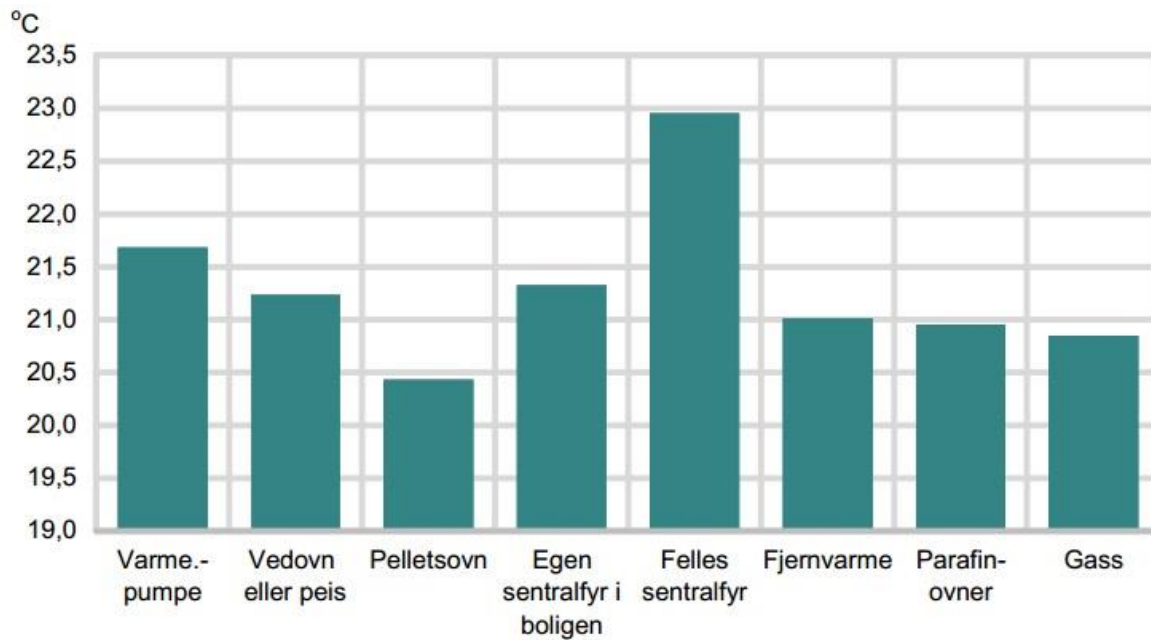
7.6.3 BRUKEROPPFØRSEL

Som tidligere nevnt vil beboernes oppførsel og vaner ha stor innvirkning på det reelle energiforbruket i boligen. Enkelte ønsker å ha en høyere lufttemperatur inne, enkelte liker å lufte på kvelden før man skal sove, enkelte bruker mer varmtvann enn gjennomsnittet og noen har mye elektrisk utstyr som krever energi. Alt dette påvirker det totale energiforbruket i boligen, men av de nevnte parameterne er det kun økt lufttemperatur og lufting som påvirker energibehovet til romoppvarming i nevneverdig grad. Det er dermed ønsket å se hvordan en endret brukeroppførsel, som fører til et økt varmebehov, vil påvirke muligheten til å ta i bruk reduserte temperaturer i varmesystemet.

Det er følgelig ønsket å utføre simuleringer i IDA ICE med en økt lufttemperatur, da med $23 \text{ }^\circ\text{C}$ som settpunkttemperatur i driftstiden og $20 \text{ }^\circ\text{C}$ utenfor driftstiden. I tillegg blir det utført et sett med simuleringer der vinduene på soverommene åpnes 15 minutter hver kveld før leggetid. Settpunkttemperaturen for det sistnevnte simuleringssettet vil være som beskrevet i avsnitt 6.4.2.4 etter NS 3031. Alle simuleringene er utført på boligen med varmesystem som er 30 % overdimensjonert.

7.6.3.1 Økt settpunkttemperatur

Ved å øke settpunkttemperaturen i en bolig vil det totale varmebehovet stige, noe som gjør at varmesystemet må yte mer for å klare å holde den ønskede temperaturen. Om en overgang til LTFV er vellykket eller ikke kan dermed avhenge av hva slag temperaturnivå beboerne ønsker å ha i sin bolig. Dersom fjernvarme benyttes i større boligkomplekser er energibruken til romoppvarming og tappevann gjerne inkludert i felleskostnadene som betales til borettslaget hver måned. I slike tilfeller er det sett at beboerne gjerne øker innetemperaturen ett par grader mer enn de normalt ville gjort. Dette er gjerne en følge av at beboerne føler at de ikke betaler for et økt varmeforbruk ettersom det ikke er separate energimålere inn til hver leilighet. Forbrukerens personlige energikostnader blir dermed ikke påvirket i noe betydelig grad dersom temperaturen i deres leilighet økes. Denne tendensen ses tydelig i Figur 43 der temperaturen i husholdninger med ulikt oppvarmingssystem er lagt frem.



Figur 43 Gjennomsnittlig temperatur i stue om morgenen for husholdninger med ulike typer oppvarmingsutstyr (Halvorsen & Dalen, 2013)

Som figuren viser ligger den gjennomsnittlige temperaturen om morgenen i boliger med felles sentralfyr flere grader over de andre alternativene. Ettersom referanseboligen i denne oppgaven er et rekkehus, vil temperaturen for «Fjernvarme» i Figur 43 være mer gjeldende for temperaturnivået i boligen. Det er allikevel ønsket å utføre beregninger med økt temperatur ettersom det er sett at dette benyttes i stor grad i boligkomplekser tilknyttet fjernvarme, og generelt i husholdninger der beboerne er mer opptatt av komfort enn energikostnader.

I dette beregningssettet er settpunkttemperaturen i boligen økt til 23 °C i driftstiden og 20 °C utenfor driftstiden for å simulere et realistisk forbruk av fjernvarme i et rekkehus. Detaljert oversikt over temperaturforløpet er lagt frem i Figur A. 2 i Vedlegg. Beregningene er utført på boligen med et varmesystem som er 30 % overdimensjonert. Tilfeller med mindre grad av overdimensjonering vil dermed ha større vanskeligheter med å dekke varmebehovet enn i dette tilfellet.

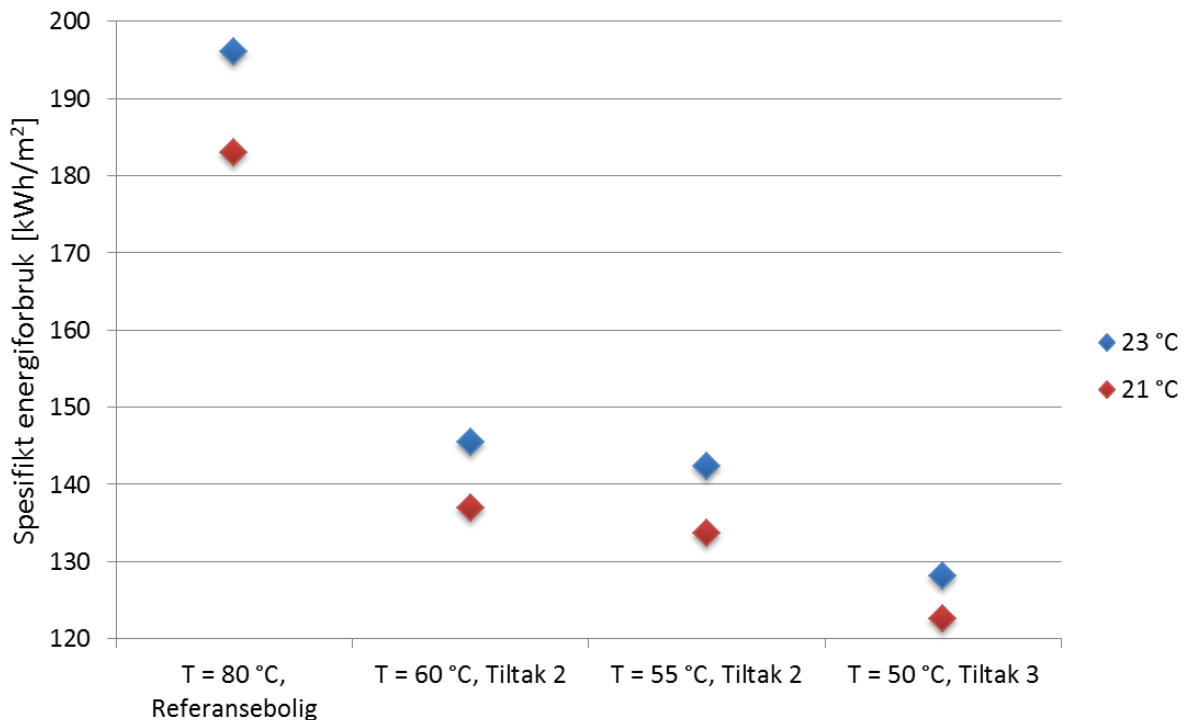
Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur, 23 °C i driftstiden og 20 °C utenfor driftstiden, i «verste» sone er lagt frem i Tabell 24 og sammenlignet med resultatene fra avsnitt 7.3 der en settpunkttemperatur på 21 °C i driftstiden ble benyttet.

Tabell 24 Antall timer i "verste" sone uten oppnådd settpunkttemperatur på 23 °C og 21 °C i driftstiden

	Turtemperatur inn på varmesystemet							
	80 °C		60 °C		55 °C		50 °C	
	23 °C	21 °C	23 °C	21 °C	23 °C	21 °C	23 °C	21 °C
Referansebolig	17	0	305	16	662	181	1008	513
Tiltak 1	5	0	111	0	307	33	688	250
Tiltak 2	0	0	10	0	28	0	110	4
Tiltak 3	0	0	7	0	15	0	52	0
Tiltak 4	-	-	0	0	8	0	39	0
Tiltak 5	-	-	0	0	0	0	0	0

Som figuren illustrerer er konsekvensen av å øke innnetemperaturen i boligen stor. En temperaturøkning vil i de fleste av de simulerte tilfellene kreve at det utføres ett eller flere energieffektiviseringstiltak ut over det som var nødvendig ved en settpunkttemperatur på 21 °C i driftstiden. For å kunne senke temperaturen i varmesystemet helt ned til 50 °C ved en overgang til LTFV, og med en ønsket lufttemperatur i boligen på 23 °C, vil det dermed være nødvendig å utføre en kraftig renovasjon av boligen som går ut på oppgradering av alle vinduene i tillegg til etterisolering av vegger og tak. Det vil allikevel være en del timer i løpet av året der settpunkttemperatur ikke er oppnådd, men det er sett at dette oppstår om natten eller på morgen under overgangen mellom den reduserte natt-temperaturen til den ønskede driftstidstemperaturen. Det er dermed besluttet at varmebehovet er tilfredsstillende dekket i dette tilfellet.

Ettersom varmebehovet øker ved økt settpunkttemperatur for inneluften, øker også det totale energibehovet i boligen. Totalt energibehov for en settpunkttemperatur i driftstiden på 23 °C og 21 °C er lagt frem i Figur 44 for hvert av de fire temperaturnivåene i varmesystemet, med tilhørende effektiviseringstiltak nødvendig for å dekke varmebehovet.



Figur 44 Spesifikt energiforbruk i boligen ved settpunkttemperatur i driftstiden på henholdsvis 23 °C og 21 °C

Det totale energibehovet øker med 7,2 % i referanseboligen med et høytemperaturvarmesystem dersom settpunkttemperaturen i driftstiden økes fra 21 °C til 23 °C. I scenariet der Tiltak 3 er implementert på boligen, og den maksimale turtemperaturen i varmesystemet er 50 °C, vil det totale energibehovet øke med 4,6 % dersom settpunkttemperaturen til oppvarming økes fra 21 °C til 23 °C i driftstiden. Energibehovet påvirkes dermed i større grad ved endringer i ønsket innetemperatur ved høyere totalt energibehov og ved høyere driftstemperaturer i varmesystemet.

7.6.3.2 Kveldslufting

Det er svært vanlig å ønske å lufte på soverommet på kveldstid for å få inn litt frisk luft før natten. En slik utlufing vil kreve noe ekstra ytelse av varmesystemet som må heve temperaturen i rommet til settpunkt igjen etter denne lufteperioden. I den kaldeste perioden av året luftes det gjerne ikke hele natten, men kun i en kort periode før leggetid. Det er dermed ønsket å utføre simuleringer i IDA ICE der varmesystemets evne til å holde settpunkttemperaturen i soverommene når det luftes på kveldstid skal vurderes. Det er i tillegg ønsket å undersøke i hvilken grad dette påvirker det totale varmebehovet i boligen. I IDA ICE defineres det dermed en kort lufteperiode på kvelden for de tre soverommene, som gjelder for hele året. Beboerne vil gjerne lufte mer når utetemperaturen blir høyere, men dette vil da ikke påvirke varmebehovet i boligen nevneverdig og inkluderes dermed ikke i denne simuleringen. Åpningen på vinduene graderes i IDA ICE fra 0 til 1, der 1 er helt åpent og 0 er lukket. For å unngå for lave temperaturer i rommet på de kaldeste dagene settes vindusåpningen til 0,1 fra 21.30 til 21.45 hver kveld på de tre soverommene. På soverom 3 er det to vinduer, i dette tilfellet er kun ett av vinduene åpnet om kvelden.

Konsekvensen av å lufte på kvelden er vist i Tabell 25, der antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i boligen er lagt frem og sammenlignet med resultatene fra de samme scenariene uten lufting.

Tabell 25 Antall timer i «verste» soverom uten oppnådd settpunkttemperatur, for kveldslufting og uten lufting

	Turtemperatur inn på varmesystemet							
	80 °C		60 °C		55 °C		50 °C	
	Lufting	Ikke lufting	Lufting	Ikke lufting	Lufting	Ikke lufting	Lufting	Ikke lufting
Referansebolig	10	0	58	10	160	60	479	327
Tiltak 1	6	0	26	0	47	1	135	37
Tiltak 2	2	0	10	0	17	0	27	0
Tiltak 3	2	0	9	0	15	0	24	0
Tiltak 4	-	-	6	0	8	0	15	0
Tiltak 5	-	-	6	0	11	0	18	0

Simuleringene i IDA ICE viser at varmesystemet vil ha problemer med å dekke varmebehovet dersom det luftes om kveldene, spesielt dersom temperaturene i varmesystemet er reduserte. Det totale energibehovet i boligen spiller også inn på konsekvensene av å lufte på kvelden. I referanseboligen tar det lengre tid før varmesystemet klarer å heve temperaturen til settpunkttemperatur etter lufteperioden, sammenlignet med boligene med lavere energibehov. Dette kan skyldes at de mer energieffektive boligene er mer termisk trege, og har dermed mer energi og varme i selve bygningskroppen som kan redusere tiden uten tilfredsstillende temperatur i rommet.

Dersom det er ønsket å lufte på soverommene hver kveld før leggetid vil dette gå på kompromiss av muligheten til å redusere temperaturen i varmesystemet helt til 50 °C. I tilfellet uten lufting er det kun nødvendig å oppgradere vinduene i boligen for å kunne ta i bruk LTFV. Dersom vinduene åpnes litt på kveldene vil det derimot i tillegg være nødvendig å etterisolere alle veggene i boligen for å unngå for mange timer uten oppnådd settpunkttemperatur for oppvarming i boligen.

Det totale energibehovet i boligen for hvert av de simulerte temperaturnivåene, med tilhørende effektiviseringstiltak nødvendig for å oppnå et tilfredsstillende termisk inneklima i boligen, er lagt frem i Tabell 26.

Tabell 26 Spesifikk tilført energi, kWh/m², ved kveldslufting sammenlignet med ikke kveldslufting

	T = 80 °C, Referansebolig	T = 60 °C, Tiltak 1	T = 55 °C, Tiltak 1	T = 50 °C, Tiltak 2
Kveldslufting	184,0	158,5	155,1	131,8
Ikke kveldslufting	182,9	157,4	154,0	130,5
Differanse	1,1	1,4	1,1	1,3

Varmebehovet i boligen vil øke dersom det luftes på kveldene ettersom temperaturen i de tre soverommene da reduseres hver kveld, og det kreves ekstra energi for å heve temperaturen til et tilfredsstillende nivå igjen. Ved å luften i 15 minutter hver kveld på de tre soverommene øker det årlige varmeforbruket i boligen med 1,1-1,4 kWh/m², noe som utgjør 134,5-171,2 kWh på årsbasis.

Resultatene lagt frem gjelder som sagt kun for 15 minutters lufting hver kveld med en åpning på 0,1. Dersom tidsrommet for luftingen økes, eller vinduet åpnes mer vil naturlig nok timene uten oppnådd settpunkttemperatur øke sammen med et økt varmebehov i boligen.

7.6.4 BRUKEROPPFØRSEL I PASSIVHUS

Passivhus er konstruert med den hensikt å oppnå et svært lavt varme- og energibehov. Dette gjør at temperaturene i varmesystemet gjerne er lave, ettersom den nødvendige effekten levert til romoppvarming ikke er høy. I passivhuset simulert i denne oppgaven er det funnet at selv om radiatorsystemet i boligen er dimensjonert for en tur- og returtemperatur på henholdsvis 60 °C og 40 °C, kan temperaturen reduseres helt ned til 40-45 °C uten at det går utover den termiske komforten i boligen. Dette er årsaken til at varmepumper, solvarme eller bioenergi ofte benyttes i passivhus ettersom slike nærvarme-kilder enklere kan tilpasses temperaturnivået ønsket i boligen sammenlignet med fjernvarme. Utfra målt energiforbruk i syv passiv-rekkehus i Miljøbyen Granåsen er det derimot sett at det faktiske energiforbruket i boligene er svært mye høyere enn det som var budsjettet. Dette kan blant annet skyldes at beboerne ønsker å ha en høyere innetemperatur enn det energibudsjettet er beregnet på. Fra SSB sin rapport «Ta hjemmetempen» kommer det frem at hovedandelen av husholdningene som deltok i undersøkelsen hadde en temperatur i stue/oppholdsrom på 22-25 °C, og temperaturen lå kun 1-2 °C lavere på soverommene (Halvorsen & Dalen, 2013). Det er dermed grunnlag for å anta at temperaturene i boligen i realiteten vil ligge over den standardiserte settpunkttemperaturen på 21 °C fra NS 3031.

I dette avsnittet er det ønsket å undersøke i hvilke tilfeller LTFV kan være passende for et passivhus. Dersom boligen er tilknyttet LTFV er det realistisk å anta at temperaturen i sekundærnett vil ligge på omtrent 50 °C. Det er dermed ønsket å undersøke hvor mye varmebehovet må økes før det vil være nødvendig med en turtemperatur inn på varmesystemet på 50 °C for å dekke varmebehovet. På denne måten blir det tydelig hva slags endringer i behovsstyrte parametere som gjør at LTFV kan bli ideelt for et passivhus. Varmebehovet økes ved å heve settpunkttemperaturen i boligen opp mot 25 °C ettersom det er funnet at dette er realistisk i norske husholdninger. I noen av tilfellene innføres det i tillegg 15 minutters lufting på soverommene på kveldstid ettersom dette også vil ha innvirkning på varmebehovet i boligen, og ettersom dette er vanlig brukeroppførsel i norske hjem. Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i boligen er lagt frem i Tabell 27 sammen med tilhørende spesifikt energiforbruk i de ulike scenariene.

Tabell 27 Resultat fra varierende brukeroppførsel i passivhus og varierende turtemperatur inn på varmesystemet

Turtemperatur inn på varmesystemet [°C]	Q			Q ₃₀		
	T = 40	T = 45	T = 50	T = 40	T = 45	T = 50
	Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i «verste» sone					
Referansebolig, som definert i kapittel 6	22	0	0	0	0	0
Innetemperatur på 23 °C hele døgnet	454	103	13	122	7	0
Innetemperatur på 23 °C hele døgnet og kveldslufting 15, min med vindusåpning på 0,1	493	120	32	143	25	14
Innetemperatur på 24 °C hele døgnet	902	279	56	342	46	0
Innetemperatur på 24 °C hele døgnet og kveldslufting 15, min med vindusåpning på 0,1	1074	314	67	384	59	21
Innetemperatur på 25 °C hele døgnet	1614	625	164	751	148	10
	Spesifikt energiforbruk [kWh/m²]					
Referansebolig, som definert i kapittel 6	93,6	93,8	94,0	93,8	94,0	94,1
Innetemperatur på 23 °C hele døgnet	100,8	101,5	101,9	101,5	102,0	102,3
Innetemperatur på 23 °C hele døgnet og kveldslufting 15, min med 0,1 vindusåpning	101,7	102,6	103,1	102,6	103,1	103,5
Innetemperatur på 24 °C hele døgnet	103,8	105,0	105,6	104,8	105,7	106,1
Innetemperatur på 24 °C hele døgnet og kveldslufting 15, min med vindusåpning på 0,1	104,8	106,1	106,8	106,0	106,9	107,4
Innetemperatur på 25 °C hele døgnet	106,7	108,6	109,6	108,4	109,6	110,2

I begge dimensjoneringsstilfellene er det vist at det er mulig å dekke varmebehovet i passivrekkehuset, ved settpunkttemperaturer til oppvarming etter NS 3031, med en maksimal turtemperatur i varmesystemet på 40 °C. Det skal derimot kun små endringer i innetemperaturen til før det vil være nødvendig å drifte varmesystemet med temperaturer på 50 °C på de kaldeste dagene, i begge dimensjoneringsstilfellene. Dersom varmesystemet er dimensjonert direkte etter varmebehovet vil en temperaturøkning til 23 °C kreve at temperaturen i varmesystemet driftes på minimum 50 °C. Anlegget vil følgelig kun tåle en økning i varmeforbruket på 8,3 kWh/m², eller 8,9 % av det totale energiforbruket, før driftstemperaturene må heves. Ved bruk av en maksimal turtemperatur i varmesystemet på 50

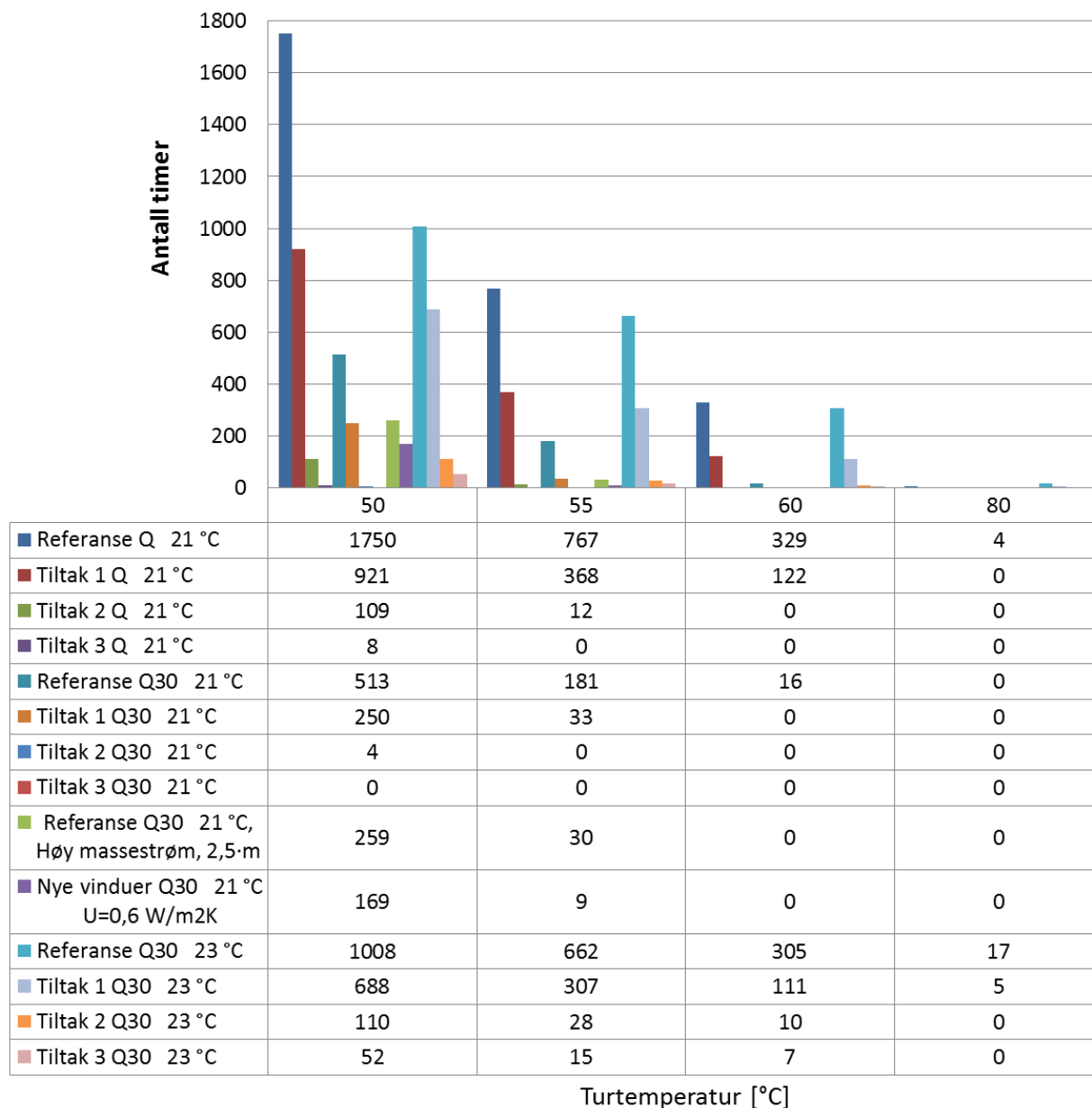
°C vil det være mulig å luften om kvelden i tillegg til at settpunkttemperaturen kan holdes på 23 °C uten at det vil gå utover den termiske komforten i boligen.

Dersom varmesystemet er overdimensjonert med 30 % kan settpunkttemperaturen for oppvarming uten problem heves helt til 25 °C. Dette krever dog at driftstemperaturen i varmesystemet ikke synker under 50 °C på de kaldeste dagene. Allerede ved en temperaturøkning fra 21 °C til 23 °C i ønsket lufttemperatur i boligen vil en turtemperatur på 40 °C i varmesystemet ikke være tilstrekkelig til å dekke varmebehovet. Ved å benytte driftstemperaturer på 50 °C, som vil være aktuelt ved tilknytning til LTFV, vil varmesystemet tåle en økning i varmebehovet på minst 16,4 kWh/m² før det går utover den termiske komforten i boligen. Dette utgjør en økning i det totale energiforbruket på 17,5 %, fjernvarmeforbruket i boligen øker derimot med hele 44,6 % i dette tilfellet.

Av resultatene fra simuleringene på passivhuset er det dermed tydelig at overdimensjonerte varmesystemer er klart mer fleksible og gir beboerne mer frihet i forhold til å øke innnetemperaturen, luften eller utføre andre tiltak som øker varmebehovet i boligen. En turtemperatur i varmesystemet på 50 °C vil i tillegg åpne opp for en mer fleksibel brukeroppførsel uten at varmesystemet setter begrensninger. Ved temperaturøkning opp mot 25 °C, eller generelt et økt varmebehov på opp mot 44,6 %, vil det være nødvendig å øke driftstemperaturene i varmesystemet over 40 °C. Slike scenarier er derimot ikke usannsynlige ettersom det er bekreftet gjennom SSB sin rapport «Ta hjemmetempen» at en stor andel av befolkningen ønsker å ha det varmere enn 21 °C i boligen sin. I boliger der energibehovet er spesielt lavt, som i passivhus, kan beboerne gjerne føle at de kan øke den termiske komforten inne i boligen noe ekstra ettersom de uansett bruker så mye mindre energi enn en gjennomsnittsbolig. Dette er tydelig sett fra energimålingene i de syv passiv-rekkehusene i Miljøbyen Granåsen der det faktiske energiforbruket i boligene er svært mye høyere enn det som var budsjettert. I slike tilfeller vil tilknytning til LTFV være ideelt ettersom en driftstemperatur i varmesystemet på 50 °C kan sikre at varmebehovet dekkes selv ved svært varierende brukeroppførsel. Dette vil naturlig nok variere basert på dimensjoneringene og utformingen av varmesystemet, men i tilfellet med opp mot 30 % overdimensjonering vil fleksibiliteten være stor ved bruk av LTFV.

7.7 OPPSUMMERING

Målet med denne oppgave er å undersøke hvilke energieffektiviseringstiltak som må utføres på eksisterende boliger for at varmebehovet reduseres tilstrekkelig til at LTFV vellykket kan implementeres. Beregningene ble utført med ulik grad av overdimensjonering på varmesystemet ettersom dette vil ha stor innvirkning på varmeavgivelsen ved reduserte driftstemperaturer. I følge Grindal og Børresen er vannbårne varmesystemer ofte 20-30 % overdimensjonert, men dette kan variere mye fra prosjekt til prosjekt (Grindal & Børresen, 1998). Det er dermed ansett som mest sannsynlig av varmesystemene i norske boliger gjerne er dimensjonert i et område mellom ingen overdimensjonering og 30 % overdimensjonering. Hovedresultatene for disse to dimensjonerings-scenariene er lagt frem i Figur 45 slik at resultatene lettere kan sammenlignes og vurderes.



Figur 45 Antall timer uten oppnådd settpunkttemperatur i boligen for varierende driftstemperaturer og ulike scenarier for boligen og varmesystemet

Resultatene fra simuleringene viser at en overgang til LTFV ikke vil kreve like kostbare og kraftige renovasjonstiltak på boligen dersom varmesystemet er overdimensjonert til en viss grad. Ved et varmesystem som er overdimensjonert med 30 % vil en driftstemperatur på 50 °C klare å dekke varmebehovet dersom Tiltak 2 implementeres, mens Tiltak 3 må implementeres dersom varmesystemet ikke er overdimensjonert.

Økt massestrøm gjennom varmesystemet er også en mulighet som kan tas i bruk for å øke varmeavgivelsen fra varmesystemet. Ved å øke massestrømmen med 150 % vil det i dette tilfellet gjøre det mulig å redusere driftstemperaturen i varmesystemet fra 60 °C til 55 °C i referanseboligen, uten at ytterligere tiltak er nødvendige.

8 DISKUSJON

Referanseboligen som store deler av denne oppgaven er basert på er konstruert på grunnlag av statistisk data, standardverdier fra NS 3031 og referanseverdier fra Enova. Dette er gjort med den hensikt å skape en bolig som kan simulere en typisk norsk husholdning. Det totale spesifikke energiforbruket i referanseboligen ble til slutt 181,3 kWh/m². Dette forbruket ligger noe over gjennomsnittsforbruket til rekkehus i Norge i dag lagt frem i Figur 19. Et slikt forbruksnivå er valgt bevisst ettersom referanseboligen er av eldre type, og ettersom det er et ende-rekkehus, og da gjerne har et noe høyere varmebehov enn nyere rekkehus som trekker gjennomsnittet i statistikken litt ned.

Elektrisitetsforbruket i boligen er dimensjonert basert på målt forbruk i 15 norske husholdninger og anbefalte verdier fra fagboken *Enøk i bygninger*. Forbruket er følgelig ansett som realistisk, men ettersom alle husholdninger og forbrukere har ulike behov og vaner vil boligen aldri operere fullstendig likt en reell norsk husholdning. Av denne grunn ble følsomhetsanalysen utført for å vurdere usikkerheten i beregningene avhengig av varierende elektrisitetsforbruk. Følsomhetsanalysen viste at ved en endring i elektrisitetsforbruket på ± 20 % vil varmebehovet i boligen påvirkes på grunn av endringer i interne varmelaster. En usikkerhet i varmebehovet på 5-10 % må det dermed tas høyde for når resultatene vurderes.

Elektrisitetsforbruket i boligen utgjør drøye 36 % av det totale energiforbruket, mens varmeforbruket, da inkludert varme til tappevann, utgjør 64 % av det årlige energiforbruket. Resultatene som i denne oppgaven er lagt frem som prosentvise besparelser av det totale energiforbruket må dermed vurderes på bakgrunn av denne fordeling, da det i utgangspunktet kun er varmebehovet som reduseres i denne oppgaven når de ulike effektiviseringstiltakene implementeres.

Det er definert tre ulike energieffektiviseringstiltak som utføres på boligen for å redusere varmebehovet. Implementering av effektiviseringstiltak har vist seg å være nødvendig for å kunne ta i bruk LTFV i eksisterende boliger. Det er i denne oppgaven derimot ikke tatt hensyn til kostnader som følge av implementering av disse tiltakene, eller de faktiske mulighetene til å utføre tiltakene på den respektive boligen. I realiteten finnes det naturlig nok flere ulike effektiviseringstiltak som er mulige å utføre, og kan være aktuelle for andre boliger. Hovedpoenget er kun å redusere varmebehovet i boligen. Dette kan naturligvis også gjøres på andre måter enn de definerte tiltakene. Det er i denne oppgaven blant annet ikke sett på muligheten for å endre selve varmesystemet. Implementering av gulvvarmesystem eller lavtemperaturreadiatorer (LT-radiatorer) vil øke muligheten til å ta i bruk LTFV uten at kraftige og kostbare energieffektiviseringstiltak nødvendigvis må utføres på boligen. Dersom det er antatt at radiatorene kan benytte en tur- og returtemperatur på henholdsvis 50 °C og 40 °C ved bruk av LTFV, er det gjennom Korado sitt beregningsprogram for varmeavgivelse fra radiatorer sett at ved en overdimensjonering på 100 % nærmer dimensjonene på radiatorene seg et nivå til LT-radiatorene (Korado, u.d.). Ettersom beregningene viste at en overdimensjonering på 100 % var tilstrekkelig til å dekke varmebehovet i alle scenariene uten at energieffektiviseringstiltak ble utført på boligen, er det antatt at LT-radiatorer også vil være tilstrekkelig til å dekke varmebehovet ved innføring av LTFV. I realiteten dimensjoneres

derimot LT-radiatorer normalt for en tur- og returtemperaturer på henholdsvis 55 °C og 25 °C, som beskrevet i avsnitt 2.2, noe som resulterer i reduserte returtemperaturer ut på fjernvarmenettet. LT-radiatorer vil følgelig være foretrukket i boligene tilknyttet LTFV ettersom lave returtemperaturer fører til reduserte varmetap i nettet i tillegg til at virkningsgraden på produksjonssentralen økes, avhengig av produksjonsmetode. Dette vil følgelig være svært ønsket fra fjernvarmeselskapets side.

Overdimensjonering av varmesystemer praktiseres i dag for å sikre at systemet klarer å dekke varmebehovet selv på uforutsette kalde dager, og for å kunne tilpasse seg forbrukernes behov og vaner. En slik tilnærming vil føre til økte investeringskostnader, utover det som normalt ville vært nødvendig. Dersom det er installert større radiatorenheter enn nødvendig i en bolig vil det føre til at den sirkulerte vannmengden blir noe lavere enn den ville vært for det samme varmeforbruket i en mindre enhet. Dette kan føre til reguleringsmessige problemer ettersom ventilene i større enheter gjerne ikke er dimensjonert for så små vannmengder.

Reguleringsprinsipper spesifiseres ikke i IDA ICE, noe som fører til at disse problemene ikke blir tatt hensyn til i simuleringene. I realiteten kan i tillegg overdimensjonerte varmesystemer føre til et økt energiforbruk i boligen ettersom mange ønsker å ha det varmt og godt inne i hjemmet sitt dersom det er mulighet for det, noe det vil være med et kraftigere varmesystem. Disse nevnte konsekvensene av overdimensjonerte varmesystemer er ikke tatt hensyn til i beregningene utført i IDA ICE, men kan spille inn på mulighetene for å ta i bruk LTFV.

I oppgaven er det definert et rent radiatorsystem i referanseboligen. I mange bygg er ikke dette tilfellet da det gjerne er lagt gulvvarme i utvalgte rom, eller at andre varmesystemer er tatt i bruk. Dersom en bolig består av et varmesystem med kombinert gulvvarme og radiatorvarme kan en overgang til LTFV bli mindre problematisk ettersom gulvvarme allerede er et lavtemperatur-varmesystem. I rom der kun radiatorer er benyttet vil derimot tilstandene være lik som i det simulerte tilfellet. Ved bruk av konvektorer, som er presentert i avsnitt 2.3, er det antatt at disse enhetene vil oppnå en noe bedre varmeavgivelse ved en overgang til lavtemperaturdrift sammenlignet med radiatorer. Dette er en konsekvens av at konvektorene har en større luftgjennomstrømning over varmeoverføringselementene, og dermed også en bedre varmeovergang. Dette gjelder spesielt for viftekonvektor. Enhetene avgir på den andre siden store deler av varmen gjennom konveksjon til luften, og drar dermed ikke nytte av den ellers økte andelen varme avgitt ved stråling som oppstår ved reduserte overflatetemperaturer på varmeenheten. Varmeavgivelse kun basert på ventilasjonsvarme er svært lite brukt i Norge i dag. Dersom et slikt system skulle vært tilknyttet LTFV ville det kreve store varmeoverføringsflater i ventilasjonssystemet for å klare å avgi nok varme til luften uten å måtte øke luftmengden drastisk. En slik løsning må dermed studeres for å avgjøre om det i det hele tatt vil være mulig uten at det går på kompromiss med innklimaet i bygget.

Ved reduserte driftstemperaturer i varmesystemet er det i denne oppgaven valgt å redusere temperaturene i tappevannssystemet i tillegg. Dette er utført ettersom alle beregningene er en del av et mulighetsstudie for implementering av LTFV i eksisterende boliger, noe som vil indikere reduserte temperaturer i hele sekundærnettet. I simuleringene i denne oppgaven er det derimot ikke tatt hensyn til eventuelle tiltak som må tas i bruk for å hindre vekst av

legionella i tappevannet. Ulike tiltak som vil være aktuelle ved lavtemperatur-produksjon av tappevann er lagt frem i avsnitt 3.4. Implementering av disse løsningene vil kreve noe investeringskostnader, i tillegg til at utvalgte løsninger krever energi til drift eller kan føre til et annet energiforbruk til beredning av tappevann enn det IDA ICE har beregnet gjennom simuleringene i denne oppgaven. Ettersom det først og fremst er varmesystemet som studeres i denne oppgaven er det ikke vurdert som nødvendig å ta hensyn til dette i denne omgang. Ved implementering av LTFV i norske husholdninger er det derimot svært viktig at sikre og gode løsninger for lavtemperatur tappevannsberedning er tatt i bruk i alle boliger før temperaturene i fjernvarmenettet reduseres.

I beregningene i denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til varmevekslerenes evne til å overføre nok effekt fra primærsiden av nettet til sekundærsiden ved reduserte temperaturer. Som beskrevet i avsnitt 3.4 vil det være nødvendig å øke massestrømmen på begge sider av en eksisterende veksler for å klare å avgi samme mengde effekt ved lavere temperaturer. Dersom dette ikke er mulig i de eksisterende vekslerne, eller i de eksisterende røرنettene, kan det være nødvendig å installere nye varmevekslere i abonnentsentralene designet for lavere driftstemperaturer. Disse enhetene vil ha større varmeoverføringsflater for bedre varmeavgivelse, noe som vil sikre en lavere returtemperatur ut på fjernvarmenettet. Reduserte returtemperaturer er som tidligere nevnt essensielt for en vellykket og effektiv lavtemperatur-drift av fjernvarmenett ettersom dette vil føre til reduserte varmetap i nettet, i tillegg til økt virkningsgrad i produksjonsentralen avhengig av produksjonsmåte.

Marek Brand og Svend Svendsen har utført et lignende studie som det gjennomført i denne oppgaven. Det ble da sett på en typisk dansk enebolig bygd på 1970-tallet, og muligheten for å ta i bruk LTFV ble undersøkt med tre ulike renovasjonstilfeller utført på boligen. Brand og Svendsen kom frem til at eneboligboligen kan varmes opp til en temperatur på 22 °C omtrent 59 % av året ved bruk av en turtemperatur i varmesystemet på 50 °C. Dersom vinduene i boligen oppgraderes til enheter omtrent som beskrevet i Tiltak 1 i denne oppgaven, økes andelen til 83,5 %. Til sammenligning viste beregningene i denne oppgaven at referanserekkehuset kan varmes opp til 21 °C omtrent 80 % av året dersom en turtemperatur på 50 °C benyttes i varmesystemet. Ved å oppgradere vinduene vil denne andelen øke til 89,5 %. Ettersom studiet til Brand og Svendsen er utført på en enebolig, mens studiet i denne oppgaven er utført på et rekkehus er det antatt at resultatene vil være noe avvikende. Ulik settpunkttemperatur til oppvarming vil i tillegg gi ulike forutsetninger i de to simuleringstilfellene. Resultatene kan dog sies å være relativt samsvarende, noe som øker troverdigheten til resultatene lagt frem i begge rapportene. Det skal derimot spesifiseres at resultater oppnådd gjennom et simuleringstøytøy aldri vil være direkte overførbare til en reell bolig ettersom det er så mange variabler i den reelle verden som aldri vil kunne beregnes i et program. Blant annet vil beboernes oppførsel og vaner, i tillegg til lokalt terreng og fremtidige klimaforandringer påvirke varmebehovet i den respektive boligen, og da igjen varmesystemets evne til å dekke dette med reduserte temperaturer. Pilotprosjekter for tilkobling av LTFV til eksisterende boliger vil dermed være nødvendig å utføre i fremtiden for å ha reelle svar på hva som skal til for at LTFV kan implementeres i eksisterende bygg av ulik standard og kategori.

9 KONKLUSJON

Resultatene viser at et typisk eldre rekkehus bygd før 1980, uten overdimensjonert varmesystem, kan bli varmet opp til 21 °C omtrent 80 % av året ved bruk av LTFV med en turtemperatur inn på varmesystemet på 50 °C. Dersom varmesystemet er overdimensjonert med 30 % øker denne andelen til 94 %. For å dekke varmebehovet hele året ved de ulike dimensjoneringsstilfellene, Q og Q_{30} , er det nødvendig å heve temperaturen i varmesystemet opp mot henholdsvis 80 °C og 60 °C den resterende andelen av året. Dersom settpunkttemperaturen til oppvarming øker vil varmesystemet få større problemer med å dekke varmebehovet i boligen, i alle tilfeller.

For å kunne holde den definerte settpunkttemperaturen på 21 °C hele året ved bruk av en maksimal turtemperatur i varmesystemet på 50 °C, vil det være nødvendig å redusere varmebehovet i den eldre referanseboligen. Dette kan utføres ved å implementere ulike energieffektiviseringstiltak på bygget. På referanseboligen, uten noen form for overdimensjonering av varmesystemet, er det nødvendig å redusere varmebehovet med 63,9 % for at varmebehovet fullstendig kan dekkes av LTFV. I denne oppgaven er dette oppnådd ved å utføre en full renovasjon av boligen i form av oppgradering av vinduene til enheter med en U -verdi på 1,2 W/m²K, inkludert karm og ramme. I tillegg må ytterveggene og tak etterisoleres med 10 cm mineralull med varmekonduktivitet, $\lambda = 0,038$ W/mK. Dersom varmesystemet er overdimensjonert med 30 % vil varmebehovet kun måtte reduseres med 51,3 % for at resultatet skal bli likt. I dette tilfellet innebærer det en oppgradering av alle vinduene som beskrevet over, i tillegg til at veggene må etterisoleres med 10 cm mineralull med varmekonduktivitet, $\lambda = 0,038$ W/mK.

I dag er det derimot mange eldre boliger som allerede har fått utført energieffektiviseringstiltak på konstruksjonen, da gjerne i form av oppgradering av eldre vinduer. Dette resulterer i at varmebehovet er redusert sammenlignet med det opprinnelige nivået, og varmesystemet vil klare å dekke en større andel av varmebehovet i løpet av året ved reduserte driftstemperaturer. Dersom de eldre vinduene i referanseboligen er byttet ut med nye energieffektive vinduer med U -verdi på 1,2 W/m²K, vil varmebehovet i dette tilfellet reduseres med 24,6 %. Ved bruk av et varmesystem som ikke er overdimensjonert er det da kun 921 timer, eller 10,5 % av året, der en turtemperaturen på 50 °C ikke er tilstrekkelig. Temperaturen må da heves over 60 °C på de kaldeste dagene for at boligen skal klare å holde en stabil settpunkttemperatur på 21 °C. Ved bruk av et varmesystem som er 30 % overdimensjonert er det kun 250 timer, eller 2,8 % av året, der temperaturen må heves over 50 °C for at varmebehovet skal dekkes. I dette tilfellet vil en temperatur på 55 °C være tilstrekkelig på de kaldeste dagene.

I oppgaven er ulike grader av overdimensjonering av varmesystemet vurdert. Dersom varmesystemet overdimensjoneres så mye som 100 % vil det i dette tilfellet ikke være nødvendig å utføre noen form for energieffektiviseringstiltak på boligen før LTFV implementeres. Årsaken til dette er at overdimensjonerte radiatorene har så store varmeoverføringsflater at enhetene klarer å avgir tilstrekkelig effekt til rommet selv ved lave driftstemperaturer.

Dersom rekkehuset var bygd med TEK 10-standard eller passivhusstandard, og dermed har et varmesystem dimensjonert for noe lavere temperaturer, 60/40/20, vil en overgang til LTFV være problemfritt. Dette gjelder ved en settpunkttemperatur for oppvarming på 21 °C.

Varmesystemet i passivhuset kan i utgangspunktet driftes med temperaturer ned mot 40 °C grunnet det lave varmebehovet. I slike tilfeller kan det være passende å bruke nærvarmesystemer, altså varme produsert til det respektive bygget, ettersom dette gir stor frihet til å redusere temperaturnivået og dermed oppnå en mer effektiv varmeproduksjon. Dersom beboerne ønsker å heve settpunkttemperaturen til oppvarming opp mot 24-25 °C, eller dersom de lufter på soverommene før kveldstid, vil det derimot være nødvendig med en temperatur på 50 °C i boligens varmesystem. I disse tilfellene vil LTFV være passende for tilknytning til passivhus, og vil gi stor frihet for beboerne i forhold til drift av varmesystemet.

Før LTFV kan implementeres i de norske fjernvarmenettene er det flere utfordringer som først må løses. Alle forbrukerne av fjernvarme må først og fremst sikre at produksjonen av varmt tappevann skjer på en sikker måte selv ved lave driftstemperaturer. Dette kan kreve investeringer i nytt driftsutstyr på eksisterende abonnentsentraler. Det vil i tillegg være nødvendig å sikre at dagens varmevekslere klarer å avgi nok effekt til forbrukerne ved implementering av de nye temperaturnivåene. Dersom dette ikke er tilfellet vil det i tillegg være nødvendig å installere nye vekslere i abonnentsentralene, designet for lavere driftstemperaturer.

Oppgaven har vist at implementering av LTFV i eksisterende boliger er mulig, men avhengig av boligtype og kategori vil det kreve noen investeringer både på selve bygget og på abonnentsentralen. Det er allikevel tydelig at referanseboligen i denne oppgaven vil klare å dekke sitt varmebehov store deler av året ved en turtemperatur i varmesystemet på 50 °C. Muligheten for å redusere temperaturen i fjernvarmenettet store delen av året, og kun heve temperaturen noe i de kaldeste periodene vil dermed gjøre det mulig å dekke varmebehovet i eksisterende bygninger ved bruk av LTFV i fremtiden. Regjeringen har som mål å redusere energibruken i bygg med 15 TWh innen 2020 sammenlignet med dagens nivå. Dersom varmebehovet i eksisterende bygninger også reduseres vil implementering av LTFV, med tanke på å dekke varmebehovet, i fremtiden være langt mindre problematisk.

10 VIDERE ARBEID

For at beregningene i denne oppgaven skal være gyldige avhenger det av at eksisterende varmevekslere i abonnentsentralene klarer å overføre tilstrekkelig effekt til sekundærnettet ved lave driftstemperaturer i primærnettet. Et mulighetsstudie for overgang til lavtemperaturdrift i eksisterende vekslere vil dermed være nødvendig før en eventuell overgang til fjerde generasjon fjernvarme kan gjennomføres.

Det er gjennom denne oppgaven sett at ved å øke massestrømmen gjennom varmesystemet vil varmeavgivelsen øke kraftig, noe som fører til at det ikke vil være nødvendig å redusere varmebehovet i like stor grad før et lavtemperatursystem kan tas i bruk i boligen. Før det kan konkluderes med at en slik løsning kan tas i bruk i spesifikke varmesystem vil det være nødvendig å utføre beregninger for å undersøke hvor stor økning i massestrømmen rørsystemet vil tåle.

Før lavtemperatur fjernvarme kan implementeres i norske fjernvarmenett må sikre tiltak for lavtemperatur beredning av tappevann tas i bruk i alle bygg tilknyttet nettet. Et økonomisk mulighetsstudie i forhold til implementering av nye varmtvannssystemer for beredning av tappevann i alle eksisterende abonnentsentraler vil dermed være nødvendig for å få en oversikt over initialkostnadene ved en overgang til en ny generasjon fjernvarme.

Simuleringene utført i denne oppgaven gir en god indikasjon på hvordan en overgang til lavtemperatur fjernvarme kan gjennomføres, men det vil derimot være nødvendig med reelle utprøvinger og pilotprosjekter før et nytt fjernvarmesystem kan implementeres for fullt i norske fjernvarmenett. Dette er nødvendig ettersom simuleringsverktøy aldri vil kunne simulere den reelle situasjonen fullstendig. Det vil være spennende å utføre slike pilotstudier i Norge, men inspirasjon og erfaringer kan og bør også hentes fra utenlandske prosjekter som gjennomføres. Gjennom det internasjonale forskningscenteret for fjerde generasjon fjernvarme, 4DH, utføres det i skrivende stund et prosjekt som går under navnet «Heating of Existing Buildings by Low-Temperature DH». Prosjektet skal utføre detaljerte beregninger på eksisterende bygninger og kan gi ytterligere svar på hvordan lavtemperatur fjernvarme kan innføres i eksisterende boliger på best mulig måte.

BIBLIOGRAFI

Achermann, M. & Zweifel, G., 2003. *RADTEST - Radiant Heating and Cooling Test Cases*, Horw: IEA.

Akershus Energi Varme AS, 2013. *Akershus Energi, Tekniske retningslinjer installasjon, drift og vedlikehold av kundesentraler for fjernvarme*. [Internett]

Available at:

[http://www.akershusenergi.no/kunder/ae/mm.nsf/lupgraphics/Tekniske_retningslinjer_13_05_14.pdf/\\$file/Tekniske_retningslinjer_13_05_14.pdf](http://www.akershusenergi.no/kunder/ae/mm.nsf/lupgraphics/Tekniske_retningslinjer_13_05_14.pdf/$file/Tekniske_retningslinjer_13_05_14.pdf)

[Funnet 11 2013].

Allegra, S. et al., 2010. *Longitudinal Evaluation of the Efficacy of Heat Treatment Procedures against Legionella spp. in Hospital Water Systems by Using a Flow Cytometric Assay*, s.l.: Applied and Environmental Microbiology.

Andersson, E. et al., 2010. *Sänkta tappvattentemperaturer*, Stockholm: Teknikmarknad.

Aronsen, E., 2013. *Miljøhuset GK, Et av Norges mest energieffektive kontorbygg - erfaringer etter et års drift*. Oslo: Sintef.

Bagh, L. K., u.d. *Test af ultrafiltreringssystem i varmt og kaldt brugsvand*, Rungsted Kyst: Teknologisk Institut Miljødivisionen.

Bakken, S. T., 2014. *E-post korrespondanse angående tidlig utbygging av fjernvarmenettet i Oslo*. s.l.:s.n.

Beauté, J., Zucs, P. & Jong, B. d., 2013. *Eurosurveillance, Legionnaires' disease in Europe, 2009-2010*. [Internett]

Available at: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=20417>

[Funnet 10 2013].

Blanc, D., Carrara, P., Zanetti, G. & Francioli, P., 2004. *Water Disinfection with Ozone, Copper and Silver Ions, and Temperature Increase to Control Legionella: Seven Years of Experience in a University Teaching Hospital*, Lausanne: Elsevier.

Brand, M. & Svendsen, S., 2013. *Renewable-based low-temperature district heating for existing buildings in various stages of refurbishment*, Kgs. Lyngby: Elsevier.

Buhl, L., 2012. *Legionella, Installasjonsprinsipper og bekæmpelsesmetoder*, s.l.: Rørcenteret.

Christensen, A. M. H., 2011. *Mandag Morgen, Energibesparelser i kommunerne*. [Internett]

Available at:

<https://www.mm.dk/sites/default/files/Albertslund%20Kommune%20pr%C3%A6sentation%20-%20Anne%20Marie%20Holt%20Christensen.pdf>

[Funnet 04 2014].

Christiansen, C. H., 2011. *Demonstration af lavenergifjernvarme til lavenergibyggeri i boligforeningen ringgårdens afd. 34 i Lystrup*, Lystrup: Teknologisk Institut.

COWI, u.d. *Fjernvarmens Udviklingscenter*. [Internett]

Available at:

http://fjvu.dk/sites/default/files/verdens_stoerste_bioenergianlaeg_rejser_sig_fra_bar_mark.pdf

[Funnet 04 2014].

Dansk Standard, 2009. *DS 439-Norm for vandinstallationer*, København: Dansk Standard.

Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches, 2004. *Arbeitsblatt W 551*, Bonn: DVGW.

Dimplex, u.d. *Dimplex, Viftekonvektorer oppvarming/kjøling*. [Internett]

Available at: <http://www.dimplex.de/no/varmepumpe/viftekonvektorer/viftekonvektorer-til-oppvarming-og-kjoeling.html>

[Funnet 03 2014].

Direktoratet for byggkvalitet, 2011. *Veiledning om tekniske krav til byggverk*, s.l.:

Direktoratet for byggkvalitet.

Direktoratet for byggkvalitet, 2013. *Direktoratet for byggkvalitet, Teknisk forskrift 1997-2010*. [Internett]

Available at: <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Tidligere-regelverk/Teknisk-forskrift-1997-2010/>

[Funnet 02 2014].

Dokka, T. H. & Helland, K., 2008. *Løvåshagen: Norges første lavblokkprosjekt med passivhusstandard*, Trondheim: Paper Passivhus Norden.

Domingue, E., Tyndall, R., Mayberry, W. & Pancorbo, O., 1988. *Effects of Three Oxidizing Biocides on Legionella Pneumophila Serogroup 1*, s.l.: American Society for Microbiology.

Enova, 2004. *Manual for Enøk normtall*, Trondheim: Enova SF.

Enova, 2011. *Enova, Byggstatistikk 2011*. [Internett]

Available at: <http://www.enova.no/innsikt/rapporter/byggstatistikk-2011/4-energibruk-2011/41-om-statistikken-og-usikkerheter/488/0/>

[Funnet 03 2014].

Enova, u.d. *Energikilder i et passivhus*. [Internett]

Available at: <http://www.enova.no/radgivning/privat/energismarte-rad-for-din-bolig/fremtidens-bolig/energikilder-i-et-passivhus/energikilder-i-et-passivhus/177/203/>

[Funnet 05 2014].

European Standard, 2005. *Krav til drikkevannsinstallasjoner i bygninger, Del 2: Utførelse (NS-EN 806)*, s.l.: Standard Norge.

Fang, L., Clausen, G. & Fanger, P., 1998. *Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality*, Lyngby: Munksgaard.

Frederiksen, S. & Werner, S., 2013. *District Heating and Cooling*. Lund: Studentlitteratur.

- Glava isolasjon, u.d. *Glava isolasjon, Byggisolasjon*. [Internett]
Available at: <http://www.glava.no/produkter/byggisolasjon/glava-38/>
[Funnet 04 2014].
- Grindal, A. & Børresen, B. A., 1998. *Vannbåren energi, Vannfordeling - regulering*, Oslo: Statsbygg.
- Haarberg, K. J., Hansen, E., Bjørneng, H. & Vasvik, T., 2013. *Vannbåren varme i Norge - et studium av markedsutviklingen i perioden 2008-2011*, Oslo: Enova.
- Halvorsen, B. & Dalen, H. M., 2013. *"Ta hjemmetempen"*, Oslo-Kongsvinger: Statistisk sentralbyrå.
- Juhler, H. M., 2013. *E-post korrespondanse angående fjernvarmetilknytning i Norge*. s.l.:s.n.
- Korado, u.d. *Korado, Steel Panel Radiators in the Version KLASIK*. [Internett]
Available at: <http://www.korado.com/en/products/radiators-radik/review-of-models/version-klasik/index.shtml>
[Funnet 03 2014].
- Korado, u.d. *Radik Calculation of Heat Output*. [Internett]
Available at: <http://www.korado.com/en/databases/radik-calculation-heat-output.shtml>
[Funnet 05 2014].
- Kristiansen, T. H., 2014. *Epost korrespondanse angående temperaturnivå i varmesystemer*. s.l.:s.n.
- Kure, H. M., 2011. *Strømforbruk i norske husholdninger*, Trondheim: NTNU.
- Lin, Y.-s. E., Stout, J. E., Yu, V. L. & Vidic, R. D., 1998. *Disinfection of Water Distribution Systems for Legionella*, Pittsburgh: Departments of Civil & Environmental Engineering and Medicine, University of Pittsburgh.
- Lovdata, 2010. *Lovdata, Forskrift om tekniske krav til byggverk*. [Internett]
Available at: <http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489>
[Funnet 09 2019].
- Lund, H., Möller, B., Mathiesen, B. & Dyrelund, A., 2009. *The Role of District Heating in Future Renewable Energy Systems*, Aalborg, Virum: Elsevier.
- Muraca, P. W., Yu, V. L. & Goetz, A., 1990. *Disinfection of Water Distribution Systems for Legionella: A Review of Application Procedures and Methodologies*, Chicago: The University of Chicago Press.
- Norconsult, 2013. *Praktisk veileder for energimerking*, Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

- Norsk Fjernvarme, 2013. *Norsk Fjernvarme*. [Internett]
Available at: <http://www.fjernvarme.no/index.php>
[Funnet 08 2013].
- Novakovic, V. et al., 2007. *Enøk i bygninger, Effektiv energibruk*. 3. red. Trondheim: Gyldendal.
- Olesen, B. W., 2002. *Radiant Floor Heating In Theory and Practice*, s.l.: ASHRAE Journal.
- Olje- og energidepartementet, 2012. *Regjeringen, Regjeringens mål for energieffektivisering i bygg*. [Internett]
Available at: <http://www.regjeringen.no/nb/dokumentarkiv/stoltenberg-ii/oed/Nyheter-og-pressemeldinger/nyheter/2012/regjeringens-mal-for-energieffektiviseri.html?id=708469>
[Funnet 12 2013].
- Paulsen, O., Fan, J., Furbo, S. & Thorsen, J. E., 2008. *Consumer Unit for Low Energy District Heating Net*, Reykjavik: The 11th International Symposium on District Heating and Cooling.
- Pettersen, J. E., 2012. *Forebygging av legionellasmitte - en veiledning*, Oslo: Folkehelseinstituttet.
- Pettersen, J. E., 2013. *Epost korrespondanse angående legionellaproblematikken i tappevannsystemer og dagens regelverk*. s.l.:s.n.
- Pringler, N., 2001. *Test af effekten på legionella i varmt brugsvand af BIN-X UF/24 ultrafiltreringssystem monteret på bruser*, København: Kontrollaboratoriet Den Centrale Afdelingen for Sykehushygiejne.
- Rambøll & EMD, 2006. *Varmeforsyning af nye boligområder*, Aalborg: Rambøll.
- Rohr, U. et al., 1999. *Four Years of Experience with Silver-Copper Ionization for Control of Legionella in a German University Hospital Hot Water Plumbing System*, Bochum: Infectious Diseases Society of America.
- SSB, 2011. *Statistisk Sentralbyrå, Energibruk i husholdningene, 2009*. [Internett]
Available at: <https://www.ssb.no/energi-og-industri/statistikker/husenergi/hvert-3-aar/2011-04-19>
[Funnet 04 2014].
- SSB, 2013. *Statistisk Sentralbyrå, Boliger, 1. januar 2013*. [Internett]
Available at: <http://ssb.no/bygg-bolig-og-eiendom/statistikker/boligstat/aar/2013-07-12>
[Funnet 03 2014].
- SSB, 2013. *Statistisk Sentralbyrå, Fjernvarme, 2012*. [Internett]
Available at: <http://ssb.no/energi-og-industri/statistikker/fjernvarme/aar>
[Funnet 03 2014].
- SSE, u.d. *Greenwatt Way, SSE Zero Carbon Home Development, Slough*, Berkshire: SSE.

Standard Norge, 2008. *Varmesystemer i bygninger, utforming av overflate- og vannbaserte varme- og kjølesystemer (NS-EN 15377-1)*, s.l.: Standard Norge.

Standard Norge, 2011. *Beregning av bygningers bergiytelse, metode og data (NS 3031)*, s.l.: Standard Norge.

Standard Norge, 2013. *Kriterier for passivhus og lavenergibygninger - boligbygninger (NS 3700)*, s.l.: Standard Norge.

Stensaas, L. I., 2007. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. 2. red. Oslo: Skarland Press.

TermoRens AS, u.d. *TermoRens AS*. [Internett]
Available at: <http://termorens.no/Velkommen/cid/16049/>
[Funnet 10 2013].

The Engineering ToolBox, u.d. *The Engineering ToolBox, Person and Metabolic Heat Gain*. [Internett]
Available at: http://www.engineeringtoolbox.com/metabolic-heat-persons-d_706.html
[Funnet 04 2014].

Tyholt, M., Pettersen, T. D., Haavik, T. & Wachenfeldt, B. J., 2009. *Energy Analysis of the Norwegian Dwelling Stock*, s.l.: Solar Heating & Cooling Programme.

U.S. Department of Energy, 2011. *Building Energy Software Tools Directory*. [Internett]
Available at:
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=243/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects
[Funnet 05 2014].

Uponor, u.d. *Radiant Advantages*. [Internett]
Available at: https://www.uponor-usa.com/~media/Extranet/Files/CDAM/CDAM_Manual_7thEd_0711_Ch2.aspx?sc_lang=en
[Funnet 01 2014].

VELFAC, u.d. *VELFAC, Lav-energi vinduer, terassedøre og skyvedøre*. [Internett]
Available at: <http://velfac.dk/vinduer-erhverv/Produkter/200-Helo/>
[Funnet 04 2014].

VVS-bransjens varmenorm, 2012. *Varmenormen*, s.l.: Skarlandpress.

Warmerdam, J. & Caris, R., 2001. *IEA Workshop on Legionella*. Delft, IEA.

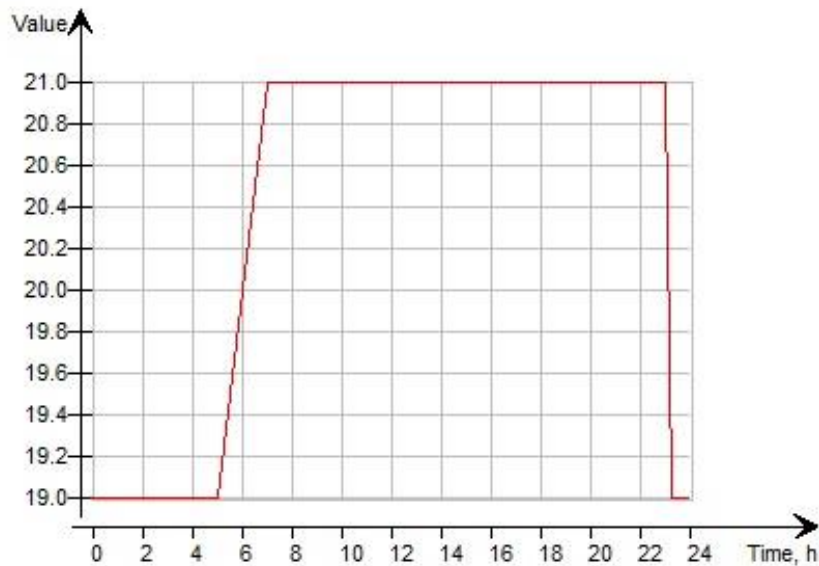
Werner, S., 2013. *4dh, Publications & Reports- Fjärde generations fjärrvärme i ett Europa-perspektiv*. [Internett]
Available at: <http://4dh.dk/publications-reports>
[Funnet 05 2014].

Zijdemans, D., 2012. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. 1. red. Oslo: Skarland Press AS.

VEDLEGG

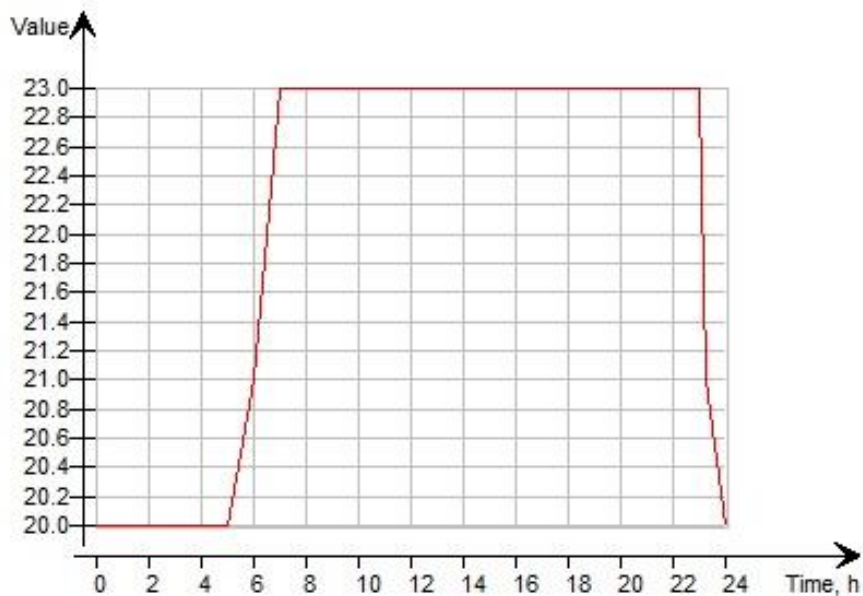
A. DRIFTSTID OG TEMPERATURFORLØP I VARMESYSTEMET

Figur A. 1 illustrerer temperaturforløpet i referanseboligen ved settpunkttemperatur for oppvarming definert direkte etter NS 3031; 21 °C i driftstiden og 19 °C utenfor driftstiden.



A. 1 Temperaturforløp ved settpunkttemperatur for oppvarming definert etter NS 3031

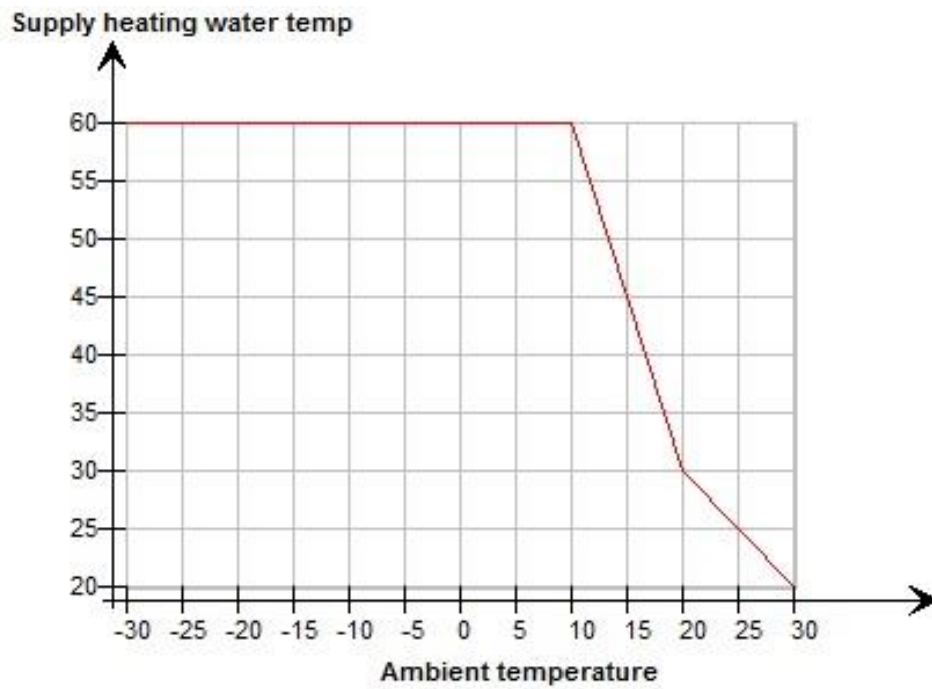
Figur A. 2 illustrerer temperaturforløp ved forhøyet settpunkttemperatur for oppvarming som følge av endret brukeroppførsel; 23 °C i driftstiden og 20 °C utenfor driftstiden.



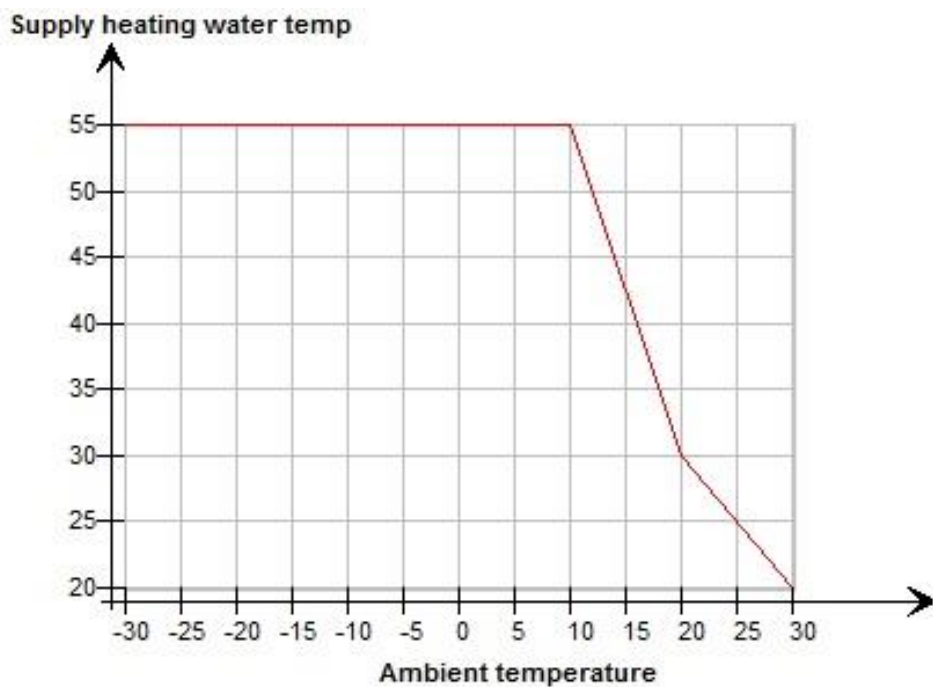
A. 2 Temperaturforløp ved økt settpunkttemperatur for oppvarming

B. TEMPERATURKOMPENSERINGSKURVE

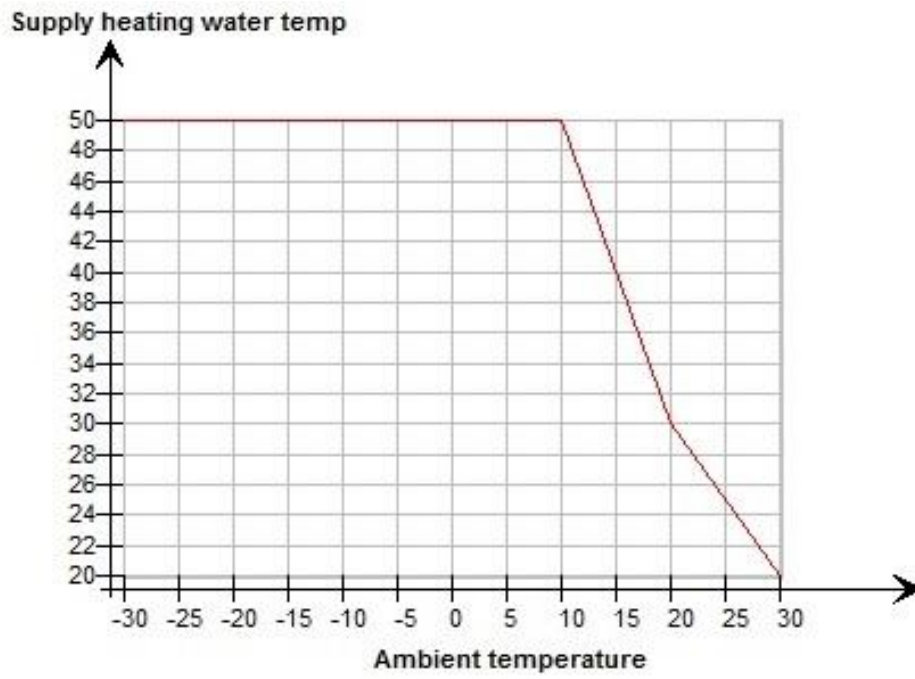
De påfølgende figurene illustrerer utetemperatur-kompenseringskurvene for turtemperaturen i varmesystemet ved de ulike turtemperatur-nivåene.



B. 1 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 60 °C



B. 2 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 55 °C



B. 3 Maksimal turtemperatur inn på varmesystemet på 50 °C

C. RADIATOR SPESIFIKASJONER

Radiatorene satt inn i boligen er valgt fra Korado som er en av Europas største leverandør av radiatorene (Korado, u.d.). Alle enhetene plassert i boligen er av typen Radik Klasik.

Radiatorene i referanseboligen er dimensjonert for en tur- og returtemperatur i enhetene på henholdsvis 80 °C og 60 °C, og med en ønsket lufttemperatur på 20 °C. I *TEK 10* og *Passivhus* er dimensjonerende tur- og returtemperatur henholdsvis 60 °C og 40 °C ved en lufttemperatur på 20 °C. Tekniske parametere for radiatorene implementert i boligen av typen Radik Klasik er lagt frem i C. 1.

C. 1 Tekniske parametere for radiatortypen Radik Klasik

Høyde	300	400	500	600	900
	Type 10				
Nominell varmeeffekt [W/m]	330	423	514	604	875
Temp. eksponent	1,3319	1,3193	1,3068	1,2942	1,3083
	Type 11				
Nominell varmeeffekt [W/m]	549	708	858	1002	1394
Temp. eksponent	1,3156	1,3140	1,3123	1,3107	1,3206
	Type 21				
Nominell varmeeffekt [W/m]	745	937	1117	1288	1754
Temp. eksponent	1,3197	1,3238	1,3278	1,3319	1,3578

Massestrømmen gjennom radiatorene når enhetene kjøres på maksimal effekt beregnes automatisk i IDA ICE fra Likning 3, gjengitt under.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T [W]$$

der Q er avgitt effekt fra radiatoren [W]

\dot{m} er massestrøm [kg/s]

c_p er spesifikk varmekapasitet for vann [J/kgK]

ΔT er differansen mellom tur- og returtemperaturen (ts-tr) [K]

REFERANSEBYGG

C. 2 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q

	Q [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov. 1	543,3	Type 11, 800*400	559	0,00667
Sov. 2	307,5	Type 11, 600*300	325	0,00388
Sov. 3	647,9	Type 11, 1200*300	650	0,00775
Gang	312,4	Type 11, 600*300	325	0,00388
Bad 1	331,0	Type 11, 500*400	349	0,00416
Bad 2	400,7	Type 11, 600*400	419	0,00500
Stue/kjøkken	2623,0	4*Type 11, 800*500	677	0,00808

C. 3 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q₃₀

	Q ₃₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	706,3	Type 11, 1000*400	708	0,00845
Sov, 2	399,8	Type 11, 400*600	401	0,00478
Sov, 3	842,3	Type 11, 1200*400	850	0,01014
Gang	406,1	Type 10, 800*500	411	0,00490
Bad 1	430,3	Type 11, 800*300	439	0,00524
Bad 2	520,9	Type 11, 1000*300	549	0,00655
Stue/kjøkken	3409,9	4*Type 11, 1000*500	858	0,01024

C. 4 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q₅₀

	Q ₅₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	815,0	Type 11, 1200*400	838	0,01000
Sov, 2	461,3	Type 11, 900*300	487	0,00581
Sov, 3	971,9	Type 11, 1400*400	978	0,01167
Gang	468,6	Type 11, 900*300	487	0,00581
Bad 1	496,5	Type 11, 600*500	508	0,00606
Bad 2	601,0	Type 10, 1200*500	609	0,00727
Stue/kjøkken	3934,5	4*Type 11, 1000*600	989	0,01180

C. 5 Radiatorene plassert i referanseboligen, Q_{100}

	Q_{100} [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	1086,6	2* Type 11, 800*400	559	0,00667
Sov, 2	615,0	Type 10, 1200*500	609	0,00727
Sov, 3	1295,8	2*Type 11, 1200*300	650	0,00775
Gang	624,8	Type 11, 900*400	629	0,00750
Bad 1	662,0	Type 11, 800*500	677	0,00808
Bad 2	801,4	Type 10, 1600*500	811	0,00968
Stue/kjøkken	5246,0	6*Type 21, 800*500	882	0,01052

TEK 10

C. 6 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q

	Q [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov. 1	283,9	Type 11, 700*500	293	0,00350
Sov. 2	174,0	Type 10, 700*500	176	0,00210
Sov. 3	348,0	Type 10, 1200*600	357	0,00426
Gang	193,0	Type 10, 800*500	201	0,00240
Bad 1	181,3	Type 11, 700*300	187	0,00223
Bad 2	187,0	Type 11, 700*300	187	0,00223
Stue/kjøkken	1269,0	4*Type10, 1100*600	328	0,00391

C. 7 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q_{30}

	Q_{30} [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov. 1	369,1	Type 11, 900*500	377	0,00450
Sov. 2	226,2	Type 10, 900*500	227	0,00271
Sov. 3	452,4	Type 11, 1100*500	461	0,00550
Gang	250,9	Type 10, 1000*500	252	0,00301
Bad 1	235,7	Type 10, 800*600	238	0,00284
Bad 2	243,1	Type 11, 500*600	245	0,00292
Stue/kjøkken	1649,7	4*Type 11, 1000*500	419	0,00500

C. 8 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q₅₀

	Q ₅₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov. 1	425,9	Type 11, 900*600	441	0,00526
Sov. 2	261,0	Type 10, 900*600	268	0,00320
Sov. 3	522,0	Type 11, 1100*600	539	0,00643
Gang	289,5	Type 11, 700*500	293	0,00350
Bad 1	272,0	Type 11, 800*400	276	0,00329
Bad 2	280,5	Type 11, 700*500	293	0,00350
Stue/kjøkken	1903,5	4*Type 11, 1000*600	490	0,00585

C. 9 Radiatorene plassert i boligen av TEK 10-standard, Q₁₀₀

	Q ₁₀₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov. 1	567,8	Type 11, 1200*600	587	0,00700
Sov. 2	348,0	Type 10, 1200*600	357	0,00426
Sov. 3	696,0	2*Type 10, 1200*600	348	0,00415
Gang	386,0	Type 11, 800*600	392	0,00468
Bad 1	362,6	Type 11, 900*500	377	0,00450
Bad 2	374,0	Type 11, 900*500	377	0,00450
Stue/kjøkken	2538,0	6*Type 11, 900*600	441	0,00526

PASSIVHUS

C. 10 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard, Q

	Q [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	248,5	Type 10, 1000*500	252	0,00301
Sov, 2	191,0	Type 10, 800*500	201	0,00240
Sov, 3	317,1	Type 11, 1200*300	321	0,00383
Gang	223,9	Type 10, 900*500	227	0,00271
Bad 1	170,7	Type 11, 500*400	173	0,00206
Bad 2	158,6	Type 11, 600*300	161	0,00192
Stue/kjøkken	903,9	4*Type 10, 900*500	227	0,00271

C. 11 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard,, Q₃₀

	Q ₃₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	323,0	Type 11, 800*500	335	0,00400
Sov, 2	248,3	Type 11, 600*500	251	0,00299
Sov, 3	412,2	Type 11, 1200*400	414	0,00494
Gang	291,7	Type 11, 700*500	293	0,00350
Bad 1	221,9	Type 10, 900*500	227	0,00271
Bad 2	2062	Type 10, 700*600	208	0,00248
Stue/kjøkken	1175,1	Type 10, 1000*600	298	0,00356

C. 12 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard,, Q₅₀

	Q ₅₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	372,8	Type 11, 900*500	377	0,00450
Sov, 2	286,5	Type 11, 700*500	293	0,00350
Sov, 3	475,7	Type 11, 1000*600	490	0,00585
Gang	335,9	Type 11, 700*600	343	0,00409
Bad 1	256,1	Type 11, 1000*300	268	0,00320
Bad 2	237,9	Type 11, 900*300	241	0,00288
Stue/kjøkken	1355,9	4*Type 11, 700*600	343	0,00409

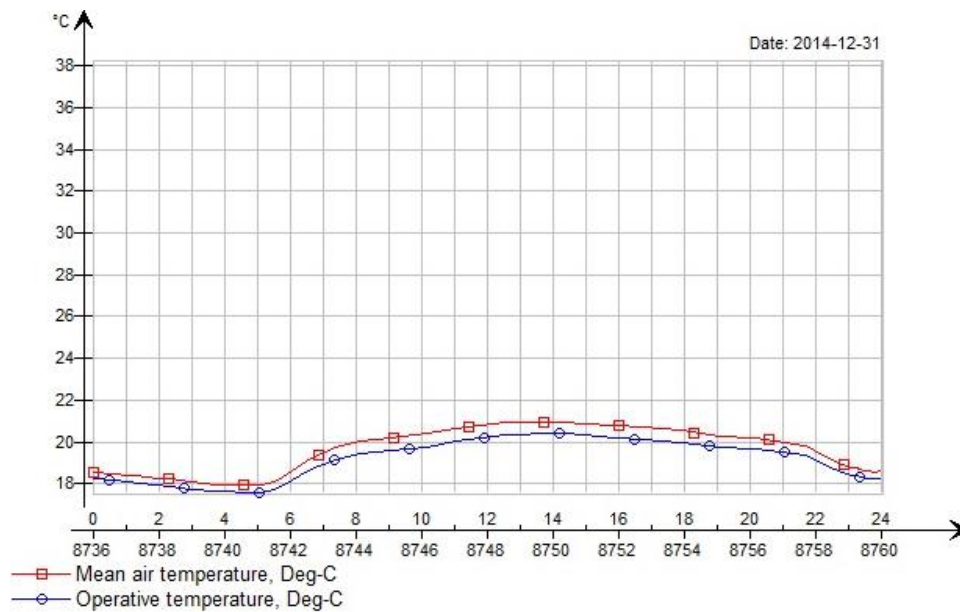
C. 13 Radiatorene plassert i bolig av passivhusstandard, Q₁₀₀

	Q ₁₀₀ [W]	Radiator type, L*H	Radiator effekt [W]	Massestrøm på maksimal effekt [kg/s]
Sov, 1	497,0	Type 11, 1200*500	503	0,00600
Sov, 2	382,0	Type 11, 800*600	392	0,00468
Sov, 3	634,2	2*Type 11, 1200*300	321	0,00383
Gang	447,8	Type 11, 1100*500	461	0,00550
Bad 1	341,4	Type 11, 1000*400	345	0,00412
Bad 2	317,2	Type 11, 1200*300	321	0,00383
Stue/kjøkken	1807,8	Type 11, 1100*500	461	0,00550

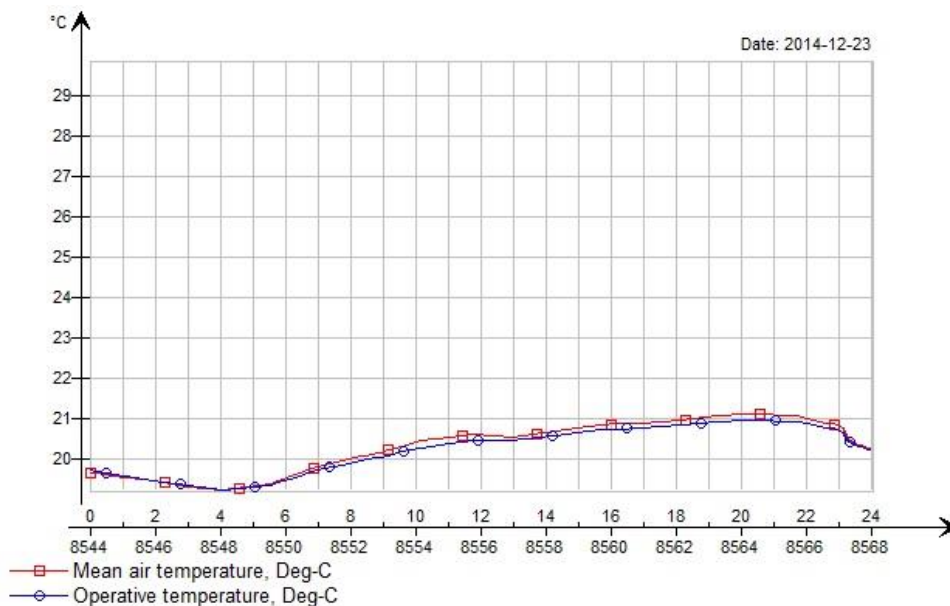
D. LUFTTEMPERATUR

Selv om det er noen timer i utvalgte soner der settpunkttemperaturen ikke blir oppnådd er varmebehovet definert som dekket i noen av scenariene. Dette er tilfellet dersom settpunkttemperaturen ikke er oppnådd i et tidsrom der en noe lavere lufttemperaturer ikke er kritisk, som om natten eller tidlig morgen, eller dersom nedkjølingen kun oppstår i en kort periode. Vedlagt er temperaturforløpet i den sonen med lavest temperatur og flest timer uten oppnådd settpunkttemperatur for hvert av tilfellene der varmebehovet ikke er fullstendig dekket men allikevel ansett som tilfredsstillende dekket.

Uten overdimensjonering av varmesystem

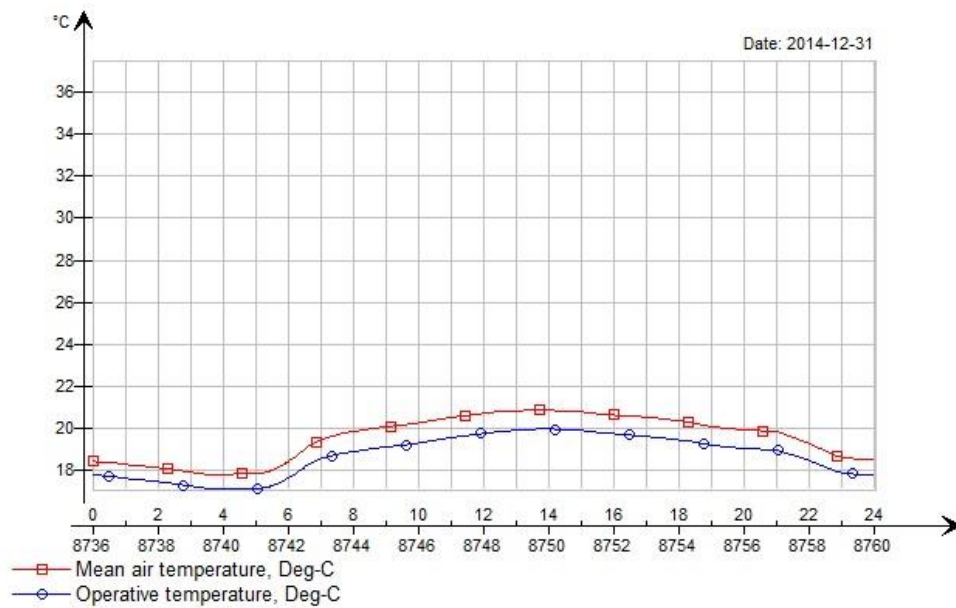


D. 1 Temperaturforløp stue/kjøkkenen 31.12, Tiltak 2 T = 55 °C

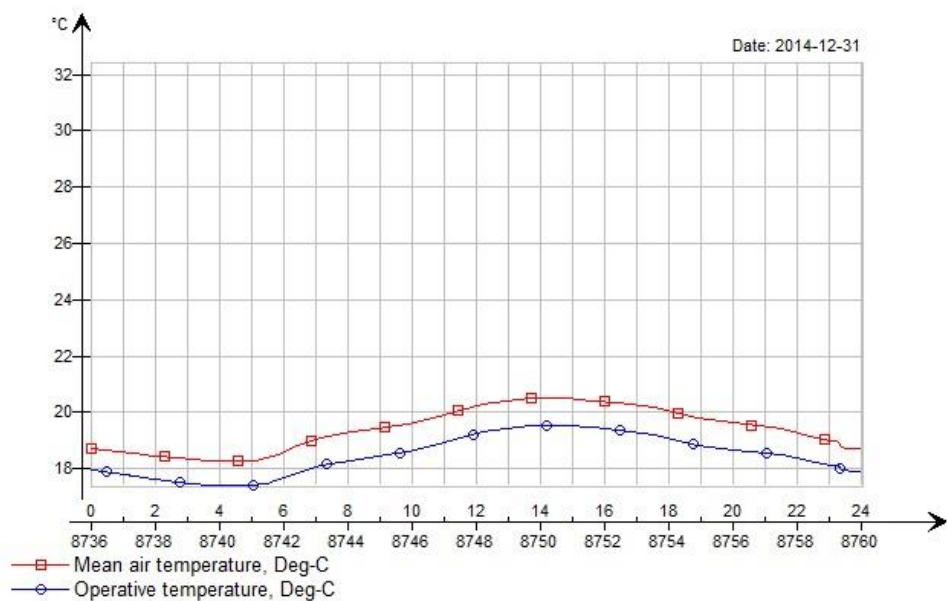


D. 2 Temperaturforløp gang 23.12, Tiltak 3 T = 50 °C

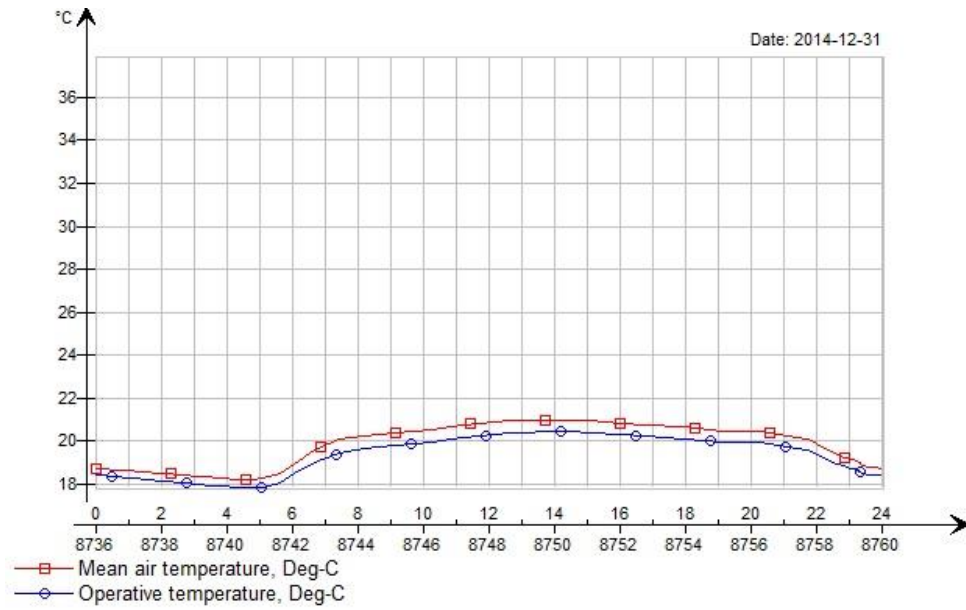
30 % overdimensjonering av varmesystem



D. 3 Temperaturforløp stue/kjøkken 31.12, Referansebolig T = 60 °C

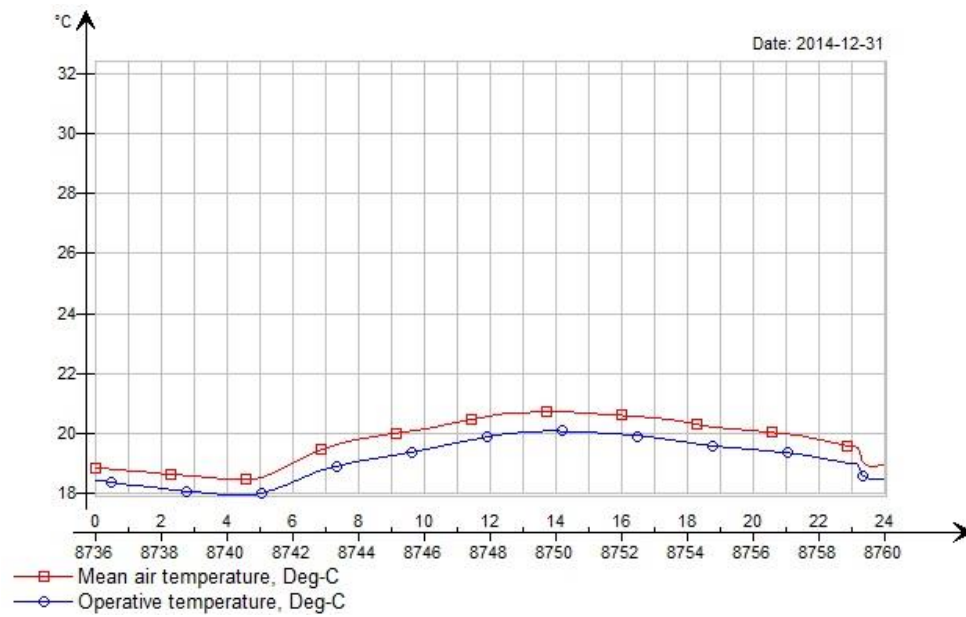


D. 4 Temperaturforløp bad 2 31.12, Tiltak 1 T = 55 °C



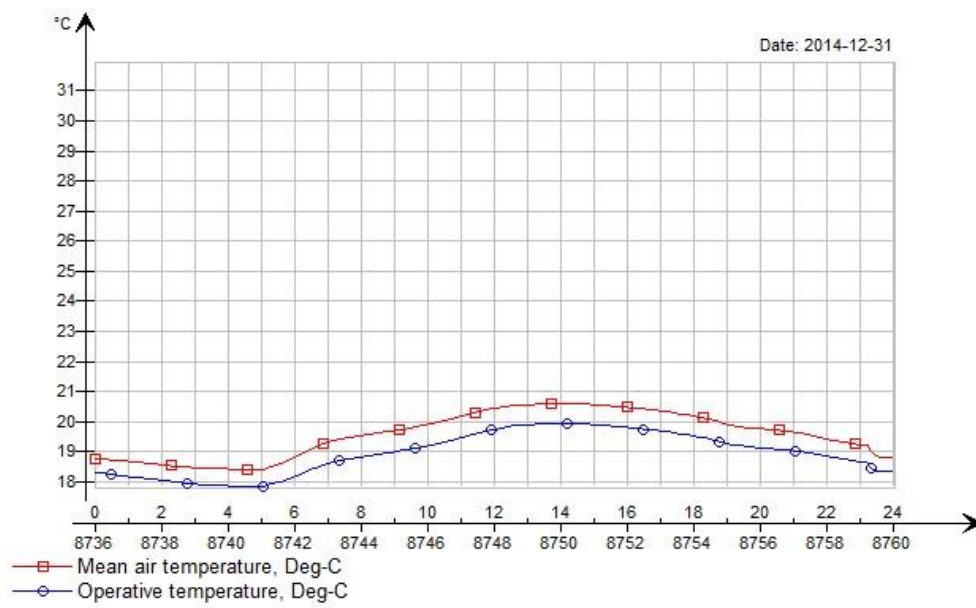
D. 5 Temperaturforløp stue/kjøkken 31.12, Tiltak 2 T = 50 °C

50 % overdimensjonering av varmesystem



D. 6 Temperaturforløp bad 2 31.12, Tiltak 1 T = 55 °C

100 % overdimensjonering av varmesystem



D. 7 Temperaturforløp bad 2 31.12, Referansebolig T = 50 °C