

Frostsikring av ubebodde bygninger

Ingrid Dolva

Master i energi og miljø

Innlevert: desember 2017

Hovedveileder: Natasa Nord, EPT

Medveileder: Per Olaf Tjelflaat, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2017- 122

MASTEROPPGAVE

for

Student Ingrid Dolva

Høsten 2017

Frostsikring av ubebodde bygninger

*Frost Proofing of Unoccupied Buildings***Bakgrunn og målsetting**

Frostsikring medfører at bygninger blir ubrukelige og får unødige kostnader for reparasjoner. Det er spesielt i ubebodde bygninger, med ingen eller utilstrekkelig oppvarming, at frostsikring inntreffer. Fritidsboliger er gjerne ubebodde i store deler av året. I tillegg er mange beliggende i fjellområder hvor utetemperaturer er under frysepunktet gjennom lange perioder.

Forsikringsselskaper krever at ubebodde bygninger oppvarmes for å erstatte reparasjonskostnader etter frostsikring. Slik frostsikring skjer nesten utelukkende ved bruk av elektrisk oppvarming.

Oppvarmingen medfører både kostnader og relaterte utslipp av klimagasser som synes unødvendige. De fleste fritidsboliger som bygges i dag er utstyrt med sanitæranlegg nesten av samme standard som for en helårsbolig. Og det er sanitæranleggene som primært utsettes for frostsikring. Sanitæranlegg kan tømmes for vann for å unngå frostsikring. Dette krever imidlertid endel innsikt, og det er blitt mer komplisert når sanitæranleggene, etter hvert, har blitt mer omfattende.

Gjennom en del år har flere prosjekt- og masterstudenter jobbet med å analysere frostsikring konseptløsninger. Målet er å holde sanitæranleggene frostfrie samtidig som behovet for elektrisitetsbruk til oppvarming minimaliseres. En av konklusjonene fra tidligere arbeid er at det viktigste er anvendelse av en indre isolert sone hvor sanitæranleggene samles. Det er da bare behov for å varme opp den indre sonen for å sikre mot frost. Derved reduseres behovet for oppvarming kraftig sammenliknet med oppvarming av hele bygningen. Elektrisitetsforbruket kan imidlertid elimineres ved å utnytte fornybar energi kombinert med varmelagring og termisk masse. Å være uavhengig av elektrisitetsforsyning fra nettet øker også frostsikringens robusthet.

Målet med oppgaven er å analysere anvendelse av en indre isolert sone som tiltak for frostsikring og energieffektivisering i ubebodde bygninger. Resultater kan overføres på andre type av bygninger som kan være utsatte til lignende forhold. Gjennom sin prosjektoppgave har studenten allerede utviklet nyttige simuleringsmodeller i IDA-ICE. Modellene skal eventuelt forbedres og videre brukes i masteroppgaven.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Litteraturstudie om problemet med frostsikring. Det skal lages en oversikt over tidligere utført arbeid for slik frostsikring. Det skal spesielt fokuseres på løsninger med god robusthet.

2. De ulike frostsikringsløsningene skal sammenliknes på en strukturert måte, slik at kunnskapsoverføring blir lett.
3. Simulere og analysere energibruk og driftsutfordringer med frostsikring med en indre isolert sone og andre relevante løsninger. Elektrisk oppvarming for frostsikring skal benyttes som referanse.
4. Organisere og presentere resultater.
5. Sammen med veilederne lage en artikkel for publisering i en internasjonal journal.

” _ ”

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 velskrevet. 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. 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, instituttnavn, 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.

Leveringsfrist: 21. desember 2017

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 29. august 2017



Førsteamanuensis Natasa Nord
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Per O. Tjelflaat, Roomvent Design dr, ing Per O. Tjelflaat, 7540 Klæbu

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet av Ingrid Dolva i løpet av ellefte semester av masterstudiet Energi og miljø ved NTNU.

Hovedformålet med oppgaven er å analysere et tiltak for frostsikring av en ubebodd bygning. Metoden går ut på at en soloppvarmet vanntank blir plassert i en indre sone som er isolert med fiberisolasjon og et vannlag som skal fungere som PCM. Det skal undersøkes om denne måten å frostsikre en bygning på fungerer, og om den reduserer fritidsboligens energibehov.

Jeg ønsker å rette en stor takk til professor Per Olaf Tjelflaat og førsteamanuensis Natasa Nord for god veiledning underveis i arbeidet med oppgaven. Jeg vil også takke postdoktor Martin Thalfeldt og stipendiat John Clauss og for hjelp med IDA ICE.

Asker, 24. desember 2017

Ingrid Dolva

Sammendrag

Å redusere energiforbruket i bygningssektoren er meget viktig for å sikre en bærekraftig fremtid. Fritidsboliger representerer en del av den norske bygningsmassen, og direkte elektrisk oppvarming brukes ofte til frostsikring av sanitærinstallasjoner i ubebodde perioder. Det er derfor ønskelig å undersøke alternative frostsikringsmetoder. I denne masteroppgaven er det hovedfokus på fritidsboliger lokalisert i Sør-Norge som ikke er knyttet til elektrisitetsnettet.

En metode som utnytter solenergi til å frostsikre en ubebodd fritidsbolig analyseres i denne oppgaven. Metoden for frostsikring går ut på at en soloppvarmet vanntank plasseres i en indre isolert sone i en bygning som er isolert med fiberisolasjon og et vannlag. Den indre sonen huser sanitærinstallasjoner og rørsystemer. Vannlagets høye smeltevarme utnyttes til å holde lufttemperaturen over 0 °C og fungerer som PCM.

Gjennom flere år har en del masterstudenter arbeidet med ulike løsninger for frostsikring av fritidsboliger. Alle disse oppgavene har vist at det er veldig hensiktsmessig med en indre, isolert sone som huser sanitærinstallasjoner ettersom det da er et mye mindre volum som må holdes frostfritt sammenliknet med å varme opp hele bygningen. En av studentene utførte en LCA på ulike fritidsboligkonsepter, og denne viste at en hytte bygget i heltre på påler vil gi et meget lavt CO₂-utslipp.

I denne masteroppgaven har ulike versjoner av en modell for fritidsboligen med vannlag, vanntank og solfanger har blitt simulert i programmet IDA ICE. Klimadata fra Östersund, Tjøme, Calgary og Fairbanks er blitt brukt. Først ble elektrisk oppvarming av den indre sonen med en ovn ble undersøkt ved bruk av simuleringer. Det var tydelig at energibruken var mye høyere da hele fritidsboligen ble varmet opp sammenliknet med bare den indre sonen. Videre var energibruken for å frostsikre hyttemodellen veldig forskjellig for de ulike stedene, og Fairbanks var den byen som utvilsomt krevde mest energi til oppvarming.

Simuleringene av fritidsboligen med vannlag og soloppvarmet tank i den indre sonen viste at løsningen fungerer godt. Et hensiktsmessig konsept for Östersund har et vannlag på 2.5 cm, 7.5 cm isolasjon rundt den indre sonen og en vanntank på 200 liter med 5 cm isolasjon rundt. Med denne løsningen implementert ble en stor andel av vannlaget utnyttet, samtidig som en del fortsatt var flytende den kaldeste delen av året og fungerte som en sikkerhetsmargin. Ettersom klimadataene som er benyttet representerer typiske år, bør man ha i bakhodet at

veldig kalde vintre kan forekomme. Isolasjonstykkelsen rundt vanntanken er ganske tynn, noe som også viste seg å være fordelaktig i Tjøme og Calgary.

For Tjøme og Calgary ble simuleringene gjort uten vannlag. Ettersom klimaet i Tjøme er såpass mildt kunne man benytte det samme fritidsboligkonseptet som i Östersund uten vannlag med et godt resultat. Men, man bør ha en form for sikkerhet for særlig kalde vintre her også, og det kan være et vannlag på 1 cm.

I Calgary er det lave utetemperaturer om vinteren og gode solforhold. For å utnytte solinnstrålingen var det fordelaktig med en stor solfanger og tank. En sikkerhetsmargin tilsvarende den i Tjøme vil også være fordelaktig i denne byen. I Fairbanks var man nødt til å ha mye isolasjon rundt den indre sonen, et tykt vannlag og en stor vanntank med en del isolasjon rundt for å oppnå frostfrie forhold i den indre sonen.

En simulering ble også gjort i Fokstua, og et godt fritidsboligkonsept for Östersund ble benyttet. Resultatene viste at denne løsningen fungerte godt i Fokstua, og det er dermed rimelig å anta at den også vil fungere i andre fjellområder i Sør-Norge.

Det konkluderes med at den analyserte metoden for å frostsikre ubebodde bygninger på fungerer godt og er meget energieffektiv. I tillegg er den robust ettersom den er uavhengig av strømnettet og automatisk igangsetting av alternative oppvarmingsløsninger.

Abstract

Reducing the energy consumption in the building sector is very important for ensure a sustainable future. Leisure homes represent a part of the buildings in Norway, and electrical heating is often used for frost proofing of sanitary installations during uninhabited periods. It is therefore of interest to investigate other frost proofing methods. In this master thesis the main focus is on leisure buildings located in southern Norway that are not connected to the electricity grid.

A method for frost proofing of an uninhabited building is analysed in this thesis. The method involves a solar heated water tank placed in an inner zone in the building which is insulated with fibre insulation and a water layer. The inner zone contains sanitary installations and pipes. The large amount of latent heat in the water layer is exploited to keep the air temperature above 0 °C and acts as a PCM.

Through several years master students have worked on different solutions for frost proofing of leisure buildings. All these previous theses have shown that it is very advantageous to have an inner, well insulated zone with sanitary installations as a much smaller volume must be kept frost free compared to heating the entire building. One of the students performed an LCA on different types of cabins, and the results showed that a wooden leisure building on stilts will have a very small amount of CO₂ emissions.

Different versions of a model of the leisure home with a water layer, water tank and solar collector have been simulated in the program IDA ICE in this master thesis. Climate data from Ostersund, Tjøme, Calgary and Fairbanks have been used. First, electrical heating of the inner zone was investigated. From the simulations it was clear that the energy use was much higher when the entire holiday home was heated compared to only the inner zone. The energy use for frost proofing the cabin model was very different for the various locations, and Fairbanks was the city that undoubtedly used the most electricity for heating purposes.

The simulations of the leisure building with a water layer and solar heated tank in the inner zone showed that the solution works well. A good concept for Ostersund has a water layer of 2.5 cm, 7.5 cm insulation around the inner zone and a 200 litres tank with 5 cm insulation. With this solution implemented, a large portion of the water layer is utilized while a part is still liquid during the coldest part of the year and serves as a safety margin. Because the climate files used represent typical years, the fact that very cold winters can occur should be

considered. The insulation thickness around the water tank is quite thin, which proved to be beneficial in Tjøme and Calgary as well.

For Tjøme and Calgary, the simulations were done without a water layer. As the climate in Tjøme is quite mild, it is possible to use the same concept for the leisure building as in Ostersund without a water layer with a good result. However, a safety margin should be implemented here as well in case of an especially cold winter, and this can be a 1 cm water layer.

In Calgary, the outdoor temperature is low during the winter and the sun conditions are good. To utilize the solar irradiation it was beneficial with a large solar collector and tank. A safety margin similar to the one in Tjøme will also be advantageous in this city. In Fairbanks it was necessary with a lot of insulation around the inner zone, a thick water layer and a large water tank with quite a bit of insulation to achieve frost free conditions in the inner zone.

A simulation was also done in Fokstua, and a good leisure building concept for Ostersund was used. The results showed that this solution worked well in Fokstua, and it is therefore reasonable to assume that it will work in other mountain areas in southern Norway as well.

The conclusion is that the analysed method for frost proofing of uninhabited buildings works well and is very energy efficient. In addition, it is resilient as it is independent of a connection to the electricity grid and alternative heating solutions that starts automatically.

Innhold

Forord	V
Sammendrag	VI
Abstract	VIII
Innhold	X
Figurliste.....	XIII
Tabelliste	XVIII
1 Innledning	1
2 Bakgrunn.....	3
2.1 Frysing av vann	3
2.1.1 Fysisk prosess.....	3
2.1.2 Frysing i rør.....	3
2.2 Frostsikring av rør	4
2.2.1 Frostsikringsmetoder for sanitærinstallasjoner i bygninger	6
2.2.2 Frostsikring av vannbårne varmesystemer	9
2.2.3 Frostsikring av termiske solfangere	9
2.3 Frostmengde	10
2.4 Termisk lagring av solenergi	11
2.4.1 Følbar varmelagring	13
2.4.2 Faseendringsmedier.....	13
3 Tidligere arbeid.....	19
3.1 Utvikling av konsept for en nullutslipps fritidsbolig.....	21
3.2 LCA vurdering av konsepter for en fritidsbolig	24
3.3 Modellering av varmeveksling med grunnen og analyse av energibruk for en fritidsbolig	27
3.4 Analyse av et varmelager i grunnen under en fritidsbolig.....	28
3.5 Analyse av alternativer for frostsikring av en fritidsbolig.....	29

3.6	Oppsummering av tidligere arbeid	31
4	Frostsikringsmetode med bruk av vann som PCM for fritidsboliger uten strømtilknytning	
	34	
4.1	Utvalgte steder for analyse av frostsikringsmetoden.....	34
4.1.1	Klima i Östersund.....	34
4.1.2	Klima i Tjøme	38
4.1.3	Klima i Calgary	42
4.1.4	Klima i Fairbanks	46
4.1.5	Sammenlikning av klima for de utvalgte stedene	50
4.2	Modellen av fritidsboligen.....	53
4.2.1	Frostsikringsmetoder	56
4.2.2	Scenarier for analyse av fritidsboligmodellen.....	59
4.3	Simulering av fritidsboligen i IDA ICE	63
4.3.1	Om IDA ICE	63
4.3.2	Oppbygning av modellen i IDA ICE.....	63
4.4	Resultater og analyse	65
4.4.1	Test simulering av PCM.....	65
4.4.2	Fritidsboligmodellen uten oppvarming	67
4.4.3	Analyse av energibruk ved elektrisk oppvarming av den indre sonen.....	74
4.4.4	Parameterstudie av frostsikringsmetoden med vannlag, termisk solfanger og vanntank	78
4.4.5	Vurdering av frostsikringsmetoden med vannlag, termisk solfanger og vanntank	94
5	Diskusjon	113
6	Konklusjon.....	115
7	Videre arbeid.....	117
	Litteraturliste	118
	Vedlegg	I

Vedlegg A: Ytterligere resultater fra simuleringer	II
A.1 Ytterligere resultater fra Östersund	II
A.2 Ytterligere resultater fra Tjøme	VIII
A.3 Ytterligere resultater fra Calgary	XII
A.4 Ytterligere resultater fra Fairbanks	XVII
Vedlegg B: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og minimumstemperaturen i den indre sonen for Tjøme og Calgary	XXV
Vedlegg C: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og latent restenergi i vannlaget for Fairbanks	XXVIII
Vedlegg D: Utkast til artikkel for publisering i en internasjonal journal	XXXII

Figurliste

- Figur 2.1: Forsøk som illustrerer fryseprosessen til vann i et rør (Gordon, 1996)
- Figur 2.2: Frostsprengt rør som lekker vann og omfattende frostskaider på et bad (Pihl og Aamodt-Hansen, 2012) og (Grosvold, 2016)
- Figur 2.3: Illustrasjon av hytta i masteroppgaven til Telneset (Telneset, 2014)
- Figur 2.4: Solfangersystem med integrert solfanger og varmelagring (Currie et al., 2008)
- Figur 2.5: Variasjon i solinnstråling og energibehov gjennom et år for en lavenergibolig i Oslo (Andresen, 2008)
- Figur 2.6: Temperatur-energi diagram for et typisk faseendringsmedium (Haase et al., 2007)
- Figur 2.7: Temperatur i rom med og uten PCM (Behzadi and Farid, 2010)
- Figur 2.8: Klassifisering av PCM (Cui et al., 2015)
- Figur 3.1: Skisse av fritidsboligmodellen fra ESP-r sett ovenfra og fra siden (Gråbergsveen, 2014)
- Figur 3.2: Prinsippskisse av oppbygningen av fritidsboligmodellen i ESP-r (Løge, 2014)
- Figur 3.3: Prinsippskisse av fritidsboligen i Børset sin masteroppgave
- Figur 3.4: Prinsippskisse i snitt av fritidsboligen i Børset sin masteroppgave
- Figur 3.5: Elektrisitetsbehov til frostsikring for ulike fritidsboliger (Børset, 2009)
- Figur 3.6: Resultater fra utført livssyklusanalyse på ni ulike hyttekonsepter (Bratteberg, 2010)
- Figur 3.7: Prinsippskisse av fritidsboligmodellen for konsept 1 (Bratteberg, 2010)
- Figur 3.8: Prinsippskisse av den simulerte fritidsboligen i Auråen sin masteroppgave
- Figur 3.9: Prinsippskisse av fritidsboligen i Gråbergsveen sin masteroppgave
- Figur 3.10: Prinsippskisse av fritidsboligen i Rimstad sin masteroppgave
- Figur 3.11: Prinsippskisse i snitt av fritidsboligen i Rimstad sin masteroppgave
- Figur 4.1: Östersunds geografiske plassering (Google Maps)
- Figur 4.2: Utetemperatur i Östersund
- Figur 4.3: Frekvens av utetemperatur i Östersund
- Figur 4.4: Direkte normal solinnstråling i Östersund
- Figur 4.5: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Östersund
- Figur 4.6: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Östersund
- Figur 4.7: Færder fyrs geografiske plassering (Google Maps)
- Figur 4.8: Utetemperatur i Tjøme
- Figur 4.9: Frekvens av utetemperatur i Tjøme
- Figur 4.10: Direkte normal solinnstråling i Tjøme

Figur 4.11: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Tjøme

Figur 4.12: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Tjøme

Figur 4.13: Lokasjonen til Calgary (Google Maps)

Figur 4.14: Utetemperaturen i Calgary

Figur 4.15: Frekvens av utetemperaturen i Calgary

Figur 4.16: Direkte solinnstråling i Calgary

Figur 4.17: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Calgary

Figur 4.18: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Calgary

Figur 4.19: Den geografiske plasseringen til Fairbanks (Google Maps)

Figur 4.20: Utetemperatur i Fairbanks

Figur 4.21: Frekvens av utetemperaturen i Fairbanks

Figur 4.22: Direkte normal solinnstråling i Fairbanks

Figur 4.23: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Fairbanks

Figur 4.24: Diffus solinnstråling i Fairbanks

Figur 4.25: Sammenlikning av frostmengde for de ulike stedene

Figur 4.26: Sammenlikning av dimensjonerende utetemperatur for de ulike stedene (Variant VVS), (Siemens Building Technologies, 2010), (International Code Council, 2006) og (URECON)

Figur 4.27: Sammenlikning av årsmiddeltemperatur for de ulike stedene

Figur 4.28: Modellen sett ovenfra (IDA ICE)

Figur 4.29: Modellen i 3D (IDA ICE)

Figur 4.30: Skisse av den indre sonen (størrelsesforholdene er ikke helt korrekte)

Figur 4.31: Prinsippskisse av fritidsboligen

Figur 4.32: Prinsippskisse av fritidsboligen i snitt

Figur 4.33: Simulert temperatur i vannlaget for testsimuleringen i januar og litt av februar

Figur 4.34: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Östersund

Figur 4.35: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Östersund

Figur 4.36: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Tjøme

Figur 4.37: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Tjøme

Figur 4.38: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Calgary

Figur 4.39: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Calgary

Figur 4.40: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Fairbanks

Figur 4.41: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Fairbanks

Figur 4.42: Sammenlikning av minimumstemperatur i indre sone for alle stedene uten oppvarming

Figur 4.43: Grafisk illustrasjon av energibruk for de ulike oppvarmingsalternativene i Östersund

Figur 4.44: Sammenlikning av energibruk for å frostsikre den indre sonen for alle stedene

Figur 4.45: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Figur 4.46: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Figur 4.47: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur 4.48: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur 4.49: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for alle scenariene i Östersund

Figur 4.50: Minimumstemperatur i den indre sonen for alle scenariene i Östersund

Figur 4.51: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Figur 4.52: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Tjøme

Figur 4.53: Temperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Figur 4.54: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Calgary

Figur 4.55: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.4

Figur 4.56: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.4

Figur 4.57: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2

Figur 4.58: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2

Figur 4.59: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for alle scenariene i Fairbanks

Figur 4.60: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for scenariene der den er over 0 °C i Fairbanks

Figur 4.61: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Fairbanks

Figur 4.62: Minimumstemperatur i indre sone for scenariene der den er over 0 °C i Fairbanks

Figur 4.63: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Figur 4.64: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Figur 4.65: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Figur 4.66: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur 4.67: Latent restenergi for alle scenariene i Östersund

Figur 4.68: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario Ö.5.1

Figur 4.69: Temperatur i tanken og i indre sone for scenario Ö.5.1, og i indre sone uten frostsikring

Figur 4.70: Simulert temperatur i vannlag og lufttemperatur i indre sone for scenario Ö.5.1

Figur 4.71: Simulert og justert temperatur i den indre sonen for scenario Ö.5.1

Figur 4.72: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario T.4.1

Figur 4.73: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario C.4.1

Figur 4.74: Latent restenergi for alle scenariene i Fairbanks

Figur 4.75: Frekvens av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario F.5.2

Figur 4.76: Temperatur i tanken og i indre sone for scenario F.5.2, og i indre sone uten frostsikring

Figur 4.77: Simulert og justert lufttemperatur i indre sone for scenario F.5.2

Figur 4.78: Temperaturer fra simuleringen i Fokstua

Figur A.1: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Figur A.2: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Figur A.3: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Figur A.4: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Figur A.5: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Figur A.6: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Figur A.7: Simulert temperatur i vannlaget for Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Figur A.8: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Figur A.9: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Figur A.10: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Figur A.11: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur A.12: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur A.13: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Figur A.14: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Figur A.15: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2

Figur A.16: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2

Figur A.17: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2

Figur A.18: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

Figur A.19: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

Figur A.20: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

Figur A.21: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.2.1 og C.2.2

Figur A.22: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.2.1 og C.2.2

Figur A.23: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2

Figur A.24: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2

Figur A.25: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2

Figur A.26: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2

Figur A.27: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2
Figur A.28: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2
Figur A.29: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2
Figur A.30: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2
Figur A.31: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2
Figur A.32: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3
Figur A.33: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3
Figur A.34: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3
Figur A.35: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3
Figur A.36: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3
Figur A.37: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3
Figur A.38: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2
Figur A.39: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2
Figur A.40: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2
Figur A.41: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2
Figur A.42: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2
Figur A.43: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2
Figur A.44: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2
Figur A.45: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2
Figur A.46: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2
Figur A.47: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2
Figur B.1: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.2.1, T.1 og T.2.2
Figur B.2: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.3.1, T.1 og T.3.2
Figur B.3: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.4.1, T.1 og T.4.2
Figur B.4: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.2.1, C.1 og C.2.3
Figur B.5: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.3.1, C.1 og C.3.2
Figur B.6: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.4.1, C.1 og C.4.2
Figur B.7: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.5.1, C.1 og C.5.2
Figur C.1: Latent restenergi for scenario F.1, F.2.2 og F.2.3
Figur C.2: Latent restenergi for scenario F.1, F.3.2 og F.3.3
Figur C.3: Latent restenergi for scenario F.4.1, F.1, og F.4.2
Figur C.4: Latent restenergi for scenario F.5.1, F.1, og F.5.2
Figur C.5: Latent restenergi for scenario F.6.1, F.1, og F.6.2

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over egenskapene til forskjellige faseendringsmedier (Farid et al., 2004), (Kumano et al., 2007) og (Cabeza et al., 2011)

Tabell 2: Energibehov for ulike bygningskonstruksjonene (Børset, 2009)

Tabell 3: Materialer og egenskaper i fritidsboligen

Tabell 4: Oversikt over scenariene fra Östersund

Tabell 5: Oversikt over scenariene fra Tjøme

Tabell 6: Oversikt over scenariene fra Calgary

Tabell 7: Oversikt over scenariene fra i Fairbanks

Tabell 8: Effekt- og energibruk for de ulike oppvarmingsalternativene i Östersund

Tabell 9: Effekt- og energibruk for å frostsikre den indre sonen i for alle stedene

1 Innledning

Verden i dag står ovenfor en stor utfordring knyttet til menneskeskapte klimaendringer og begrensede energiresurser. Et viktig tiltak som er satt i gang for å sikre en bærekraftig utvikling er EUs klima- og energimål for 2020. Disse målsettingene innebærer en reduksjon i klimagassutslipp på 20 %, at 20 % av energiproduksjonen i EU skal være fornybar, i tillegg til at energieffektiviteten skal økes med 20 %. Innen 2050 er målet at klimagassutslippene skal reduseres med 80 % i forhold til nivået i 1990 (European Commission).

Bygningssektoren er et viktig ledd for at det skal være mulig å nå disse målene. Denne sektoren representerer 40 % av den totale energibruken på verdensbasis, og for Norge ligger andelen på 38 % hvis man ser bort ifra energisektoren. Selv om norske bygninger i stor grad er basert på fornybar energi fra vannkraft er forbedringspotensialet stort. Direkte elektrisitet dekker mesteparten av oppvarmingsbehovet for en stor andel av bygningsmassen, og dette er noe man ønsker å gå bort ifra. Videre har gjennomsnittspersonen i Norge verdens største forbruk av elektrisitet (Novakovic et al., 2007).

Den norske bygningsmassen inkluderer mange fritidsboliger og hytter, og antallet har hatt en betydelig økning de siste tiårene. Standarden har også blitt vesentlig bedre, og det er i dag veldig vanlig at fritidsboliger har innlagt vann og strøm (Ericsson, 2006). Dette fører til et økt elektrisitetsforbruk og en større belastning på strømmettet. En utfordring er også at sanitærinstallasjoner og rørsystemer må frostsikres for å hindre frostskafer. Den vanligste måten å gjøre dette på er å varme opp fritidsboligen med elektrisitet gjennom hele året, noe som krever ganske mye energi. Det er derfor ønskelig å undersøke andre metoder for å holde sanitærinstallasjonene frostfrie.

Målet med denne masteroppgaven er å analysere et tiltak for å frostsikre en ubebodd bygning som innebærer en indre isolert sone som huser sanitæranlegg. Metoden utnytter solenergi ved at en soloppvarmet vanntank plasseres i den indre sonen i fritidsboligen som er isolert med fiberisolasjon og et vannlag. Vannlagets høye smeltevarme utnyttes til å holde sanitærinstallasjonene frostfrie. Løsningen vil være energieffektiv og uavhengig av tilknytning til elektrisitetsnett, noe som også gjør den robust.

Hovedfokuset er på frostsikring av fritidsboliger i Sør-Norge, men andre steder i verden som kan ha behov for et slikt tiltak er også analysert. Resultatene kan være nyttige for andre typer bygninger enn fritidsboliger. Undertegnede prosjektoppgave behandlet også dette temaet, og det bygges videre på den oppgaven.

Underveis i arbeidet med masteroppgaven har det oppstått flere utfordringer. En av disse var å simulere fritidsboligmodellen med PCM. En tilleggsfunksjon for PCM ble installert i IDA ICE, og denne er foreløpig ikke helt optimal. Det har det vist seg at noen kombinasjoner av verdier på parametere er vanskelig å simulere. For eksempel har det skjedd at simuleringer ikke har fungert når vannlaget har vært ganske tynt. Det antas at når noen versjoner av modellen ikke fungerer er det fordi vannlaget fryser for fort. En rask faseendring blir sannsynligvis vanskelig å håndtere for IDA ICE. Det er blitt forsøkt å gjøre mange simuleringer som ikke har fungert, og noen av disse er nevnt underveis i oppgaven.

Videre har det vært vanskelig å finne relevant og god litteratur om frostsikring av rørsystemer og sanitærinstallasjoner, og ulike metoder for dette. Mye tid har derfor blitt brukt på å lete etter litteratur som kan brukes. Det er derfor tydelig at det ikke er gjort så mye forskning på området.

Den første delen av oppgaven vil være et litteraturstudie. Hensikten med dette er å forklare bakgrunnen for oppgaven og gi leseren innsikt i forskning som er gjort på området. Deretter presenteres en oversikt over tidligere masteroppgaver som også har arbeidet med å analysere konseptløsninger for frostsikring av fritidsboliger. I de neste delene beskrives fritidsboligmodellen og stedene det er valgt å benytte klimadata fra. I de siste delene av oppgaven analyseres resultatene fra simuleringene av den ubebodde bygningen.

2 Bakgrunn

2.1 Frysing av vann

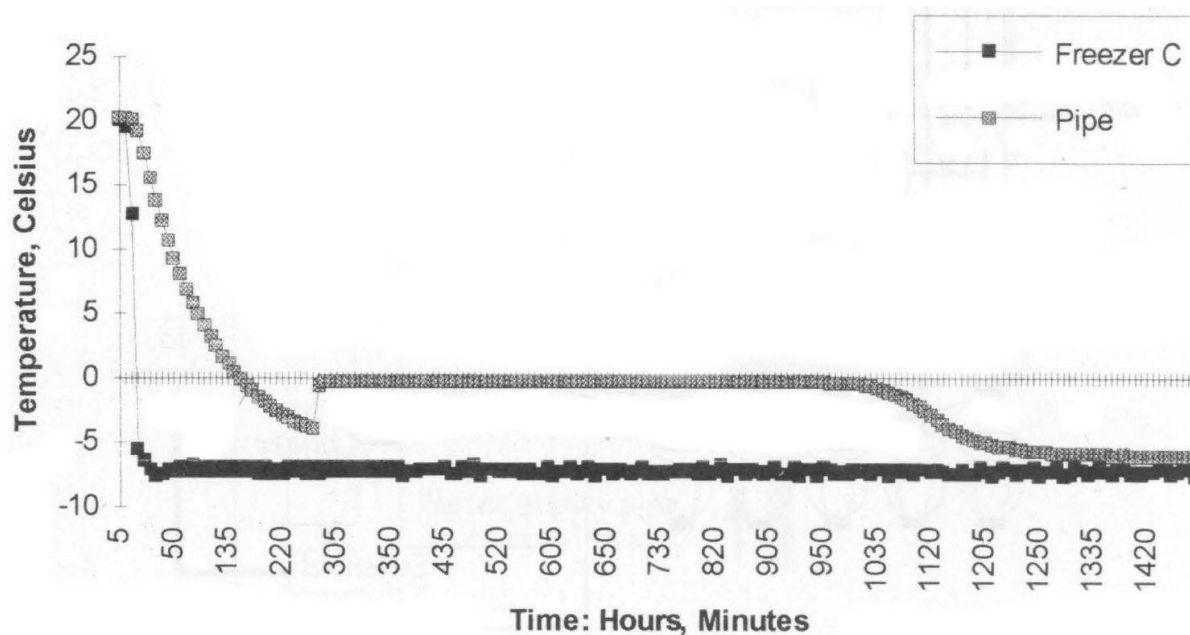
Når vann fryser til is utvides volumet med 9 %, og dette kan skape forskjellige typer utfordringer (Sherbeck and Fette, 2015). En av disse er at rør med vann kan sprenges på grunn av frost.

2.1.1 Fysisk prosess

Når vann fryser til is foregår det i flere stadier. Først kjøles vannet ned, og dette skjer gjerne grunnet minusgrader i omgivelsene. Videre faller temperaturen på vannet under 0 °C, som er frysepunktet til vann, og blir underkjølt. Årsaken er at frysepunktet blir lavere ved økende trykk. Vannet blir deretter gradvis varmere fordi små iskrystaller dannes, og den latente varmen fra isformasjonen tas opp av vannet. Når det har blitt dannet sammenhengende is fra krystallene er temperaturen tilbake på 0 °C. Deretter er den konstant mens alt vannet endrer fase og fryser til is, og hvor lang tid dette tar kommer an på vannmengdens volum. Når alt vannet er frosset vil temperaturen begynne å falle under frysepunktet og etter hvert nærme seg temperaturen til omgivelsene (Gordon, 1996).

2.1.2 Frysing i rør

Når vann i rør fryser til is foregår det på tilsvarende måte som forklart over. I en forskningsrapport fra Illinois i USA er et forsøk beskrevet, som gikk ut på at fryseprosessen til vann i et rør ble analysert ved å plassere det i en fryser (Gordon, 1996). Temperaturforløpet til røret og fryseren kan observeres i figur 2.1.



Figur 2.1: Forsøk som illustrerer fryseprosessen til vann i et rør (Gordon, 1996)

Fra figur 2.1 kan man observere at temperaturen til røret stemmer overens med fryseprosessen beskrevet i delkapittelet over. Det er mulig å se at vannet i røret først blir underkjølt før temperaturen plutselig legger seg på 0 °C. På dette stadiet dannes det først et tynt lag med is inntil veggen i røret, og deretter fortsetter isen å vokse inn mot midten. Denne ringformede isformasjonen fører etter hvert til at en ispropp dannes og blokkerer røret.

I den samme forskningsrapporten kommer det frem at når et vannrør sprenger grunnet frost, skjer det ikke fordi isdannelse fører til økt trykk mot veggene i røret slik mange tror. Frostsprengningen skjer fordi isen som vokser medfører et økt trykk i vannet som omgir den. Isdannelse forekommer som regel først et utsatt sted i røret, for eksempel i en del som er utsatt for kald trekk. Isen vokser gradvis slik som beskrevet ovenfor, og det dannes etter hvert en ispropp. Ofte skapes det da en avgrenset del av røret, for eksempel mellom isproppen og en vask. Vanntrykket i denne delen vil øke etter hvert som isen vokser, noe som etter hvert vil føre til at røret sprekker opp (Gordon, 1996).

2.2 Frostsikring av rør

I kalde perioder vil det være en risiko for at vann i sanitærinstallasjoner og rørsystemer fryser, noe som ofte fører til at blant annet rør sprenges slik som beskrevet i forrige delkapittel. Resultatet blir som regel kostbare skader. Fritidsboliger er spesielt tilbøyelige ettersom de er ubebodde store deler av året, i tillegg til at mange ligger i fjellområder der utetemperaturen

ofte er veldig lav om vinteren. Men også i helårsboliger som står tomme over kortere perioder forekommer det frostskafer. Frostskaferne i hytter er imidlertid gjerne mer omfattende ettersom de får utvikle seg gjennom lengre perioder fordi bygningen ikke er i bruk. Konsekvensene kan dermed bli store råteskafer som følge av langvarige vannlekkasjer fra frostsprengte rør. Slike skader er utfordrende og kostbare å reparere, og kan gjøre fritidsboligen ubrukelig i lang tid (Kommunal Landspensjonskasse (KPL), 2012).

I 2010 var det en usedvanlig kald vinter. Dette året var utbetalingene fra forsikringsselskapene i Norge for skader forårsaket av vannlekkasjer som er et resultat av frost på 842 millioner kroner. Året etter, i 2011, var det en mer normal vinter, og utbetalingene var da på 242 millioner (Pihl og Aamodt-Hansen, 2012). Disse tallene illustrerer hvor stort skadeomfanget frostskafer i bygninger får. Og i tillegg til de økonomiske kostnadene er det veldig ergerlig å ikke få brukt fritidsboligen sin på en stund slik man ønsker. Sannsynligvis er det også mange som bekymrer seg for at frostskafer skal utvikle seg på hytta mens man ikke er der, og dette kan være en psykisk belastning. Figur 2.2 illustrerer skadeomfanget som frost i rør og sanitæranlegg kan føre med seg.



Figur 2.2: Frostsprengt rør som lekker vann og omfattende frostskafer på et bad (Pihl og Aamodt-Hansen, 2012) og (Grosvold, 2016)

Vannstrålen på bildet til venstre i figur 2.2 kan føre til store ødeleggelser hvis den ikke blir oppdaget tidlig. Frostskaferne man ser på bildet til høyre vil være kostbare å reparere.

Det finnes flere typer utfordringer knyttet til frostsikring. Vannbårne oppvarmingsanlegg har blitt vanligere de siste årene, og det er også en utfordring å holde disse frostfrie når boligen står tom. Termiske solfangere har vært i vinden den siste tiden, og det er viktig å utvikle gode løsninger slik at solfangersystemene ikke får frostskafer.

2.2.1 Frostsikringsmetoder for sanitærinstallasjoner i bygninger

2.2.1.1 Elektrisk oppvarming

Direkte elektrisk oppvarming av hele bygningen er en veldig vanlig måte å frostsikre en ubebodd bygning på, og Vannskadekontoret ved SINTEF Byggforsk anbefaler at hele fritidsboligen varmes opp til 10 °C for å unngå frostsikader (SINTEF Byggforsk). Å frostsikre en hytte på en slik måte fører til et høyt elektrisitetsforbruk som vil utgjøre en stor utgift for hytteeieren i tillegg til å belaste elektrisitetsnettet og bidra til klimagassutslipp. Det er derfor av stor interesse å undersøke alternative metoder for å oppnå frostfrie sanitærinstallasjoner og rør, og særlig for fritidsboliger.

2.2.1.2 Nedtapping

Å utføre nedtapping av rør og sanitærinstallasjoner er også en utbredt metode for å unngå frostsikader. Denne metoden krever imidlertid kunnskap, og kan være utfordrende og tidkrevende å gjennomføre. Professor Per Olaf Tjelflaat ved NTNU uttaler at det kan være utfordrende å tømme sanitærinstallasjoner og rør for vann. Luft må slippes inn i alle kranene i bygningen for at vannet skal kunne tappes ut. Videre er det i noen sanitærinstallasjoner en mulighet for at vannet kan bli stengt inne slik at det blir vanskelig å få ut. Deler av installasjonene må da demonteres for å fjerne det gjenværende vannet.

2.2.1.3 Varmekabler

Varmekabler som installeres inni eller utenpå rørene er et produkt som kan brukes til å frostsikre en bygning. Det finnes flere forskjellige slike kabler på markedet. Produsenten Ebeco tilbyr for eksempel en varmekabel tilpasser effekten automatisk ut ifra omgivelsestemperaturen (Ebeco heating solutions). Slike varmekabler er imidlertid avhengige av elektrisitet, og vil ikke fungere dersom et strømbrudd skulle inntreffe. Varmekabler er også mer ment for å sikre vannrør mot frost enn komponenter som toaletter, vannkraner og avløpssluk.

2.2.1.4 Kontinuerlig tapping

Det finnes mange forskjellige råd og tips for å unngå frostsikader i rørsystemer. Et av disse går ut på å kontinuerlig tappe litt vann fra kranen slik at den drypper gjennom den ubebodde perioden om vinteren. Man kan enkelt gjøre dette ved å åpne kranen litt før man reiser fra bygningen. Denne metoden er fordelaktig fordi trykket i rørsystemet vil reduseres. Isdannelse fører til økt trykk, og det er dette som resulterer i frostsprengte rør (Akyurt et al., 2002). Kontinuerlig tapping er imidlertid en ganske usikker metode ettersom den ikke forhindrer at

vann fryser til is i rørene. I tillegg fører den med seg et vannforbruk som kan bli stort over tid. Dette kan bli problematisk for vannverket som den aktuelle fritidsboligen benytter, spesielt i perioder med lite nedbør. Videre er det ikke lurt å anbefale å la vannet renne da man kan risikere at vannet fryser i avløpet slik at det tilstoppes.

2.2.1.5 Ekspansjonskamre

En frostsikringsmetode som diskuteres i forskningsrapporten fra Illinois i USA som ble nevnt tidligere, går ut på å redusere det høye vanntrykket som oppstår i rørsystemer når vann fryser. Det foreslås at trykkreduksjonen kan gjøres ved å benytte ekspansjonskamre som legges inn i rørsystemet. Vannet kan da bevege seg inn i disse kamrene når trykket blir for høyt, og man unngår at røret sprekker opp (Gordon, 1996). Dette kan være en god frostsikringsmetode, men det krever mye arbeid for å lage slike ekspansjonskamre og installere dem i et rørsystem. Det vil være en stor utfordring å få montert dem alle utsatte steder.

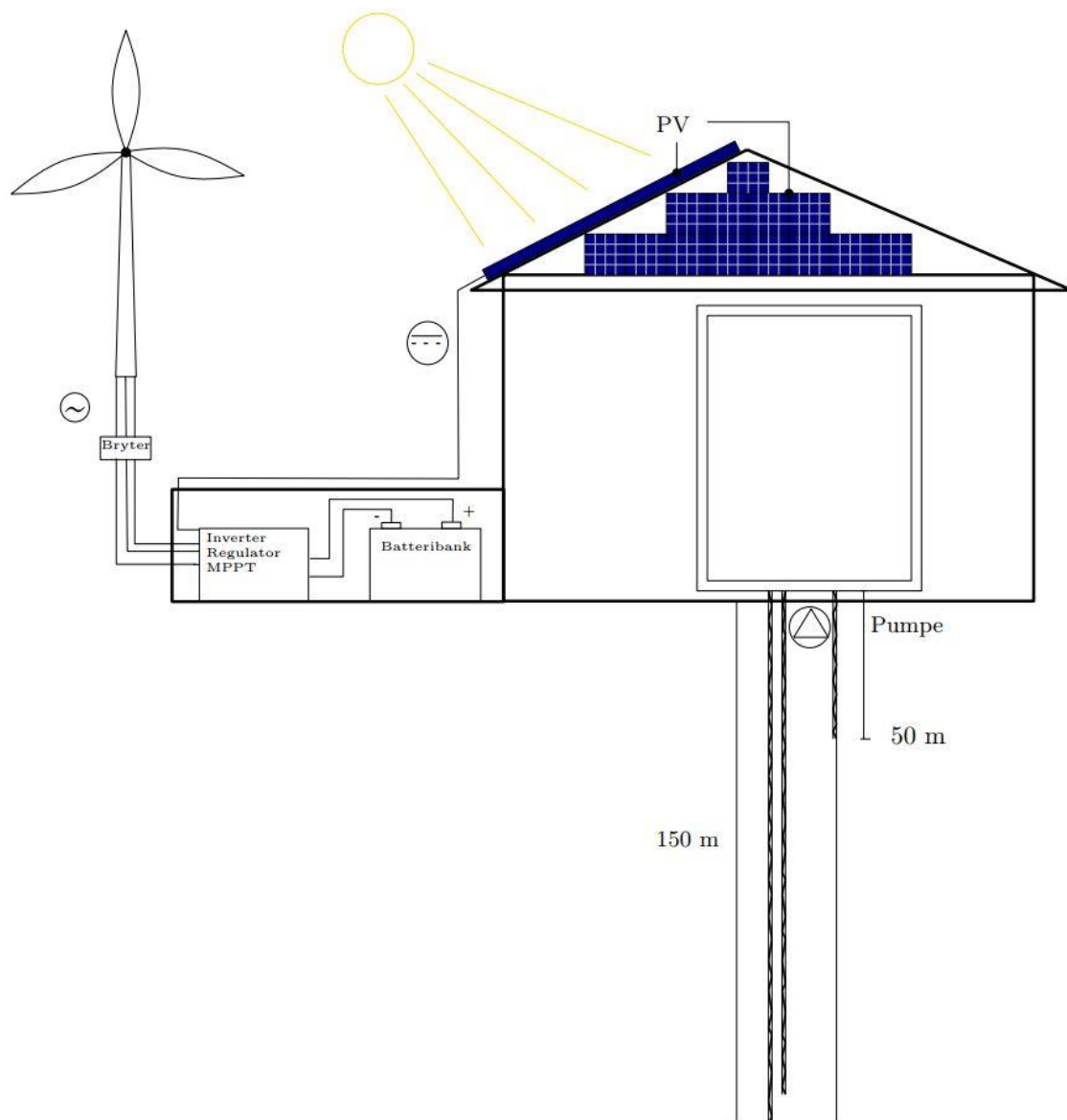
2.2.1.6 Frostsikringsmetode utviklet ved NTNU

En alternativ løsning for å frostsikre sanitærinstallasjoner i fritidsboliger er blitt utforsket og analysert i flere masteroppgaver ved NTNU. Denne frostsikringsmetoden er et helhetlig konsept for bygninger, og går ut på at sanitæranleggene og rørsystemer samles i en indre, godt isolert sone midt i bygningen. Dermed reduseres volumet som må varmes opp for å hindre frost kraftig. I tillegg blir frostsikringen enkel å gjennomføre ettersom bare den indre sonen må holdes varm. Man sparer også plass fordi man ikke trenger å isolere hele bygningen godt, noe som ville redusert fritidsboligens volum. Med en indre sone kan resten av fritidsboligen isoleres moderat, og vedfyring kan brukes når den er bebodd. Denne frostsikringsmetoden vil bli ytterligere diskutert og forklart i neste kapittel.

Dette arbeidet med frostsikring av ubebodde bygninger ble initiert av professor Per Olaf Tjelflaat i 1998, og har pågått gjennom masteroppgaver siden den gang. Registrering av konseptet med en indre isolert sone for sanitæranlegg ble utført ved TTO ved NTNU i 2010.

2.2.1.7 Frostsikringsmetode fra masteroppgave ved NMBU

En annen frostsikringsmetode er undersøkt i en masteroppgave fra NMBU skrevet av Marit Telneset. Temaet for denne oppgaven er en hytte som skal driftes på fornybar energi. For å frostsikre bygningen på en miljøvennlig måte tas det også her utgangspunkt i å designe hytta slik at sanitæranleggene er samlet i et velisolert rom for å redusere oppvarmingsbehovet. Figur 2.3 illustrerer frostsikringsmetoden i tillegg til løsninger for energiforsyning som er foreslått i masteroppgaven. Disse løsningene er solcellepaneler, vindturbin og batterier.



Figur 2.3: Illustrasjon av hytta i masteroppgaven til Telneset (Telneset, 2014)

I figur 2.3 kan frostsikringsmetoden som foreslås i masteroppgaven fra NMBU observeres. Den går ut på å lage et system som transporterer vann, som er varmt grunnet geotermisk energi, opp fra en fjellbrønn omtrent 150 meter ned i grunnen. Dette vannet sirkuleres i veggene i rommet som skal frostsikres. Beregningene gjort av Telneset viser at denne måten å frostsikre hytta på kan holde temperaturen i det velisolerte rommet på $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ gjennom vinteren. Volumstrømmen til vannet i veggene er da på 0.88 liter per minutt, og det trengs en pumpe på 2.29 mW for å starte sirkulasjonen. For å transportere vannet opp fra brønnen kreves det en pumpe på 5.56 mW (Telneset, 2014). Dette kan være en god løsning for å frostsikre en fritidsbolig, men man må bore 150 m ned i bakken, noe som vil kreve en stor investering.

2.2.2 Frostsikring av vannbårne varmesystemer

Vannbårne systemer for oppvarming av bygninger kan også være utsatt for frostproblematikk. Vannet som sirkulerer i slike systemer i en ubebodd bygning er utsatt for frost dersom innetemperaturen faller under 0 °C. Dette kan føre til skader slik som i andre rørsystemer.

En patent fra USA beskriver en frostsikringsmetode for et vannbårent system. Metoden utnytter at vann transporteres fra en varmtvannstank og sirkuleres rundt i rør. Vannet i rørene vil kjøles ned mye raskere enn vannet i tanken. Grunnen til dette er at de har mye større overflate i forhold til vannmengden i dem sammenliknet med en vanntank. Tanken er også gjerne bedre isolert. Metoden går ut på at en temperatursensor gir beskjed dersom temperaturen i rørene nærmer seg 0 °C. Når det skjer begynner en pumpe å sirkulere vannet, slik at varmt vann fra tanken transporteres ut i rørene, og det kalde vannet sirkuleres til tanken. Dermed tar det mye lengre tid før det eventuelt blir frost i rørsystemet (Laing and Laing, 2003).

Dette kan være en god løsning, spesielt for helårsboliger som skal stå tomme en kort periode. Det er lurt å ha en alternativ oppvarmingsløsning tilgjengelig i tillegg dersom temperaturen i rørene og varmtvannstanken blir faretruende lav.

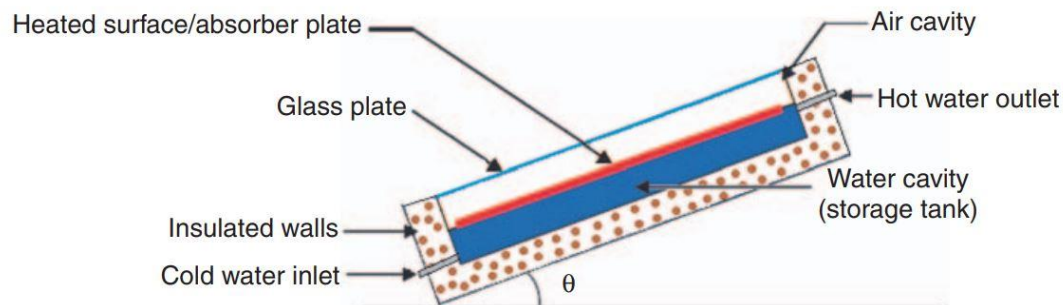
2.2.3 Frostsikring av termiske solfangere

Termiske solfangeranlegg er en lovende teknologi for å utnytte solenergi til oppvarmingsformål. Solfangere eksponeres for værforholdene utendørs, og er derfor utsatt for frost når utetemperaturen er lav. At solfangersystemer fryser kan føre til kostbare skader slik som i sanitæranlegg og rør. Det kan dermed være utfordrende å benytte denne teknologien i områder med kaldt klima.

Vanlige løsninger for å unngå frostskaider i solfangeranlegg er å benytte frostvæske i stedet for vann i solfangersystemet, og å installere utstyr for å automatisk tømme ut væsken i solfangeren om natten. En metode kan også være å transportere væsken i solfangeren omvendt vei slik at solvarmen fra tidligere utnyttes til å holde anlegget som er utendørs varmt på nattetid (Zhou et al., 2017).

Videre er plane solfangere mer utsatt for frostskaider enn vakuumsolfangere. Grunnen til dette er at vakuumsolfangere har mindre varmetap til omgivelsene (Zambolin and Del Col, 2010).

Det finnes også en type solfangersystem som kombinerer solfanger og lagring av varmtvann i samme enhet. Figur 2.4 illustrerer oppbygningen av et slikt system.



Figur 2.4: Solfangersystem med integrert solfanger og varmelagring (Currie et al., 2008)

Figur 2.4 viser et solfangersystem der det soloppvarmede vannet lagres direkte i solfangeren. På grunn av varmtvannstanken er det mye vann som må kjøles ned, noe som fører til at denne typen solfangeranlegg ikke er like utsatt for frost som solfangersystemer med en separat akkumulatortank. I tillegg er systemet gjerne godt isolert, noe som bidrar til å redusere varmetapet til omgivelsene. Flere studier har vist at ulike typer av slike systemer med solfanger og varmelagring i samme enhet ikke fryser når utetemperaturen er under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i lengre perioder. De er derfor godt egnet til å brukes på vinterstid i områder med relativt kaldt klima. Videre har slike solfangersystemer en ganske enkel oppbygning, og krever ikke en like stor investering som et anlegg med en separat varmelagringstank. (Smyth et al., 2001).

2.3 Frostmengde

Frostmengde er en størrelse som kan brukes til å vurdere hvor lang og kald vinteren er et sted. Den beregnes ved å summere utetemperaturene for en gitt lokasjon gjennom hele frostsasjonen som er den delen av året der den daglige midlere utetemperaturen er mindre enn $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Man legger sammen både positive og negative temperaturer, og enheten er time grader (h°C). Ofte multipliserer man daglig midlere utetemperatur med 24 i beregningene for å få time grader.

Det finnes flere typer frostmengder. Frostmengden kan beregnes for et normalår, altså et år med utetemperaturer som er typiske for det aktuelle stedet. Disse temperaturene er gjerne basert på en trettiårsperiode. En annen type er dimensjonerende frostmengde, og dette er frostmengden som blir overskredet én gang i løpet av et gitt antall år, statistisk sett. Hvor

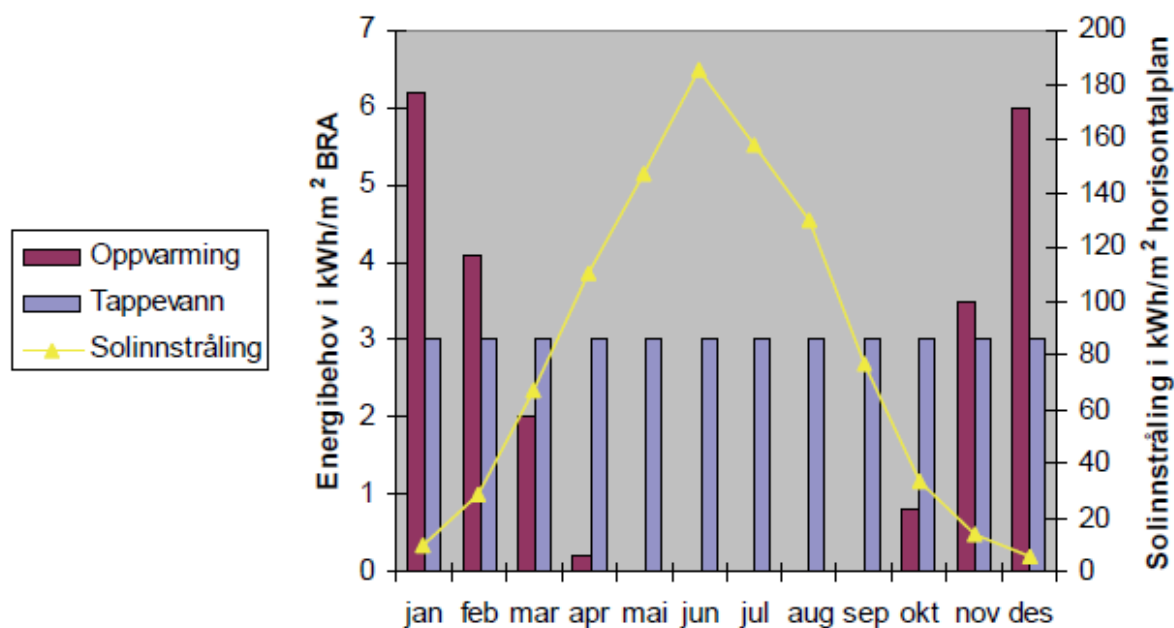
mange år man velger å basere beregningene sine på avhenger av hva den dimensjonerende frostmengden skal brukes til (SINTEF Byggforsk, 2012).

Et anslag for frostmengden for et normalår i Östersund i Sverige kan beregnes basert på klimadata som kan hentes ut gjennom simuleringsprogrammet IDA ICE. Disse dataene er av typen IW2 representerer et typisk år i Östersund. Ved å legge sammen utetemperaturene for alle timene gjennom frostsasjonen blir frostmengden 11 772 h°C. Denne verdien gir en indikasjon på hvor lang og kald vinteren er i Östersund (Standard Norge, 2001). Ettersom man bare har utetemperaturen for dette typiske året når man benytter en slik klimafil er det ikke mulig å beregne den dimensjonerende frostmengden. For å gjøre dette må man ha tilgang på temperaturmålinger for mange år. Den dimensjonerende frostmengden vil ofte være en god del høyere enn den for et normalår.

2.4 Termisk lagring av solenergi

Termisk lagring går ut på å lagre varme i et materiale. I bygninger utnyttes dette ved å lagre termisk energi som kan utnyttes til oppvarming eller kjøling (Haase et al., 2007).

Solenergi er en fornybar energikilde med et stort potensiale. En utfordring knyttet til denne energikilden er imidlertid at etterspørselen som oftest er størst når tilgjengeligheten er minst. Det er gjerne mest behov for oppvarming på vinterstid og nattetid, og da er mengden solinnstråling minst. Figur 2.5 viser hvordan solinnstråling og energibehov varierer gjennom et år i en lavenergibolig i Oslo.



Figur 2.5: Variasjon i solinnstråling og energibehov gjennom et år for en lavenergibolig i Oslo (Andresen, 2008)

Fra figur 2.5 kan man tydelig se at oppvarmingsbehovet er størst i vintermånedene, og at det er mest solinnstråling om sommeren. Termisk lagring av solenergi er velegnet til å håndtere denne ubalansen i tilgjengelighet og etterspørsel av solinnstråling. Ved å benytte varmelagring er det mulig å nyttiggjøre seg av en større andel av solenergien (Novo et al., 2010). Denne lagringsteknologien muliggjør også bruk av solfangersystemer i større grad ettersom varmen fra disse systemene kan lagres over lengre tid (Xu et al., 2014).

Varmelagring kan brukes til å dekke flere forskjellige energilagringsbehov. Korttidslagring lagrer termisk energi i noen timer eller dager. Et eksempel kan være lagring av solvarme fra dag til natt i sommersesongen. Sesonglagring eller langtidslagring går over en lengre periode og benyttes til å for eksempel lagre solenergi fra sommeren til bruk om vinteren (Terry et al., 2012). Det er også mulig å bruke termisk lagring til å lagre solvarme over en eller to uker, for eksempel fra en godværsperiode til en periode med skyet vær.

Termisk lagring kan benyttes til å dekke ulike behov i en bygning, blant annet varmt forbruksvann, bygningsoppvarming og frostsikring. Ulike vanntemperaturer trengs til de forskjellige formålene. Man bør ha vann med en temperatur på over 60 °C til varmt forbruksvann, gjerne 65 til 70 °C. Til bygningsoppvarming trengs det en temperatur et sted mellom 30 og 70 °C. Temperaturnivået avhenger av hva slags oppvarmingsystem som brukes (Stene, 2005).

Det finnes tre ulike prinsipper for varmelagring: lagring av følbare varme, latent varmelagring ved bruk av faseskiftende stoffer og termokjemisk lagring (Xu et al., 2014). Her vil det hovedsakelig fokuseres på latent varmelagring, og litt på følbare varmelagring.

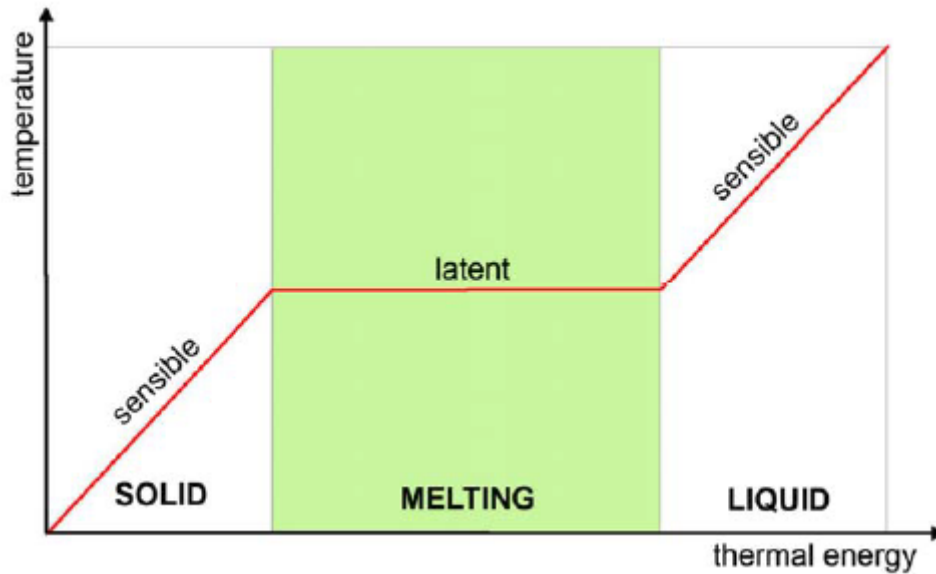
2.4.1 Følbare varmelagring

Dette prinsippet for varmelagring går ut på at følbare varme lagres i utvalgte materialer gjennom en temperaturøkning. Det skjer ingen faseending når temperaturen heves (Fernandez et al., 2010). Varmemengden som lagres kommer an på hvor mye temperaturen økes og det gitte materialets spesifikke varmekapasitet (Terry et al., 2012). I forhold til andre lagringsprinsipper blir denne teknologien ansett for å være relativt enkel og billig. I tillegg er den velutviklet og godt utprøvd (Xu et al., 2014).

Følbare varmelagring er egnet for både sesongvarmelagring og korttidslagring. For korttidslagring brukes metoder som lagring av varmt vann i tanker og utnyttelse av bygningens termiske masse. Ofte brukes dyrere og litt mer avanserte løsninger til sesongvarmelagring (Pinel et al., 2011). For eksempel er det vanlig i Europa å bruke et eller flere solfangere til å varme opp en stor varmtvannstank. Soloppvarmet vann lagres da gjerne fra sommersesongen til vinteren. Tanken kan være gravd ned under bakken for å minimere varmetapet på vinterstid (Novo et al., 2010).

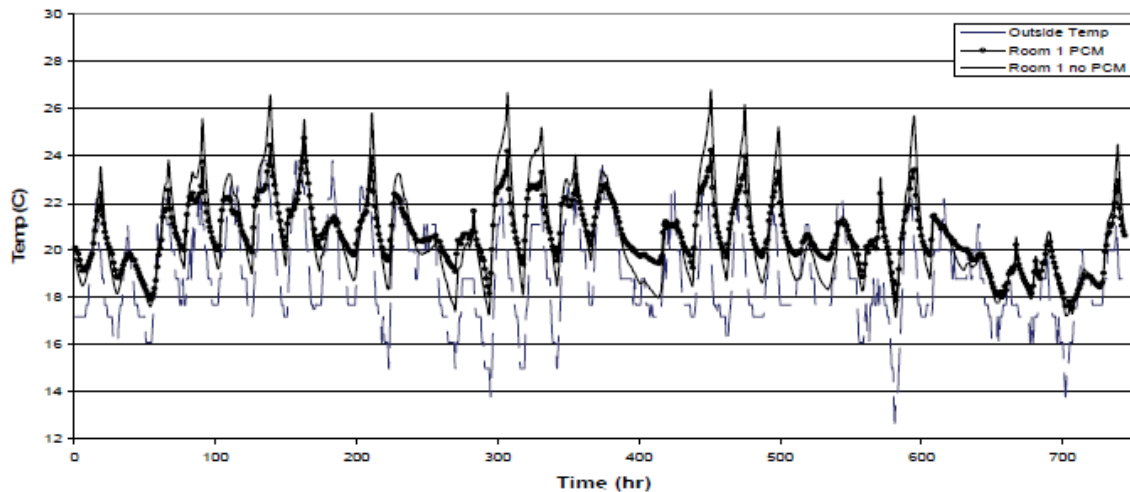
2.4.2 Faseendringsmedier

Faseendringsmedier, eller «Phase Change Materials» (PCM) på engelsk, absorberer varme gjennom en faseovergang fra fast til flytende (Terry et al., 2012). Denne egenskapen utnyttes i bygninger ved at store mengder latent varme kan akkumuleres rundt smeltepunktet uten at materialets temperatur øker. Dermed kan faseendringsmedier utnyttes til oppvarming eller kjøling uten tilførsel av ekstra energi (Haase et al., 2007). Figur 2.6 viser hvordan energien til et typisk PCM materiale øker ved konstant temperatur i faseovergangen.



Figur 2.6: Temperatur-energi diagram for et typisk faseendringsmedium (Haase et al., 2007)

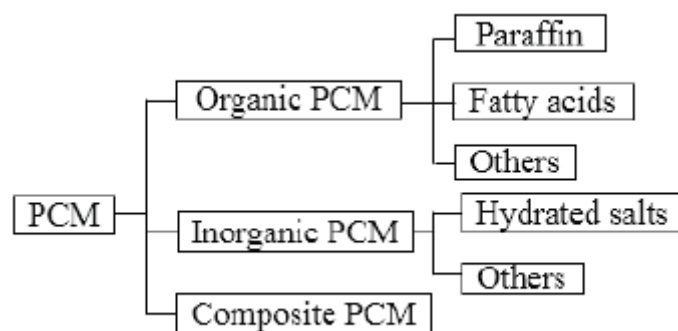
Faseendringsmedier kan brukes til å øke varmekapasiteten til en bygning. I en bygningskonstruksjon med høy varmekapasitet er det mulig å akkumulere mye varme uten at overoppheting forekommer. Samtidig tar det lang tid å varme opp bygget fordi det krever en stor energimengde. Ved å benytte PCM kan man øke varmekapasiteten til en bygning samtidig som den vil reagere raskt på oppvarmingssystemet. De fleste faseendringsmedier har lav varmekapasitet under smeltepunktet slik at bygget kan varmes opp fort. Når smeltetemperaturen er nådd absorberes varmen i PCM materialet ved konstant temperatur, og overoppheting kan unngås (Terry et al., 2012). For å få en bygning som reagerer raskt på oppvarmingssystemet benyttes PCM som regel i lette konstruksjoner. Dersom man velger en passende type PCM er det mulig å få en bygning med en termisk lagringskapasitet som er mye høyere enn den man får ved å bruke tunge konstruksjonsmaterialer (Haase et al., 2007). Figur 2.7 viser typiske temperatursvingninger i et rom med og uten PCM.



Figur 2.7: Temperatur i rom med og uten PCM (Behzadi and Farid, 2010)

Det er mulig å observere fra figur 2.7 at temperaturen varierer mindre for rommet med PCM sammenliknet med uten. Grunnen til dette er den høye varmekapasiteten til bygget når PCM benyttes. Dermed reagerer ikke rommet like mye på utendørs temperatursvingninger.

Det finnes mange ulike typer PCM materialer som brukes i bygninger. Når et egnet faseendringsmedium skal velges bør man vurdere hvilken type som kan passe til det gitte bygningsprosjektet. Det er fordelaktig å overveie de termodynamiske, kinetiske og kjemiske egenskapene til materialet. I tillegg er det lurt å ta økonomiske forhold med i betraktningen (Haase et al., 2007). Mer enn 200 ulike kjemiske forbindelser har blitt vurdert som lovende faseendringsmedier til bruk i bygninger (Cui et al., 2015).



Figur 2.8: Klassifisering av PCM (Cui et al., 2015)

Figur 2.8 viser hvordan de forskjellige typene PCM kan klassifiseres. Det er tre hovedgrupper basert på kjemisk oppbygning: organiske, uorganiske og kompositt PCM materialer (Cui et al., 2015). Innenfor organiske materialer finnes parafiner som er det mest brukte faseendringsmediet i bygninger. Parafiner har en relativt høy latent varme og en variasjon i

smeltepunkt mellom 20 og 70 °C. Ulemper er lav konduktivitet i tillegg til stor volumendring i faseendringen fra fast og flytende. Fettsyrer er en type stoffer som kommer fra plante- og dyrefett, og disse faseendringsmediene er gjerne tre ganger så dyre som parafiner. En fordel er at fettsyrer har liten volumendring når de endrer fase. Av uorganiske materialer er det hovedsakelig hydrater av salter som benyttes. Disse har høyere tetthet og er mer konduktive enn organiske materialer (Terry et al., 2012). Tabell 1 viser en rekke egenskaper for ulike faseendringsmedier.

	Smelte-energi [kJ/kg]	Smelte-punkt [°C]	Tetthet [kg/m ³]	Volumetrisk smelteenergi [MJ/m ³]	Termisk konduktivitet [W/mK]
Vann/is	334	0	1000 (flytende) 920 (fast)	307.3 (fast)	0.6 (flytende) 1.88 (fast)
Uorganisk PCM:					
CaCl ₂ ×6H ₂ O	191	29	1562 (flytende) 1802 (fast)	298.3 (flytende)	0.54 (flytende) 1.1 (fast)
FeBr ₃ ×6H ₂ O	105	21	-	-	-
Organisk PCM:					
Parafin C ₁₈	244	28	-	-	-
Polyglycol E600	127.2	22	1126 (flytende) 1232 (fast)	143.2 (flytende)	0.189 (flytende)
<i>Fettsyrer:</i>					
Melkesyre	184	26	-	-	-
Blanding av 86.6% caprinsyre og 13.4% stearinsyre	160	26.8	-	-	-

Tabell 1: Oversikt over egenskapene til forskjellige faseendringsmedier (Farid et al., 2004), (Kumano et al., 2007) og (Cabeza et al., 2011)

Fra tabell 1 er det mulig å observere at vann har en meget høy smelte energi sammenliknet med de andre faseendringsmediene. For å få et forhold til størrelsen på den latente energien som absorberes i faseendringen fra is til vann kan det være interessant å vite at den tilsvarer varmen som må tilføres for å varme opp vann fra 0 til 80 °C. Grunnen til at materialet ikke er mye brukt som PCM er at faseendringen skjer ved 0 °C.

Videre kan man lese av den volumetriske smelteenergien til tre av stoffene fra tabellen. Denne størrelsen indikerer hvor mye energi man får per kubikkmeter av faseendringsmediet. Man ønsker jo gjerne å utnytte plassen man har tilgjengelig best mulig, og det er derfor en fordel med høy volumetrisk smelteenergi. Verdiene er beregnet basert på stoffets laveste tetthet ettersom faseendringsmediet utvider seg når det endrer fase. Dette er noe man må ta hensyn til når man setter av plass. Vann har også den høyeste volumetriske smelteenergien.

PCM kan innlemmes i konstruksjonselementer eller byggematerialer på flere forskjellige måter. Den enkleste metoden å innlemme et faseendringsmedium i et byggemateriale på er ved å blande det direkte med gips, betong eller andre porøse materialer. En utfordring knyttet til denne metoden er at lekkasje av PCM kan forekomme når materialet er i flytende fase. En annen teknikk går ut på at konstruksjonselementene dyppes i flytende PCM som blir absorbert grunnet kapillarkrefter. Denne teknikken er også utsatt for lekkasjer av PCM, spesielt etter mange termiske sykluser. En tredje metode er å lage det som på engelsk heter «Shape-stabilized PCM» ved å blande PCM med et støttemateriale. Denne blandingen lages ved høy temperatur slik at materialene er flytende, og etterpå kjøles den ned og blir fast. Vanlige støttematerialer er «high density polyethylene (HDPE)» og «styrene – butadiene – styrene (SBS)». Disse støttematerialene forebygger lekkasjer, men et problem med «Shape-stabilized PCM» er at den termiske konduktiviteten ofte er lav. Å innkapsle PCM før det brukes i konstruksjonselementene er også en teknikk som brukes. En fordel med denne metoden er at den forhindrer lekkasjer (Cui et al., 2015).

PCM vegger er også en måte å utnytte faseendringsmedier på. En type av disse veggene er en såkalt trombe vegg. Det finnes en type uten PCM også som baserer seg på følbare varmelagring, og denne har blitt videreutviklet i versjonen med faseendringsmedium. Veggene består av et materiale som absorberer mye varme, for eksempel betong og eventuelt PCM. Den plasseres bak en glassoverflate som gjerne er vendt mot sør for å maksimere solinnstrålingen. Trombe vegg systemet lagrer solvarme om dagen, og om natten utnyttes den termiske og eventuelt latente energien til oppvarming. Varmen overføres til romluften ved stråling og i

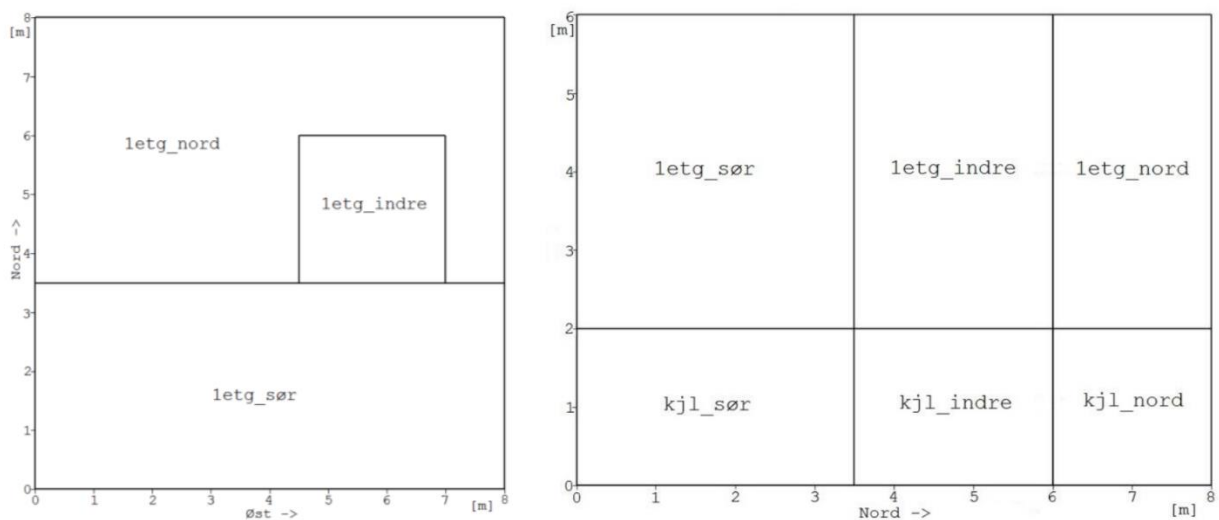
noen typer trombe vegger skjer dette ved konveksjon i tillegg (Jaber and Ajib, 2011). Hvis en trombe vegg inneholder PCM vil det øke varmekapasiteten, og en fordel er at sannsynligheten for at veggens temperatur blir veldig høy reduseres (Cui et al., 2015).

3 Tidligere arbeid

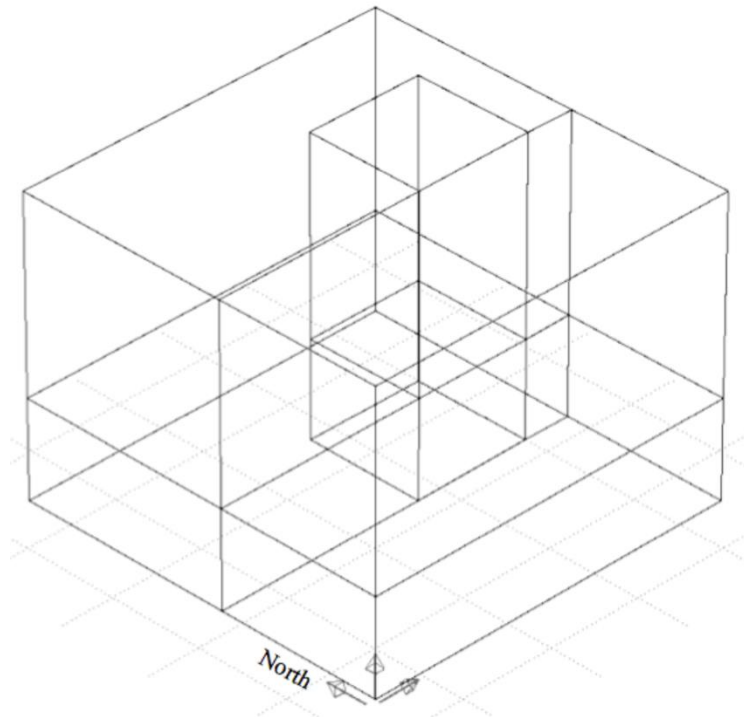
Mange tidligere prosjekt- og masteroppgaver ved NTNU har fokusert på tematikken rundt frostsikring av fritidsboliger. Fem av disse vil bli presentert i dette kapittelet for å oppsummere arbeidet som er gjort og de viktigste resultatene. Alle oppgavene er veiledet av professor Per Olaf Tjelflaat. I de utvalgte masteroppgavene er ulike versjoner av en fritidsboligmodell blitt analysert og simulert i programmet ESP-r.

En løsning med en godt isolert indre sone midt i fritidsboligen er sentral i alle oppgavene. Hensikten med denne indre sonen er å minimere energibruken som kreves for å frostsikre sanitæranlegg og rørsystemer. Dermed reduseres også kostnader og klimagassutslipp knyttet til frostsikring. I tillegg sparer man mye plass i bygningen ved å benytte en slik indre sone ettersom det da bare er denne som må isoleres godt. Resten av fritidsboligen trenger lite isolasjon ettersom det ikke gjør noe at det blir minusgrader her. Når boligen er i bruk kan man for eksempel benytte seg av vedfyring til oppvarming. Forskjellige fritidsboligkonsepter har blitt undersøkt og analysert, og blant annet er ulike muligheter for oppvarming av den indre sonen blitt vurdert.

Figur 3.1 og 3.2 viser prinsippkisser fra ESP-r av fritidsboligmodellen som er benyttet i masteroppgavene. Modellen er felles for oppgavene, men blant annet materialene i bygningskroppen varierer.



Figur 3.1: Skisse av fritidsboligmodellen fra ESP-r sett ovenfra og fra siden (Gråbergsveen, 2014)



Figur 3.2: Prinsskisse av oppbygningen av fritidsboligmodellen i ESP-r (Løge, 2014)

I figur 3.1 og 3.2 kan man observere at fritidsboligmodellen har en enkel oppbygning. Videre kan man se den indre sonen som er lokalisert midt i bygningen.

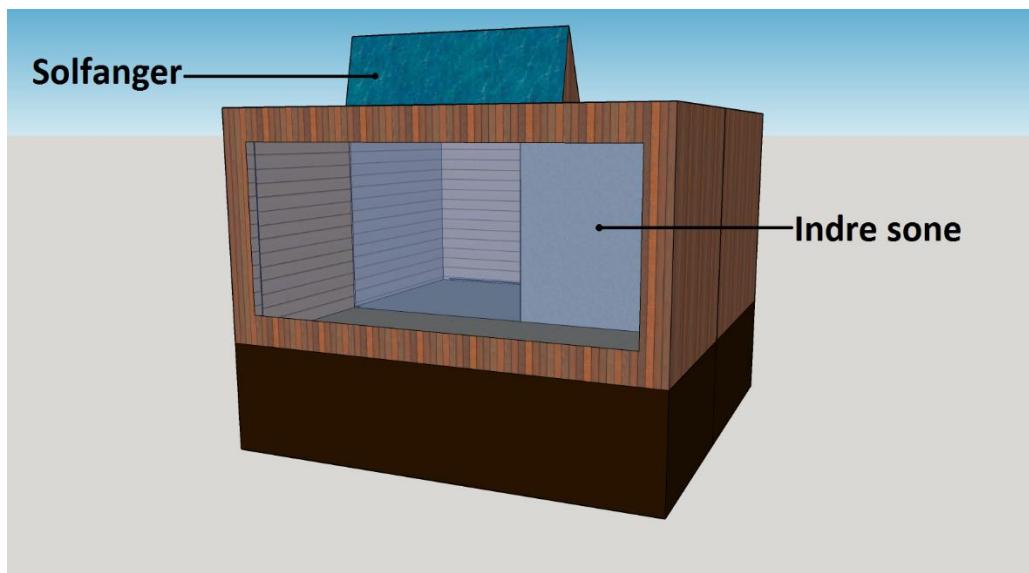
Det har vært fokus på frostsikring av fritidsboliger i fjellområder i Sør-Norge i alle oppgavene. Klimadata fra Östersund representerer disse områdene. Årsaken er at klimafilere bare var tilgjengelig for noen få steder i ESP-r da studenter begynte å arbeide med hytteprosjektet, og Östersund var det stedet med klimaet som liknet mest på de aktuelle områdene. Denne byen har blitt brukt videre for at det skal være mulig å sammenlikne resultater. Fornebu er også blitt brukt i noen av oppgavene, og hensikten er at dette området skal være passende for fritidsboliger i kystklima. Dette stedet ble også brukt ettersom det var et av ganske få tilgjengelige lokasjoner i simuleringsprogrammet ESP-r.

Det som er skrevet om masteroppgavene i dette kapitlet vil hovedsakelig omhandle problematikken rundt frostsikring. Det er gjort en del arbeid knyttet til andre temaer også, og litt av det vil bli tatt med dersom det er relevant. Dersom det er ønskelig med mer utfyllende informasjon går det an å lese de originale masteroppgavene.

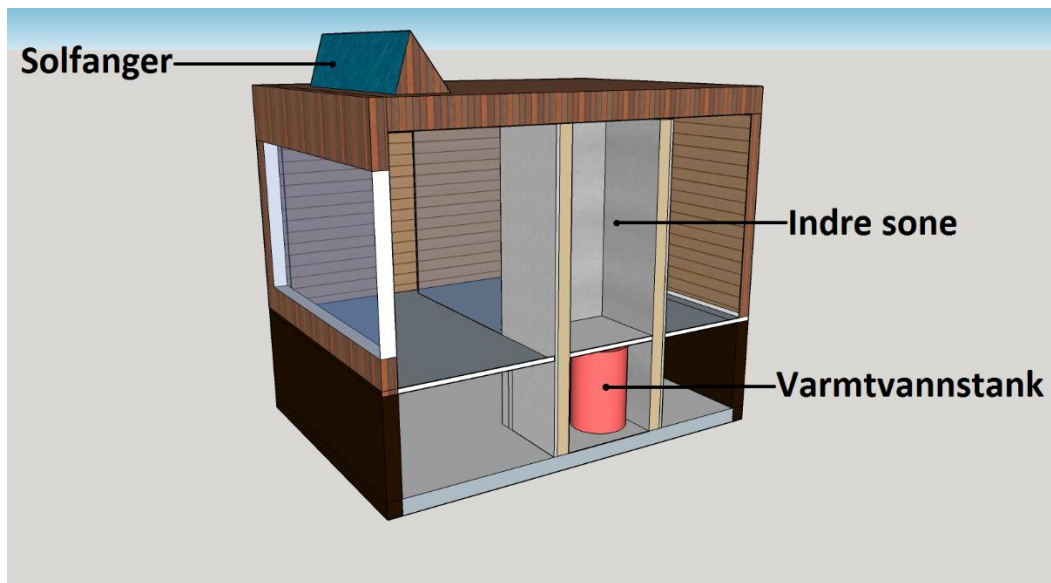
3.1 Utvikling av konsept for en nullutslipps fritidsbolig

Vårsemesteret 2009 skrev Are Børset masteroppgaven sin, og tittelen er «Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre sone og soloppvarmet vannmagasin». Oppgaven fokuserte på å utvikle et energikonsept for fritidsboliger med frostfrie sanitærinstallasjoner og med svært lavt klimagassutslipp. Programmet ESP-r ble benyttet til å simulere bygningen, og den er tenkt plassert i Östersund. Et sentralt tema er frostsikring, og det er undersøkt hvordan et solfangeranlegg som er koblet til en varmtvannstank kan utnyttes til dette formålet. Den soloppvarmede vanntanken er plassert i en indre sone. Fritidsboligen relativt godt isolert, og oppfyller kravene i TEK-07 (Børset, 2009).

Figur 3.3 og 3.4 viser prinsippkisser av fritidsboligkonseptet i Børset sin masteroppgave.



Figur 3.3: Prinsippskisse av fritidsboligen i Børset sin masteroppgave



Figur 3.4: Prinsippskisse i snitt av fritidsboligen i Børset sin masteroppgave

Fra figur 3.3 og 3.4 kan man se hvordan fritidsboligen til Børset er bygd opp. Man kan observere at den indre sonen består av to deler, en i kjelleretasjen og en i første etasje. Vanntanken er plassert i kjellerdelen av sonen.

For å varme opp den indre sonen blir solenergi aktivt ført inn dit ved hjelp av solvarmeanlegget. Anlegget består av en plan solfanger som varmer opp vannet i varmtvannstanken. En sirkulasjonspumpe får systemet til å fungere. Børset har sett på hvordan temperaturen i vanntanken og de to indre sonene påvirkes når forskjellige parametere i modellen varieres (Børset, 2009).

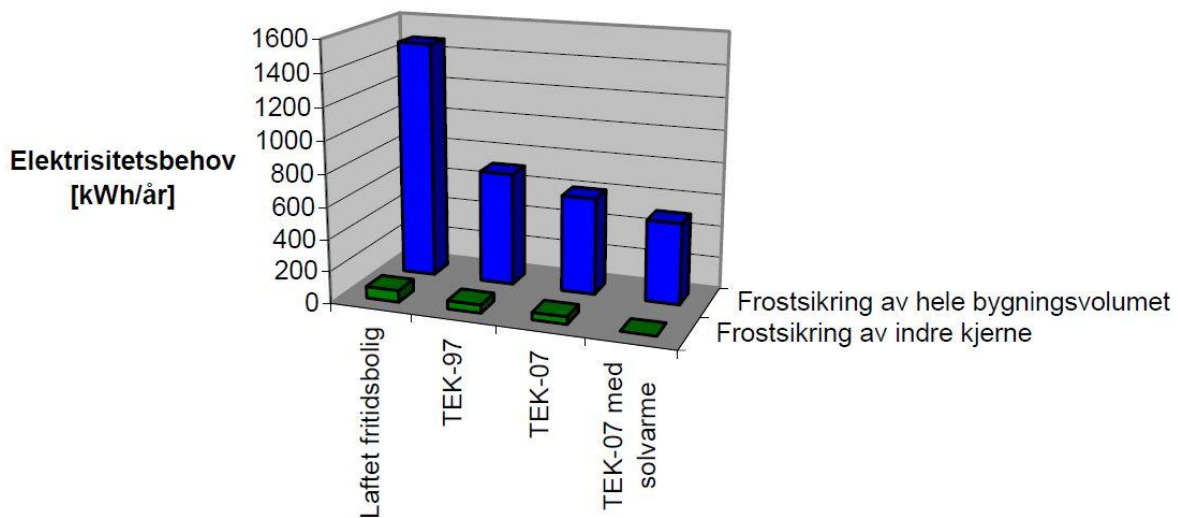
Simuleringene viste at en varmtvannstank på 4 m^3 som er koblet til en solfanger på 4.8 m^2 med en helningsvinkel mot sør på 70 grader, så vidt holder den indre kjellersonen frostfri. For at temperaturen i den delen av den indre sonen som ligger i første etasje også skal holdes frostfri må volumet på tanken opp til 6 m^3 . Det er åpenbart at en så stor vanntank vil ta svært mye plass i fritidsboligen i tillegg til å være relativt dyr. Børset foreslår at man kan fordele vanntankens volum mellom de to indre sonene for å utnytte solvarmen bedre. Det er også mulig å øke solfangerens areal fra 4.8 til 9.6 m^2 . Da vil en tank på 2 m^3 være nok for å frostsikre den indre kjellersonen (Børset, 2009).

Børset har også sett på hvordan standarden på fritidsboligens isolasjon påvirker energibehovet til frostsikring. Han har variert U-verdien på ytterveggene slik at to versjoner av fritidsboligen er modellert etter TEK-07, en følger kravet om laftede yttervegger i TEK-07 og en har

yttervegger med U-verdier fra TEK-97. Energibehovet for frostsikring er presentert i tabell 2 og i figur 3.5.

	Energibehov for å holde hele bygningen over 0 °C i et år [kWh]:	Energibehov for å holde den indre sonen over 0 °C i et år [kWh]:
Fritidsbolig med laftede yttervegger	1480.5	74.1
Fritidsbolig etter TEK-97	708.1	51.9
Fritidsbolig etter TEK-07	605.6	47.2
Fritidsbolig etter TEK-07 med soloppvarmet vanntank	507.0	1.7

Tabell 2: Energibehov for ulike bygningskonstruksjonene (Børset, 2009)



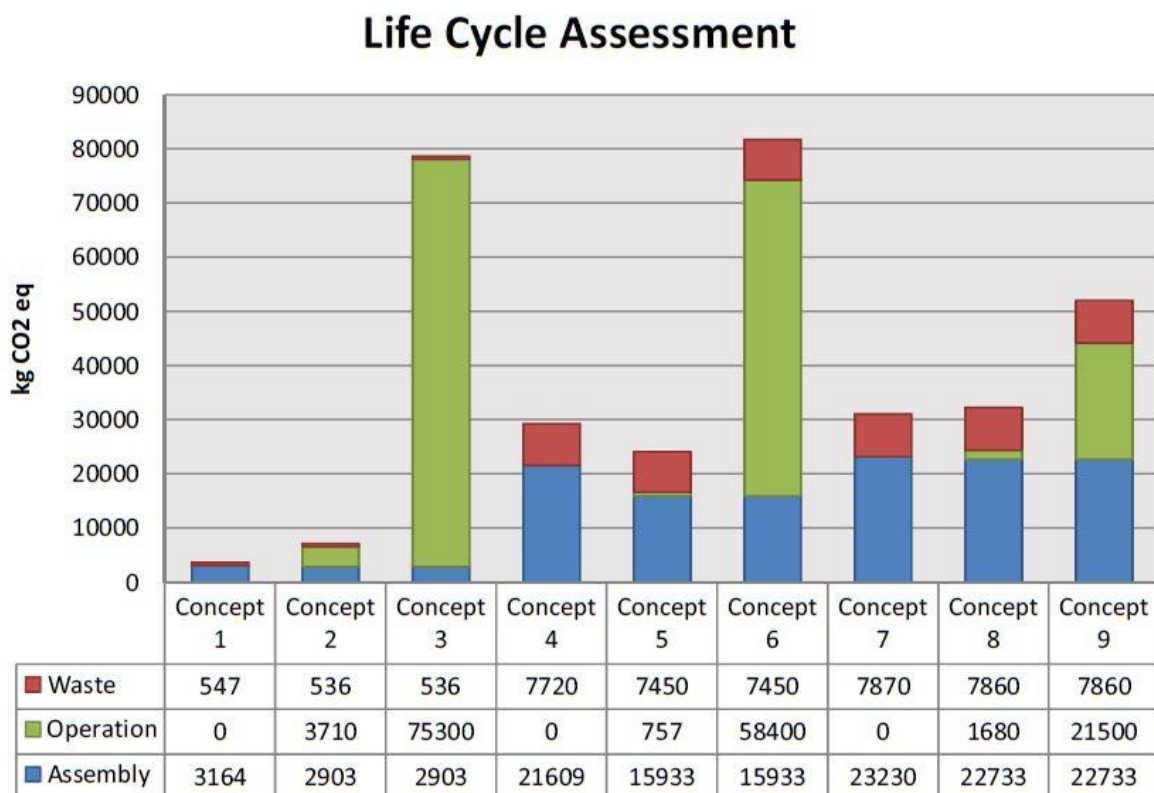
Figur 3.5: Elektrisitetsbehov til frostsikring for ulike fritidsboliger (Børset, 2009)

Fra tabell 2 og figur 3.5 er det mulig å se at variasjon mellom de forskjellige fritidsboligmodellene er relativt store. Det krever en del mer elektrisitet for å frostsikre en laftet fritidsbolig, spesielt hvis man må varme opp hele bygningsvolumet. Videre er det tydelig at å benytte en indre isolert sone som huser sanitærinstallasjonene reduserer elektrisitetsbehovet til frostsikring kraftig.

3.2 LCA vurdering av konsepter for en fritidsbolig

Torbjørn Bratteberg skrev masteroppgaven sin i 2010, og den har tittelen «LCA vurdering av konsepter for fritidsbolig med frostsikre sanitærinstallasjoner». Livsløpsanalyse (LCA) av en fritidsbolig er hovedtemaet. En slik analyse går ut på å evaluere bygningens totale miljøpåvirkning gjennom hele dens livssyklus. Bratteberg har fokusert mest på CO₂-utslipp i sin LCA. Oppgavens visjon er å frostsikre sanitærinstallasjonene uten å benytte direkte elektrisk oppvarming eller energikilder som gir netto klimagassutslipp (Bratteberg, 2010).

Bratteberg har utført en livssyklusanalyse på ni ulike konsepter for en fritidsbolig i programmet SimaPro, og hovedresultatene fra dette arbeidet kan observeres i figur 3.6.



Figur 3.6: Resultater fra utført livssyklusanalyse på ni ulike hyttekonsepter (Bratteberg, 2010)

I konsept 3, 6 og 9 i figur 3.6 frostsikres hele fritidsboligen, mens i resten varmes bare den indre sonen opp. De tre første konseptene i figuren representerer en lett konstruksjon på trepåler. Konsept 1 har et solcelleanlegg på taket, mens konsept 4 og 5 varmes opp av en panelovn. Konsept 4 forestiller en laftet hytte med et solfangeranlegg og en varmtvannstank i den indre sonen, og alternativ 5 og 6 viser den samme bygningen med direkte elektrisk oppvarming. Konsept 7 til 9 representerer en tyngre rammeverkskonstruksjon som står på et

betongfundament. Alternativ 7 har et solcellesystem som er koblet til et batteri som energikilde, mens konsept 8 og 9 har en panelovn til oppvarmingsformål (Bratteberg, 2010).

Det kommer tydelig frem fra figur 3.6 at en fritidsbolig laget av lette konstruksjonsmaterialer har mindre klimagassutslipp i bygge- og avhedingsfasen, og høyere i bruksfasen. For tunge konstruksjoner er det omvendt med mindre utslipp i bruksfasen og høyere i bygge- og avhedingsfasen.

Dersom nettilknytning ikke er mulig kan man benytte seg av hyttekonsept 4 eller 7. Det kommer frem fra figur 3.6 at en laftet fritidsbolig med et termisk solfangeranlegg, altså konsept 4, gir minst CO₂-utslipp.

Dersom nettilknytning er mulig kommer konsept 1 best ut. Som nevnt er dette konseptet en laftet fritidsbolig på påler med et solcellesystem som er koblet til strømmettet. For dette alternativet leveres strømmen fra solcellepanelet til elektrisitetsnettet i solfylte perioder. Strømmettet fungerer da som et slags batteri ettersom solcellepanelet gjerne produserer mest elektrisitet om sommeren, og behovet for oppvarming er størst om vinteren. Å selge strøm fra solcelleproduksjon til elektrisitetsnettet er ganske uvanlig i Norge i dag, men det er godt mulig at det vil bli mer populær i nær fremtid. Å benytte et batteri med stor kapasitet som kan lades opp om sommeren og benyttes om vinteren er også en mulighet. Foreløpig er slike batterier relativt dyre, men det er sannsynlig at utviklingen vil gå raskt på dette området. Figur 3.7 viser en prinsippskisse av konsept 1.



Figur 3.7: Prinsippskisse av fritidsboligmodellen for konsept 1 (Bratteberg, 2010)

Konsept 2 gir nest minst CO₂-utslipp, og denne løsningen innebærer å koble den samme laftede fritidsboligen på påler direkte til elektrisitetsnettet. Man slipper dermed å investere i et solcellepanel. Dette kan være en god løsning hvis det ikke er muligheter for å levere elektrisitet fra solcellepanelet til elektrisitetsnettet (Bratteberg, 2010).

I konsept 3, 6 og 9 varmes hele boligen opp, og ikke bare den indre sonen slik som i de andre alternativene. Brattebergs resultater viser at CO₂-utslippet økes betydelig når hele bygningen må holdes varm.

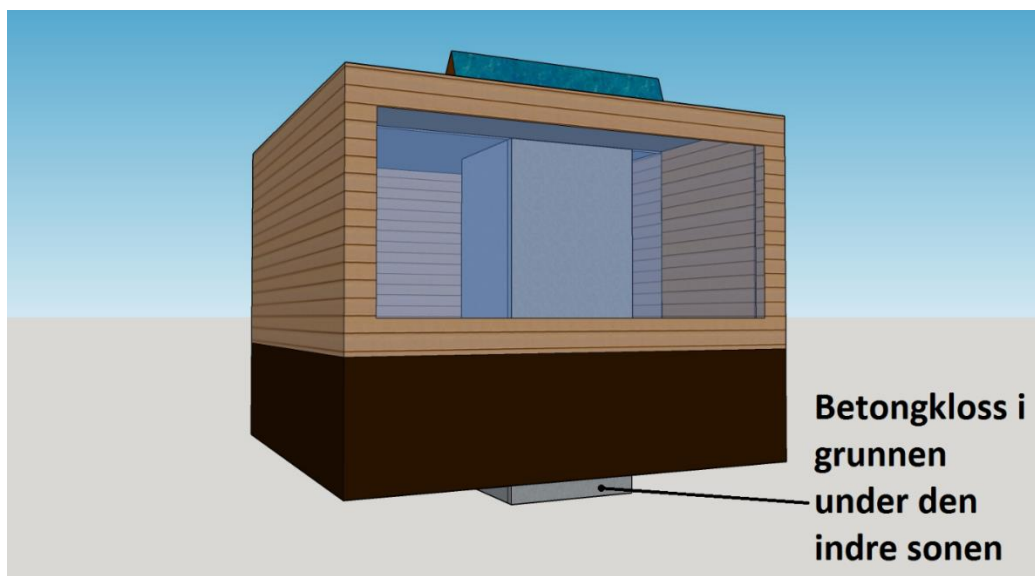
Det bør også nevnes at man må gjøre mange antagelser når en livssyklusanalyse utføres. For eksempel er elektrisitetsmiksen man velger å benytte en faktor som har en relativt stor innvirkning på resultatene (Bratteberg, 2010).

Bratteberg har også utført en analyse av livssyklus kostnadene til de forskjellige konseptene. Denne viser at konsept 3 er det dyreste alternativet, etterfulgt av konsept 6 og 9. Alternativ 1, 4 og 7 har relativt lave livssyklus kostnader, og konsept 2, 5 og 8 er svært billige (Bratteberg, 2010).

3.3 Modellering av varmeveksling med grunnen og analyse av energibruk for en fritidsbolig

Masteroppgaven til Ida Karin Auråen ble skrevet i 2013, og tittelen er «Modellering av varmeveksling med grunnen og analyse av energibruk for en frostsikker fritidsbolig med aktiv soloppvarming». Visjonen for oppgaven er å utvikle et konsept for en fritidsbolig hvor sanitæranleggene frostsikres på en måte som gir minst mulig klimagassutslipp. Auråen har undersøkt muligheten for å oppnå frostfrie forhold ved å transportere solenergi til grunnen. Denne varmen utnyttes til å varme opp den indre sonen i kalde perioder (Auråen, 2013).

Fritidsboligen i denne oppgaven er også laftet, og den indre sonen splittet i to deler, en i første etasje og en i kjelleren. Bygningen er tenkt plassert i Östersund. For å oppnå frostfrie sanitærinstallasjoner benyttes det i denne oppgaven et solvarmeanlegg som transporterer varme til grunnen under den indre kjellersonen gjennom et vannbårent system. Man ønsker å lagre denne solenergien fra perioder med mye sol til kaldere perioder, og på denne måten varme opp den indre sonen. Solvarmen bevares i den termiske massen til en betongkloss under bygningen (Auråen, 2013). Figur 3.8 viser en prinsippskisse av fritidsboligmodellen.



Figur 3.8: Prinsippskisse av den simulerte fritidsboligen i Auråen sin masteroppgave

Det fokuseres i denne masteroppgaven på hvordan man skal modellere varmevekslingen mellom grunnen og bygningen i simuleringsprogrammet ESP-r. Gulvkonstruksjonen under den indre sonen er lagt inn i modellen som betong med veldig høy densitet og varmekapasitet. Denne typen betongen er egendefinert i programmet for å imitere grunnen under hele fritidsboligen, og ikke bare under de indre sonene. I virkeligheten ville det altså vært betong

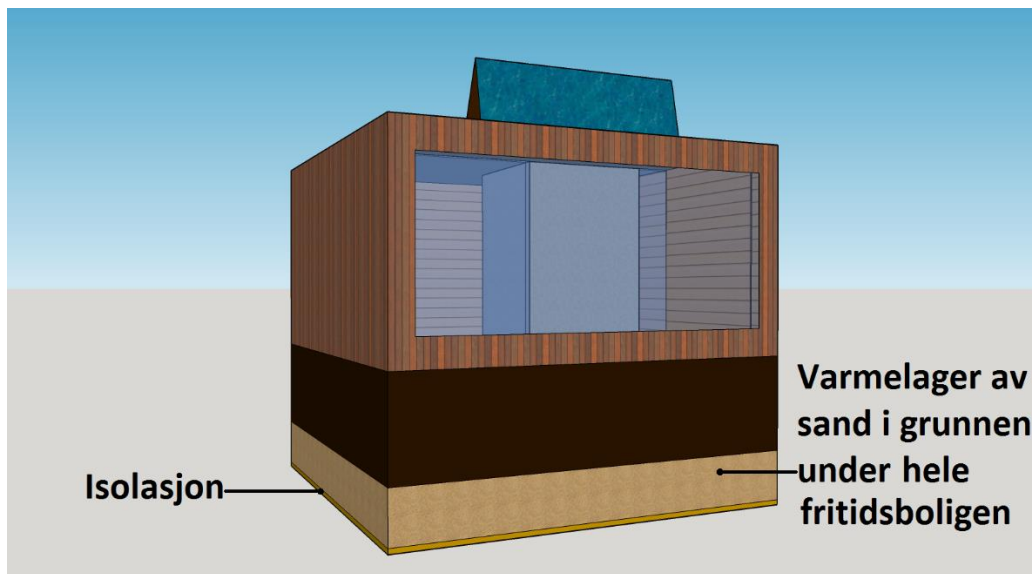
under hele bygningen. Solvarme fra solfangeren transporteres til et vannbårent element i gulvkonstruksjonen. Dermed blir betongen under den indre sonen varmet opp (Auråen, 2013).

Resultatene fra simuleringen viser at en solfanger vendt mot sør med en helningsvinkel på 70 grader som er 4 m² stor gir temperaturer på 4,2 °C eller over i de indre sonene gjennom hele året. Dette antas å være tilstrekkelig for å oppnå frostfrie sanitærinstallasjoner. Solfangerens virkningsgrad er her 45 %, og den transporterer 878 kWh til grunnen gjennom et år (Auråen, 2013).

3.4 Analyse av et varmelager i grunnen under en fritidsbolig

Masteroppgaven til Kristine Gråbergsveen ble skrevet i løpet av våren 2014, og tittelen er «Analyse av soloppvarming av varmelager i grunnen under fritidsbolig». Å undersøke potensialet for å bruke solen som energikilde til oppvarming i Norge er målet for oppgaven. I likhet med Auråens masteroppgave er det fokus på et konsept der varme fra en termisk solfanger transporteres til grunnen for å forstrikke sanitærinstallasjonene. Også her er simuleringsprogrammet ESP-r blitt benyttet, og den indre sonen er delt i to. Klimadata fra både Fornebu og Östersund er brukt i simuleringene (Gråbergsveen, 2014).

Det er blitt tatt utgangspunkt i hytta som er har blitt undersøkt i tidligere oppgaver. Forskjellen er at denne følger kravene i TEK10 og er derfor bedre isolert. Videre er fritidsboligen utstyrt med et termisk solfangeranlegg og et varmelager som ligger under hele gulvet i kjelleretasjen, og ikke bare under de indre sonene. Varmelageret er plassert mellom kjelleren og grunnen og består av sand. Solvarme transporteres fra solfangeren, som er på taket, og ned til varmelageret. Gråbergsveen har undersøkt hvordan denne varmeoverføringen påvirker temperaturforløpet i de forskjellige sonene (Gråbergsveen, 2014). Hun har også vurdert problematikk rundt fuktighet i kjelleren, men dette temaet vil ikke bli tatt opp her. En prinsippskisse av fritidsboligen kan sees i figur 3.9.



Figur 3.9: Prinsippskisse av fritidsboligen i Gråbergsveen sin masteroppgave

Fra resultatene kommer det frem at solfangeren tilfører veldig lite energi i månedene midt på vinteren, og dermed faller temperaturen i de indre sonene under 0 °C. Frostfrie forhold oppnås dermed ikke. Med klimadata fra Fornebu er tidsperioden under 0 °C i de indre sonene kortere sammenliknet med Östersund (Gråbergsveen, 2014).

Varmelageret har en veldig stor utstrekning på hele 64 m², og det trengs derfor relativt mye solenergi for å varme det opp. Gråbergsveen foreslår at man kan undersøke hvordan en større solfanger vil påvirke resultatene (Gråbergsveen, 2014).

3.5 Analyse av alternativer for frostsikring av en fritidsbolig

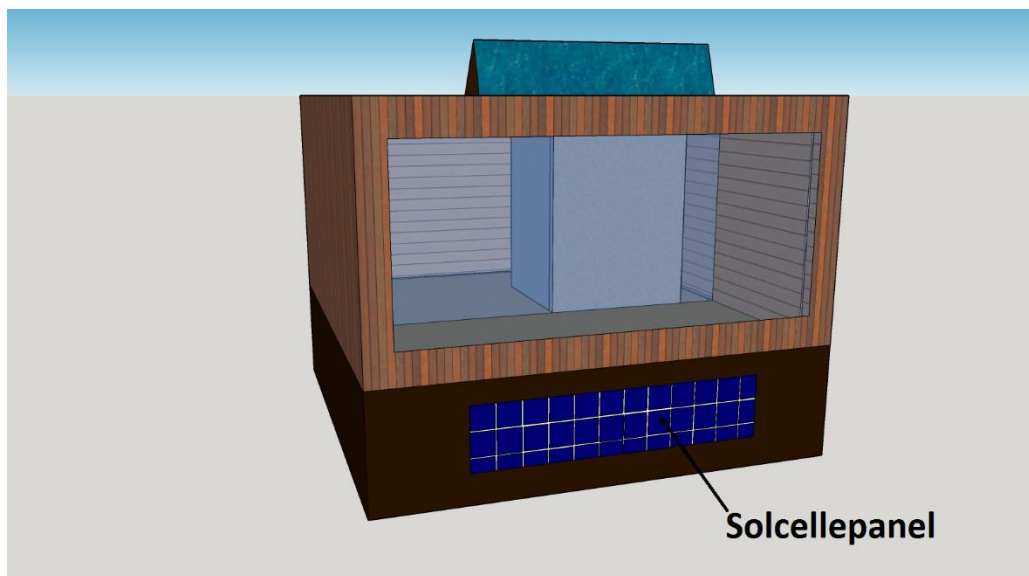
Sigmund Rimstad skrev masteroppgaven sin i løpet av vårsemesteret 2014, og tittelen er «Analyse av oppvarmingsalternativer for frostsikring av en fritidsbolig». Oppgaven undersøker ulike bærekraftige muligheter for å sikre frostfrie sanitærinstallasjoner. Hytter med og uten tilgang til strømmettet er analysert (Rimstad, 2014).

For å vurdere de ulike løsningene er klimagassutslipp og pris vektlagt. Robusthet og mengde vedlikehold som kreves er også aspekter som har blitt tatt hensyn til. Videre er hytta i denne oppgaven relativt godt isolert og oppfyller kravene i TEK10. Simuleringsverktøyet ESP-r er benyttet med klimadata fra Östersund (Rimstad, 2014).

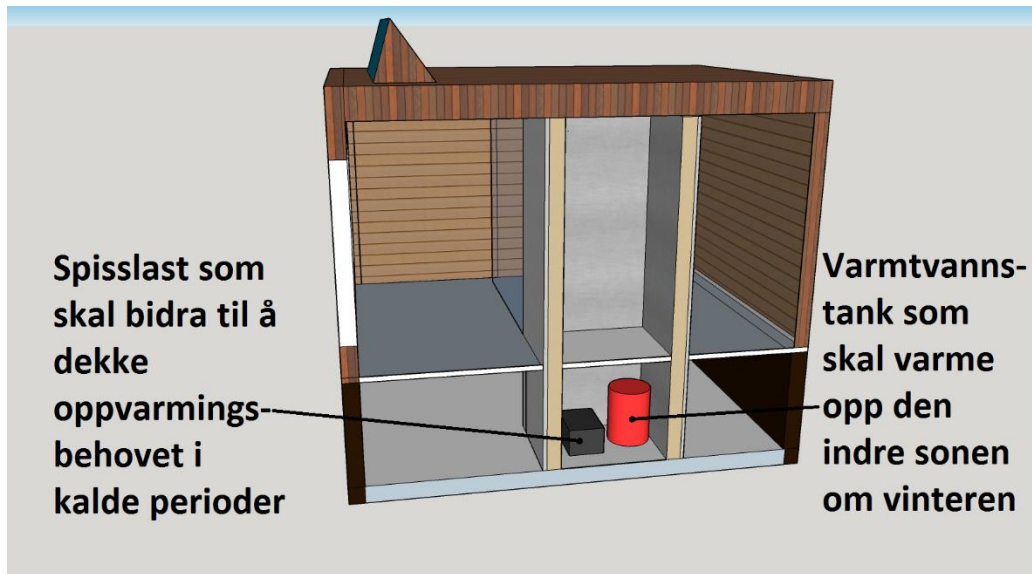
For hytta med tilgang til strømmettet er direkte elektrisk oppvarming blitt vurdert. Resultater fra simuleringene viser at elektrisitetsbehovet for å varme opp hele hytta til 10 °C gjennom et år er 4078.1 kWh. Det kreves 182.7 kWh for å varme opp den indre sonen til 5 °C, og 319.8

kWh for å holde den over 10 °C. Disse verdiene viser tydelig at elektrisitetsbehovet reduseres kraftig ved å bare varme opp den indre sonen (Rimstad, 2014).

Løsningene som er vurdert for en hytte uten tilkobling til elektrisitetsnettet benytter et solcellepanel og en solfanger til å dekke størsteparten av oppvarmingsbehovet. Det er imidlertid nødvendig med ekstra effekt i de kaldeste periodene ettersom det da er lite solinnstråling. En pelletsovn, en brenselcelle med metanol som drivstoff og et bensinaggregat er undersøkt i for å dekke dette behovet. En varmtvannstank er blitt vurdert som en løsning for å unngå å starte oppvarmingen veldig ofte. Dette tiltaket viste seg å være hensiktsmessig, og det passer godt i kombinasjon med et solfangeranlegg (Rimstad, 2014). Figur 3.10 og 3.11 viser prinsippkisser av fritidsboligen til Rimstad.



Figur 3.10: Prinsippskisse av fritidsboligen i Rimstad sin masteroppgave



Figur 3.11: Prinsippkisse i snitt av fritidsboligen i Rimstad sin masteroppgave

Rimstad har utført livsløpsanalyser i programmet Arda. En levetid på 60 år har blitt vurdert for de forskjellige løsningene. Økonomiske betraktninger er også blitt gjort for denne perioden. Resultatene fra denne analysen viser at en pelletsovn er den mest miljøvennlige løsningen sammenliknet med bensinaggregat og brenselcelle. Årsaken er at denne ovens drivstoff regnes for å gi neglisjerbart klimagassutslipp. Pelletsovnens drivstoff er også rimelig, noe som fører til at dette er det billigste alternativet. Brenselcellen er den dyreste løsningen, og bensinaggregatet gir mest klimagassutslipp (Rimstad, 2014).

3.6 Oppsummering av tidligere arbeid

Denne oversikten over tidligere masteroppgaver viser forskjellige tiltak for å frostsikre en fritidsbolig som er blitt analysert. Felles for alle fem er konseptet med den indre sonen som huser sanitærinstallasjoner og rørsystemer. Med denne løsningen er det et mye mindre volum som må varmes opp for å oppnå frostfrie betingelser. Alle oppgavene viser at det blir mye enklere å frostsikre bygningen når bare den indre sonen må holdes varm.

Fritidsboliger både med og uten tilknytning til elektrisitetsnettet er undersøkt. Dersom hytta har tilgang på strøm er det en god og enkel løsning å frostsikre den ved å varme opp den indre sonen med en elektrisk ovn. I flere av oppgavene er energibruk undersøkt ved å først varme opp hele bygningen, og bare den indre sonen etterpå. Det blir da tydelig at elektrisitetsforbruket reduseres drastisk når bare den indre sonen skal varmes opp sammenliknet med hele fritidsboligen.

For bygninger uten tilknytning til elektrisitetsnettet har ulike tiltak blitt prøvd ut for å holde den indre sonen frostfri. I Børset sin masterrapport ble oppvarming med solfanger kombinert med en vanntank i indre sone analysert. Det viste seg å være utfordrende å frostsikre den indre sonen på denne måten. En vanntank på hele 4 m³ var nødvendig for å holde den indre kjellersonen over frysepunktet. En såpass stor tank vil ta veldig mye plass i fritidsboligen i tillegg til å være ganske dyr.

Auråen undersøkte også et fritidsboligkonsept uten tilknytning til elektrisitetsnettet. Det gikk ut på at solvarme fra et solfangeranlegg ble lagret i en betongkloss i grunnen under bygningen. Dette tiltaket viste seg å fungere relativt godt, og den indre sonen holdt en temperatur over frysepunktet gjennom hele vinteren. Å installere en slik betongkloss vil imidlertid være ganske upraktisk og kostbart, i tillegg til at betongproduksjon medfører store utslipp av klimagasser.

Gråbergsveen analyserte et konsept med et varmelager av sand under hele fritidsboligen. Varme fra en solfanger ble transportert til varmelageret. Dette konseptet fungerte ikke som ønsket ettersom det ikke var nok solenergi til å holde sanden tilstrekkelig varm om vinteren. Temperaturen i den indre sonen falt dermed under 0 °C i løpet av de kaldeste månedene.

I Rimstad sin masteroppgave ble en fritidsbolig med både et solcellepanel og en solfanger som var koblet til en varmtvannstank, analysert. For å dekke hele effektbehovet for oppvarming av den indre sonen om vinteren var det nødvendig med en form for spisslast. Flere alternativer ble vurdert, og en pelletsovn viste seg å være mest miljøvennlig. Dette fritidsboligkonseptet fungerte godt, og kan være en hensiktsmessig løsning for en bygning uten tilknytning til strømmettet. Løsningen er imidlertid ikke veldig robust ettersom man er avhengig av en oppvarmingskilde som skrur seg på automatisk. Dersom spisslasten ikke fungerer vil det bli frost i den indre sonen.

Bratteberg utførte en LCA på 9 ulike fritidsboligkonsepter. Det var tydelig at å bare varme opp den indre sonen om vinteren reduserer CO₂-utslippene kraftig. Konseptet som kom best ut i forhold til CO₂-utslipp var en hytte bygget i heltre på påler med et solcelleanlegg som kan selge strøm til elektrisitetsnettet. Det nest beste alternativet var den samme fritidsboligen på påler, men med direkte elektrisk oppvarming av den indre sonen. For en hytte uten tilkobling til strømmettet var den beste løsningen med hensyn til CO₂-utslipp en laftet hytte med et solfangeranlegg koblet til en varmtvannstank i den indre sonen.

Ingen av masteroppgavene har funnet en helt tilfredsstillende løsning for fritidsboligen uten tilknytning til elektrisitetsnettet. Videre i denne masteroppgaven vil man forsøke å finne et bedre konsept for denne typen hytter. Dette fritidsboligkonseptet vil beskrives og undersøkes ytterligere i den neste kapitlene.

4 Frostsikringsmetode med bruk av vann som PCM for fritidsboliger uten strømtilknytning

Resten av denne masteroppgaven vil hovedsakelig fokusere på å analysere en frostsikringsmetode for en ubebodd bygning som ikke er tilknyttet strømmettet. Fritidsboligen har en indre, isolert sone som huser sanitærinstallasjoner og rørsystemer. Frostsikringsmetoden går ut på at vann brukes som PCM på veggene i den indre sonen. En soloppvarmet vanntank utnyttes som oppvarmingskilde.

4.1 Utvalgte steder for analyse av frostsikringsmetoden

I dette kapitlet vil de forskjellige stedene der modellen av fritidsboligen er simulert bli redegjort for. Klimadata for de ulike lokasjonene hentet gjennom simuleringsprogrammet IDA ICE er benyttet i simuleringene. Dataene inkluderer utetemperatur, relativ fukt, skydekke, solinnstråling og vindhastighet. Grafene som presenteres i dette kapitlet er basert på disse klimadataene. Videre er skaleringen i figurene lik for alle de fire stedene for sammenlikningens skyld. Klimafilene for de forskjellige lokasjonene er av ulike typer, men felles for dem er at de representerer typiske år. Man bør dermed ha i bakhodet at mer ekstreme år kan forekomme (EQUA Simulation AB).

Det er mange områder i verden hvor ubebodde bygninger har behov for frostsikring. Ved å analysere fritidsboligen for ulike steder vil det være mulig å se hvordan frostsikringsmetoden fungerer i forskjellige typer klima. Videre kan være nyttig å se figurene som viser utetemperaturer og solinnstråling i sammenheng med resultatene som presenteres i kapittel 4.4.

4.1.1 Klima i Östersund

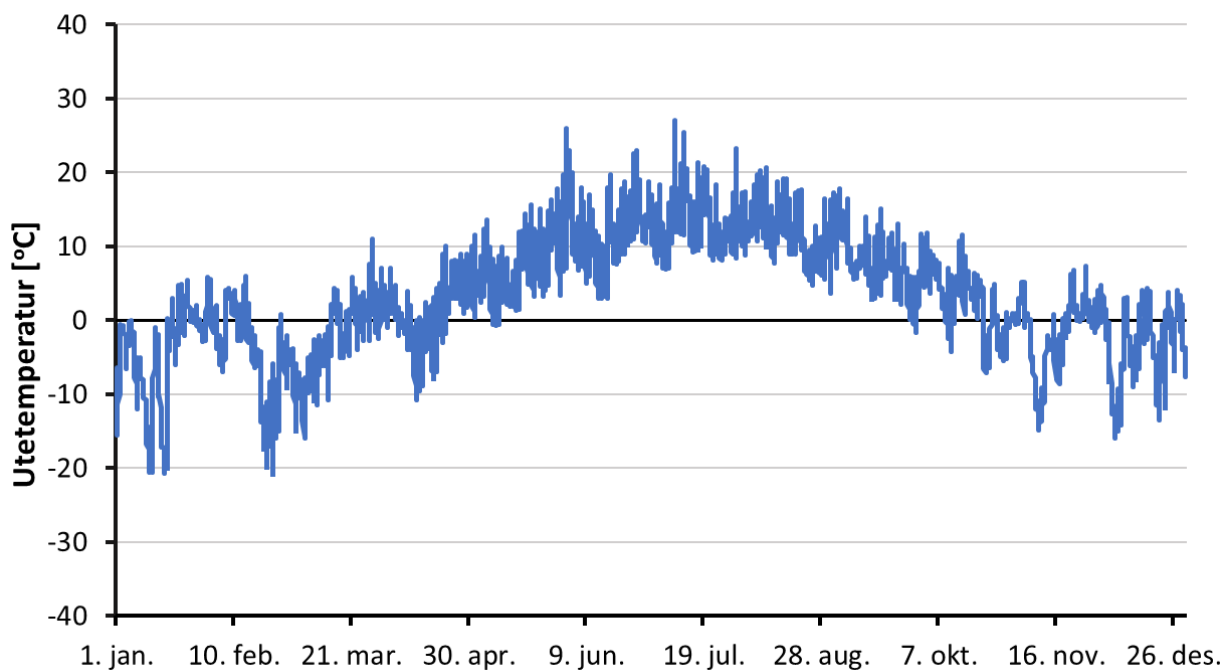
Den første plasseringen som er valgt for den modellerte fritidsboligen er Östersund i Sverige. Östersund kan sies å ha et typisk innlandsklima som er representativt for fjellområdene i Sør-Norge med mye hyttebebyggelse. Denne byen er derfor nyttig for å undersøke frostsikring av en innlandshytte som er ubebodd en lengre periode om vinteren.

Figur 4.1 viser Östersunds geografiske lokasjon. Byens breddegrad er på 63.2° N, og den ligger 359 meter over havet.



Figur 4.1: Östersunds geografiske plassering (Google Maps)

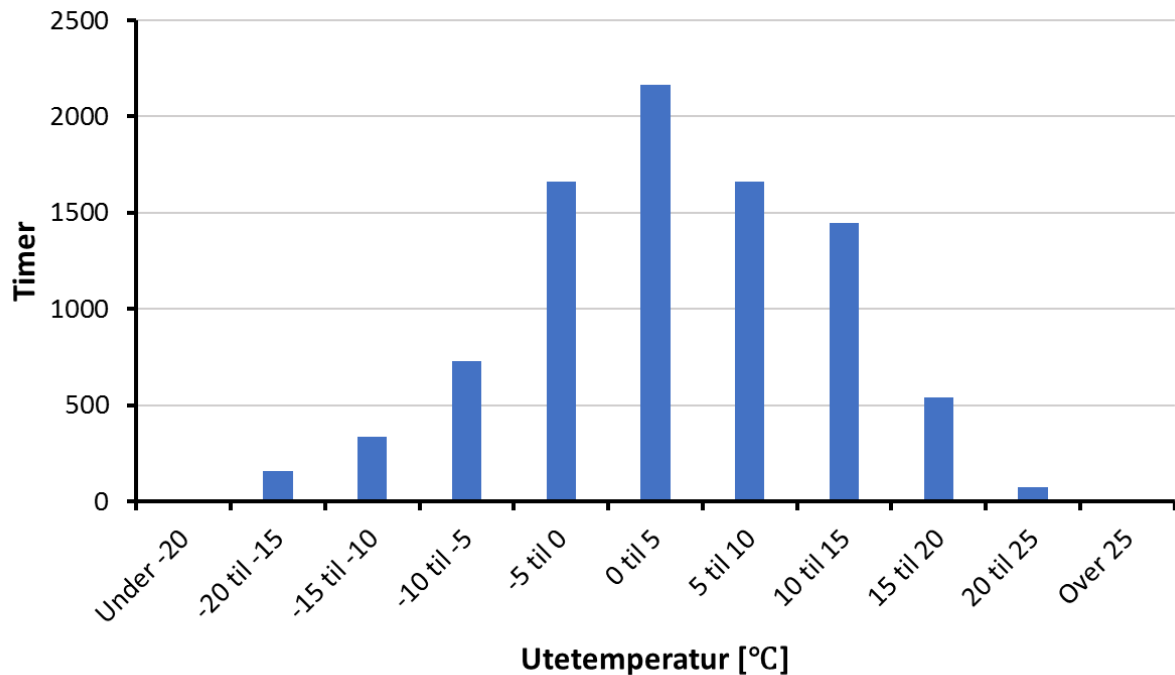
Klimafilen som er benyttet for Östersund er av typen IW2 og representerer et typisk år i byen (EnergyPlus). Alle grafene i dette delkapittelet er basert på denne filen. Figur 4.2 viser utetemperaturen i Östersund.



Figur 4.2: Utetemperatur i Östersund

Fra figur 4.2 er det mulig å se at utetemperaturen ofte blir ganske lav om vinteren, og noen få ganger går den under $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Videre er det tydelig at sommeren er relativt kjølig.

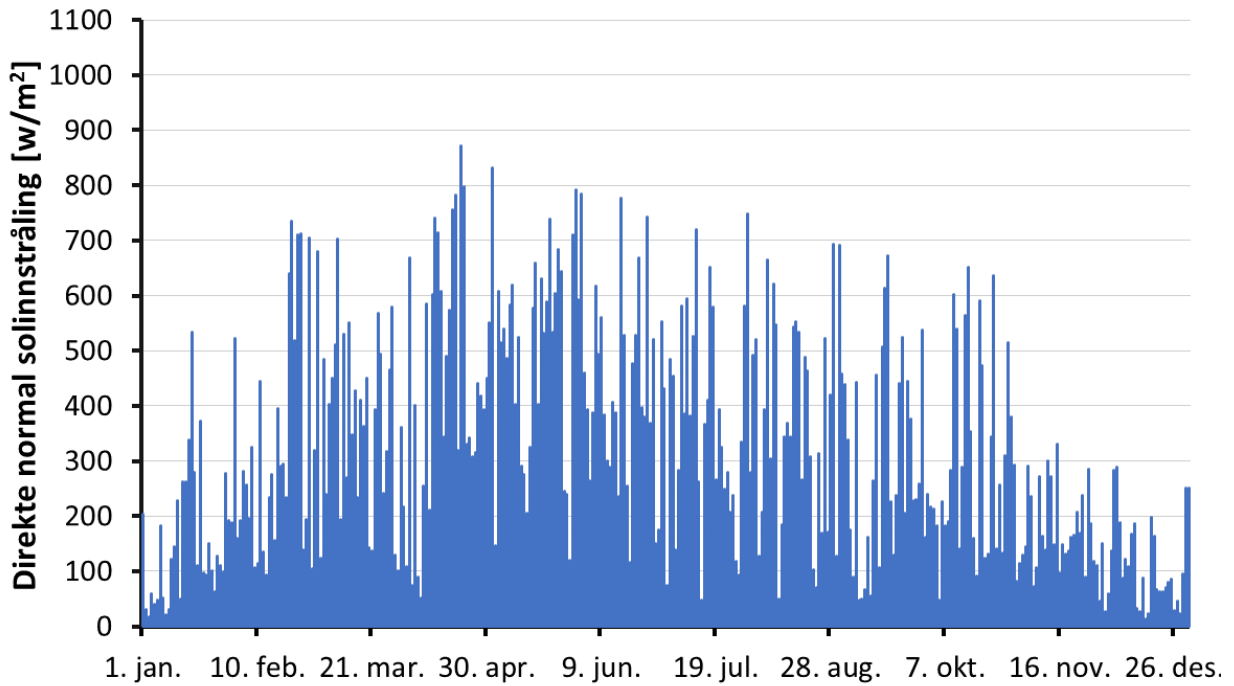
I figur 4.3 er utetemperaturen for hver time gjennom året sortert i et frekvensdiagram. Ut ifra dette er det mulig å se hvilke temperaturer det er mest av.



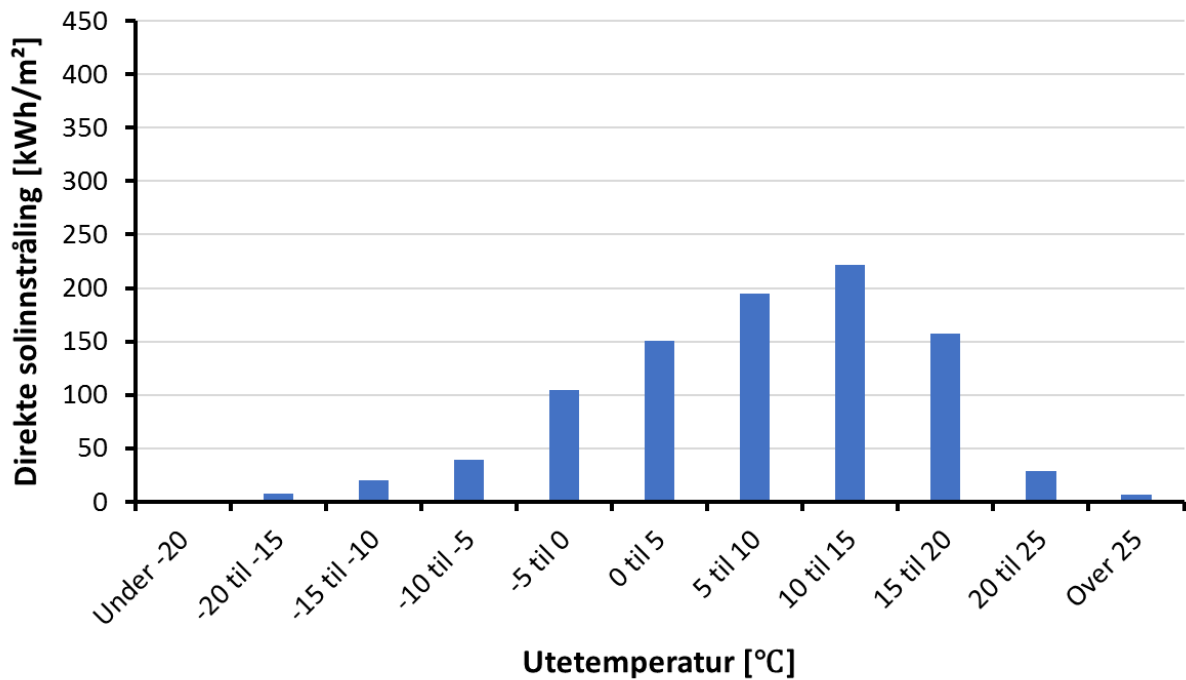
Figur 4.3: Frekvens av utetemperatur i Östersund

Figur 4.3 viser at de vanligste temperaturene i Östersund er mellom 0 og $5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Videre er det ganske kaldt i noen perioder med temperaturer mellom -15 og $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figur 4.4 og 4.5 viser henholdsvis direkte normal solinnstråling og den samme solinnstrålingen sortert med hensyn på utetemperatur i Östersund.



Figur 4.4: Direkte normal solinnstråling i Östersund

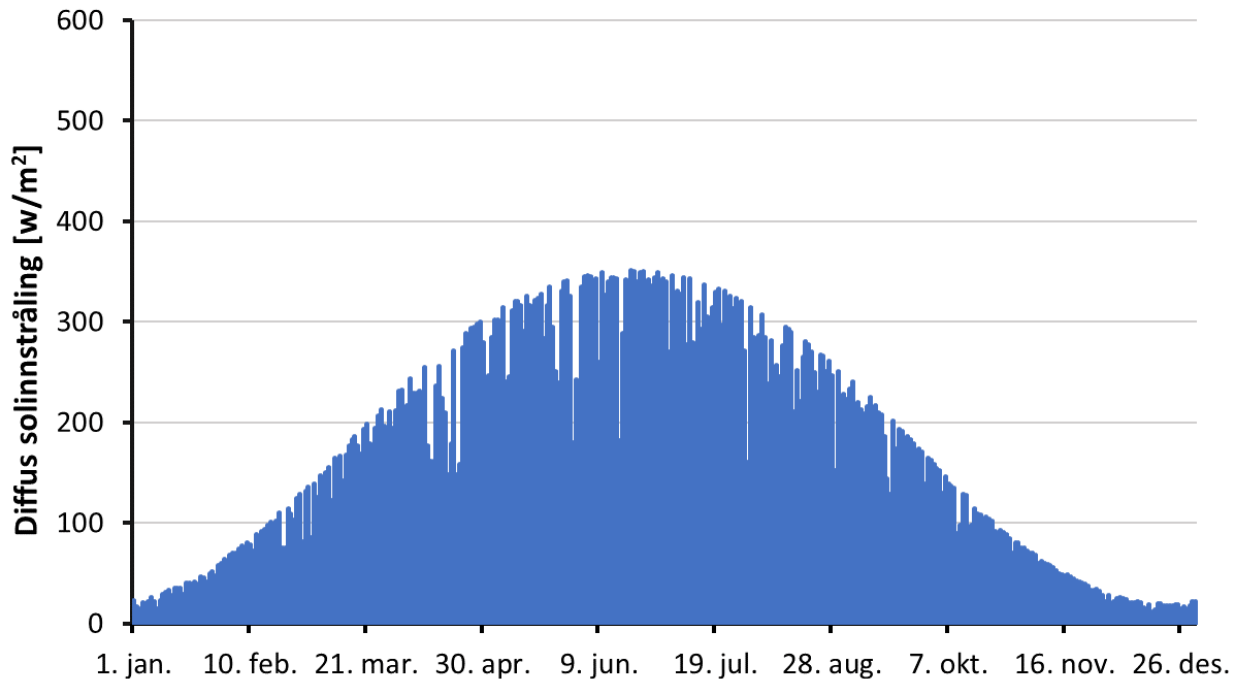


Figur 4.5: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Östersund

Fra figur 4.4 er det mulig å se at det er mest direkte normal solinnstråling om sommeren, og mindre om vinteren. Figur 4.5 viser at det er mest direkte solinnstråling når utetemperaturen er mellom 5 og 15 °C. Videre er det tydelig at det er lite solinnstråling når det er kaldt. Ved å

sammenlikne frekvensen av utetemperaturen fra figur 4.3 med figur 4.5, kan man se at selv om det er mange timer med utetemperatur mellom - 5 og 0 °C er det relativt lite solinnstråling.

Figur 4.6 viser den diffuse solinnstrålingen på en horisontal overflate i Östersund.



Figur 4.6: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Östersund

Fra figur 4.6 man se at det helt klart er mest diffus solinnstråling om sommeren, og betydelig mindre om vinteren.

4.1.2 Klima i Tjøme

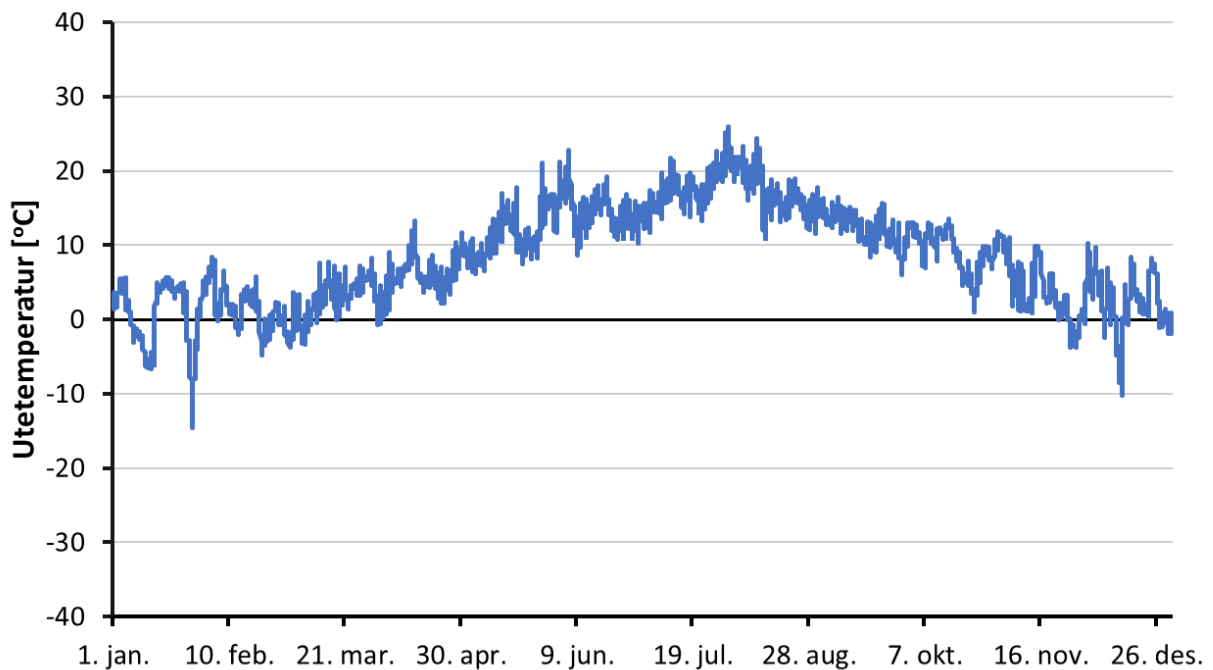
Det neste stedet som er valgt er Tjøme. Dette er en kommune i Vestfold fylke der mange nordmenn har hytter som de bruker hovedsakelig i sommerhalvåret. Det er derfor interessant å undersøke behovet for frostsikring her. Klimadataene som er benyttet er basert på målinger fra Færder Fyr som ligger på en øy i Oslofjorden og tilhører Tjøme kommune.

Figur 4.7 viser Færder Fyrs geografiske lokasjon. Stedets breddegrad er på 59.0°, og det ligger 8 meter over havet.



Figur 4.7: Færder fyrs geografiske plassering (Google Maps)

Figur 4.8 viser utetemperaturen gjennom et typisk år i Tjøme. Klimadataene for Tjøme er av typen IW2 og representerer et typisk år (EnergyPlus).

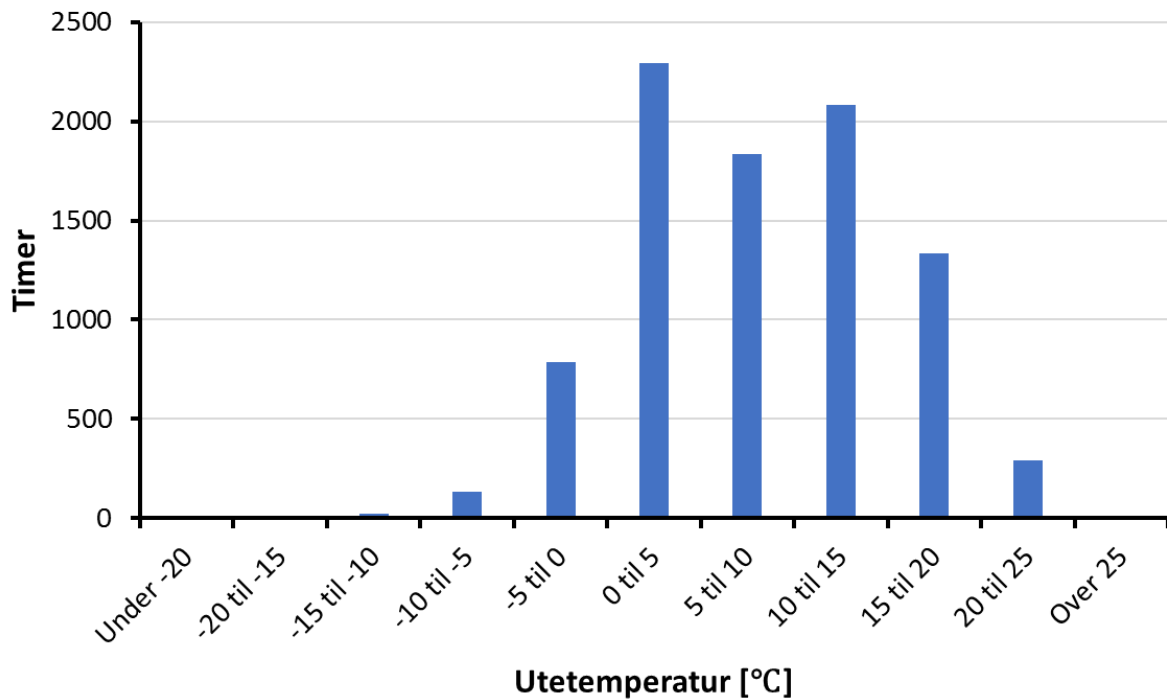


Figur 4.8: Utetemperatur i Tjøme

Fra figur 4.8 er det mulig å se at utetemperaturen ikke varierer like mye som i Östersund. Grunnen til dette er sannsynligvis at Tjøme ligger ved kysten i Oslofjorden. Dermed bidrar

sjøen til at temperaturene ikke svinger like mye som i innlandet. Videre kan man se at vinteren er ganske mild. Temperaturen synker imidlertid langt under frysepunktet et par ganger.

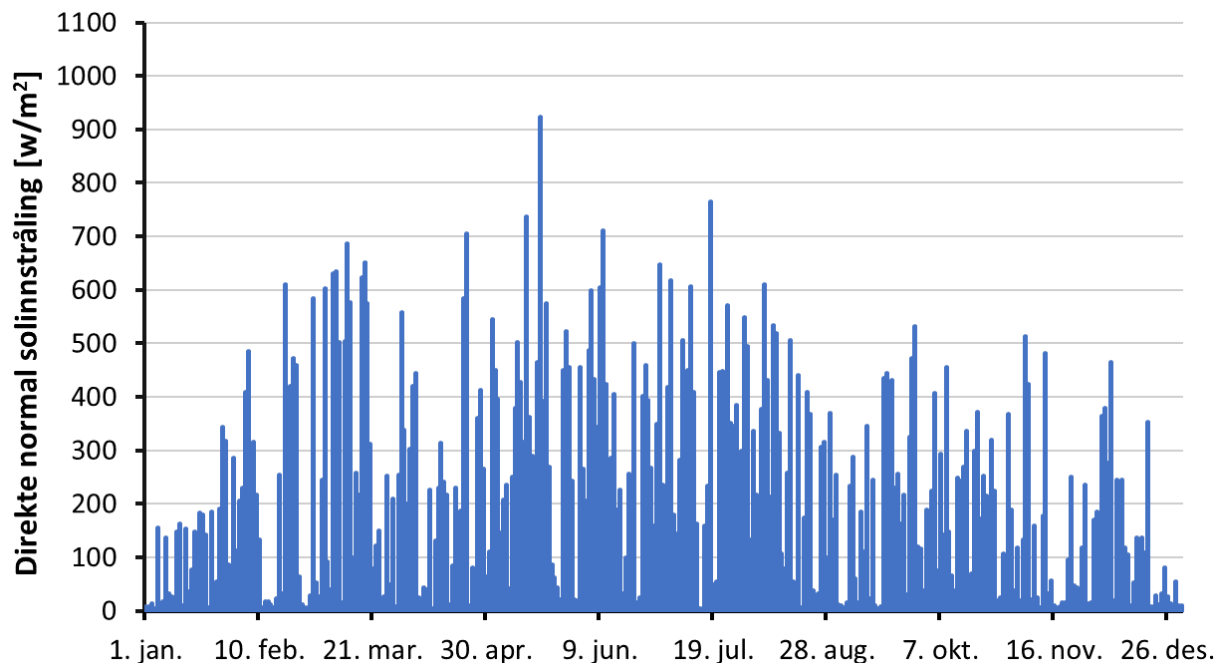
I figur 4.9 er utetemperaturen presentert i et frekvensdiagram.



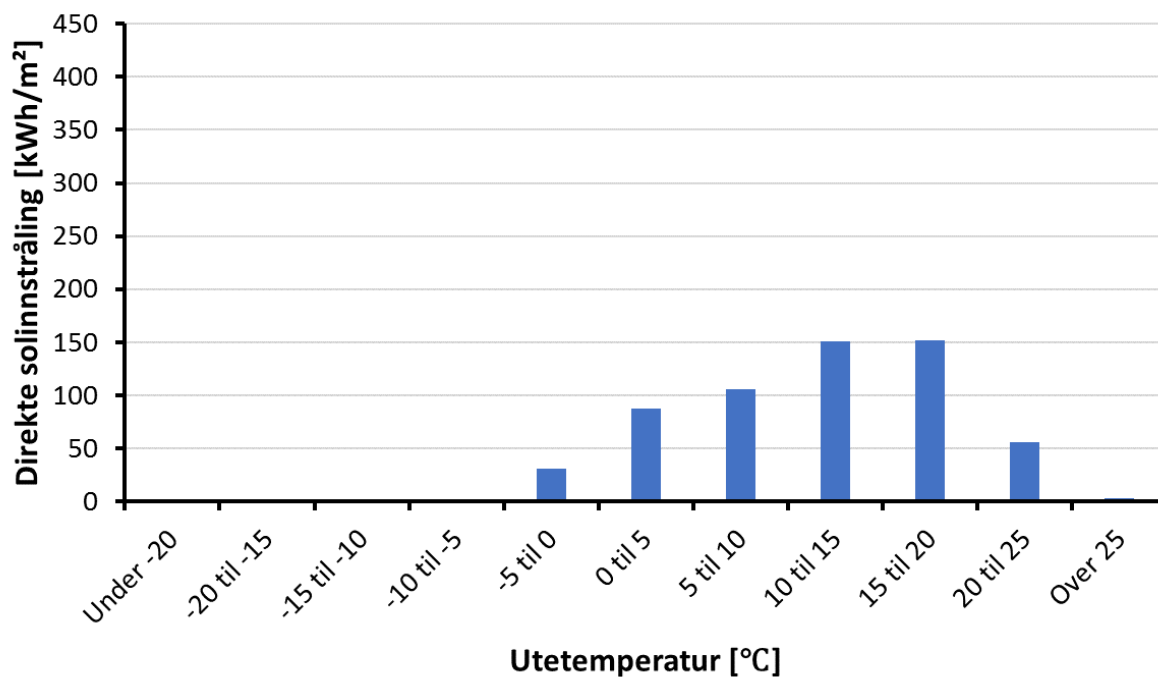
Figur 4.9: Frekvens av utetemperatur i Tjøme

Figur 4.9 viser at utetemperaturen i Tjøme for det meste er ganske mild, og det er bare noen få timer med temperaturer under -10 °C.

Figur 4.10 og 4.11 viser henholdsvis direkte normal solinnstråling og denne solinnstrålingen sortert med hensyn på utetemperatur for Tjøme.



Figur 4.10: Direkte normal solinnstråling i Tjøme

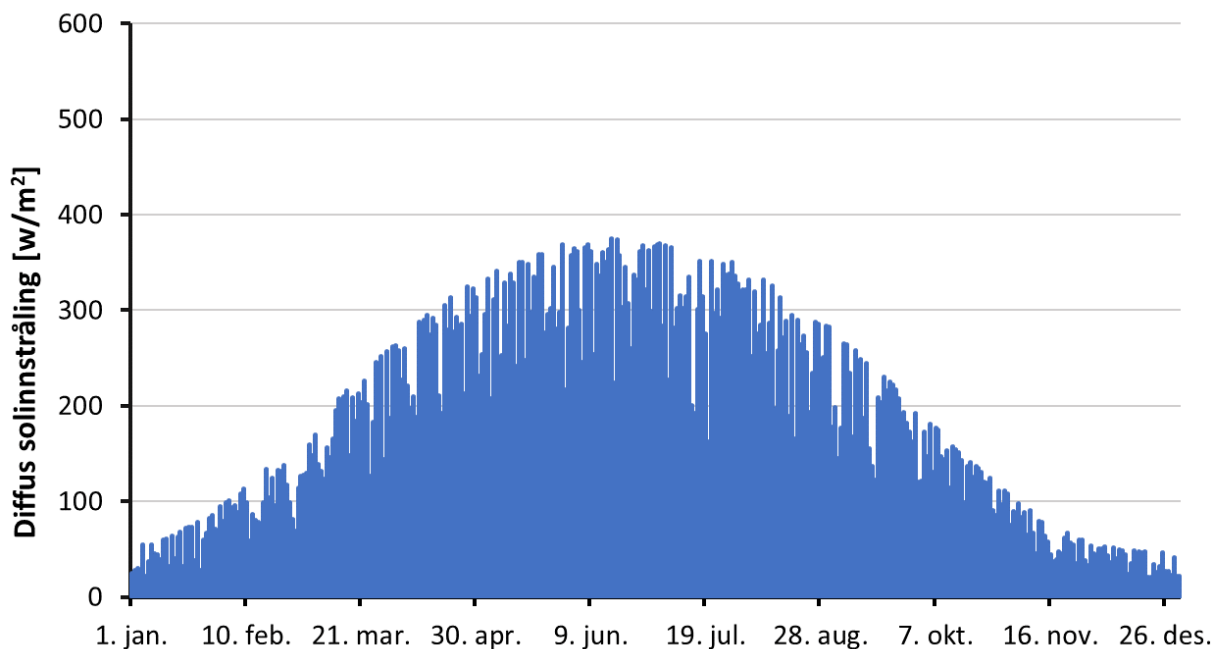


Figur 4.11: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Tjøme

Fra figur 4.10 ser man at det også i Tjøme er mest direkte solinnstråling om sommeren, og minst om vinteren. Sammenliknet med Östersund er det tydelig at det er litt mer direkte solinnstråling i januar. Figur 4.11 viser at det er veldig lite solinnstråling når utetemperaturen er under 0 °C. Dette er imidlertid ganske logisk når det er såpass få timer i året med utetemperatur under frysepunktet. Fra den samme figuren kan man også se at det er litt

mindre solinnstråling i Tjøme enn det er i Östersund. Etersom Tjøme ligger lengst sør av disse to byene burde det jo være motsatt. Hvorfor klimadataene forteller noe annet er usikkert. En mulighet er at dataene for de to stedene er laget på ulike måter. Det kan også hende at det er en feil i klimafilene grunnet værmålinger eller noe annet. I IDA ICE står det at det ikke kan garanteres at klimadataene er fri for feil.

Figur 4.12 viser diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Tjøme.



Figur 4.12: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Tjøme

Ut ifra figur 4.12 kan man se at det også i Tjøme er mest diffus solinnstråling om sommeren, og vesentlig mindre om vinteren.

4.1.3 Klima i Calgary

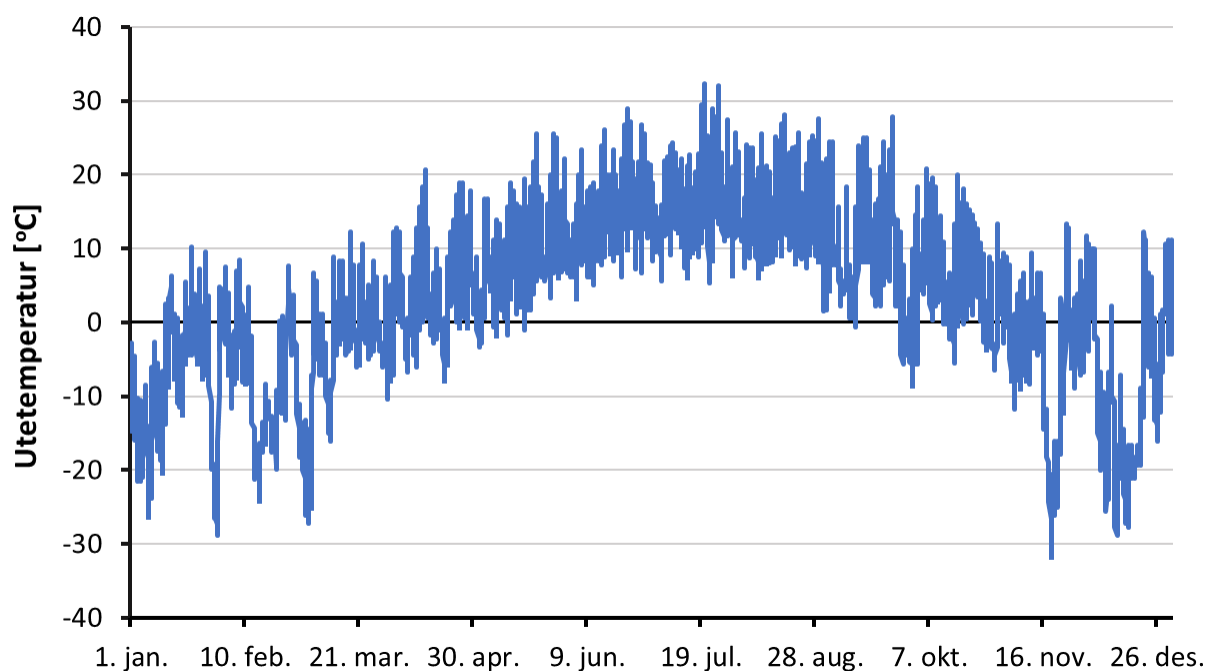
Det neste stedet som undersøkt er Calgary, en by som ligger i provinsen Alberta vest i Canada. Calgary ligger på den sørligste breddegraden av alle stedene som er plukket ut, og har derfor de beste solforholdene. Vinteren er imidlertid enda kaldere her enn i Östersund. Denne byen er valgt ettersom det er interessant å analysere hvordan det er hensiktsmessig å frostsikre en ubebodd bygning et sted som er relativt kaldt, men samtidig har ganske gode solforhold.

Figur 4.13 viser den geografiske lokasjonen Calgary. Byens breddegrad er på 51.1° N, og den ligger 1084 meter over havet.

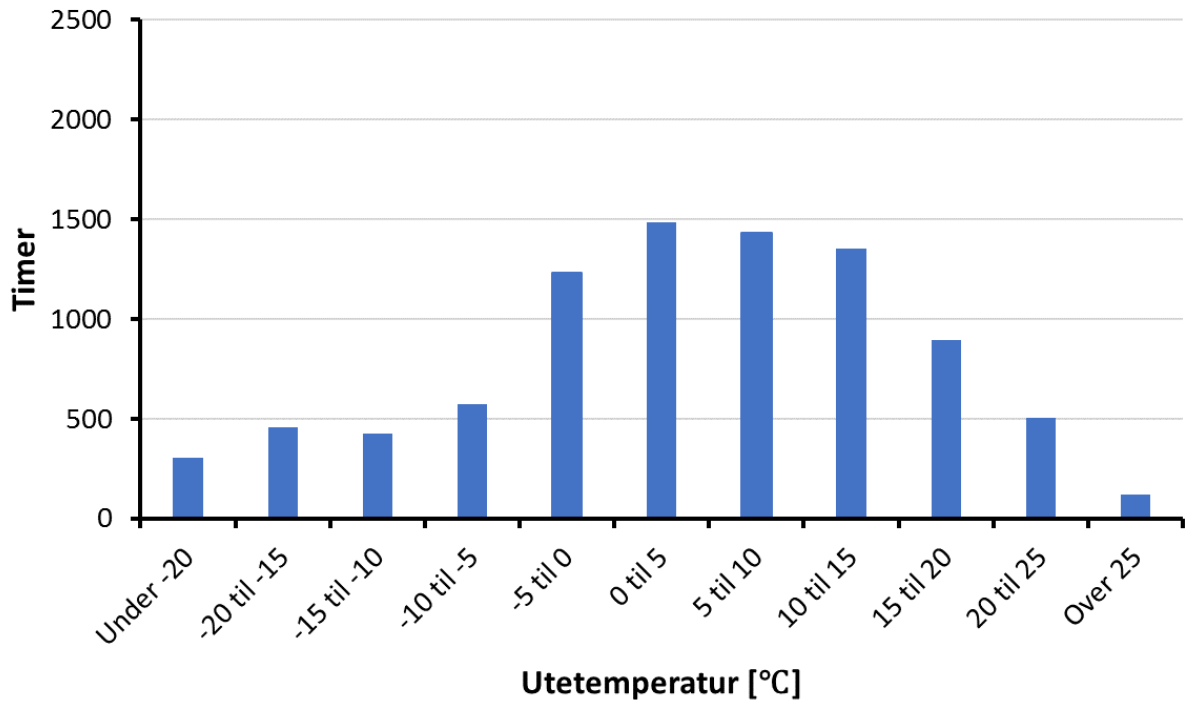


Figur 4.13: Lokasjonen til Calgary (Google Maps)

Klimafilen for Calgary er av typen CWEC som er laget spesielt for Canada og representerer et typisk år (EnergyPlus). Figur 4.14 og 4.15 viser henholdsvis forløpet til utetemperaturen i Calgary gjennom et år og et frekvensdiagram av den samme temperaturen.



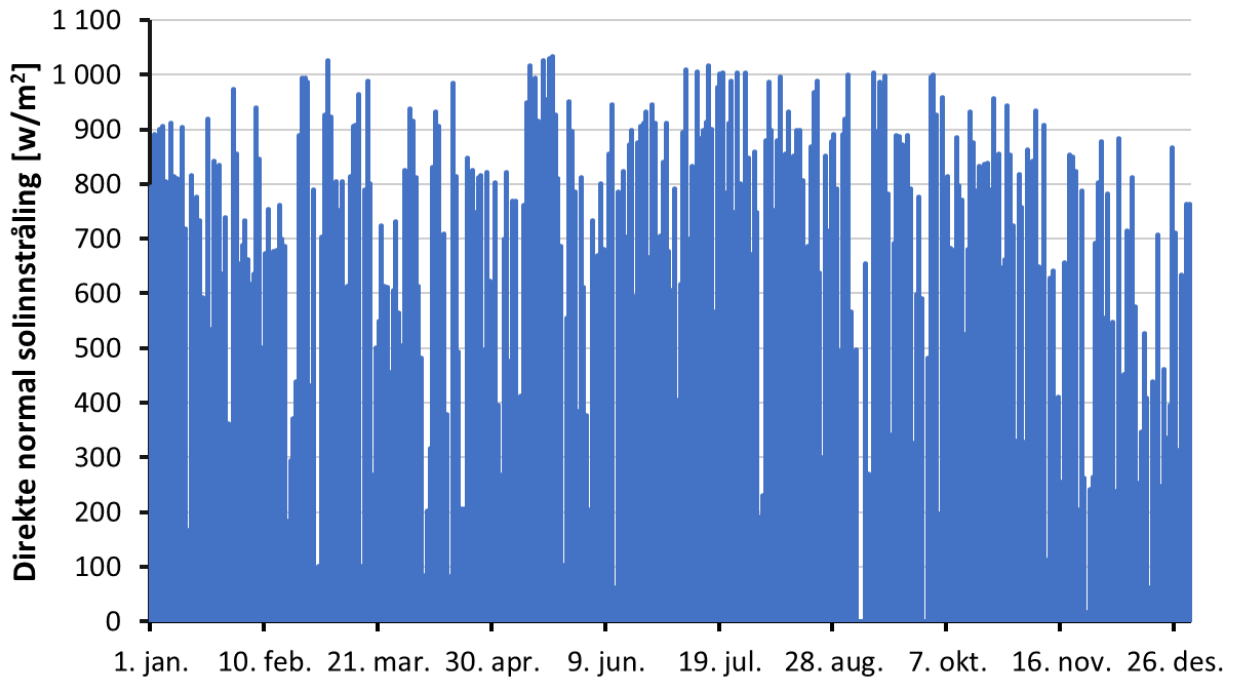
Figur 4.14: Utetemperaturen i Calgary



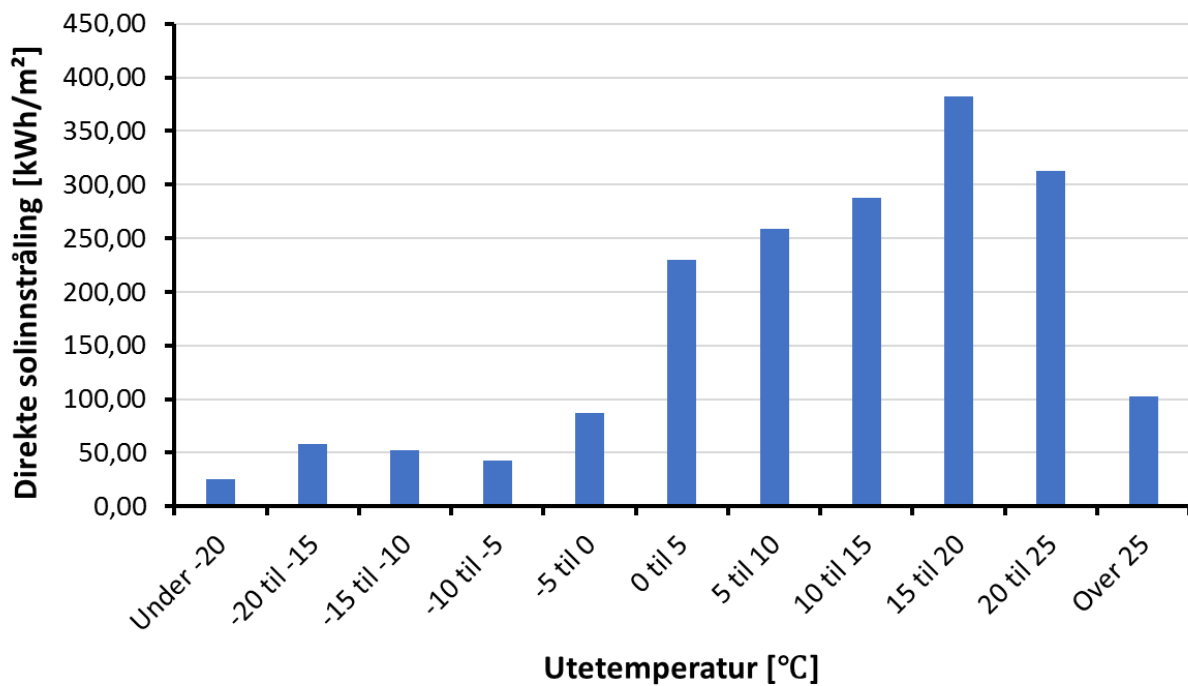
Figur 4.15: Frekvens av utetemperaturen i Calgary

Fra figur 4.14 er det mulig å se at utetemperaturen svinger mye gjennom døgnet sammenliknet med i Östersund og Tjøme. Dette er sannsynligvis fordi Calgary har et utpreget innlandsklima i tillegg til at byen ligger høyt over havet. Dermed blir det fort veldig kaldt når det ikke er sol. Videre kan man se fra både figur 4.14 og 4.15 at utetemperaturen har store variasjoner. Det er både en del timer under $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ og noen over $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ i løpet av et typisk år.

Figur 4.16 og 4.17 viser direkte normal solinnstråling og den samme solinnstrålingen sortert med i forhold til utetemperatur, respektivt, i Calgary.



Figur 4.16: Direkte solinnstråling i Calgary

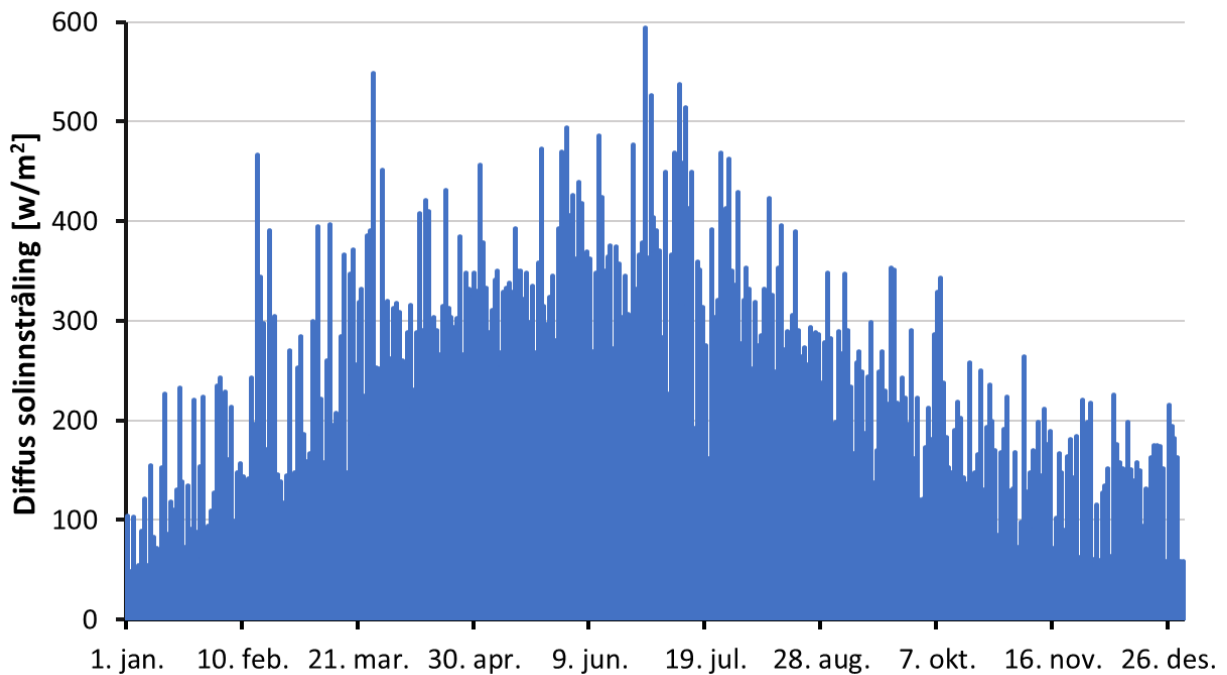


Figur 4.17: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Calgary

Som man kan se i figur 4.16 er det den direkte solinnstrålingen har høy intensitet gjennom hele året sammenliknet med Östersund og Tjøme. Videre kan man fra figur 4.17 se at det er mye mer direkte solinnstråling når utetemperaturen er over 0 °C. En årsak til dette er

sannsynligvis at det er så store temperaturforskjeller mellom dag og natt, og mellom klart og overskyet vær. Om natten synker utetemperaturen drastisk, og som kjent er det ikke mye solinnstråling da. Når det skyer over blir det sannsynligvis også veldig kaldt. Dette vil prege diagrammet. I tillegg er det mer solinnstråling om sommeren enn om vinteren.

I figur 4.18 kan man se den diffuse solinnstrålingen på en horisontal overflate i Calgary.



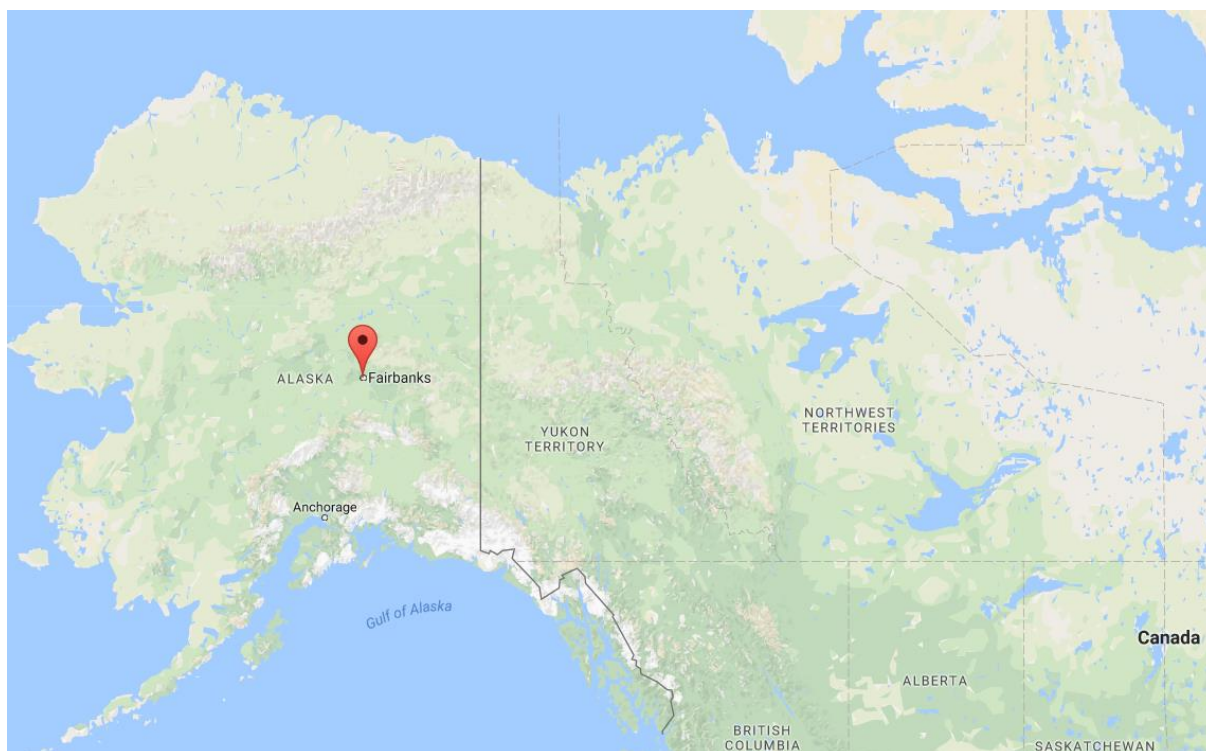
Figur 4.18: Diffus solinnstråling på en horisontal overflate i Calgary

Fra figur 4.18 er det mulig å se at også den diffuse solinnstrålingen har en høy intensitet gjennom hele året sammenliknet med Östersund og Tjøme. Det er mest solinnstråling om sommeren, men også en del om vinteren.

4.1.4 Klima i Fairbanks

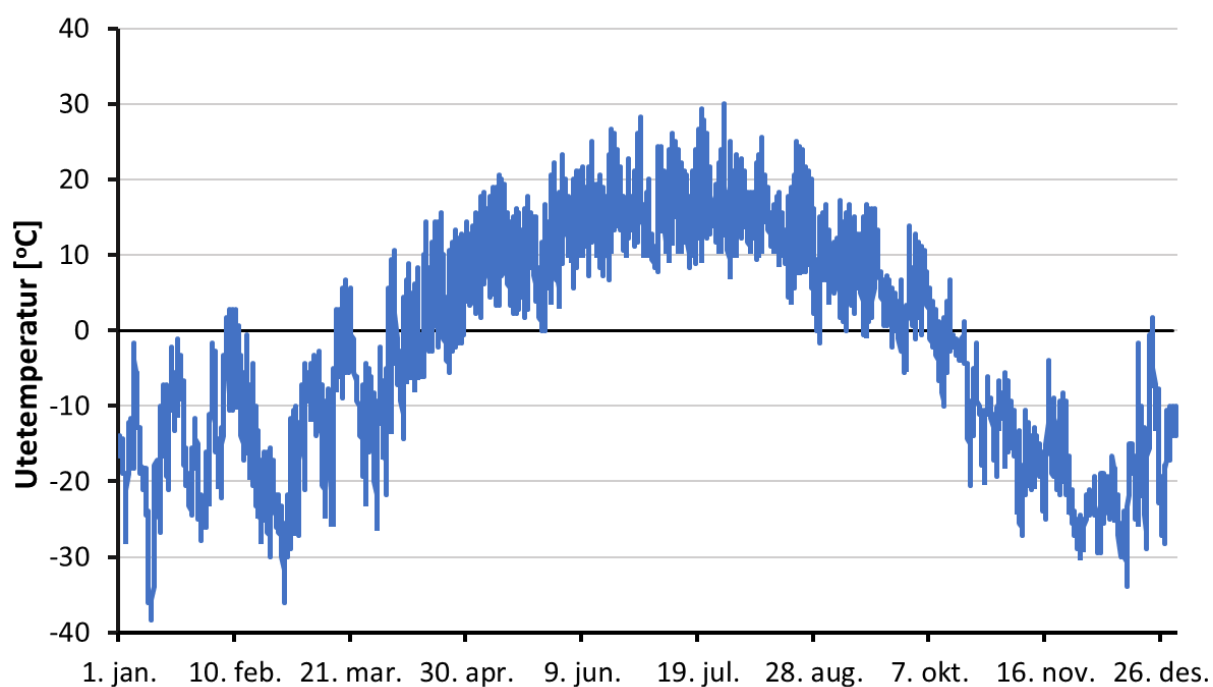
Den siste utvalgte byen er Fairbanks som ligger i Alaska. Denne byen har en meget kald og lang vinter, og frostsikring av sanitærinstallasjoner og rørsystemer er dermed et aktuelt tema her. Det er interessant å undersøke mulighetene for å finne en god frostsikringsmetode for en ubebodd bygning et såpass kaldt sted.

I figur 4.19 kan den geografiske lokasjonen til Fairbanks observeres. Byens breddegrad er på 64.8° N, og den ligger 133 meter over havet.



Figur 4.19: Den geografiske plasseringen til Fairbanks (Google Maps)

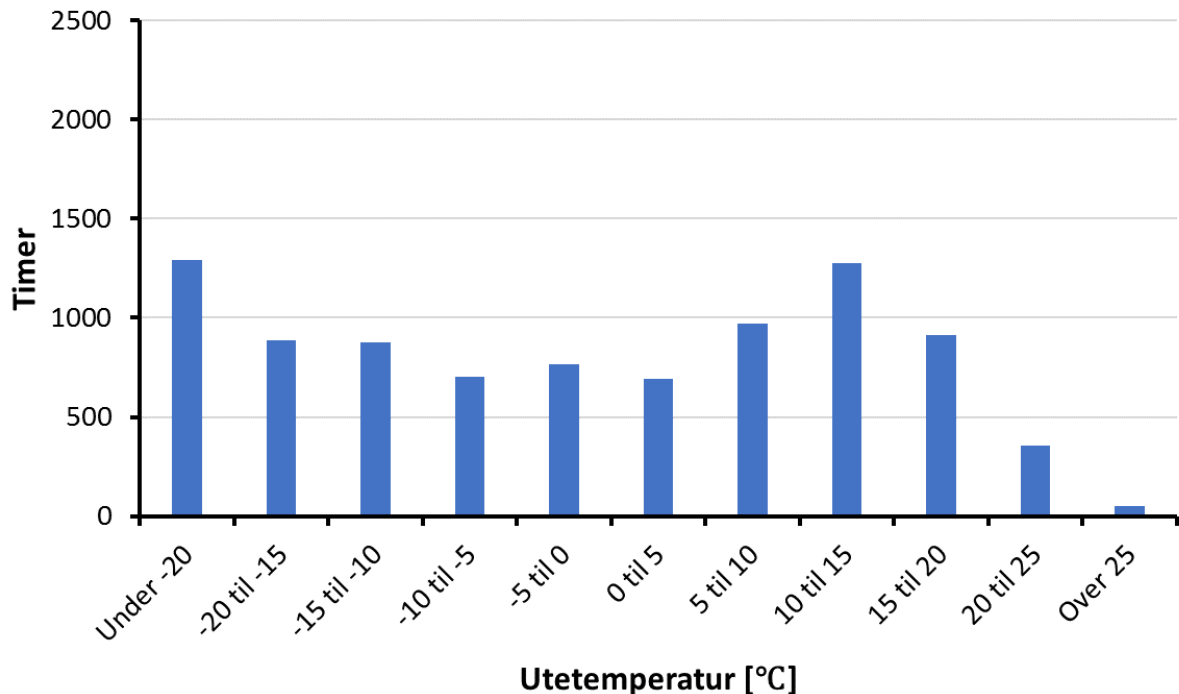
Klimafilen for Fairbanks er av typen TMY3, og dataene representerer et typisk år (EnergyPlus). Figur 4.20 viser utetemperaturer til Fairbanks gjennom et år.



Figur 4.20: Utetemperatur i Fairbanks

Fra figur 4.20 er det mulig å observere at Fairbanks har en meget lang og kald vinter sammenliknet med de andre utvalgte stedene.

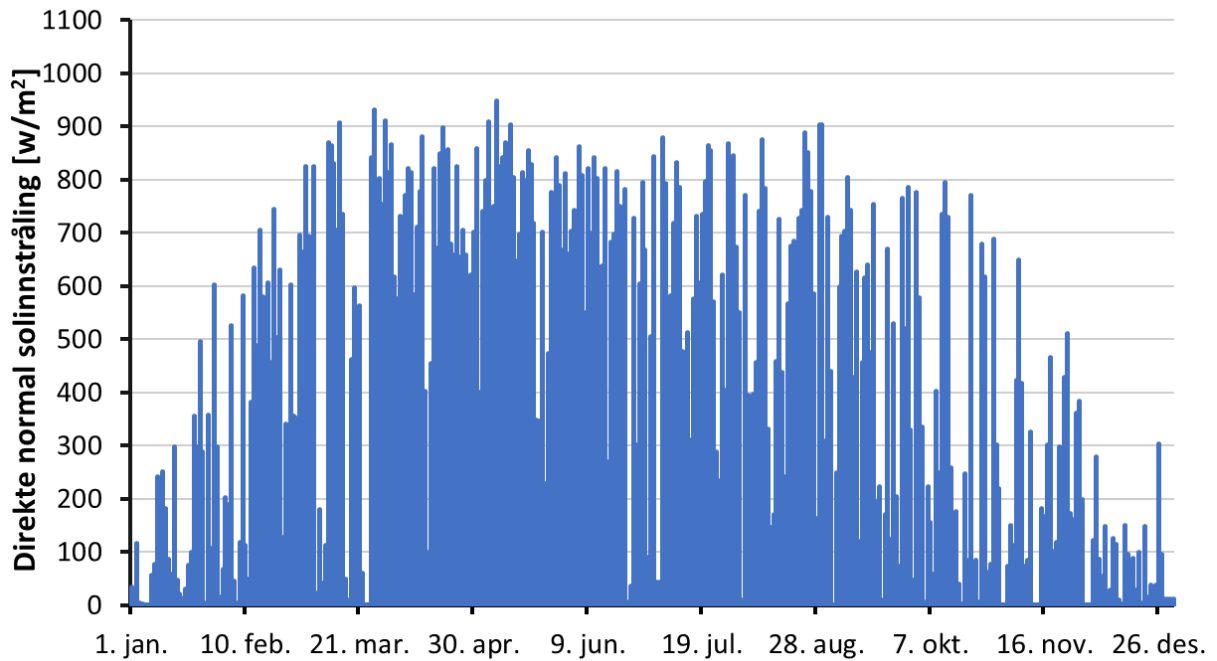
Figur 4.21 viser et frekvensdiagram av utetemperaturen i Fairbanks.



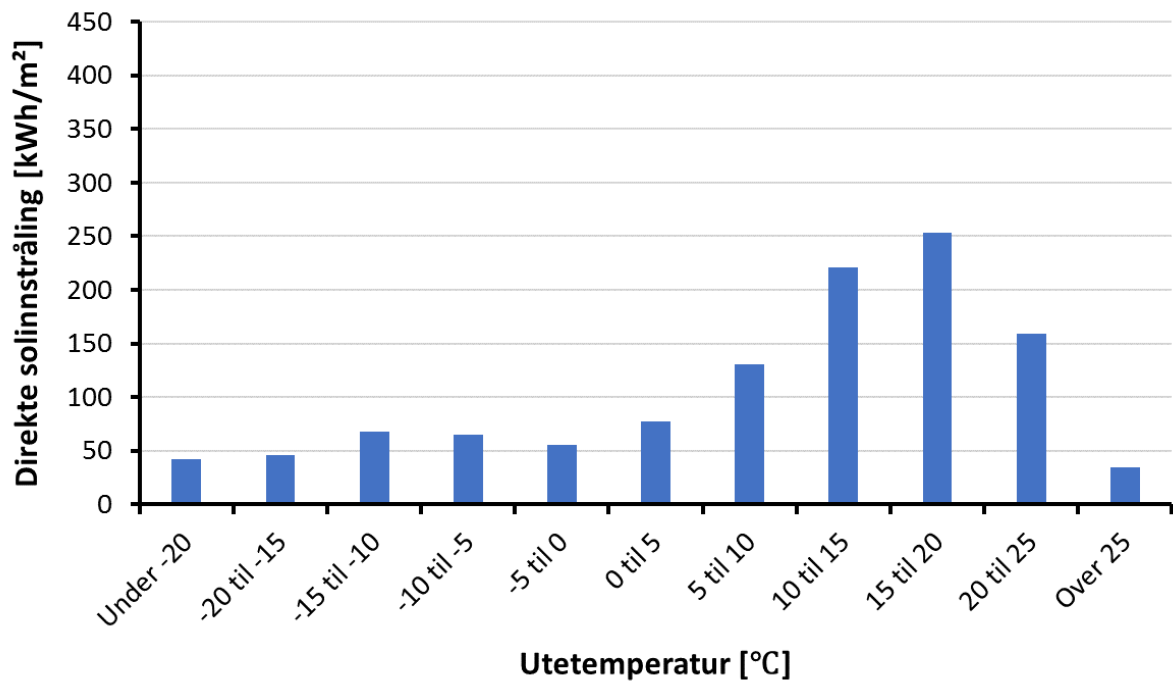
Figur 4.21: Frekvens av utetemperaturen i Fairbanks

Figur 4.21 viser at temperaturintervallet med flest timer er under 20 °C. Dette illustrerer hvor ekstrem vinteren er i Fairbanks. Videre er timene ellers ganske jevnt fordelt, og det er mange timer mellom 15 og 20 °C også.

Figur 4.22 og 4.23 viser henholdsvis direkte normal solinnstråling og den samme solinnstrålingen sortert med hensyn på utetemperatur i Fairbanks.



Figur 4.22: Direkte normal solinnstråling i Fairbanks

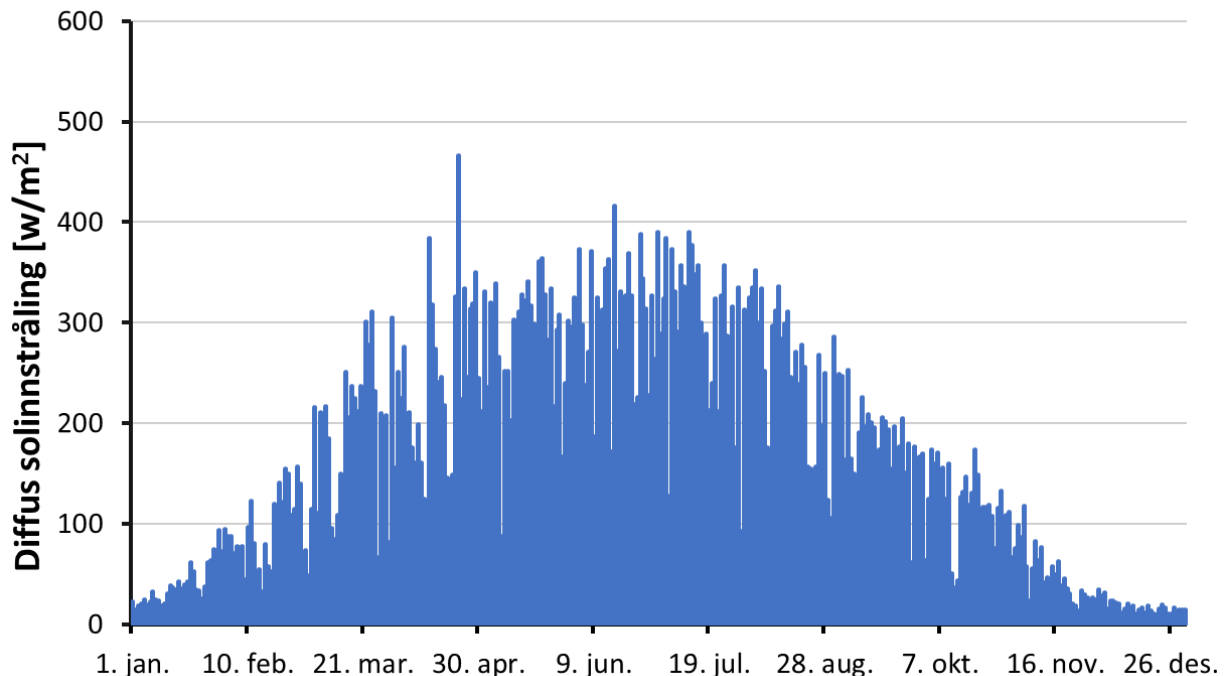


Figur 4.23: Direkte normal solinnstråling sortert med hensyn på utetemperatur i Fairbanks

Ut ifra figur 4.22 kan man se at det er en del direkte normal solinnstråling på sommeren i Fairbanks, men midt på vinteren er det veldig lite. Og hvis man sammenlikner med Östersund kan man se at intensiteten er enda mindre i Fairbanks for de kaldeste vintermånedene. Figur 4.23 viser at det er mest direkte solinnstråling mellom 15 og 20 °C. Videre er det en del

innstråling for utetemperaturer under 0 °C også, og noe som er rimelig med tanke på hvor mange timer under frysepunktet det er i Fairbanks.

Figur 4.24 viser den diffuse solinnstrålingen på en horisontal overflate i Fairbanks.

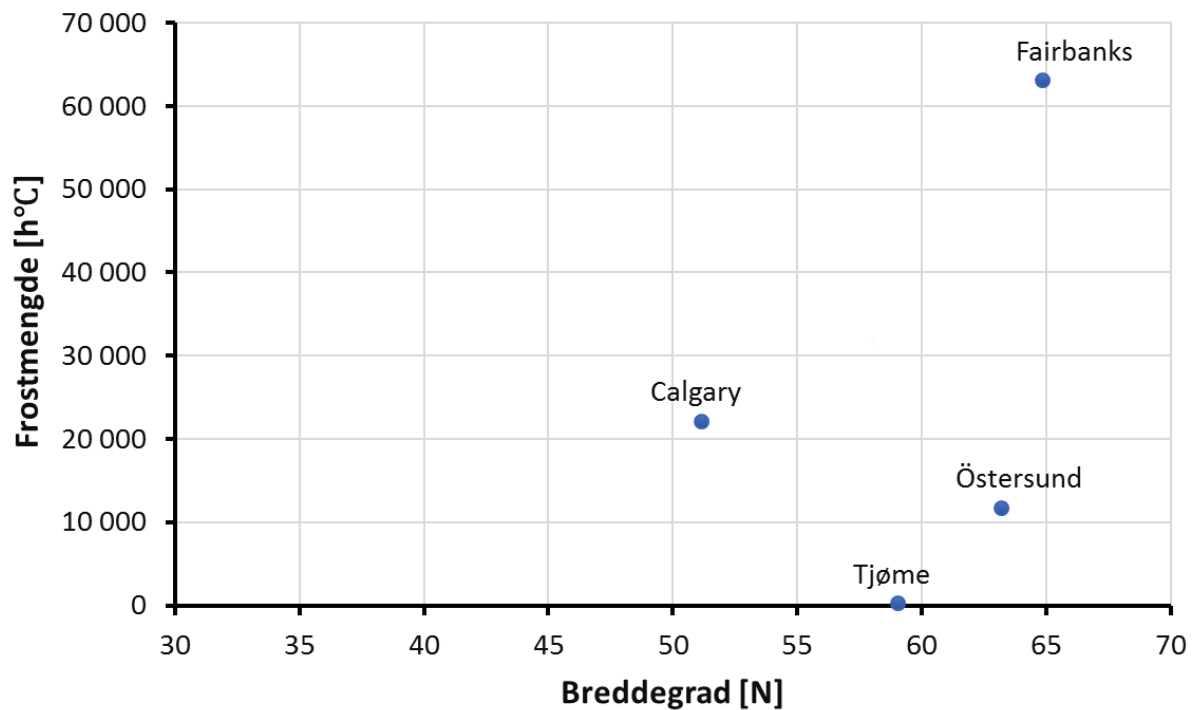


Figur 4.24: Diffus solinnstråling i Fairbanks

Fra figur 4.24 det mulig å se at det er mest diffus solinnstråling om sommeren, og om vinteren er det relativt lite.

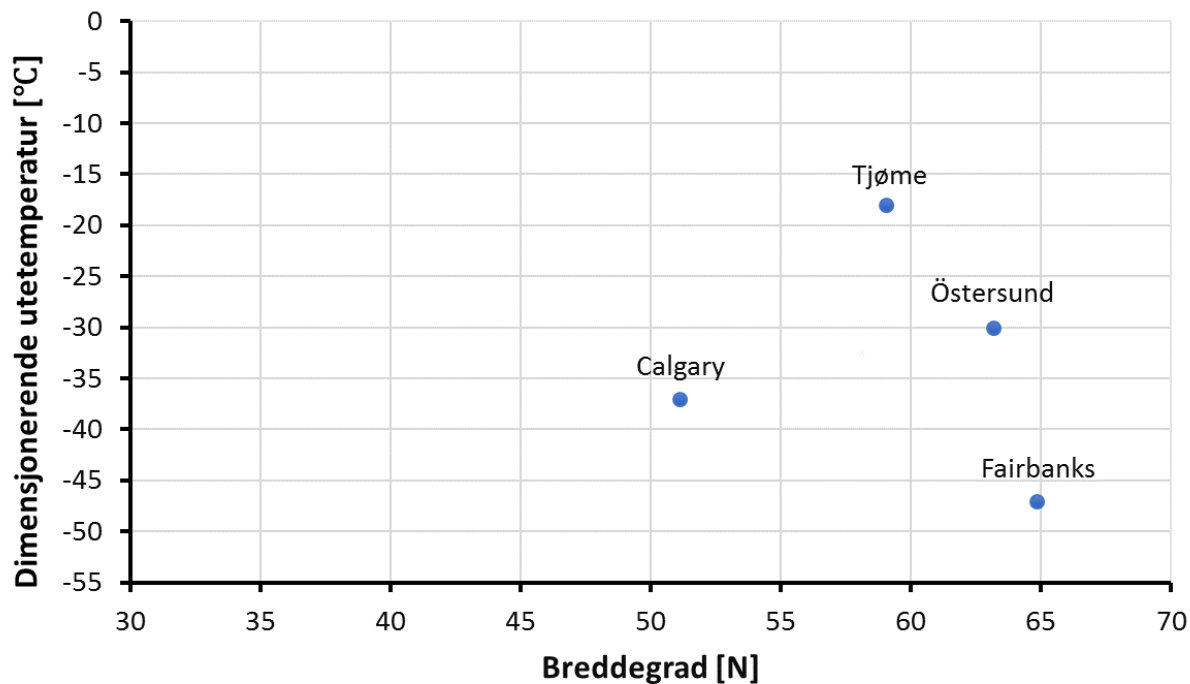
4.1.5 Sammenlikning av klima for de utvalgte stedene

For å få frem forskjellen mellom de ulike stedene er de blitt sammenliknet basert på frostmengde, dimensjonerende utetemperatur, årsmiddeltemperatur og breddegrad. Dette er presentert i figur 4.25, 4.26 og 4.27. Breddegraden gir en indikasjon på hvor gode solforholdene er. Årsmiddeltemperatur og breddegrad er hentet fra klimafilene, og frostmengdene er beregnet med metoden som ble presentert i kapittel 2.3. Det er noe usikkerhet knyttet til verdiene til de dimensjonerende utetemperaturer som presenteres. De er hentet fra forskjellige kilder som vurderes for å være av ulik kvalitet.



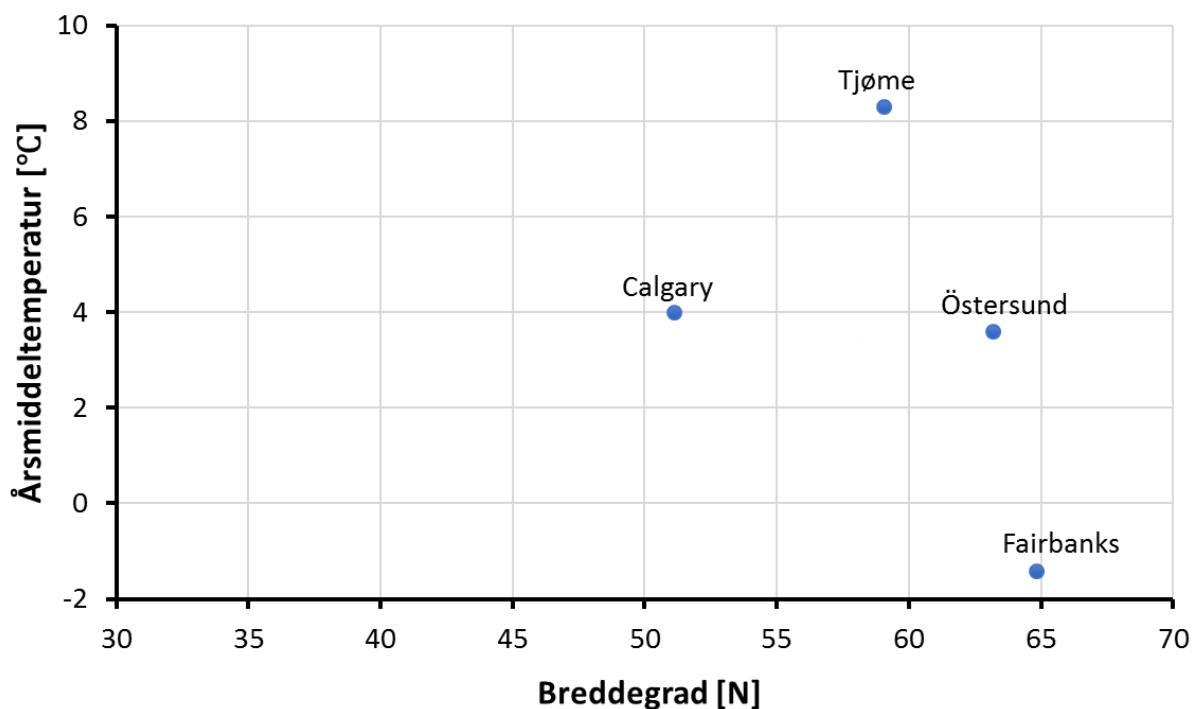
Figur 4.25: Sammenlikning av frostmengde for de ulike stedene

Fra figur 4.25 kan man se at Fairbanks har en meget stor frostmengde sammenliknet med de andre lokasjonene. Dette er fordi Fairbanks har en veldig lang og kald vinter. Videre ser man at Calgary har en god del høyere frostmengde enn Östersund selv om byen ligger på en lavere breddegrad. Grunnen er sannsynligvis at Calgary ligger midt i Canada, og høyt over havet. Dermed blir det mange timer med lav utetemperatur. Tjøme har en svært liten frostmengde grunnet en veldig mild vinter.



Figur 4.26: Sammenlikning av dimensjonerende utetemperatur for de ulike stedene (Variant VVS), (Siemens Building Technologies, 2010), (International Code Council, 2006) og (URECON)

I figur 4.26 ser man at Fairbanks har den laveste dimensjonerende utetemperaturen ettersom det kan bli svært kaldt der om vinteren. Forskjellene mellom de ulike lokasjonene er imidlertid ikke like store her som i figur 4.25. Det er fordi den dimensjonerende utetemperaturen ikke varierer like mye som lengden på vinteren og utetemperaturen gjennom den.



Figur 4.27: Sammenlikning av årsmiddeltemperatur for de ulike stedene

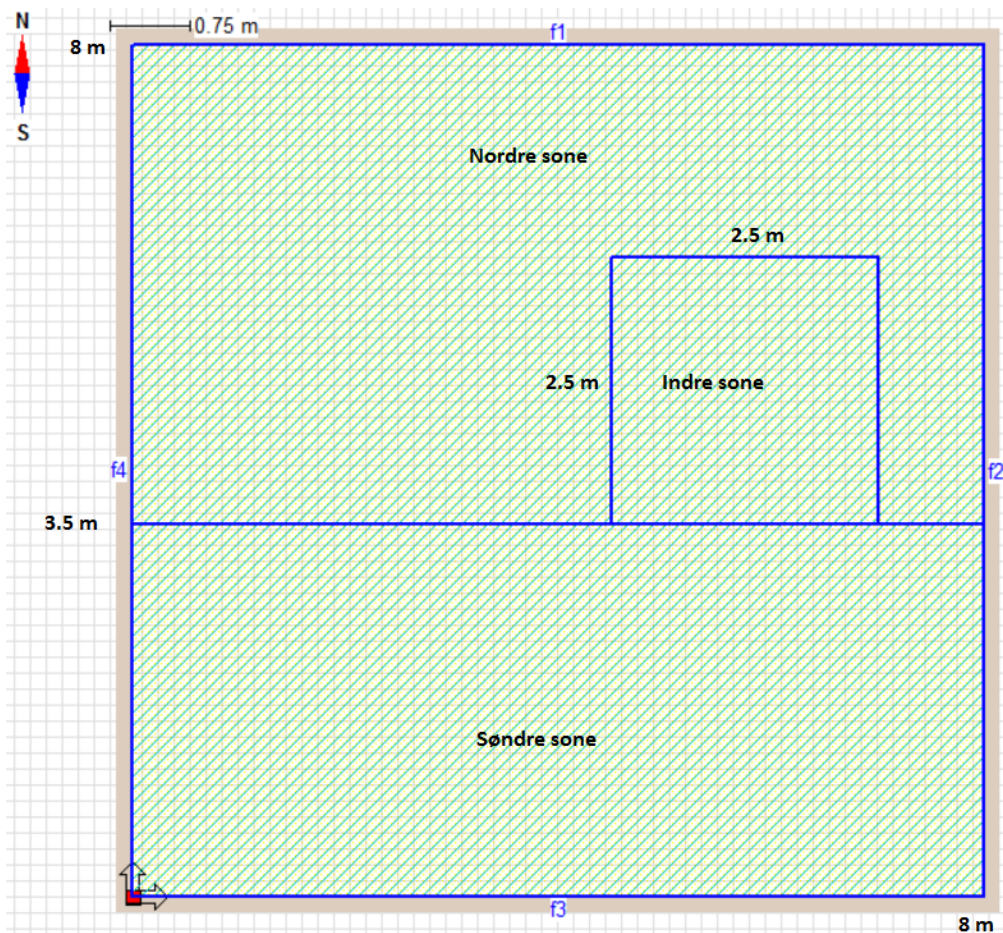
Figur 4.27 viser at Fairbanks har den laveste årsmiddeltemperaturen. I Calgary og Östersund er årsmiddeltemperaturene ganske like selv om vinteren er kaldere i Calgary. Årsaken er at forskjellen mellom sommer og vinter er større i denne byen sammenliknet med Östersund.

4.2 Modellen av fritidsboligen

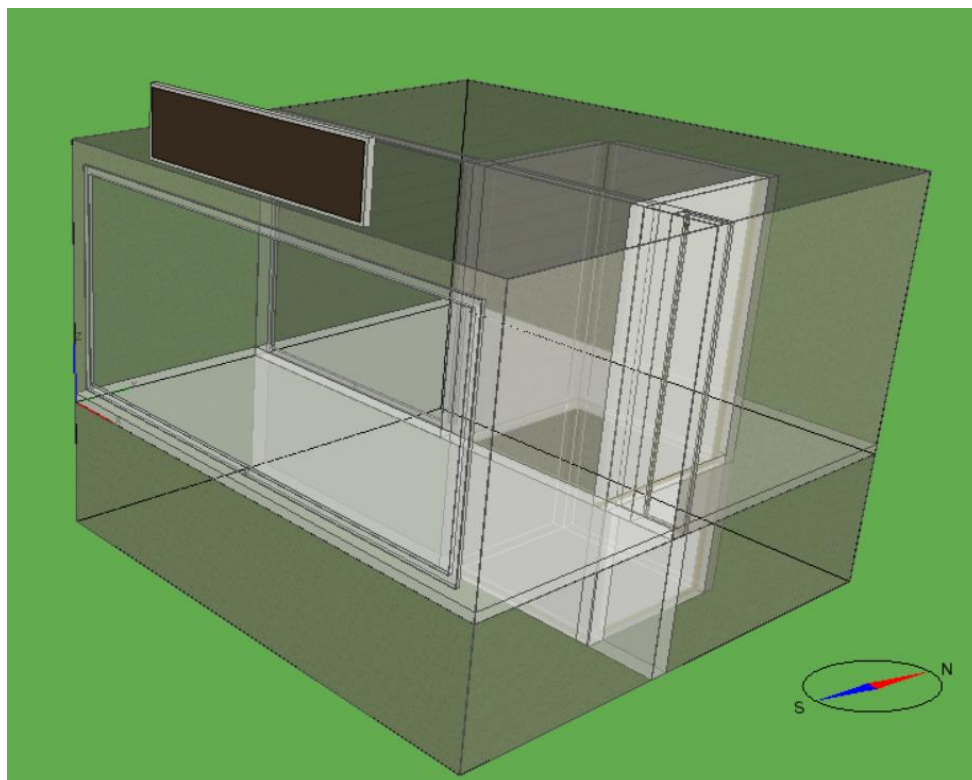
Modellen av fritidsboligen har blitt satt opp i simuleringsprogrammet IDA ICE. Det er blitt tatt utgangspunkt i bygningen fra masteroppgaven til Børset når modellen har blitt bygd opp (Børset, 2009). Dette valget er blitt gjort ettersom denne masteren også har studert virkningen av en soloppvarmet vanntank i den indre sonen. Så når fritidsboligmodellene i denne oppgaven og i Børsets master er bygd opp på en liknende måte vil man ha muligheten til å sammenligne resultater.

Fritidsboligen har en enkel oppbygning med kjeller og en etasje på bakkenivå. Til sammen består den av fem soner, og i begge etasjene er det en sone i sør og en i nord. I tillegg er det en indre sone som går fra kjelleren og opp til taket, og denne sonens funksjon er å huse rørsystemer og sanitærinstallasjoner. Den har ikke kontakt med yttervegger for at varmetap til uteluften skal minimeres. Når denne løsningen benyttes trenger man bare å holde den indre sonen over 0 °C ved frostsikring.

Fritidsboligens yttervegger er 8 m lange, og kjelleren og 1. etasje er henholdsvis 2 og 4 m høye. Den indre sone består av fire vegger som alle er 2.5 m lange. Et stort vindu dekker 80 % av den sørvendte ytterveggen og bidrar dermed med mye passiv solvarme. Det er også vinduer mellom den søndre og nordre sone i 1. etasje slik at solinnstråling slipper gjennom her også. Modellens tak er flatt. Figur 4.28 viser modellen ovenfra og figur 4.29 illustrerer den i 3D. Solfangeren som brukes i de fleste simuleringene kan observeres i figur 4.29.



Figur 4.28: Modellen sett ovenfra (IDA ICE)



Figur 4.29: Modellen i 3D (IDA ICE)

Tabell 3 viser hva de ulike delene av fritidsboligmodellen består av, i tillegg til tykkelse og U-verdi for de forskjellige materialene. Materialene og egenskapene til de ulike konstruksjonene i modellen er definert slik at de skal ligne på fritidsboligen i Børsets masteroppgave.

Beskrivelse av konstruksjon	Material	Tykkelse [mm]	U-verdi [W/m ² K]
Gulv mellom kjeller og 1. etasje	Betong	150	3.87
Vegg rundt indre sone	Aluminium	3	0.59
	Vann	25	
	Mineralull	75	
	Betong	100	
Gulv i kjelleren	Gulvbelegg	100	0.16
	XPS	200	
	Betong	200	
Yttervegg	Mineralull	250	0.20
	Tre	20	
Vegg mellom nordre og	Betong		

søndre sone i kjelleren		300	2.89
Tak	Tre	500	0.06
	Mineralull	700	
Vindu på søndre yttervegg	2-lags vindu	-	2.81
Vindu mellom nordre og søndre sone	2-lags vindu	-	2.81

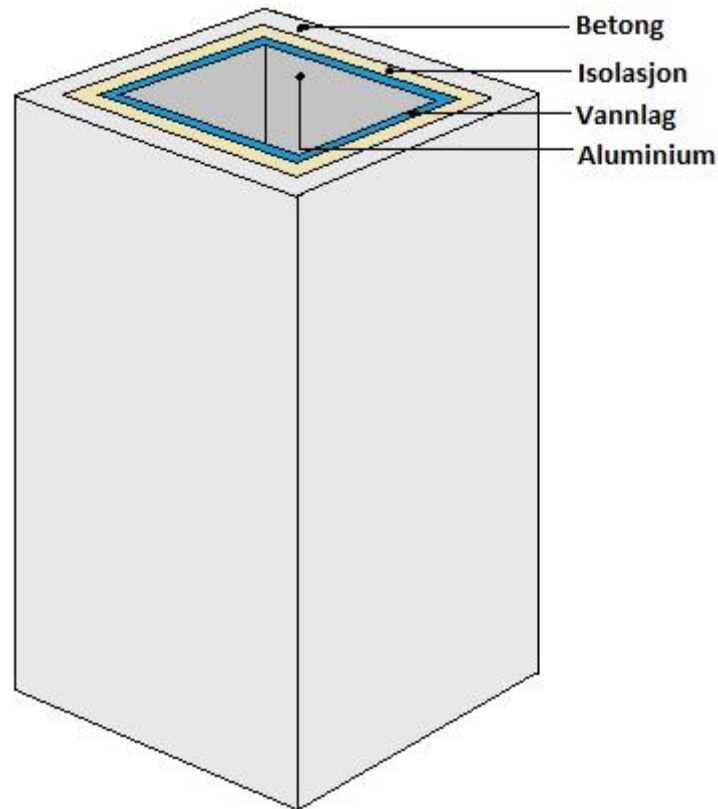
Tabell 3: Materialer og egenskaper i fritidsboligen

Isolasjonen og vannlaget rundt den indre sonen vil variere i de forskjellige simuleringene som er gjort. Dette vil spesifiseres i de senere kapitlene.

Som erstatning for mineralull er «Heavy insulation» fra databasen til IDA ICE benyttet. De resulterende U-verdiene er justert slik at de skal være mest mulig like Børsets verdier. I taket er det lagt inn mye isolasjon ettersom snø ikke ligger i databasen til IDA ICE. Et snølag vil ha en isolerende effekt, og det antas derfor at ekstra isolasjon vil være en god imitasjon.

4.2.1 Frostsikringsmetoder

To ulike frostsikringsmetoder er analysert. Det legges mest vekt på frostsikringsmetoden som går ut på at en soloppvarmet vanntank plasseres i den indre sonen som er isolert med fiberisolasjon og et vannlag. Figur 4.30 illustrerer sonens oppbygning for denne metoden. Vannets høye smeltevarme utnyttes til å frostsikre sanitærinstallasjonene. Til sammenlikning er frostsikring ved elektrisk oppvarming av den indre sonen til temperaturer over frysepunktet undersøkt.



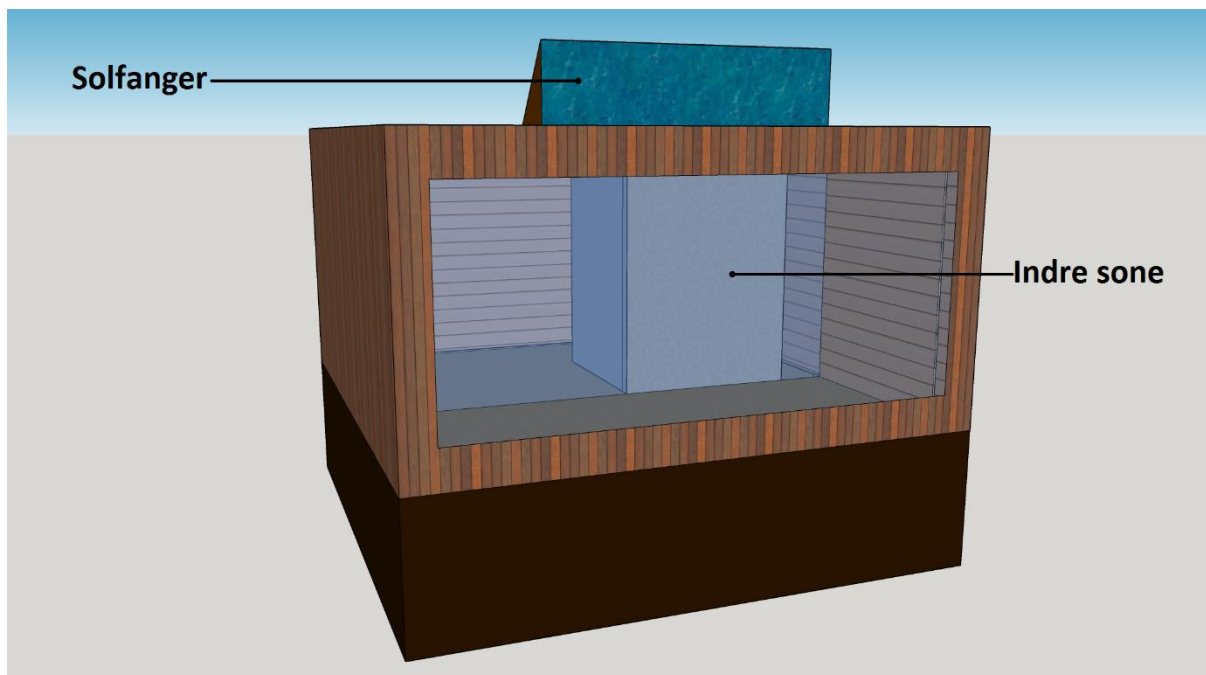
Figur 4.30: Skisse av den indre sonen (størrelsesforholdene er ikke helt korrekte)

I figur 4.30 kan man se at det er et lag med blank, ubehandlet aluminium på innsiden av vannlaget. Hensikten med aluminiumslaget er å nesten eliminere varmeovergangen ved stråling. Dette er gjort i simuleringene i IDA ICE også, men det så ut til å ha en tilnærmet neglisjerbar effekt. Grunnen er sannsynligvis at simuleringsprogrammet ikke tar hensyn til denne egenskapen til blank aluminium. Men, ettersom dette antas å fungere litt bedre i virkeligheten er den gjennomsnittlige lufttemperaturen i den indre sonen brukt i analysen av frostsikringsmetoden. Det forutsettes at den indre sonen er uten ventilasjon og infiltrasjon når bygningen er ubebodd.

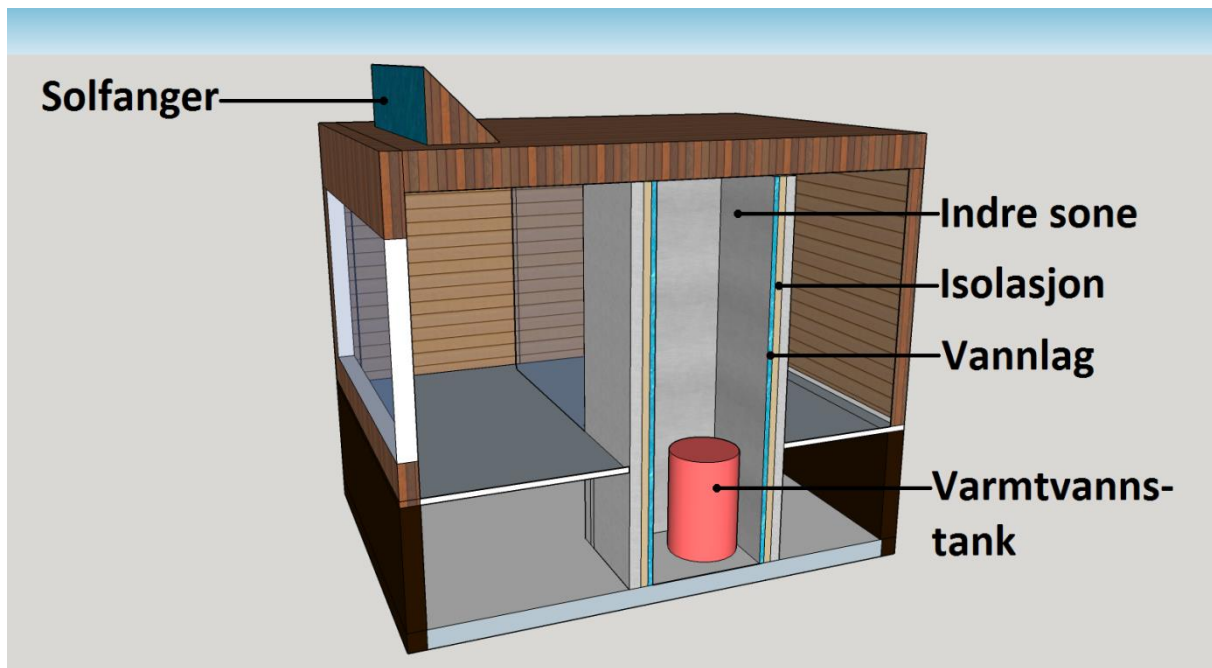
Et solfangeranlegg må installeres for frostsikringsmetoden med vannlag, solfanger og vanntank. Solfangeren er koblet til vanntanken i den indre sonen slik at den får tilskudd av soloppvarmet vann. Mengden varmtvann fra solfangeren vil variere ut ifra hvor mye solinnstråling som er tilgjengelig gjennom året. Tanken vil ha et varmetap som kommer an på temperaturen i vannet og i den indre sonen. Isolasjonen rundt tanken vil også påvirke tapet. Om høsten og vinteren vil temperaturen i fritidsboligen synke, og vanntanken vil være den eneste oppvarmingskilden. Når det blir minusgrader i de ytre sonene vil vannlaget rundt den indre sonen begynne å fryse. Ettersom vann har svært høy smeltevarme vil det kreve mye

energitap fra den indre sonen, og lavt varmetap fra vanntanken, før hele laget fryser. Og så lenge deler av vannlaget er flytende kan temperaturen i den indre sonen holdes over 0 °C ved hjelp av varmetapet fra tanken. Vannet fungerer altså som PCM for denne frostsikringsmetoden.

Figur 4.31 og 4.32 viser prinsippkisser av fritidsboligen med frostsikringsmetoden implementert.



Figur 4.31: Prinsippkisse av fritidsboligen



Figur 4.32: Prinsskisse av fritidsboligen i snitt

Helningsvinkelen på solfangeren som kan observeres i figur 4.31 og 4.32 ble satt til å være 90° i forhold til horisontalplanet i simuleringene i Östersund, Tjøme og Fairbanks. Denne vinkelen vil utnytte solinnstrålingen om vinteren best mulig for steder som ligger langt nord. I virkeligheten hadde det sannsynligvis vært snø på bakken om vinteren, og solinnstråling ville blitt reflektert fra denne. Dermed hadde innstrålingen som traff solfangeren økt slik at effektiviteten hadde blitt forbedret. Snø blir imidlertid ikke tatt hensyn til i IDA ICE og derfor er det ikke overraskende at det var en veldig liten forskjell mellom å bruke en helningsvinkel på 45° og 90° i Östersund da dette ble testet ut. I Calgary ble helningsvinkelen satt til 45° ettersom denne byen ligger lengre sør. Med en mindre vinkel vil de gode solforholdene i byen utnyttes bedre.

4.2.2 Scenarier for analyse av fritidsboligmodellen

I dette delkapittelet presenteres alle simuleringene som er gjort av fritidsboligmodellen med frostsikringsmetoden med vannlag, tank og solfanger implementert. De parameterne som ikke er nevnt i dette delkapittelet er ikke endret ut ifra det som er beskrevet tidligere. Videre er det gjort flere simuleringer enn de som vises her. Som nevnt tidligere har det underveis i arbeidet vært utfordringer med å få simuleringer til å fungere med PCM laget.

For å gjøre de forskjellige simuleringene oversiktlige er de delt inn i scenarier. Hvert scenario har fått et nummer og en bokstav som er forbokstaven til det aktuelle stedet. Scenario Ö.1, T.1, C.1 og F.1 har bare et siffer, og grunnen til dette er at en og en parameter i modellen er

endret med utgangspunkt i disse simuleringene. Scenariene er valgt basert på antagelser for hva som vil fungere for de ulike stedene og en del utprøving i IDA ICE.

Scenariene med klimadata fra Östersund er presentert i tabell 4.

SCENARIO	Isolasjon rundt indre sone [cm]:	Tykkelse på vannlag [cm]:	Størrelse på vanntank [liter]:	Isolasjon rundt vanntank [cm]:	Areal på solfanger [m ²]:
Ö.1	7.5	2.5	200	10	4
Ö.2.1	2.5	2.5	200	10	4
Ö.2.2	5	2.5	200	10	4
Ö.2.3	15	2.5	200	10	4
Ö.2.4	30	2.5	200	10	4
Ö.3.1	7.5	3.75	200	10	4
Ö.3.2	7.5	5	200	10	4
Ö.4.1	7.5	2.5	150	10	4
Ö.4.2	7.5	2.5	300	10	4
Ö.5.1	7.5	2.5	200	5	4
Ö.5.2	7.5	2.5	200	15	4

Tabell 4: Oversikt over scenariene fra Östersund

Som man kan se i tabell 4 er fire parametere variert i Östersund. Isolasjonstykkelsen rundt den indre sonen for scenario Ö.1 er relativt tynn og tar derfor liten plass i bygningen. Vannlaget er heller ikke særlig tykt, men det inneholder mye latent energi ettersom det dekker alle veggene i den indre sonen. Det lyktes ikke å simulere modellen med et 1 cm tykt vannlag, og derfor er det bare scenarier med tykkere vannlag enn 2.5 cm. Tanken er passe stor, og Ö.1 har samme størrelse som mange standard varmtvannstanker.

I tabell 5 er scenariene med klimadata fra Tjøme er presentert.

SCENARIO	Isolasjon rundt indre sone [cm]:	Tykkelse på vannlag [cm]:	Størrelse på vanntank [liter]:	Isolasjon rundt vanntank [cm]:	Areal på solfanger [m ²]:
T.1	7.5	0	200	5	4

T.2.1	5	0	200	5	4
T.2.2	15	0	200	5	4
T.3.1	7.5	0	100	5	4
T.3.2	7.5	0	300	5	4
T.4.1	7.5	0	200	1	4
T.4.2	7.5	0	200	10	4

Tabell 5: Oversikt over scenariene fra Tjøme

Fra tabell 5 kan man se at simuleringene med klimadata fra Tjøme er gjort uten vannlag på veggene i den indre sonen. Resten av parameterne er veldig like som de i Östersund, og bakgrunnen for dette er at Tjøme har en mye mildere vinter. Dermed er det rimelig at hvis Ö.1 fungerer godt i Östersund vil det samme scenariet, men uten vannlag, være godt nok for Tjøme.

Scenariene med klimadata fra Calgary er presentert i tabell 6.

SCENARIO	Isolasjon rundt indre sone [cm]:	Tykkelse på vannlag [cm]:	Størrelse på vanntank [liter]:	Isolasjon rundt vanntank [cm]:	Areal på solfanger [m²]:
C.1	10	0	750	2.5	10
C.2.1	5	0	750	2.5	10
C.2.2	15	0	750	2.5	10
C.3.1	10	0	500	2.5	10
C.3.2	10	0	1000	2.5	10
C.4.1	10	0	750	1	10
C.4.2	10	0	750	5	10
C.5.1	10	0	750	2.5	5
C.5.2	10	0	750	2.5	15

Tabell 6: Oversikt over scenariene fra Calgary

Som man ser i tabell 6 er også scenariene fra Calgary uten vannlag på veggene i den indre sonen. I utgangspunktet var det ønskelig å simulere med vannlag i denne byen, men det viste seg å bli svært utfordrende. Det er blitt forsøkt å kjøre mange simuleringer med vannlag som ikke har fungert. Videre kan man se fra tabellen at både vanntanken og solfangeren er ganske

store i Calgary. Byen har jo mye solinnstråling om vinteren, og denne utnyttes godt ved å bruke en voluminøs tank og en solfanger med et stort areal. Vinteren er også ganske kald i Calgary, så det trengs en del solvarme for å holde den indre sonen frostfri.

I tabell 7 er scenariene fra Fairbanks presentert.

SCENARIO	Isolasjon rundt indre sone [cm]:	Tykkelse på vannlag [cm]:	Størrelse på vanntank [liter]:	Isolasjon rundt vanntank [cm]:	Areal på solfanger [m ²]
F.1	20	8	1000	5	12
F.2.1	15	8	1000	5	12
F.2.2	25	8	1000	5	12
F.2.3	30	8	1000	5	12
F.3.1	20	5	1000	5	12
F.3.2	20	11	1000	5	12
F.3.3	20	14	1000	5	12
F.4.1	20	8	750	5	12
F.4.2	20	8	1250	5	12
F.5.1	20	8	1000	1	12
F.5.2	20	8	1000	10	12
F.6.1	20	8	1000	5	8
F.6.2	20	8	1000	5	16

Tabell 7: Oversikt over scenariene fra i Fairbanks

I tabell 7 kan man se at både isolasjonen og vannlaget rundt den indre sonen er ganske mye tykkere enn for de andre stedene. Det samme gjelder vanntanken og solfangeren. Årsaken er at Fairbanks er det desidert kaldeste stedet av de fire som undersøkes, og vinteren her er meget lang og kald. I tillegg ligger Fairbanks lengst nord, noe som gjør at byen har ganske lite solinnstråling om vinteren. Dermed er det nødvendig med mye isolasjon og et tykt vannlag rundt den indre sonen i tillegg til en stor solfanger. En stor vanntank gir bedre muligheter til å lagre soloppvarmet vann fra sommeren til vinteren, noe som er fordelaktig med tanke på klimaet i Fairbanks.

4.3 Simulering av fritidsboligen i IDA ICE

I dette kapittelet er det valgte simuleringverktøyet IDA ICE kort beskrevet, og det er forklart hvorfor programmet har blitt benyttet i denne masteroppgaven. Det vil også bli redegjort for hvilke innstillinger som er gjort i verktøyet under modelleringen av fritidsboligen.

4.3.1 Om IDA ICE

For å undersøke og analysere fritidsboligen er verktøyet IDA ICE (IDA Indoor, Climate and Energy), versjon 4.7.1, benyttet. Dette er et dynamisk simuleringsprogram som blir brukt til å simulere energibruk, inneklimate og termisk komfort i bygninger (EQUA Simulation AB). Den første versjonen av programmet ble lansert i 1998, og siden den gang har det kontinuerlig blitt videreutviklet og forbedret (Kalamees, 2004).

IDA ICE er valgt ettersom det er mulig å simulere PCM i dette programmet, noe som er avgjørende for å kunne legge inn et vannlag rundt den indre sonen. En tilleggsfunksjon for PCM ble installert i februar 2017. En fordel med IDA ICE er også at verktøyet har et brukervennlig grensesnitt.

4.3.2 Oppbygning av modellen i IDA ICE

I dette delkapittelet er det beskrevet hvordan modellen er satt opp i IDA ICE. De implementerte innstillingene som er vurdert for å være mest relevante vil bli presentert.

4.3.2.1 Varmesystem

Ettersom fritidsboligen hovedsakelig skal analyseres om vinteren når den er ubebodd, er varmesystemet implementert uten å ta hensyn til periodene boligen er i bruk. Som tidligere nevnt undersøkes både et alternativ hvor varmtvannstanken i den indre sonen er koblet til et solfangeranlegg, og et tilfelle med bare en elektrisk ovn som oppvarmingskilde. Det er altså bare vanntanken eller den elektriske ovnen som er oppvarmingskilden i de ulike simuleringene. Det ikke mulig å fysisk plassere varmtvannstanken i den indre sonen i IDA ICE. Dette er løst ved å legge inn en elektrisk ovn med en veldig lav effekt på 1 W i den indre sonen. Denne er koblet til varmetapet fra vanntanken slik at denne varmen slippes ut av ovnen. Når man ser på varmetapet fra tanken må man altså trekke fra 1 W. Varmtvannstanken er delt inn i åtte horisontale lag slik at stratifisering blir tatt hensyn til. Videre er varmetapet fra vanntanken endret slik at det blir beregnet ut ifra lufttemperaturen i den indre sonen.

4.3.2.2 PCM som vannlag

Et sentralt tema i denne masteroppgaven er vannlaget som legges på veggene i den indre sonen. I IDA ICE er vannet lagt inn som et PCM lag. I realiteten skjer faseendringen fra is til vann når temperaturen er akkurat 0 °C. Men, for å få simuleringensprogrammet til å samarbeide var det nødvendig at vannet gikk fra fast til flytende over et temperaturintervall. Etter å ha testet ut flere muligheter ble det besluttet at faseendringen skulle skje i et temperaturintervall på 1 °C i simuleringene. Da fungerte det relativt greit å kjøre simuleringer i IDA ICE. Den latente varmen til vann ved smelting ble delt opp og fordelt over temperaturintervallet.

4.3.2.3 Simulering av solfanger

IDA ICE har en plan solfanger innebygd, og denne er brukt i modellen. Dersom man ønsker å bruke en annen solfangertype må man sette opp denne selv. En vakuum solfanger ville vært det beste valget ettersom man i dette tilfellet ønsker mest mulig varme om vinteren. Det viste seg imidlertid å være utfordrende å legge inn denne typen solfanger ettersom det var vanskelig å vurdere hvilke endringer i parameterne som ga en realistisk vakuumrør solfanger. Å benytte en plan solfanger ble derfor vurdert for å være den beste og tryggeste løsningen ettersom denne allerede er definert av IDA ICE.

4.3.2.4 Modellering av grunnen

I IDA ICE er det mulig å velge mellom to forskjellige modeller for grunnen, ISO 1337 og ICE 3. ISO 1337 beregner varmeveksling med grunnen basert på den internasjonale standarden med samme navn. I ICE 3 er grunnen under kjelleren koblet til en konstant temperatur som tilsvarer gjennomsnittstemperaturen for den valgte klimafilen (EQUA Simulation AB, 2013). ISO 1337 kan dermed sies å være mer nøyaktig enn ICE 3, men problemet med denne modellen var at simulering av vannlaget ble svært vanskelig å gjennomføre. De fleste utprøvde simuleringene fungerte ikke, og med ICE 3 gikk det mye lettere. En mulig forklaring på dette er at ISO 1337 er mer komplisert og at det dermed blir vanskeligere å gjøre beregninger for simuleringensprogrammet. Simulering av vannlaget er en veldig sentral del i denne oppgaven, og ettersom dette gikk mye bedre med ICE 3 ble denne grunnmodellen valgt.

4.3.2.5 Infiltrasjon

Infiltrasjonen for fritidsboligen er satt til å være 0.5 luftvekslinger per time, eller ACH, ved en trykkforskjell på 50 Pa. Det antas å være tilnærmet lufttett mellom den indre sonen og de ytre sonene.

4.3.2.6 Trykk koeffisienter

Man kan velge ulike typer trykk koeffisienter for modellen, og disse er knyttet til hvor eksponert fritidsboligen er for vind. Koeffisientene ble satt til å være eksponerte, og dette valget ble gjort fordi man forestiller seg at fritidsboligen ligger i et åpent fjellterreng som antas for å være relativt eksponert for vind og vær.

4.4 Resultater og analyse

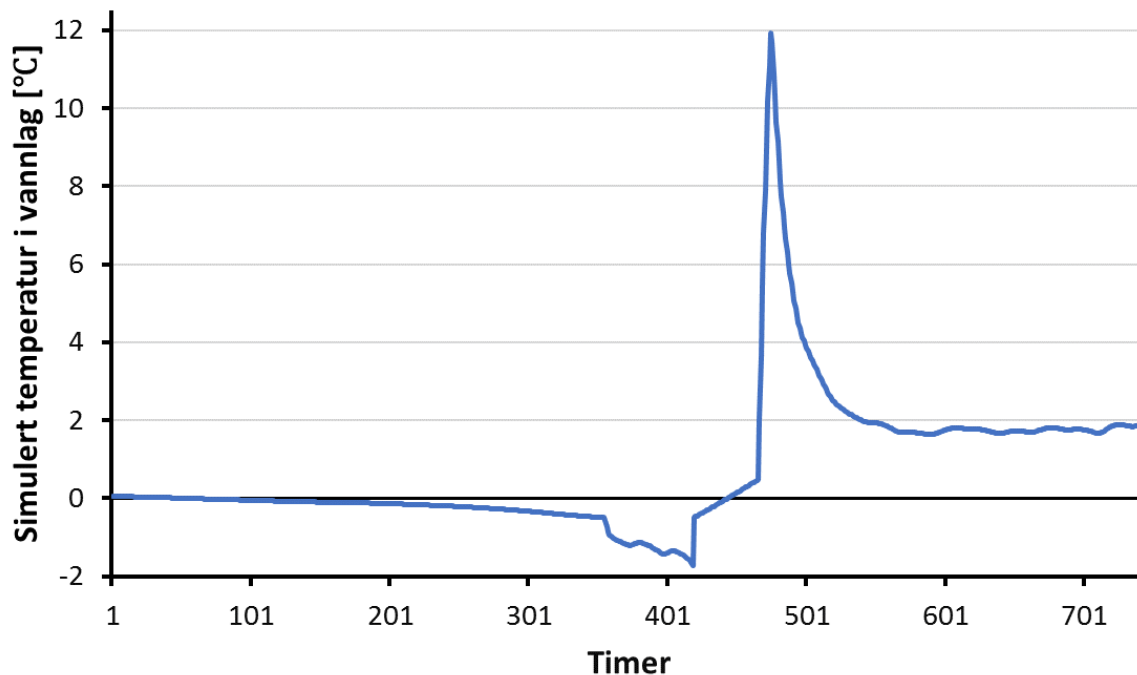
I dette kapittelet presenteres resultatene fra simuleringene som er gjort av fritidsboligmodellen. Det er blitt besluttet å fokusere på de kaldeste månedene i året ettersom målet er å holde fritidsboligen frostfri gjennom vinteren. En validering av bruken av PCM som vannlag er også presentert.

Resultatene som er vurdert for å være mest aktuelle presenteres i dette kapittelet. Ytterligere resultater ligger i vedlegg A, B og C.

4.4.1 Test simulering av PCM

Det er blitt utarbeidet en modell for å undersøke om den latente varmen i vannlaget i IDA ICE tilsvarende energien som teorien sier at må tilføres for å fryse vannet. Fritidsboligen er bygd opp slik som beskrevet tidligere, men isolasjonen rundt den indre sonen er tynnere slik at vannlaget fryser helt. Det ble modellert at vannet smelter mellom -0.5 og 0.5 °C. En varmeovn med effekt 3 kW settes på når temperaturen i den indre sonen faller under -1.2 °C, og står på til temperaturen når 21.2 °C. Ved å studere temperaturforløpet til vannlaget blir det da mulig å beregne hvor mye energi som må tilføres for å smelte isen. Vannlaget vil ha en lavere temperatur enn den indre sonen.

Figur 4.33 viser det simulerte temperaturforløpet i vannlaget i januar og begynnelsen av februar. Den horisontale akse viser timene fra begynnelsen av året.



Figur 4.33: Simulert temperatur i vannlaget for testsimuleringen i januar og litt av februar

I figur 4.33 er det mulig å se at vannlaget fryser helt ettersom temperaturen plutselig faller raskere nesten halvveis ut i måneden. Ovnens slår seg på når det blir kaldt nok i den indre sonen, og smeltingen av isen kan observeres tydelig mellom -0.5 og 0.5 °C. Når ovnen skruer seg av faller temperaturen raskt igjen.

Dersom man finner ut hvor lang tid det tar å smelte isen er det enkelt å regne ut hvor mye varme som er tilført ved å multiplisere tiden med den tilførte effekten. Ved å forstørre figur 4.33 er det mulig å finne ut at smeltingen av isen tar omtrent 46 timer. Ettersom ovnen har en effekt på 3 kW tilsvarer dette at det er tilført 139 kWh eller omtrent 5.0×10^5 kJ for å smelte isen. Teoretisk kan varmen som trengs regnes ut ved å multiplisere antall kg vann rundt den indre sonen med vannets latente smeltevarme. Vannlaget har et volum på $0.025 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 4$ vegger som tilsvarer en total vekt på 1500 kg. Den latente energien til vann er 334 kJ/kg, og for å smelte islaget trengs det dermed omtrent 139 kWh. Disse beregningene viser at vannlaget som er lagt inn i modellen stemmer med teorien.

I resultatdelen er det besluttet at faseendringen skal foregå mellom 0 og 1 °C. Da kan temperaturen som avleses for vannlaget under faseendringen tolkes som prosentandelen av vannlaget som ikke har fryst. For eksempel kan en vanntemperatur på 0.5 °C tolkes som at 50 % av vannlaget fortsatt er flytende. At vannet endres fra fast til flytende over et

temperaturintervall, og fryser helt lineært, er naturligvis en forenkling. Men, resultatene vil likevel gi en god tilnærming til virkeligheten.

4.4.2 Fritidsboligmodellen uten oppvarming

Modellen av fritidsboligen ble først simulert uten noen form for oppvarming i Östersund, Tjøme, Calgary og Fairbanks. Da hadde bygningen altså ingen oppvarmingskilde eller vannlag installert. Den indre sonen hadde et 7.5 cm isolasjonslag for å redusere varmetapet. Det er like mye isolasjon rundt den indre sonen for alle stedene slik at det skal være mulig å sammenlikne resultatene.

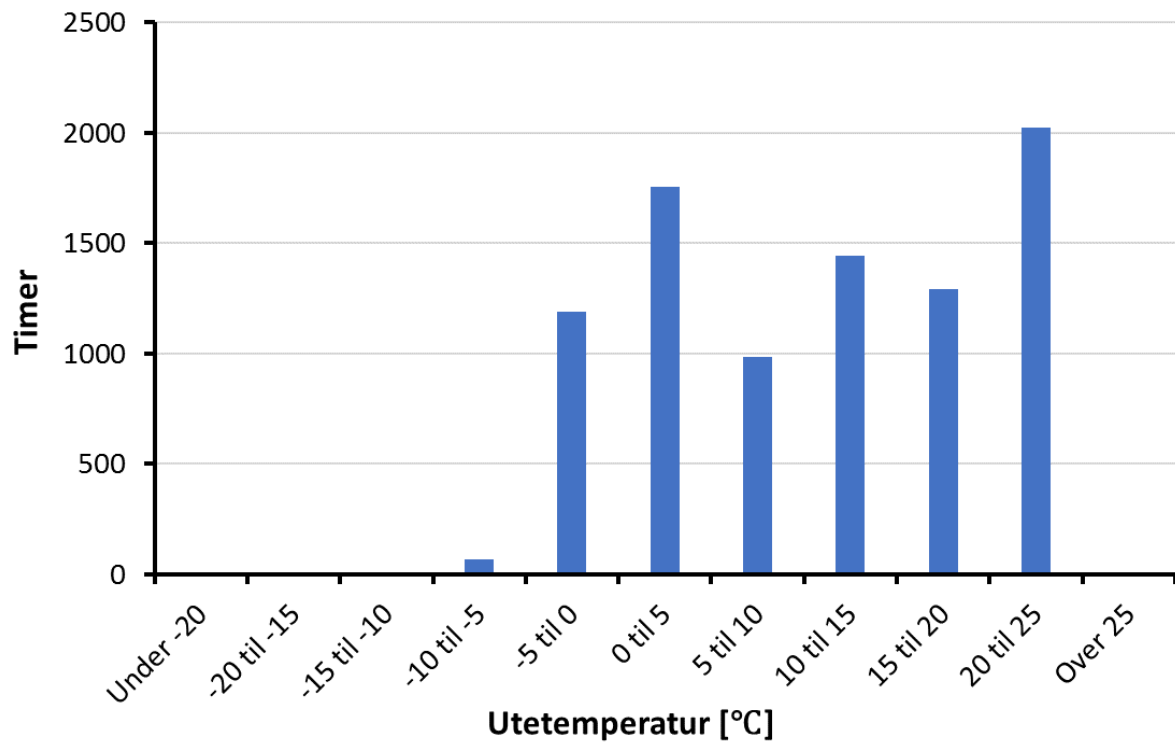
Figur 4.34 viser temperaturforløpet i den indre sonen gjennom hele året med klimadata fra Östersund.



Figur 4.34: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Östersund

Fra figur 4.34 er det mulig å se at i store deler av desember og januar faller temperaturen i den indre sonen under 0 °C. På det laveste faller temperaturen ned mot -6 °C. Dette vil føre til at rørsystemer og sanitærinstallasjoner fryser. Sannsynligvis vil det kreve veldig mye isolasjon for at temperaturen skal holde seg over 0 °C gjennom hele vinteren. Isolasjonen vil dermed ta mye plass, noe som ikke er ønskelig en relativt liten fritidsbolig. En frostsikringsmetode bør derfor implementeres.

I figur 4.35 kan man se frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen uten oppvarming i Östersund.



Figur 4.35: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Östersund

Fra figur 4.35 er det mulig å se at det er ganske mange timer med lufttemperaturer under 0 °C i den indre sonen. Risikoen for frostskaider på sanitærinstallasjoner og rørsystemer er dermed stor uten noen form for oppvarming.

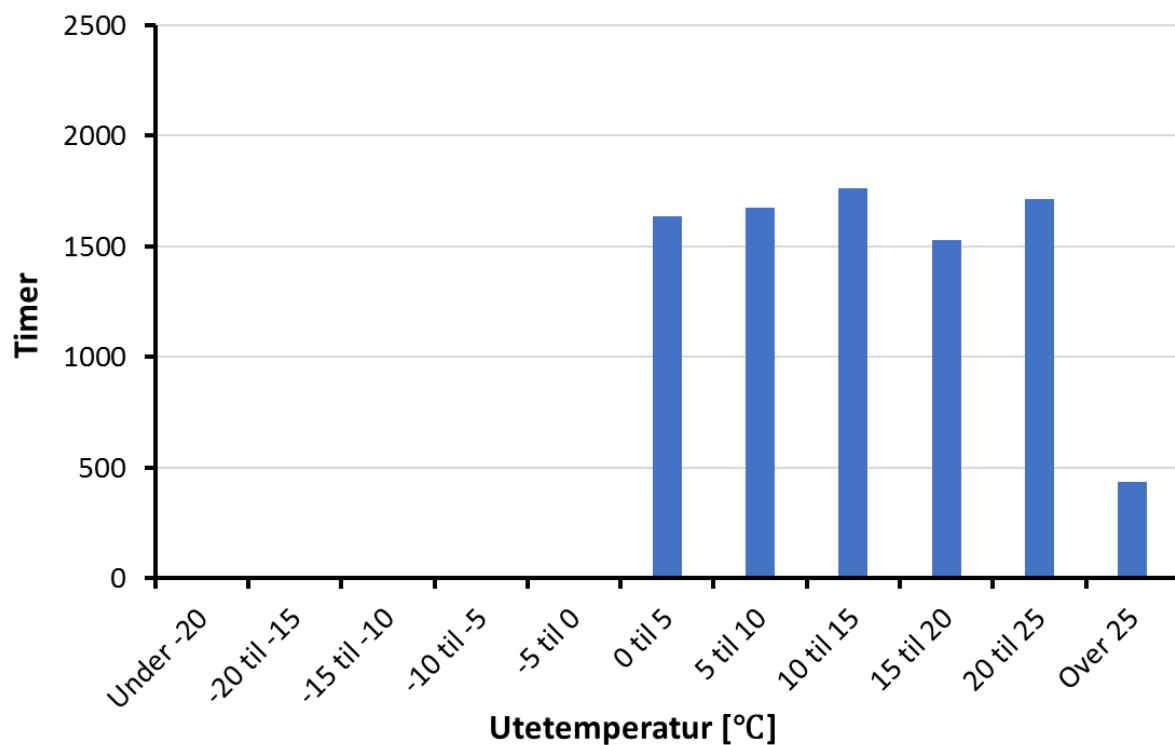
Figur 4.36 viser temperaturen i den indre sonen med klimadata fra Tjøme.



Figur 4.36: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Tjøme

Fra figur 4.36 er det mulig å se at temperaturen i den indre sonen er rett over 0 °C på det laveste. 7.5 cm isolasjon ser dermed ut til å være tilstrekkelig for å frostsikre fritidsboligen et typisk år i Tjøme. Man bør imidlertid ta høyde for at kaldere vintre kan forekomme ved å implementere en frostsikringsmetode som sikkerhet.

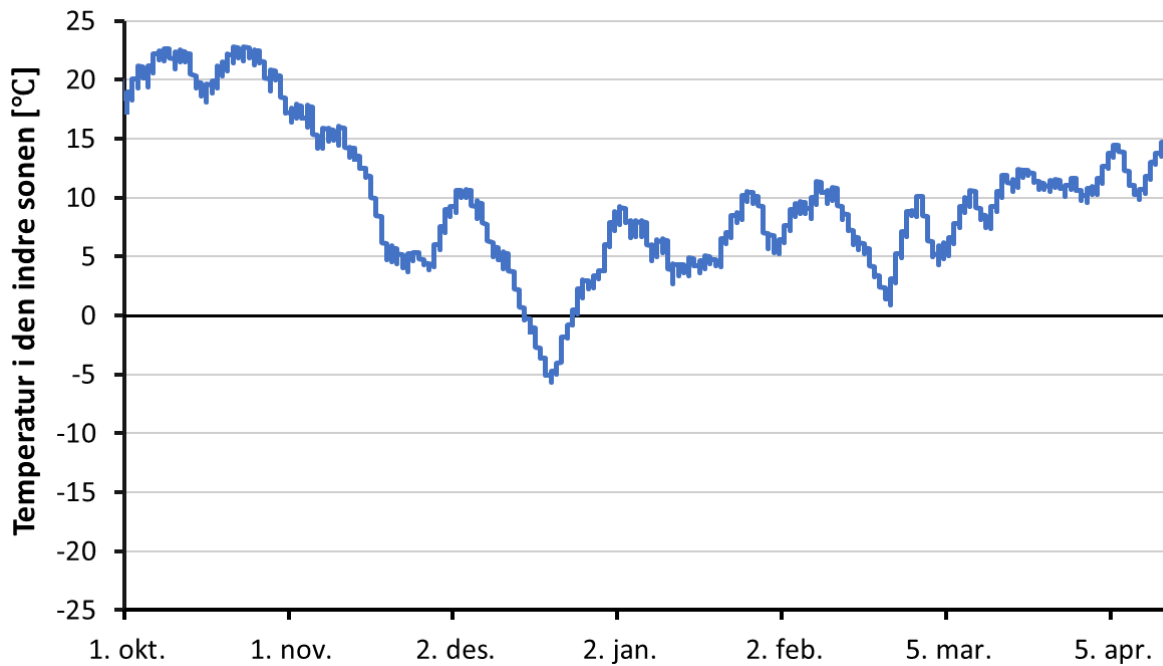
I figur 4.37 kan frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen uten oppvarming i Tjøme observeres.



Figur 4.37: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Tjøme

Fra figur 4.37 kan man se at det ikke er noen timer med lufttemperatur under 0 °C i den indre sonen i Tjøme. Dermed vil sonen sannsynligvis holdes frostfri for et typisk år. En kaldere vinter en normalt kan imidlertid forekomme, og da vil det være en risiko for frostskader på sanitærinstallasjoner.

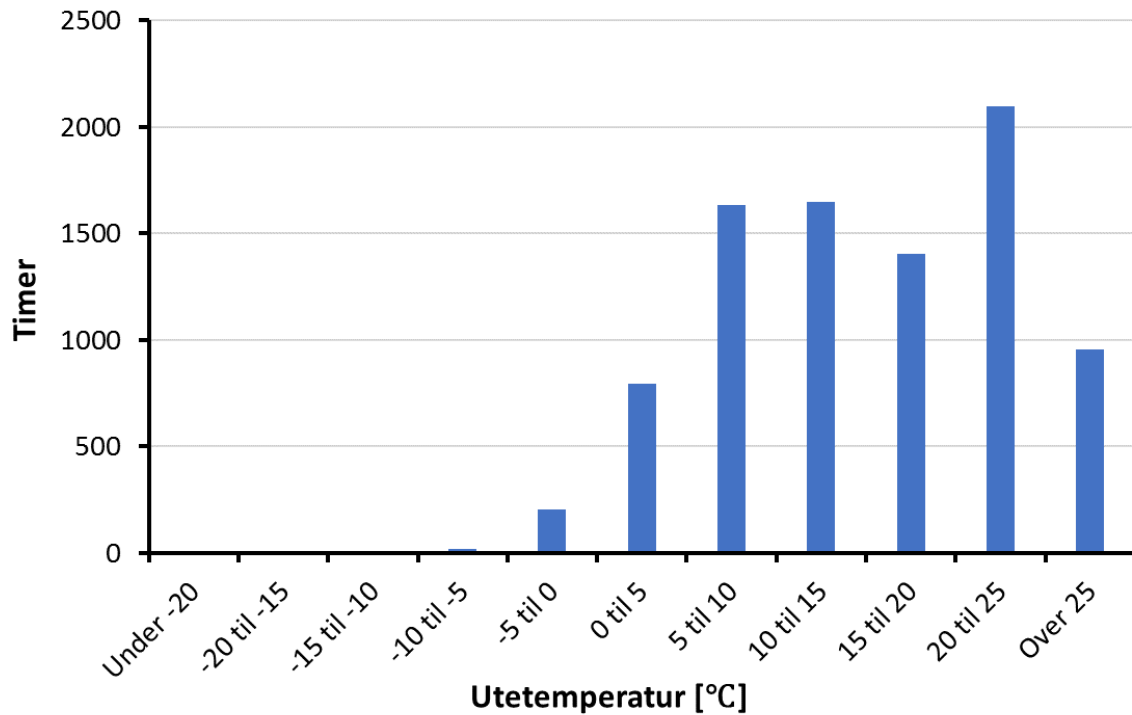
Figur 4.38 viser temperaturforløpet i den indre sonen i Calgary uten oppvarming.



Figur 4.38: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Calgary

I figur 4.38 kan man se at minimumstemperaturen i den indre sonen er under $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Videre er temperaturen under frysepunktet i deler av desember. Dette viser at et tiltak bør implementeres for å unngå frostskafer på rør og sanitæranlegg.

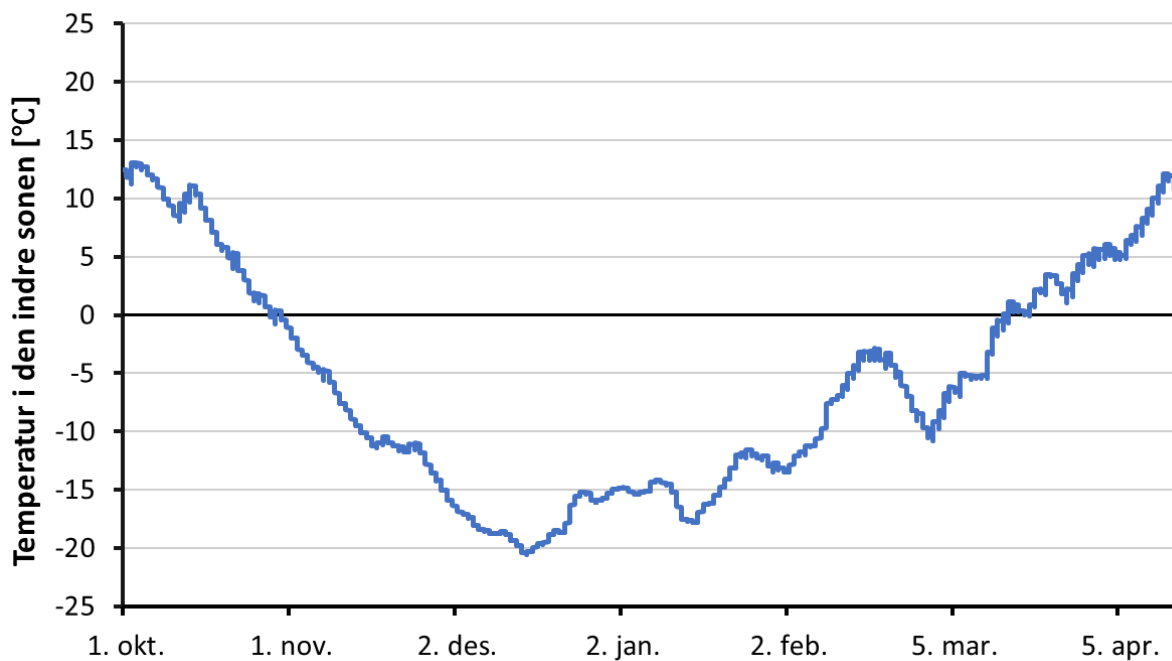
Figur 4.39 viser frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen uten oppvarming i Calgary.



Figur 4.39: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Calgary

Det er mulig å se fra figur 4.39 at det er en del timer med lufttemperatur under 0 °C i den indre sonen, og risikoen for frostskaider på sanitærinstallasjoner er dermed stor.

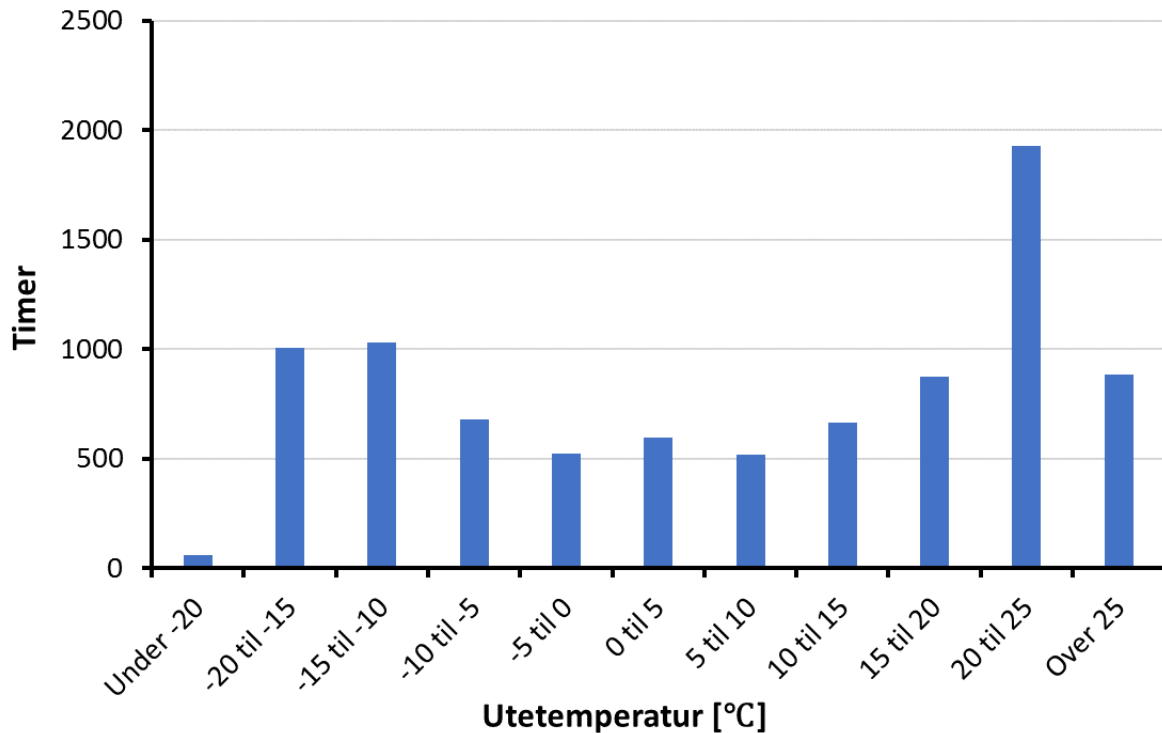
Figur 4.40 presenterer temperaturen i den indre sonen i fritidsboligmodellen i Fairbanks uten oppvarming.



Figur 4.40: Temperatur i indre sone uten oppvarming for Fairbanks

Fra figur 4.40 kan det observeres at temperaturen i den indre sonen er under 0 °C gjennom store deler av vinterhalvåret. Minimumstemperaturen er rett under minus 20 °C. Dette illustrerer at det er et stort behov for å implementere en frostsikringsmetode i fritidsboligmodellen i Fairbanks.

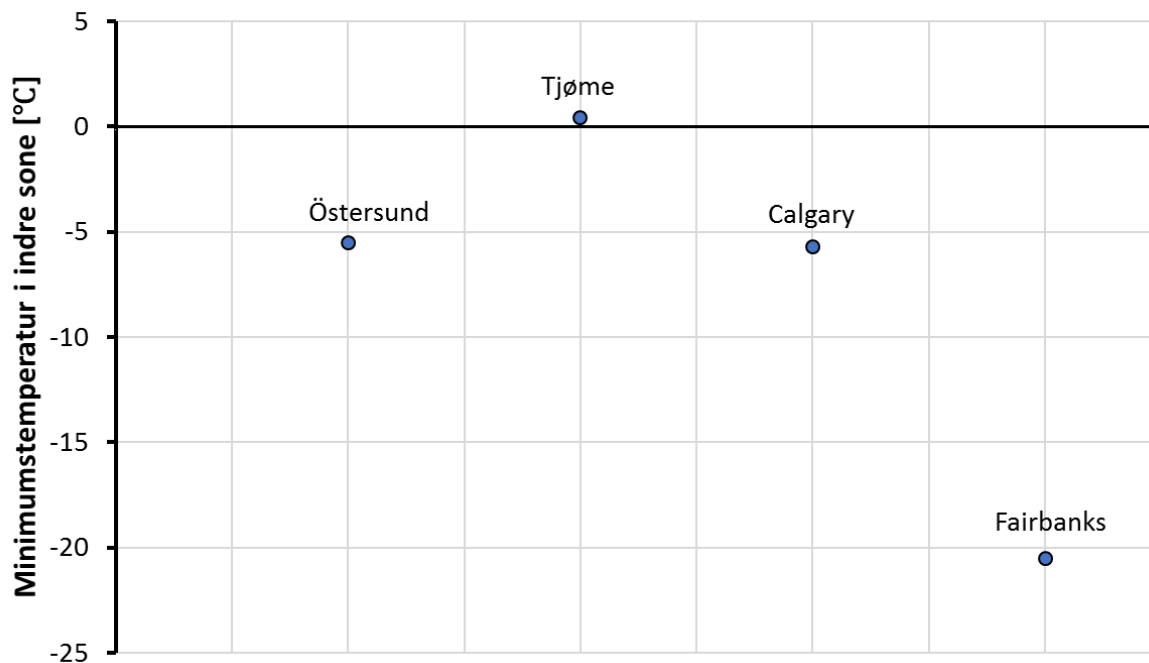
I figur 4.41 kan man se frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen uten oppvarming i Fairbanks.



Figur 4.41: Frekvens av temperaturen i den indre sonen uten oppvarming for Fairbanks

Fra figur 4.41 er det mulig å observere at det er svært mange timer med lufttemperatur under 0 °C i Fairbanks. Dette betyr at frostskafer på sanitærinstallasjoner vil oppstå med veldig stor sannsynlighet.

Figur 4.42 viser en sammenlikning av minimumstemperaturene i den indre sonen for Östersund, Tjøme, Calgary og Fairbanks.



Figur 4.42: Sammenlikning av minimumstemperatur i indre sone for alle stedene uten oppvarming

Figur 4.42 illustrerer at den laveste temperaturen i den indre sonen faller under 0 °C for Östersund, Calgary og Fairbanks uten noen form for frostsikring i fritidsboligmodellen. Det er derfor et behov for å implementere en frostsikringsmetode for å unngå frostsikringer på sanitærinstallasjoner og rør. I Tjøme er den laveste temperaturen i den indre sonen rett over frysepunktet. Dette indikerer at behovet for frostsikring er mindre her, men man bør likevel ha en sikkerhetsmargin som kan brukes hvis det blir en kald vinter.

Hvis man sammenlikner minimumstemperaturene for de forskjellige stedene er det tydelig at Fairbanks har et vesentlig kaldere og mer ekstremt klima enn de andre. Videre er den laveste temperaturen i Östersund og Calgary ganske like. I kapittel 4.1 var det tydelig at disse byene hadde et ganske ulikt klima. En forklaring på at minimumstemperaturen er såpass lik er at de gode solforholdene i Calgary fører til at fritidsboligen varmes opp på dagtid, blant annet på grunn av det store vinduet i hyttemodellen. Temperaturen i den indre sonen synker dermed ikke så mye selv om utetemperaturen er lav.

4.4.3 Analyse av energibruk ved elektrisk oppvarming av den indre sonen

I dette delkapittelet presenteres effekt- og energibehovet for å frostsikre fritidsboligen med klimadata fra Östersund, Tjøme, Calgary og Fairbanks. En elektrisk ovn er benyttet som

oppvarmingskilde. Også her er isolasjonen rundt den indre sonen 7.5 cm for sammenlikningen skyld.

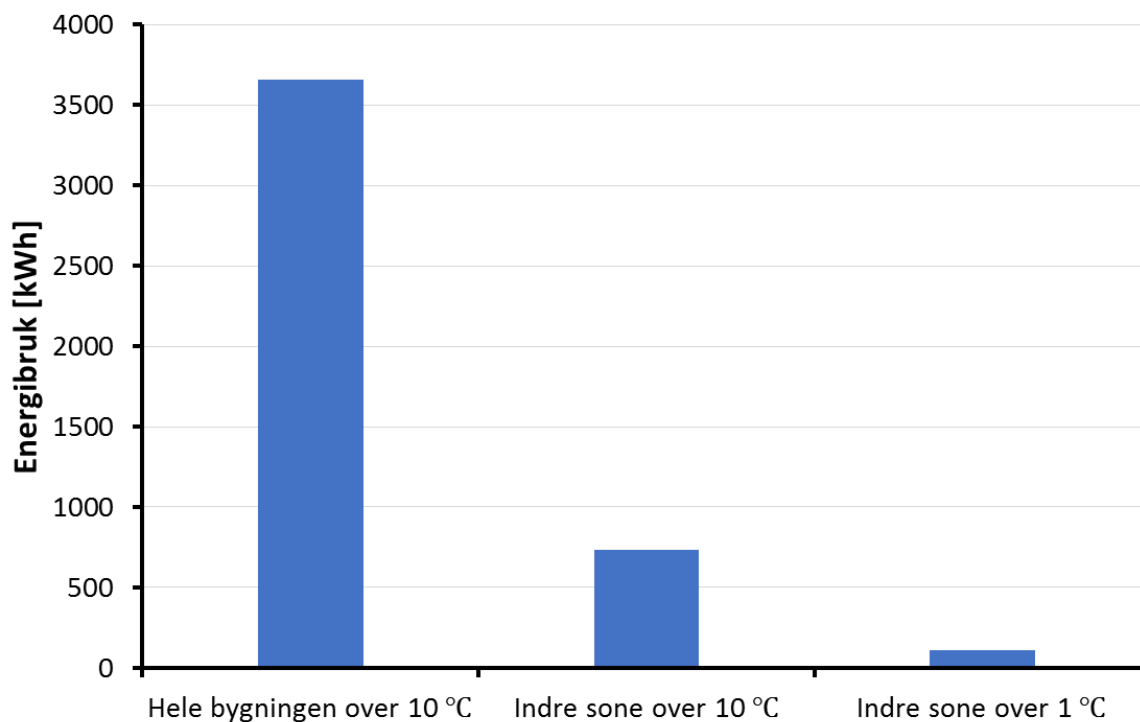
Som nevnt tidligere anbefaler SINTEF Byggforsk at hele fritidsboligen varmes opp til 10 °C for å unngå frostskafer. I Östersund er det derfor gjort en simulering der hele hytta varmes opp til 10 °C ved hjelp av elektriske ovner. Effekt- og energibruken som kreves for å holde hele bygningen over 10 °C er presentert i tabell 8 og i figur 4.43.

Ettersom sanitærinstallasjonene og rørsystemer er plassert i den indre sonen i hyttemodellen er det tilstrekkelig å varme opp denne for å unngå frostskafer. En slik indre sone fører til at oppvarmingsbehovet reduseres til en brøkdel. En versjon av modellen der den indre sonen varmes opp til 10 °C, og en der den holdes over 1 °C, er simulert. Effekt- og energibruken er presentert i tabell 8 og i figur 4.43.

Tabell 8 viser effekt- og energibruk for de ulike alternativene for oppvarming med elektrisk ovn, og figur 4.43 illustrerer de samme resultatene grafisk.

Oppvarmingsalternativ:	Energibruk [kWh]:	Maksimal effekt [kW]:
Hele bygningen over 10 °C	3648.7	3.49
Indre sone over 10 °C	730.2	0.52
Indre sone over 1 °C	106.3	0.35

Tabell 8: Effekt- og energibruk for de ulike oppvarmingsalternativene i Östersund



Figur 4.43: Grafisk illustrasjon av energibruk for de ulike oppvarmingsalternativene i Östersund

Tabell 8 og figur 4.43 viser at energibruken reduseres til en brøkdel når bare den indre sonen varmes opp. Videre kreves det også mye mer energi for å varme opp den indre sonen til 10 °C sammenliknet med å holde den over 1 °C.

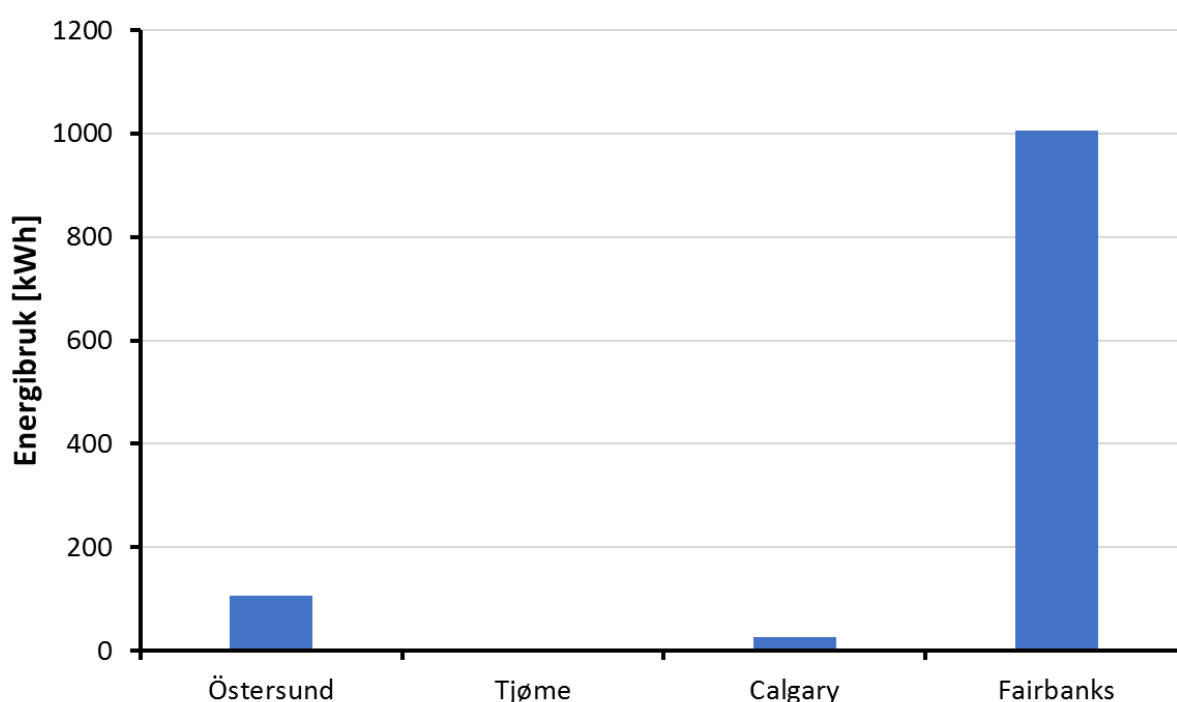
Masteroppgaven til Børset presenterte også energibehovet ved frostsikring av fritidsboligen. I denne oppgaven ble resultatet at det krevde 605.6 kWh for å holde hele bygningen over 0 °C, og 47.2 kWh for å opprettholde 0 °C den indre sonen (Børset, 2009). Disse beregningene er litt forskjellige fra de som er gjort i denne oppgaven, men de kan likevel benyttes til sammenlikning. Det er en ganske stor forskjell mellom et energibehov på 47.2 kWh for å opprettholde 0 °C den indre sonen og 111.5 kWh for å holde den over 1 °C. Det er imidlertid flere ulikheter mellom modellen i denne oppgaven og Børset sin fritidsbolig. Oppbygningen er litt forskjellig, blant annet er den indre sonen delt inn i en del i 1. etasje og en i kjelleren i Børset sin oppgave. Dette har sannsynligvis en innvirkning på resultatet. Videre er simuleringsverktøyet ESP-r benyttet i masterrapporten hans, og det vil være ulikheter i beregningsmodellene som ligger til grunn for dette programmet sammenliknet med IDA ICE. I tillegg kan klimafilene som er brukt for Östersund være forskjellige.

Simuleringer for å beregne effekt- og energibruken som kreves for å holde den indre sonen over 1 °C er også gjort med klimadata fra Tjøme, Calgary og Fairbanks. En elektrisk ovn er

brukt som oppvarmingskilde i den indre sonen her også. Resultatene er presentert i tabell 9, og energibruken er presentert grafisk i figur 4.44.

Sted:	Energibruk [kWh]:	Maksimal effekt [kW]:
Östersund	106.3	0.35
Tjøme	1.2	0.18
Calgary	26.0	0.39
Fairbanks	1005	0.72

Tabell 9: Effekt- og energibruk for å frostsikre den indre sonen i for alle stedene



Figur 4.44: Sammenlikning av energibruk for å frostsikre den indre sonen for alle stedene

Tabell 9 og figur 4.44 viser at det er store forskjeller i energibruken som trengs for å frostsikre den indre sonen mellom de fire stedene. Fairbanks har en svært høy energibruk sammenliknet med de andre lokasjonene. Dette illustrerer igjen at Fairbanks har en svært kald og lang vinter. Tjøme har en veldig lav energibruk for å holde den indre sonen over 1 °C, og grunnen er at minimumstemperaturen allerede er rett over 0 °C uten oppvarming.

Videre har Östersund den nest høyeste energibruken, og Calgary har den nest laveste. Årsaken til at dette er tilfellet selv om Calgary har den kaldeste utetemperaturen om vinteren er sannsynligvis de gode solforholdene i byen. Blant annet bidrar det store vinduet i hyttemodellen til at bygningen varmes opp av solinnstråling. Hvis man derimot sammenlikner

den maksimale effekten som trengs er den høyere i Calgary enn i Östersund. Grunnen til dette er sannsynligvis at utetemperaturen i Calgary blir svært lav noen ganger i løpet av vinteren, og i disse periodene kreves det en del effekt for å holde den indre sonen varm nok. Videre bør man ha i bakhodet at mer ekstreme vintre kan forekomme. Det er derfor viktig å ha en ovn med høy nok effekt for å ha tilstrekkelig med sikkerhetsmargin i et reelt tilfelle.

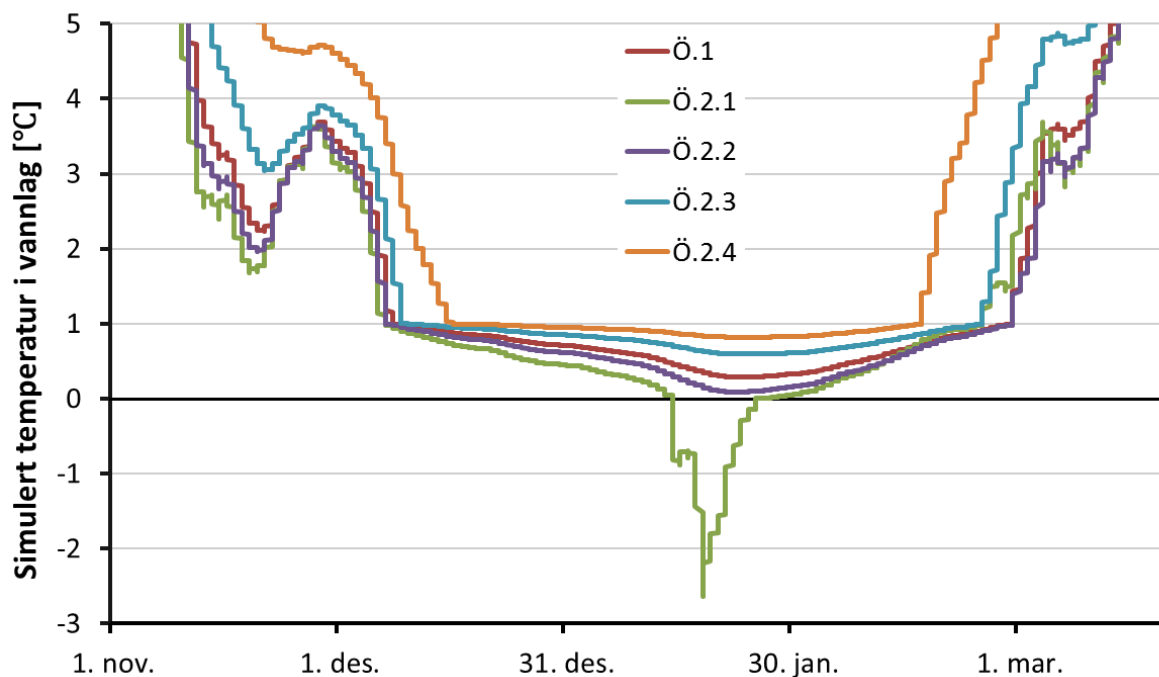
4.4.4 Parameterstudie av frostsikringsmetoden med vannlag, termisk solfanger og vanntank

I dette delkapittelet presenteres resultatene fra simuleringene av scenariene som ble beskrevet i kapittel 4.3.2. Ytterligere resultater enn de som vises her ligger i vedlegg A.

4.4.4.1 Analyse av resultater fra simuleringer i Östersund

Av simuleringene med klimadata fra Östersund vil scenariene med ulik isolasjonstykkelsen rundt den indre sonen bli analysert først. Deretter vil simuleringene som har forskjellige tykkelser på isolasjonen rundt tanken studeres. Til slutt vil alle scenariene fra stedet bli sammenliknet.

Tykkelsen på isolasjonen rundt den indre sonen er en parameter som påvirker hvor stor del av vannlaget som fryser om vinteren. Figur 4.45 viser simulert temperaturforløp i vannlaget for ulike versjoner av modellen der tykkelsen på isolasjonen rundt den indre sonen varierer.

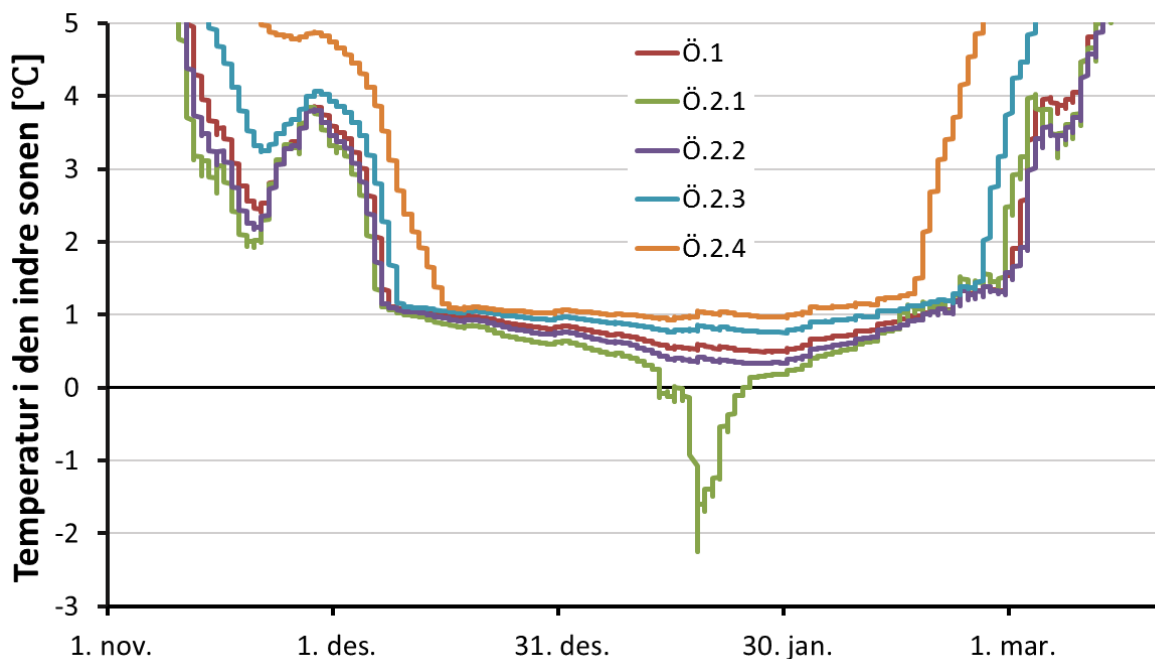


Figur 4.45: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Fra figur 4.45 kan man se at det er en relativt stor forskjell på den simulerte temperaturen i vannlaget for de ulike isolasjonstykkelene. Som nevnt tidligere foregår faseendringen fra fast til flytende mellom 0 og 1 °C i simuleringene, og temperaturer i dette intervallet kan tolkes som antall prosent av vannlaget som fortsatt flytende. Her kan man se at for scenario Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.1, Ö.2.3 og Ö.2.4 er andelen av vannlaget som fortsatt er flytende på det laveste henholdsvis 0 %, 9 %, 29 %, 59 % og 82 %. Disse prosentandelene er enklere å lese av nøyaktig dersom man forstørrer figuren, men her kan man se en omtrentlig verdi.

Figur 4.45 viser også at et stort energitap kreves for at vannlaget skal fryse helt og temperaturen synker under 0 °C. Den eneste kurven hvor dette skjer er når det er 2.5 cm isolasjon rundt den indre sonen, altså scenario Ö.2.1. Grafen for dette scenarioet illustrerer tydelig at når vannlaget er helt fryst faller temperaturen plutselig i et mye raskere tempo. Mot slutten av januar stiger den igjen fordi solinnstrålingen øker. Det er også mulig å se den kalde perioden i november som kan observeres i figur 4.2 som viser utetemperaturen i Östersund.

Figur 4.46 viser til sammenlikning lufttemperaturen i den indre sonen for de samme scenariene.

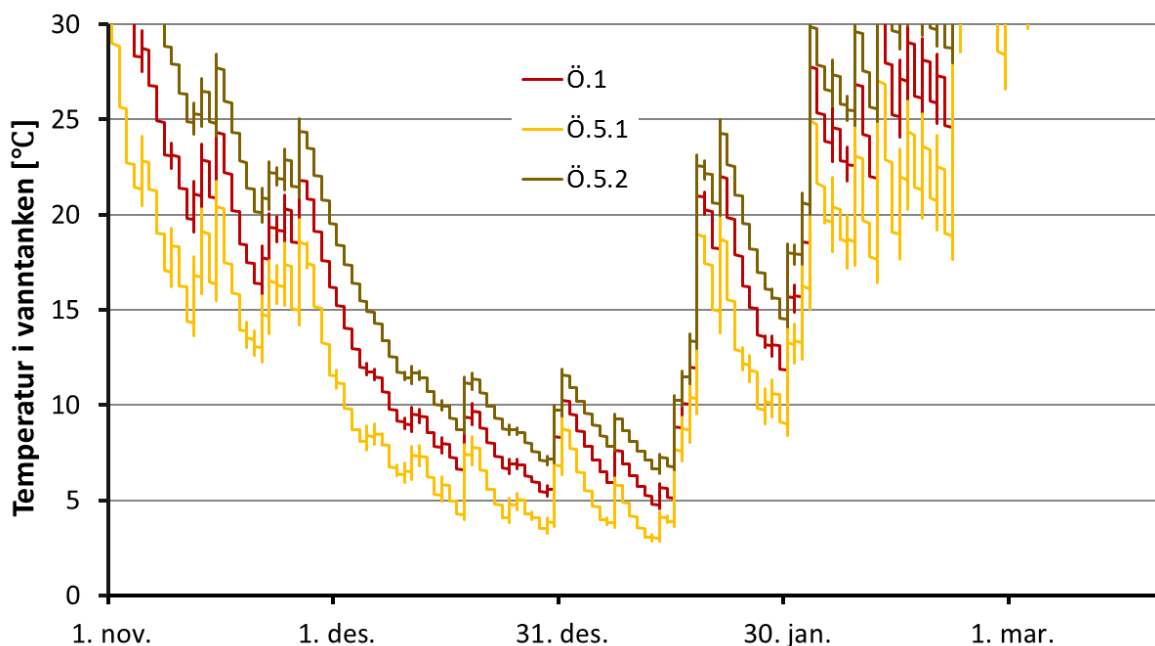


Figur 4.46: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Lufttemperaturene i den indre sonen som kan observeres i figur 4.46 ligger litt høyere sammenliknet med den simulerte temperaturen i vannlaget for de samme scenariene. Dette er

på grunn av varmetapet fra vanntanken som varmer opp luften i den indre sonen. For scenario Ö.2.1 ser man også her at vannlaget fryser helt.

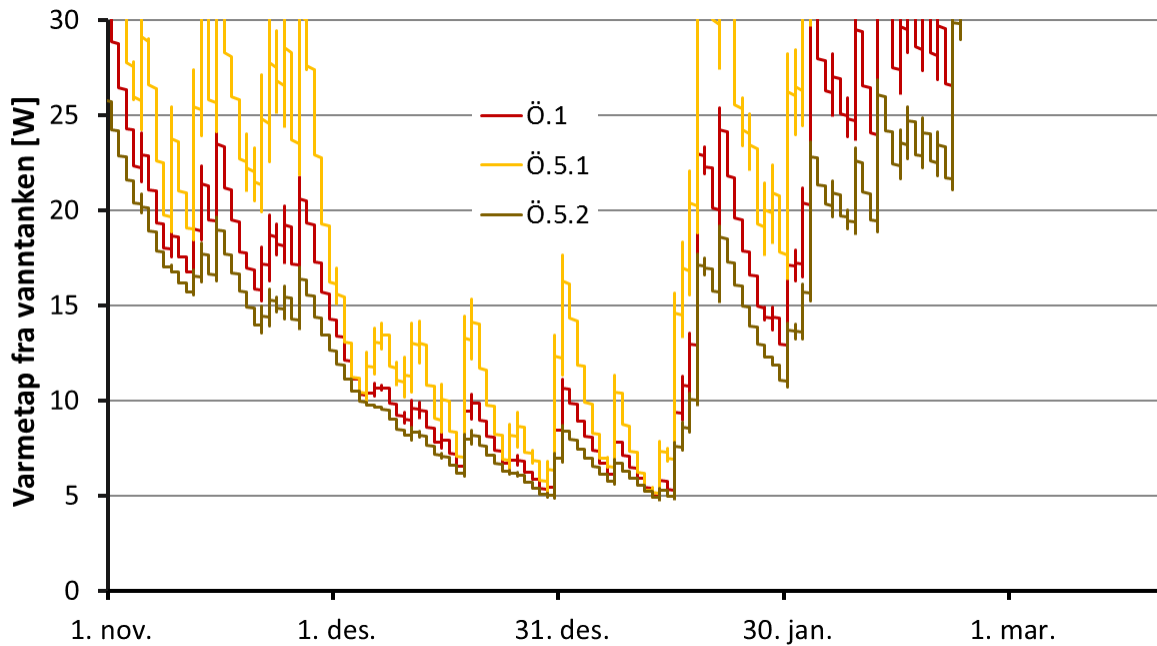
Det er valgt å presentere temperaturen i vanntanken og varmetapet fra den for Ö.5.1, Ö.1 og Ö.5.2. Disse scenariene har ulik isolasjonstykkelse rundt vanntanken, og denne parameteren er blitt vurdert for å være veldig relevant i forhold til temperaturen og varmetapet til tanken. Det er derfor interessant å studere disse scenariene nærmere. Figur 4.47 viser temperaturen i vanntanken for Ö.5.1, Ö.1 og Ö.5.2 som har henholdsvis 5, 10 og 15 cm isolasjon. Tanken er delt inn i åtte lag, og temperaturen i lag fem er den som presenteres. Det er dette laget som vises i resten av oppgaven også.



Figur 4.47: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Fra figur 4.47 kan det observeres at temperaturen i tanken er høyere når isolasjonen rundt vanntanken er tykkere. Dette er logisk ettersom mindre varme slipper ut av tanken når den er godt isolert.

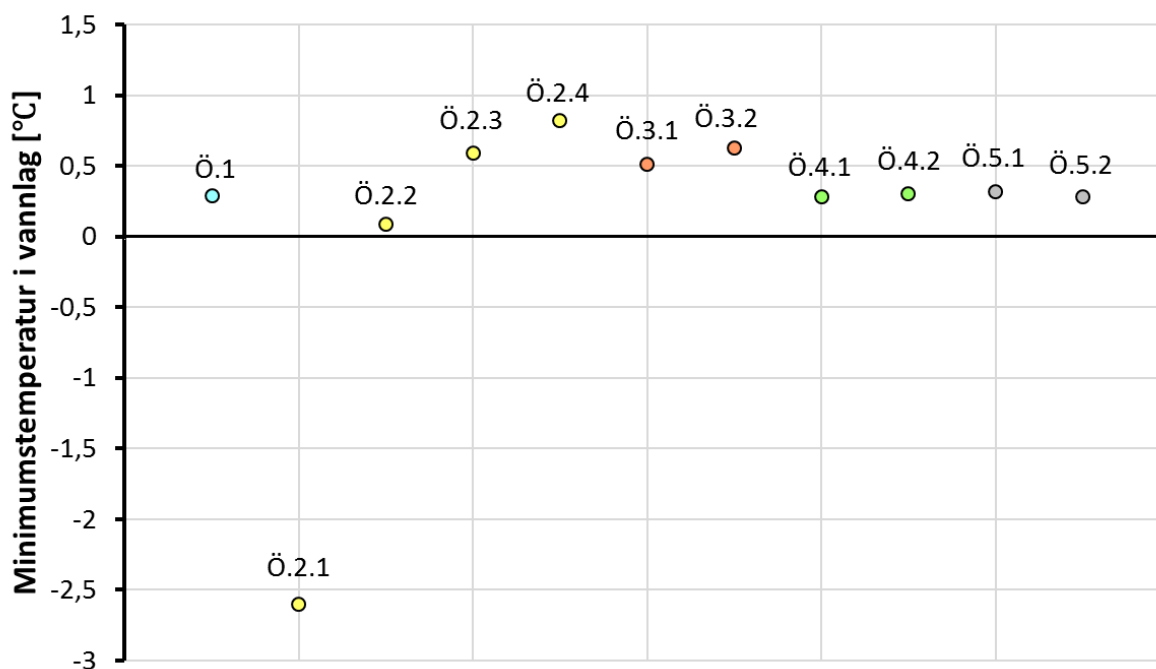
I figur 4.48 er varmetapet fra tanken presentert for de ulike isolasjonstykkelsene for vanntanken.



Figur 4.48: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Figur 4.48 viser at forløpet til varmetapet fra tanken likner veldig mye på det for temperaturen i tanken. Dette er fordi det er en tett sammenheng mellom temperaturen i tanken og varmetapet fra den. Det er også tydelig at isolasjonstykkelsen rundt vanntanken påvirker varmetapet i relativt stor grad. Man kan se at varmetapet er størst fra Ö.5.1 som har 5 cm isolasjon rundt vanntanken. Ö.5.2 med 15 cm isolasjon gir det minste tapet. Varmetapet fra Ö.5.1 er også en god del større sammenliknet med de andre alternativene. Og når det totale varmetapet er såpass lite om vinteren, spesielt i januar, utgjør dette en ganske stor forskjell mellom de ulike scenariene.

Figur 4.48 viser den simulerte minimumstemperaturen i vannlaget for alle scenariene med klimadata fra Östersund.



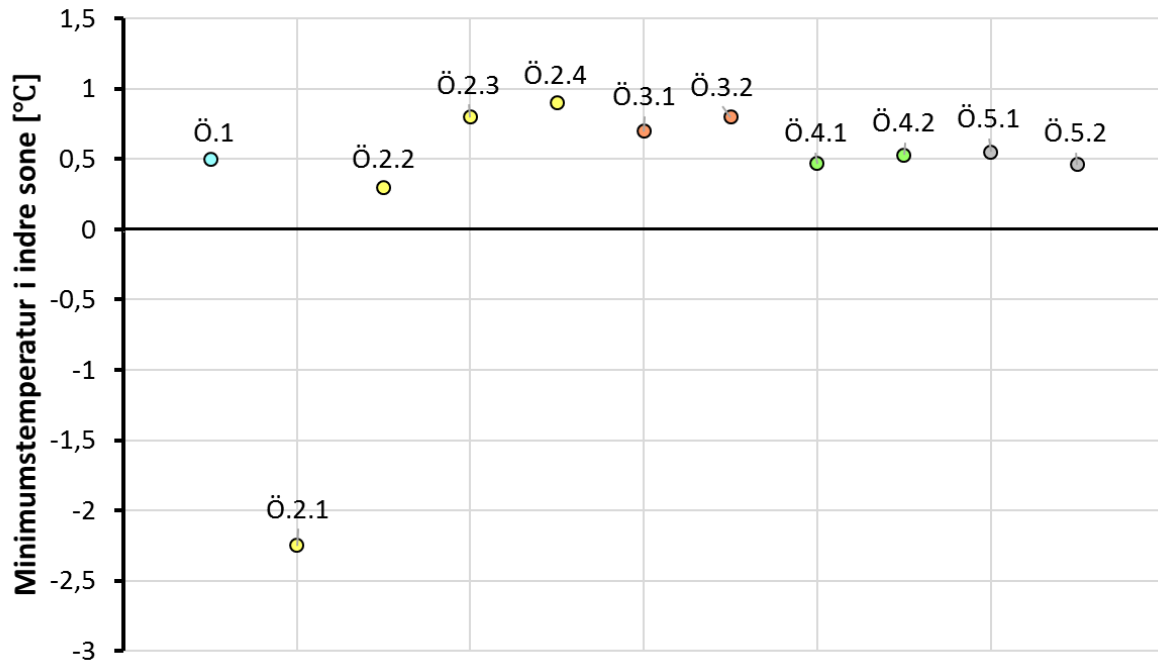
Figur 4.49: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for alle scenariene i Östersund

Fra figur 4.49 kan man se at andelen av vannlaget som er fryst er forskjellig for de ulike scenariene. Ö.3.1 og Ö.3.2 har et vannlag på henholdsvis 3.75 og 5 cm, altså en del tykkere enn de andre scenariene som har vannlag på 2.5 cm. Når det er mer vann rundt den indre sonen kan mer energitap tillates før alt vannet er helt frosset. Disse scenariene har dermed en litt større andel av vannlaget som ikke er frosset sammenliknet med Ö.1 som har tilsvarende egenskaper og et tynnere vannlag.

Ö.4.1 og Ö.4.2 har 150 og 300 liters vanntanker, respektivt, med 10 cm isolasjon rundt. De andre scenariene ligger mellom med sine 200 liter. Fra figur 4.49 kan man se at for Ö.4.2 er en høyere andel av vannlaget fortsatt flytende sammenliknet med Ö.4.1, og det er fordi vanntanken er større. Dermed vil varmetapet fra den være høyere ettersom en voluminøs tank har større overflate. I tillegg vil den ha plass til mer soloppvarmet vann. Figur 4.49 viser imidlertid også at det er liten forskjell mellom de tre ulike tankstørrelsene.

Fra figur 4.49 kan det observeres at Ö.5.1 har det høyeste andelen av vannlaget som fortsatt er flytende sammenliknet med Ö.1 og Ö.5.2. Dette er rimelig med tanke på det høye varmetapet for dette scenariet som man kan se i figur 4.48.

I figur 4.50 kan man se minimumstemperaturen i den indre sonen for alle scenariene fra Östersund.



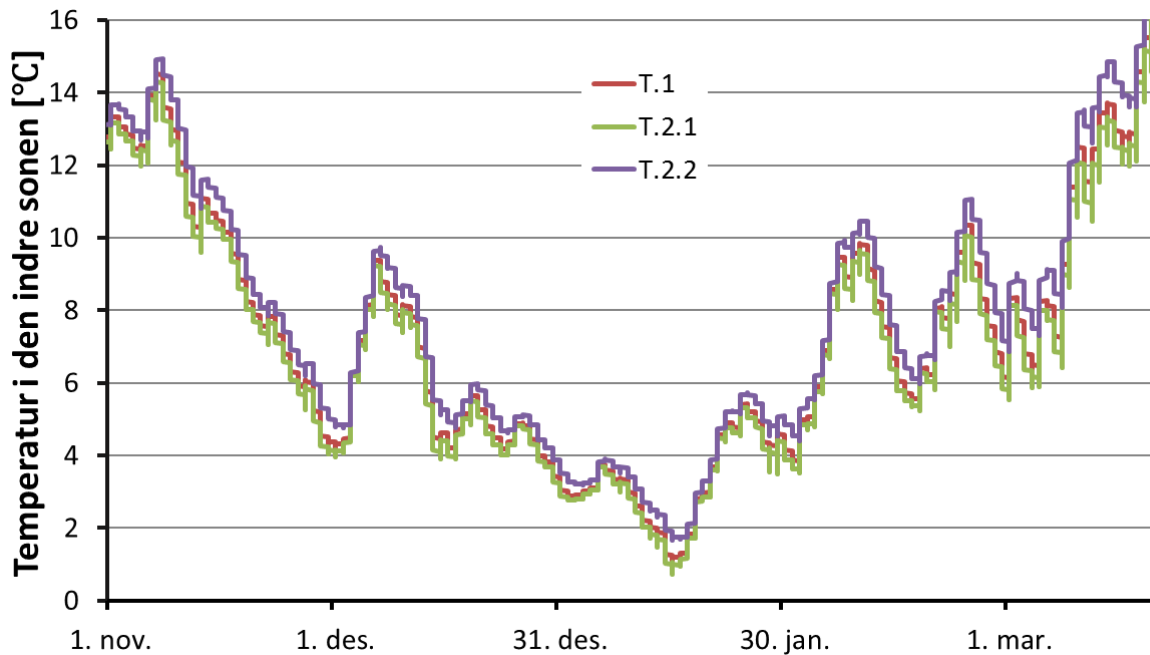
Figur 4.50: Minimumstemperatur i den indre sonen for alle scenariene i Östersund

Fra figur 4.50 kan det observeres at minimumstemperaturen i den indre sonen ligger litt høyere enn den i vannlaget. Dette er som forventet ettersom den indre sonen blir varmet opp av tanken.

4.4.4.2 Analyse av resultater fra simuleringer i Tjøme

For Tjøme vil scenariene med ulike isolasjonstykkelser rundt den indre sonen bli presentert og analysert først, før alle simuleringene vil bli sammenliknet.

Figur 4.51 viser temperaturforløpet i den indre sonen for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2.

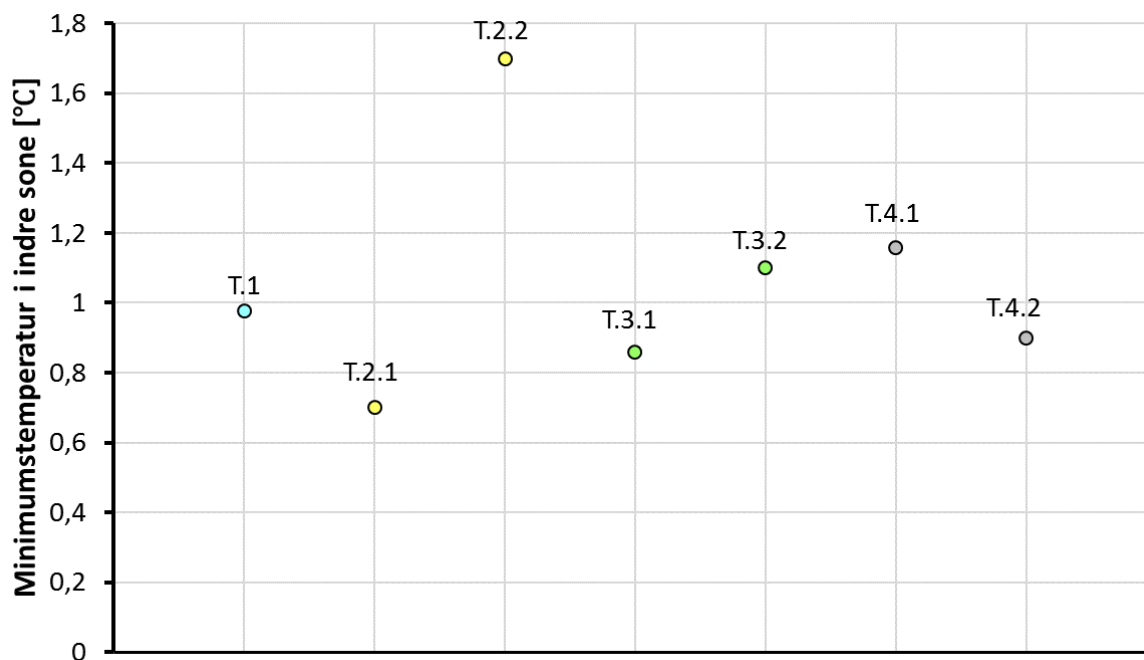


Figur 4.51: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Fra figur 4.51 kan man observere at lufttemperaturen i den indre sonen varierer mer i de kaldeste månedene enn den gjorde for Östersund ettersom scenariene i Tjøme er simulert uten vannlag. Videre har scenario Ö.1 og T.1 samme størrelse på isolasjonstykkelsen rundt den indre sonen og på vanntanken. Den eneste forskjellen er at fritidsboligen i Östersund har vannlag og litt mer isolasjon rundt tanken. Ettersom temperaturen i den indre sonen holder seg over 0 °C i Tjøme indikerer det at man kan benytte samme løsningen som i Östersund, bare uten vannlag. Grunnen er at klimaet i Tjøme er mye mildere.

Videre ser man fra figuren at scenario T.2.2 har et høyere temperaturnivå i den indre sonen, noe som er forventet ettersom mer isolasjon rundt den indre sonen vil redusere varmetapet til de ytre sonene.

I figur 4.52 er minimumstemperaturen i den indre sonen presentert for alle scenariene med klimadata fra Tjøme.



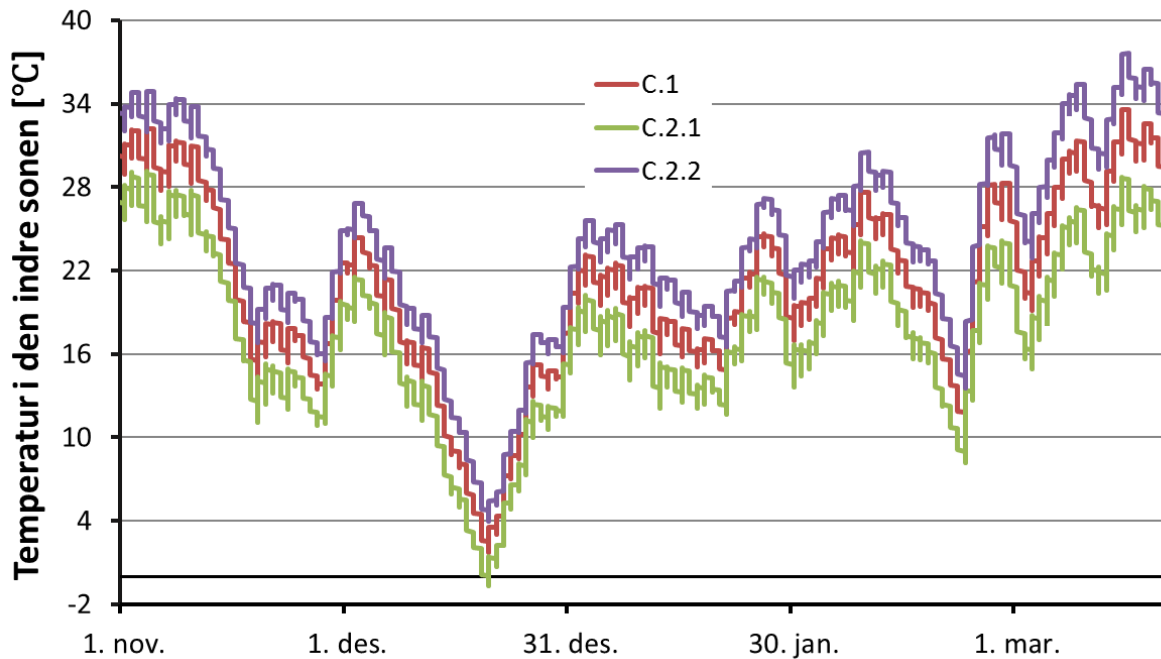
Figur 4.52: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Tjøme

Fra figur 4.52 kan man se at minimumstemperaturene i den indre sonen for scenariene fra Tjøme har de samme tendensene som de fra Östersund. Det er imidlertid større forskjeller mellom de forskjellige scenariene her ettersom de er blitt simulert uten vannlag. Ulike isolasjonstykkelser rundt tanken blitt undersøkt, og scenario T.4.1 har bare 1 cm isolasjon. Ettersom dette scenariet har en høyere minimumstemperatur enn både T.1 og T.4.2, som har henholdsvis 5 og 10 cm isolasjon rundt tanken, er det tydelig at det er en fordel med tynnere isolasjon i Tjøme.

4.4.4.3 Analyse av resultater fra simuleringer i Calgary

For scenariene med klimadata fra Calgary vil også scenariene med ulike isolasjonstykkelser rundt den indre sonen bli studert først. Etterpå vil minimumstemperaturen i den indre sonen bli sammenliknet for alle simuleringene.

Figur 4.53 viser temperaturforløpet i den indre sonen for scenariene med forskjellig tykkelse på isolasjonen rundt den indre sonen.

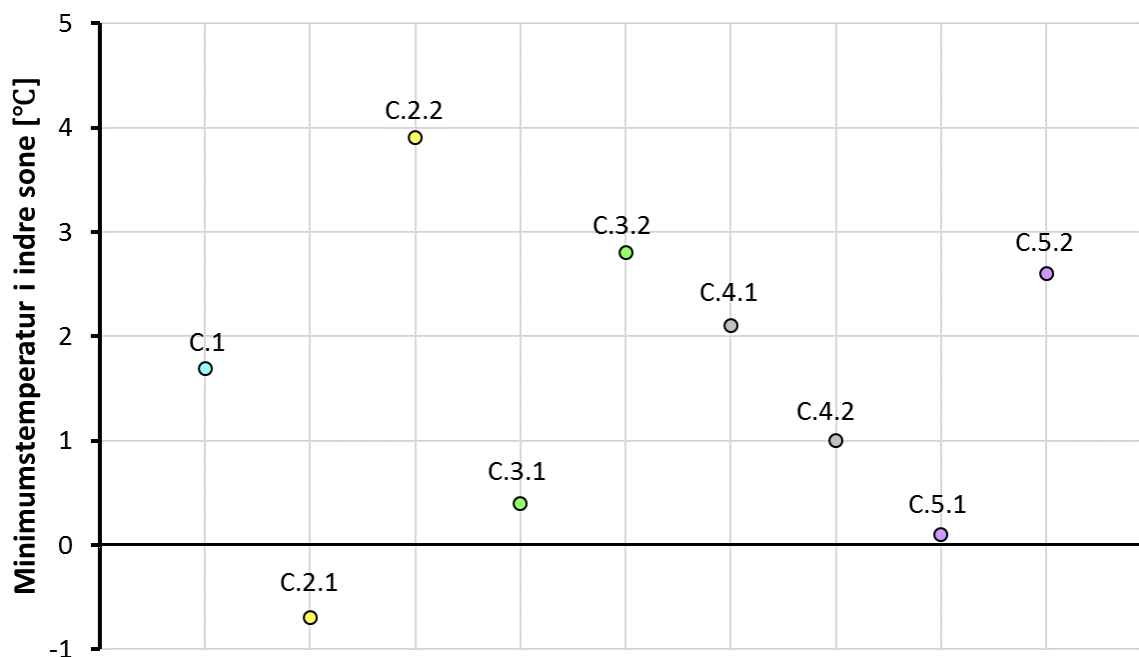


Figur 4.53: Temperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2

Fra figur 4.53 kan det observeres at temperaturen i den indre sonen varierer mye gjennom vinteren for alle tre scenariene. Den varierer mye mer enn i Tjøme som også er simulert uten vannlag, og årsaken er sannsynligvis at Calgary har veldig varierende utetemperatur. I tillegg har Calgary en mye større vanntank og solfanger som gir mer variasjon i varmetapet fra tanken. Vinteren er jo også betydelig kaldere enn i Tjøme.

Det er også relativt store forskjeller mellom temperaturnivåene for de ulike scenariene. C.2.2 har den høyeste isolasjonstykkelsen på 15 cm, og den laveste temperaturen for dette scenariet er på nesten 4 °C. Scenario C.2.1, som har den tynneste isolasjonen på 5 cm, faller så vidt under 0 °C på det kaldeste.

I figur 4.54 kan minimumstemperaturen i den indre sonen for alle scenariene fra Calgary observeres.



Figur 4.54: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Calgary

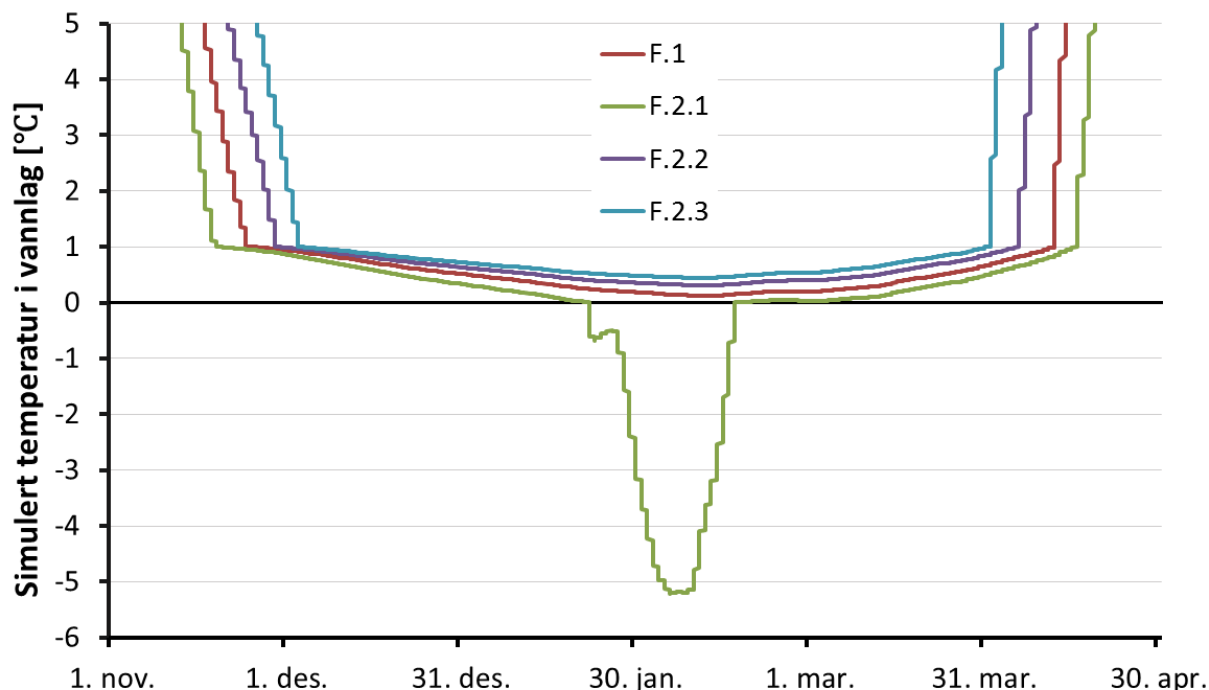
Som man kan se i figur 4.54 er minimumstemperaturene for scenariene fra Calgary ganske varierende. Også her er forskjellen størst mellom scenariene med ulik isolasjonstykkelse rundt den indre sonen. Videre er variasjonen mellom scenario C.3.1 og C.3.2, som har tankstørrelser på henholdsvis 500 og 1000 liter, ganske stor. Det viser at det er viktig å kunne lagre soloppvarmet vann i en ganske stor tank selv om solforholdene er gode i Calgary. Det kan ha noe å gjøre med at varmetapet fra den indre sonen blir relativt stort i de kaldeste periodene, og at det da er en fordel å kunne ha mye soloppvarmet vann tilgjengelig.

Figuren viser også at det er en fordel med tynn isolasjon rundt vanntanken. C.4.1 har bare 1 cm isolasjon, og har høyere minimumstemperatur enn C.4.2 som har 5 cm. Det virker rimelig ettersom Calgary har gode solforhold gjennom hele året og dermed blir ikke tanken kald. I Calgary er også ulike størrelser på solfangeren undersøkt. Scenario C.5.1, C.1 og C.5.2 har 5, 10 og 15 m² solfangere, respektivt. Man kan se at en større solfanger gir en høyere minimumstemperatur i den indre sonen. Med en stor solfanger kan man utnytte solforholdene enda bedre, men det krever en større investering.

4.4.4.4 Analyse av resultater fra simuleringer i Fairbanks

Scenariene fra Fairbanks vil bli analysert på tilsvarende måte som i Östersund. Den simulerte minimumstemperaturen i vannlaget og lufttemperaturen i den indre sonen for alle scenariene vil bli presentert til slutt for sammenlikningen skyld.

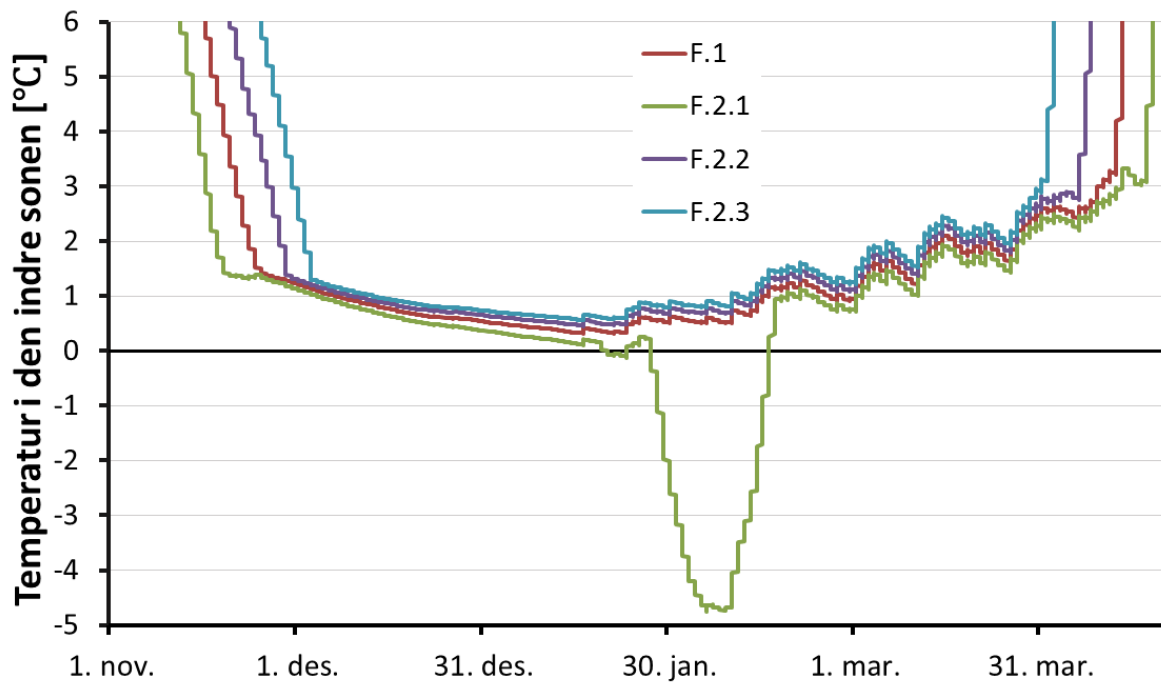
I figur 4.55 kan man se det simulere temperaturforløp i vannlaget for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3.



Figur 4.55: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.4

Fra figur 4.55 er det mulig å observere at de simulerte temperaturene i vannlaget faller svært raskt i månedsskiftet mellom november og desember, før den når 1 °C. Da begynner vannlaget å fryse, og for scenario F.1, F.2.2 og F.2.3 er vannlaget delvis fryst helt til begynnelsen av april. Temperaturforløpet fra Östersund viser en liknende tendens, men i Fairbanks er ser det enda mer dramatisk ut. I tillegg er vinteren mye lengre og kaldere i Fairbanks enn i Östersund. Videre ser man i figuren at tynnere isolasjon rundt den indre sonen gir lavere simulert temperatur i vannlaget, slik som også ble observert for de andre stedene. For scenario F.2.1 kan man se at vannlaget fryser helt, og temperaturen faller plutselig langt under 0 °C.

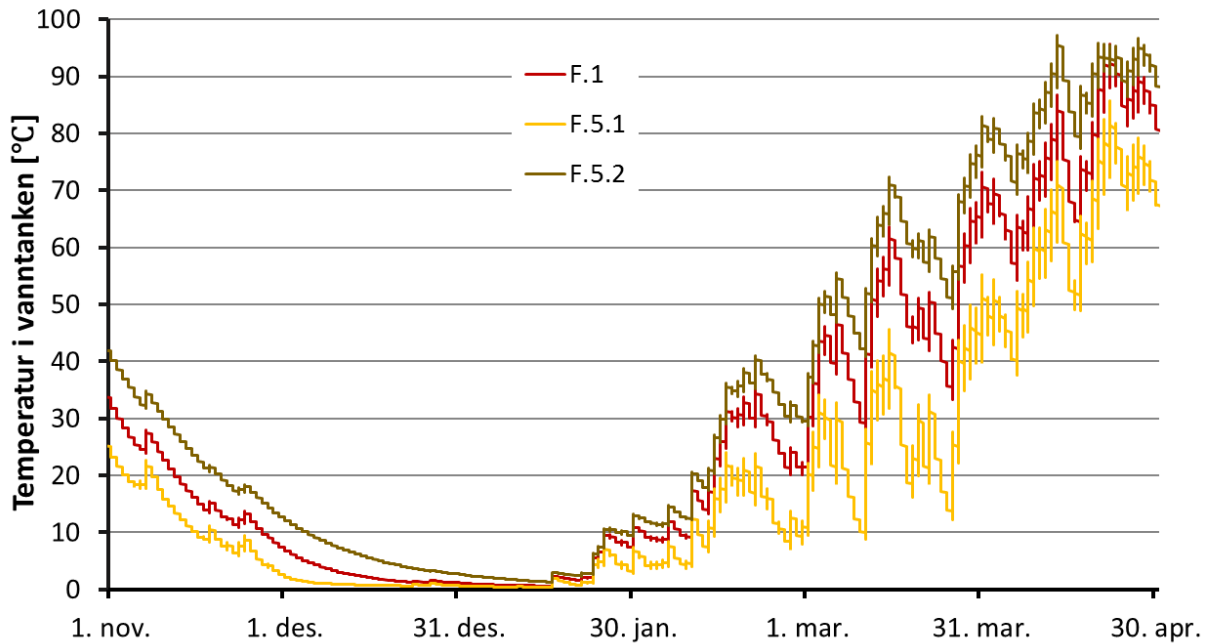
Figur 4.56 viser temperaturforløpet i den indre sonen for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3.



Figur 4.56: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.4

Fra figur 4.56 kan man se at lufttemperaturen i den indre sonen er litt høyere enn i vannlaget, slik som også ble observert i Östersund. Temperaturen er høyere i den indre sonen på grunn av varmetapet fra vanntanken. Derfor kan sanitærinstallasjonene i den indre sonen være frostfrie selv om vannlaget på veggen er delvis frosset.

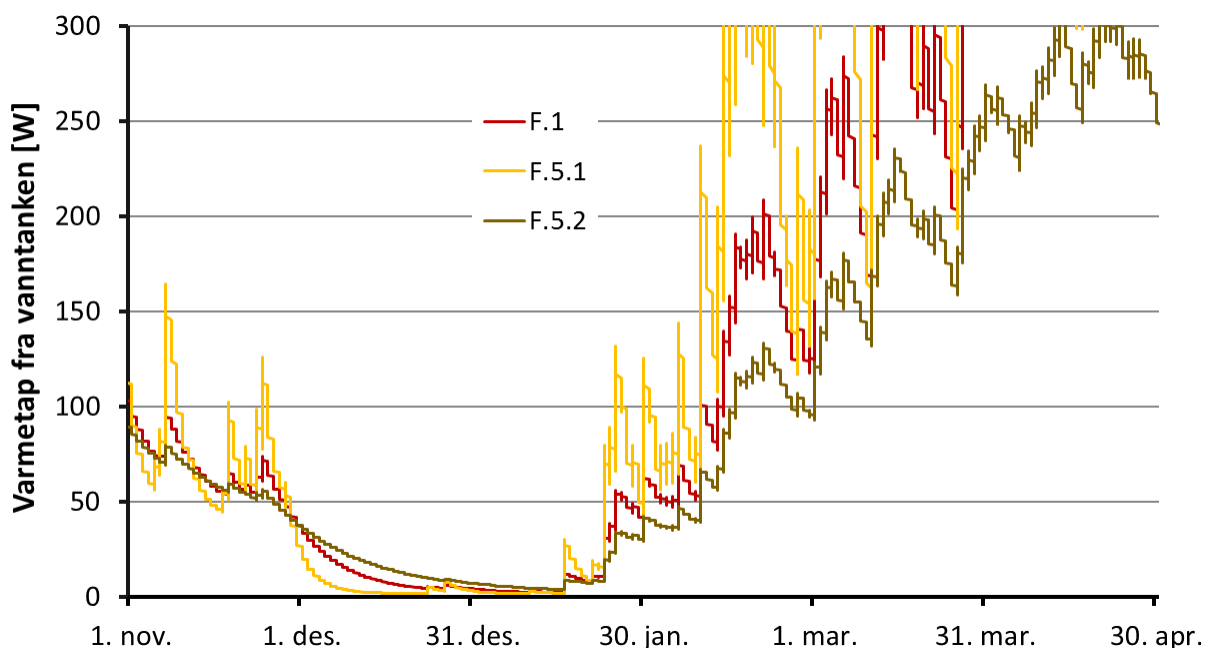
For Fairbanks er det også valgt å se nærmere på vanntanken for scenariene med ulike isolasjonstykkelse rundt den. Figur 4.57 viser temperaturen i vanntanken for scenario F.5.1, F.1 og F.5.2 som har henholdsvis 1, 5 og 10 cm isolasjon.



Figur 4.57: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2

Fra figur 4.57 kan man observere at temperaturen i tanken er høyere jo mer isolasjon det er rundt den. Man kan også se at temperaturen blir veldig lav om vinteren, spesielt for F.5.1 som bare har 1 cm isolasjon rundt tanken. For dette scenariet går temperaturen i tanken nesten helt ned til 0 °C. Sammenliknet med i Östersund er temperaturen svært lav over lang tid.

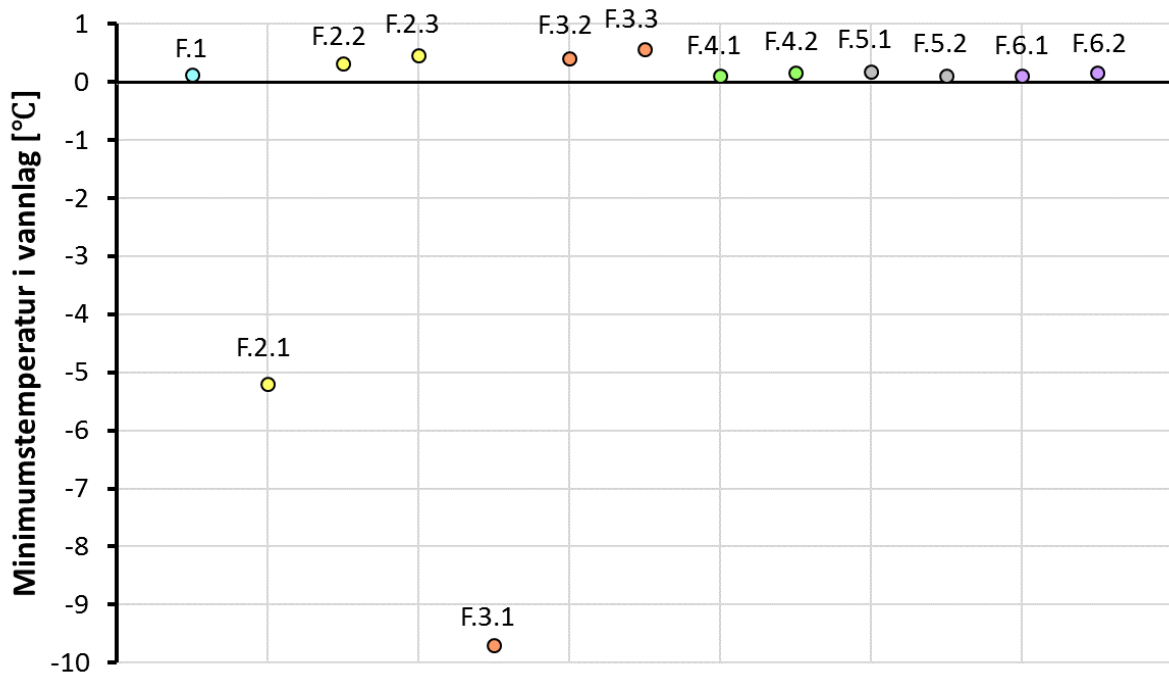
Figur 4.58 viser varmetapet fra tanken for de samme scenariene.



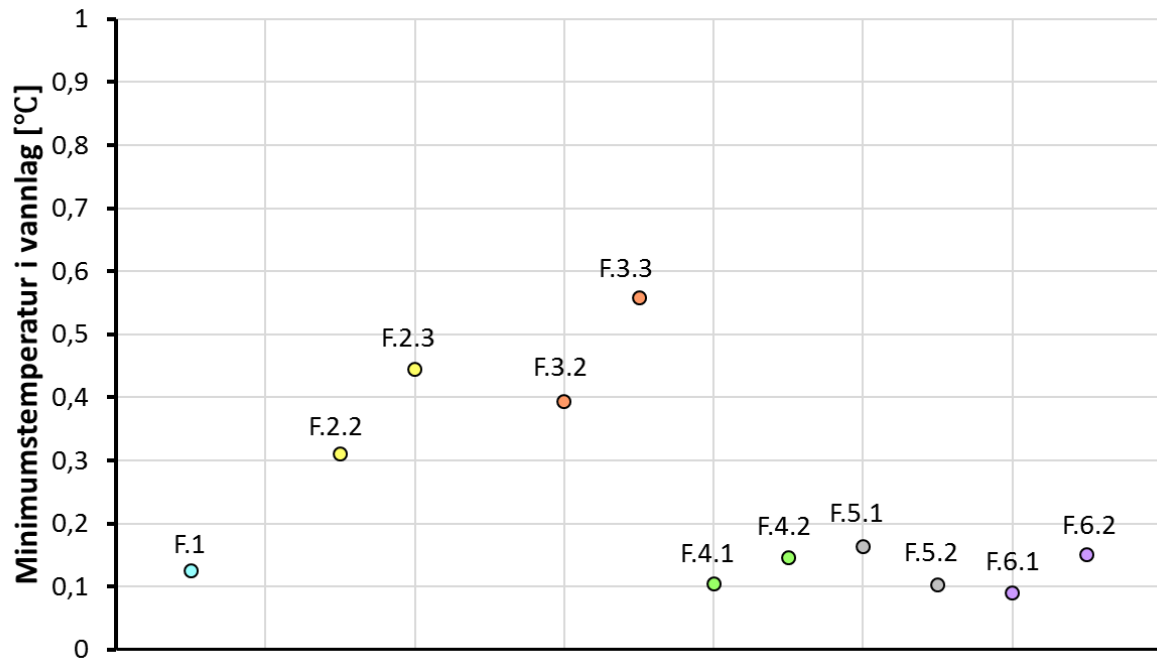
Figur 4.58: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2

I figur 4.58 kan man se at gjennom store deler av vinterhalvåret er det mest varmetap fra tanken med minst isolasjon. I Östersund var dette tilfellet gjennom hele vinteren. I Fairbanks derimot kan det observeres at i desember og nesten hele januar er varmetapet lavest for F.5.1. Hvis man sammenlikner dette med figur 4.57 ser man at det har sammenheng med temperaturen i tanken som er svært nær 0 °C i denne perioden. Derfor er det omtrent ingen varme igjen å hente fra tanken.

Figur 4.59 viser den simulerte minimumstemperaturen i vannlaget for alle scenariene med klimadata fra Fairbanks. I figur 4.60 er området mellom 0 og 1 °C forstørret slik at man skal se forskjellen mellom scenariene bedre.



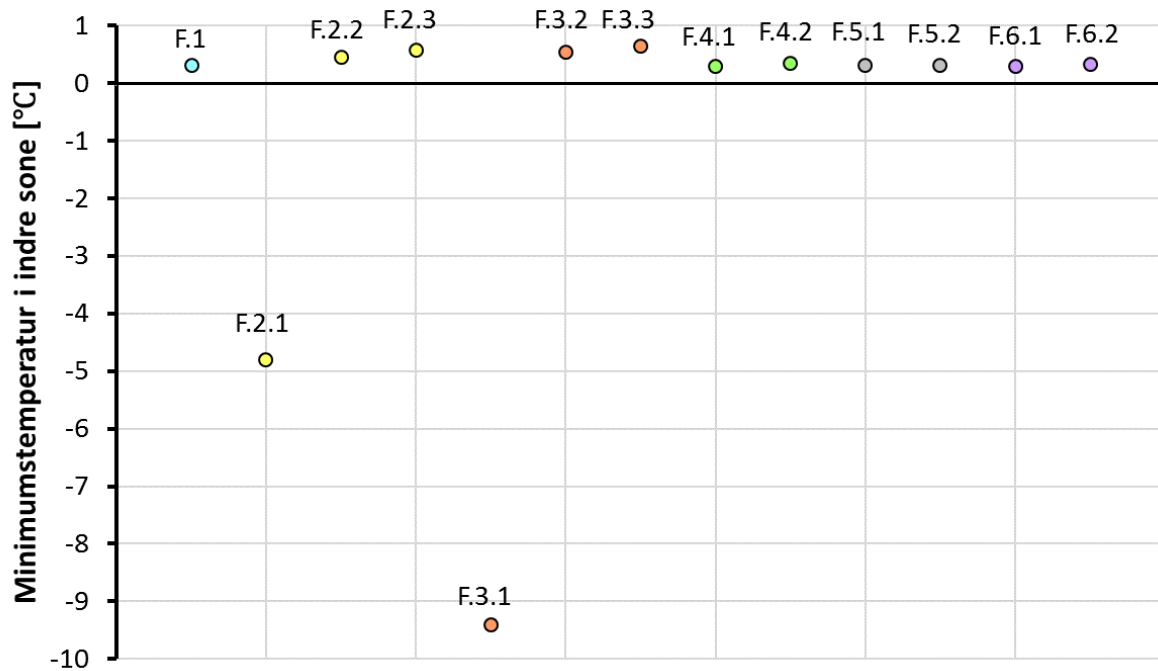
Figur 4.59: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for alle scenariene i Fairbanks



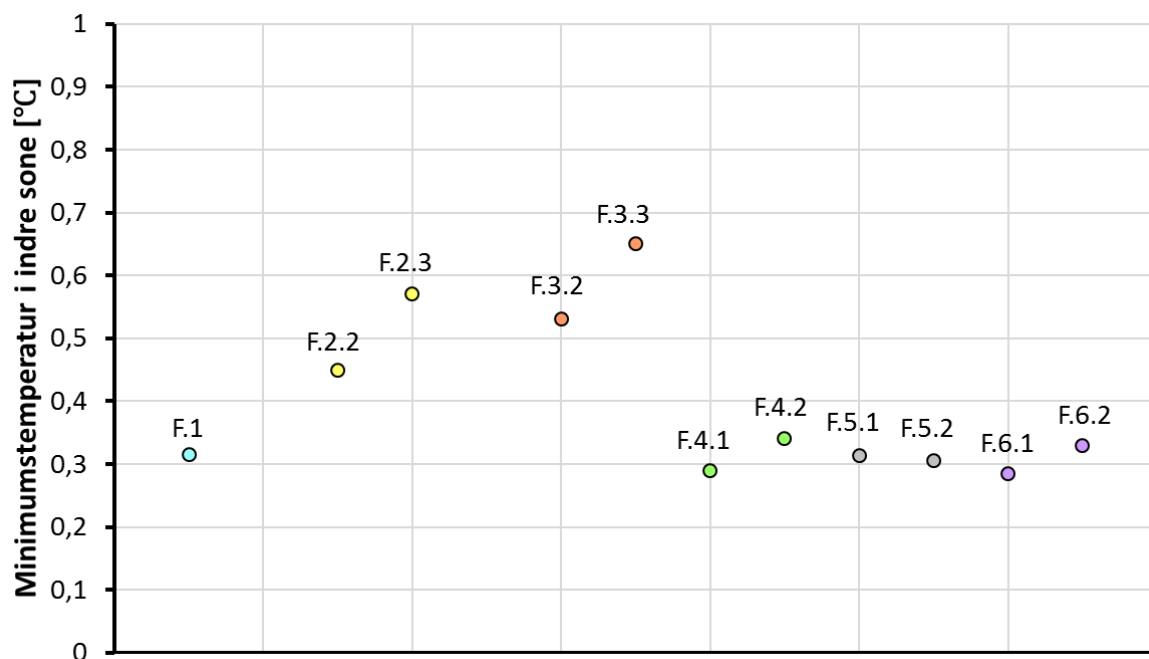
Figur 4.60: Simulert minimumstemperatur i vannlaget for scenariene der den er over 0 °C i Fairbanks

I figur 4.59 kan man se at den simulerte minimumstemperaturen i vannlaget ligger mellom 0 og 1 °C for de fleste scenariene, bortsett fra F.2.1 og F.3.1. For disse har vannlaget fryst helt. Videre ser man fra både figur 4.59 og 4.60 at minimumstemperaturene i vannlaget i Fairbanks har ganske mange likheter med de fra Östersund. En viktig forskjell er imidlertid at scenariene som faller under 0 °C har en mye lavere temperatur. Årsaken til dette er at det er svært kaldt i Fairbanks om vinteren.

Fra figur 4.61 kan man observere minimumstemperaturen i den indre sonen for alle scenariene med klimadata fra Fairbanks. Figur 4.62 viser bare området mellom 0 og 1 °C slik at forskjellene her blir tydeligere.



Figur 4.61: Minimumstemperatur i indre sone for alle scenariene i Fairbanks



Figur 4.62: Minimumstemperatur i indre sone for scenariene der den er over 0 °C i Fairbanks

I figur 4.61 kan man se at minimumstemperaturen i den indre sonen ligger litt høyere enn den i vannlaget. Fra både figur 4.61 og 4.62 kan man imidlertid observere at forskjellen mellom den laveste lufttemperaturen i den indre sonen for F.5.1 og F.5.2 er svært liten. Avstanden er tydelig større mellom minimumstemperaturene i vannlaget for scenariene, noe som kan studeres i figur 4.60. Årsaken til at den laveste lufttemperaturen i den indre sonen er nesten lik

for F.5.1 og F.5.2 er sannsynligvis at temperaturen i tanken nærmer seg 0 °C på det kaldeste. Og scenario F.5.1 har den kaldeste tanken. Dette kan observeres i figur 4.57. Vanntanken blir såpass avkjølt ettersom vinteren i Fairbanks er svært kald og lang. Grunnen til at F.5.1 fortsatt har en såpass høy lufttemperatur i den indre sonen er sannsynligvis varmetapet fra tanken tidligere på høsten. Den indre sonen er modellert tilnærmet infiltrasjonsfri i tillegg til at isolasjonstykkelsen og vannlaget er veldig tykt i Fairbanks. Dermed tar det lang tid før varme lekker ut av den indre sonen. Og det er mulig det tar lengre tid i simuleringene enn det ville gjort i virkeligheten ettersom det kan være vanskelig å lage en infiltrasjonsfri sone i praksis.

4.4.5 Vurdering av frostsikringsmetoden med vannlag, termisk solfanger og vanntank

I dette delkapittelet vil resultatene som ble presentert i forrige delkapittel vurderes og analyseres ytterligere.

Ut ifra resultatene fra simuleringene som ble gjort med klimadata fra Östersund og Fairbanks kan man finne den laveste prosentandel av vannlaget som fortsatt var flytende. I forrige delkapittel ble dette presentert for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4 i avsnittet under figur 4.45. Ut ifra denne prosentandelen er energitapet som kan tillates før hele vannlaget er frosset beregnet for alle scenariene i Östersund og Fairbanks. Denne latente restenergien i vannlaget kan sees på som en sikkerhetsmargin for frostsikringsmetoden.

Dersom simuleringene viser at nesten hele vannlaget har frosset i løpet av vinteren vil den latente restenergien være ganske lav. Dermed vil det være en risiko for at hele vannlaget fryser hvis det blir en meget kald vinter. Jo høyere den latente restenergien er, jo større sannsynlighet er det for at sanitærinstallasjonene holder seg frostfrie gjennom vinteren. Det er ønskelig med en sikkerhetsmargin som er lav nok til at en stor del av vannlag utnyttes, og samtidig høy nok til at en svært kald vinter kan håndteres. Den beregnede restenergien som representerer sikkerhetsmarginen bestemmes av andelen av vannet som fortsatt er flytende og vannmengden som ligger rundt den indre sonen. For eksempel kreves det 139 kWh for å smelte et vannlag på 2.5 cm.

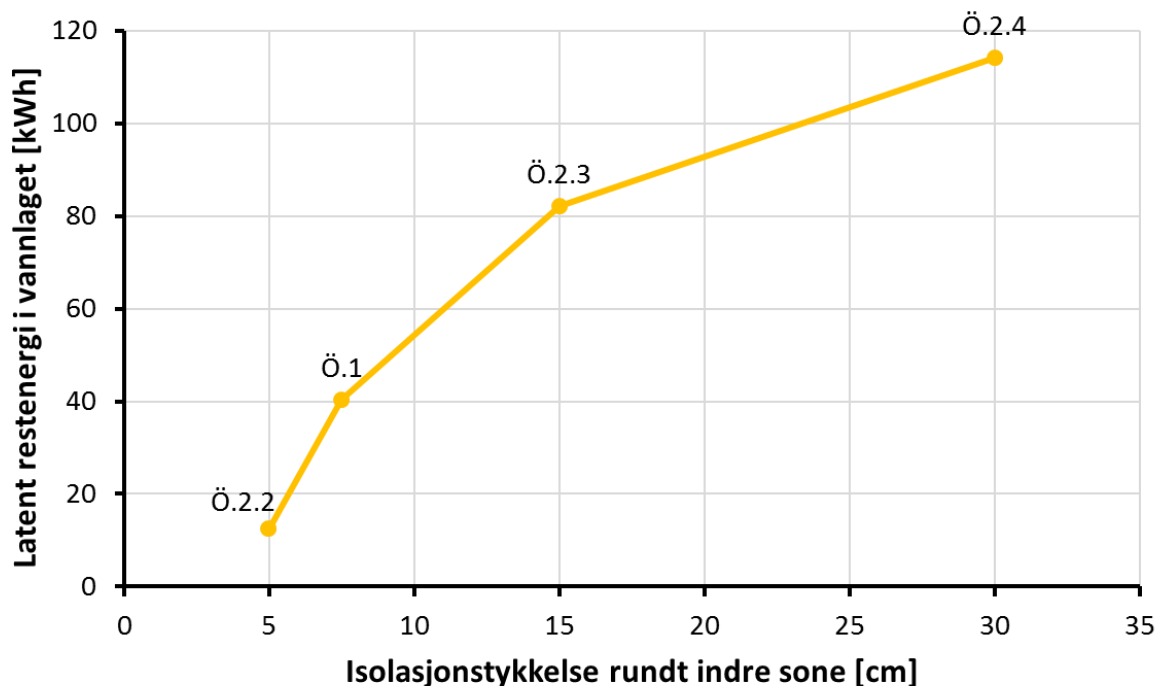
For å undersøke om simuleringene med vannlag gir realistiske resultater kan man gjøre en overslagsberegning. Man kan da sammenlikne den latente restenergien i vannlaget og varmetapet fra vanntanken for et scenario, med energibruken som kreves for å varme opp den indre sonen. Ö.1 har en latent restenergi i vannlaget på omtrent 40 kWh, og har dermed utnyttet omtrent 99 kWh. Fra figur 4.48 kan man se at varmetapet fra vanntanken har en

gjennomsnittlig effekt på rundt 7.5 W de to kaldeste månedene i året. Multipliserer man dette med timene i disse månedene, altså 24 timer \times 60 dager, får man at varmetapet i denne perioden er omtrent 10.8 kWh. Vannlaget og varmetapet fra tanken bidrar dermed med anslagsvis 110 kWh til sammen. I tabell 8 kunne man lese av at det krevde 106 kWh for å varme opp den indre sonen til 1 °C. Disse tallene er jo relativt nære hverandre, noe som tyder på fritidsboligen med vannlag og soloppvarmet tank er modellert riktig og at fysikken i simuleringene stemmer. Det var likevel litt forskjell mellom tallene, men ettersom beregningen er såpass grov, og de to hyttemodellene er litt forskjellige, er dette rimelig.

Simuleringene med klimadata fra Calgary og Tjøme har ikke vannlag. Minimumstemperaturen i den indre sonen vil derfor bli benyttet som sammenlikningsgrunnlag for disse scenariene.

4.4.5.1 Vurdering av frostsikringsmetoden i Östersund

I figur 4.63 er den latente restenergien til scenariene med ulike isolasjonstykkelse rundt den indre sonen for Östersund sammenliknet.

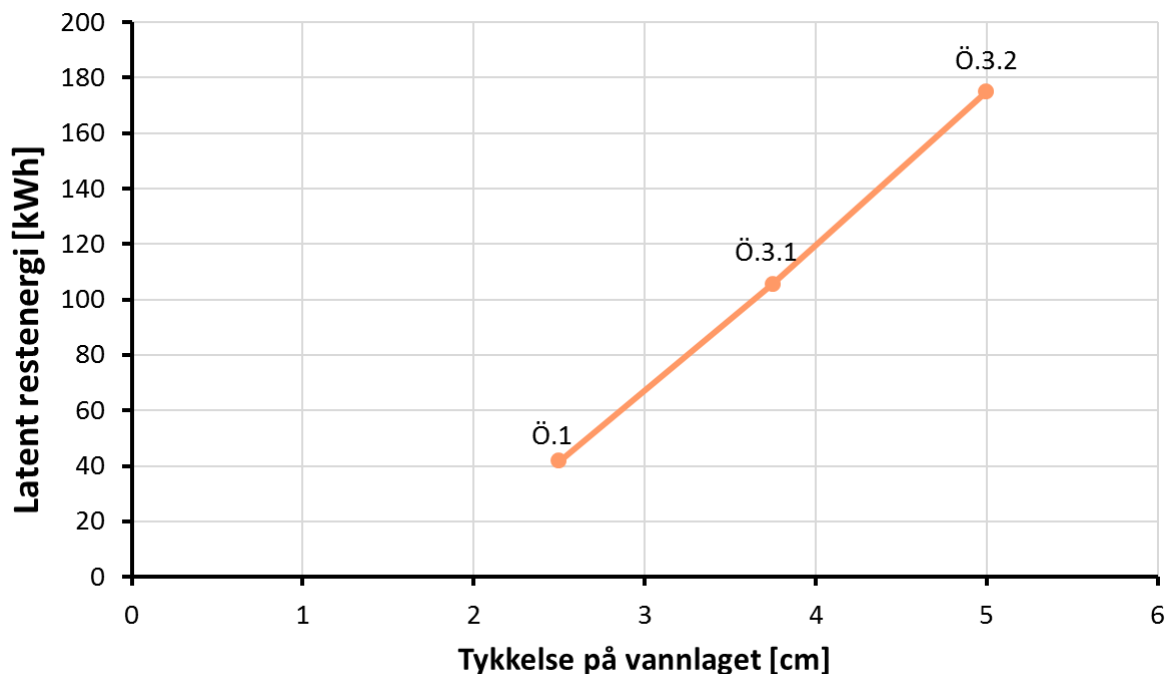


Figur 4.63: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö. 2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4

Fra figur 4.63 er det mulig å se at restenergien varierer ganske mye mellom scenario Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.1, Ö.2.3 og Ö.2.4. For disse scenariene er tykkelsen på isolasjonen rundt den indre sonen mellom 2.5 og 30 cm. De store forskjellene tyder på at endringene som er gjort i forhold til størrelsen på denne parameteren har en relativt stor innvirkning på vannlaget.

Videre kan det i figur 4.63 se ut til at økningen i restenergi avtar for større isolasjonstykkelser. Tynnere isolasjon er hensiktsmessig ettersom det tar mindre plass i fritidsboligen. Det er derfor ønskelig med en isolasjonstykkelse som er så tynn som mulig, samtidig som sikkerhetsmarginen er tilstrekkelig stor. Med 7.5 cm isolasjon rundt den indre sonen er omtrent 71 % av vannlaget utnyttet, og i verste fall kan et energitap på 41 kWh fremdeles tillates. Denne tykkelsen kan være en god løsning.

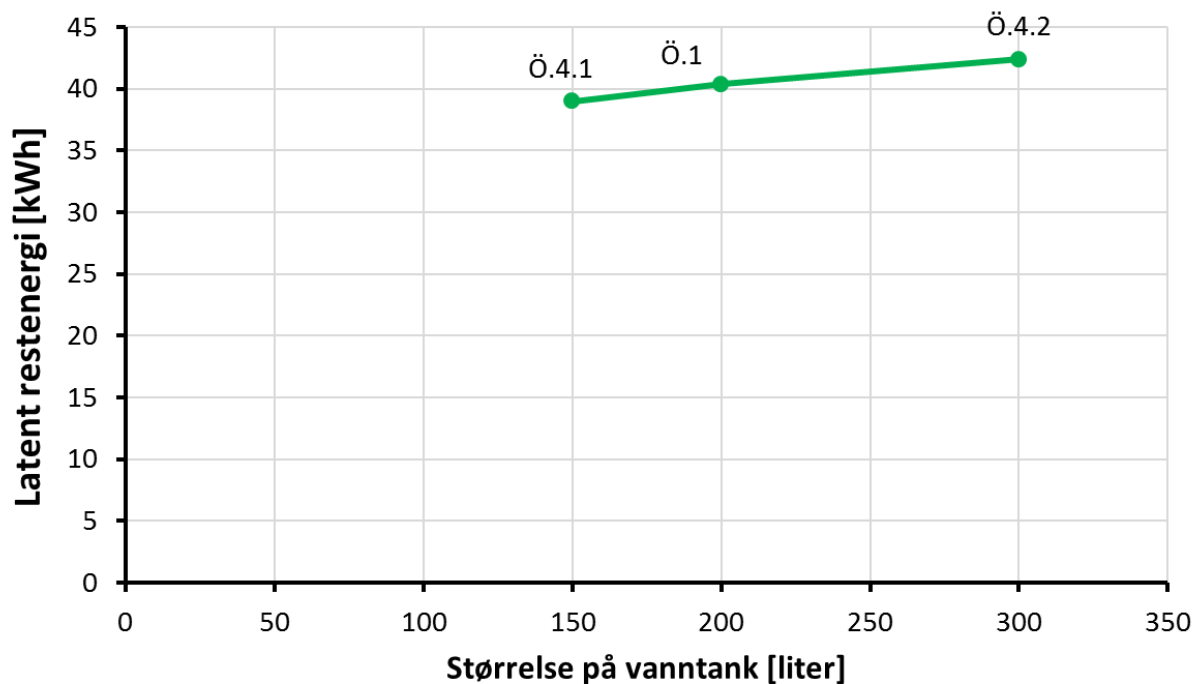
Figur 4.64 sammenlikner scenariene med ulik tykkelse på vannlaget. Scenario Ö.3.1 og Ö.3.2 har et vannlag på 3.75 cm og 5 cm, respektivt. Dette gir en større vannmengde rundt den indre sonen, og mer energitap kan derfor tillates før alt vannet er frosset. Dermed er det logisk at scenario Ö.3.1 og Ö.3.2 har store energimengder som sikkerhetsmargin.



Figur 4.64: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2

Fra figur 4.64 ser det ut til at det er en tilnærmet lineær sammenheng mellom den latente restenergien og tykkelsen på vannlaget. Dette gir mening ettersom vannmengden henger direkte sammen med den latente energien. Som med isolasjonen vil et tykkere vannlag ta mer plass i fritidsboligen. Scenario Ö.1 har et vannlag på 2.5 cm, og som nevnt i forrige avsnitt har dette scenarioet en tilfredsstillende sikkerhetsmargin. Tykkelsen på 2.5 cm ser derfor ut til å være en gunstig løsning.

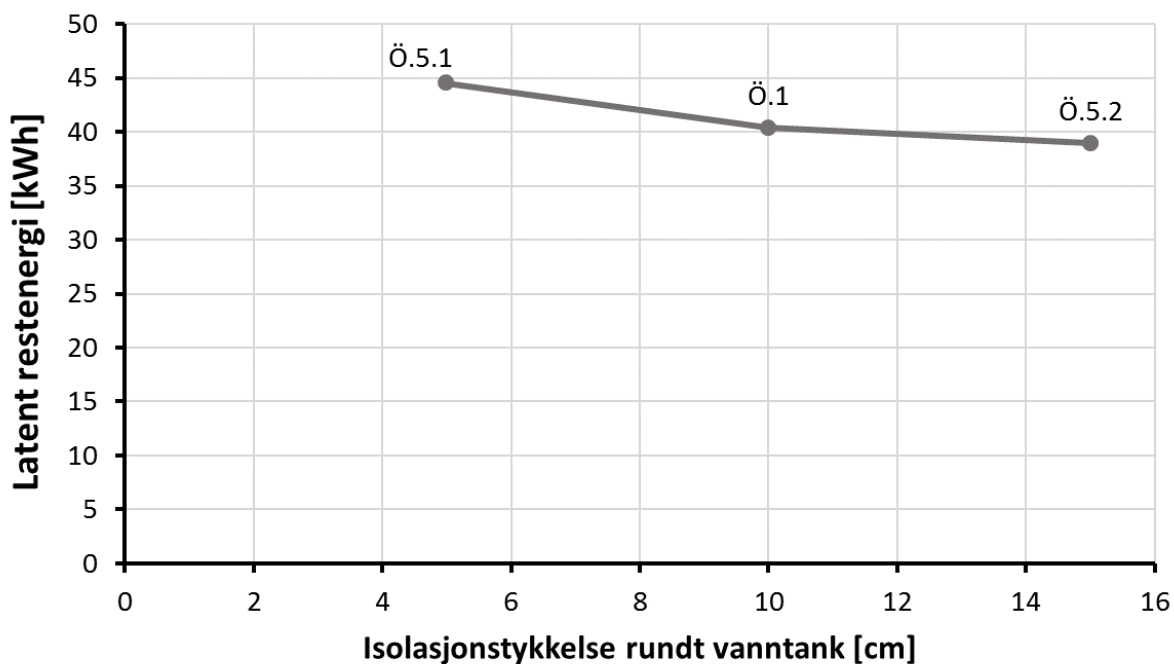
Restenergien for scenario Ö.4.1, Ö.1 og Ö.4.2 kan studeres i figur 4.65. Disse scenariene har ulike størrelser på vanntanken.



Figur 4.65: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

Også i figur 4.65 kan en nesten lineær sammenheng observeres, men det kan se ut til at økningen i restenergien avtar marginalt for større vanntanker. Dette er logisk ettersom varmetapet fra tanken øker proporsjonalt med overflaten når U-verdien er konstant. Overflaten på tanken vil imidlertid ikke øke helt proporsjonalt med volumet. Økningen i tankens overflate når volumet blir større vil avhenge av forholdet mellom høyde og diameter. Et praktisk aspekt man bør ta hensyn til er at en voluminøs tank krever en større investering i tillegg til at den tar opp mer plass. Samtidig er det ønskelig med en tank som rommer ganske mye forbruksvann i bruksperioden. På bakgrunn av de ovennevnte grunnene kan en tank på 200 liter være en god løsning.

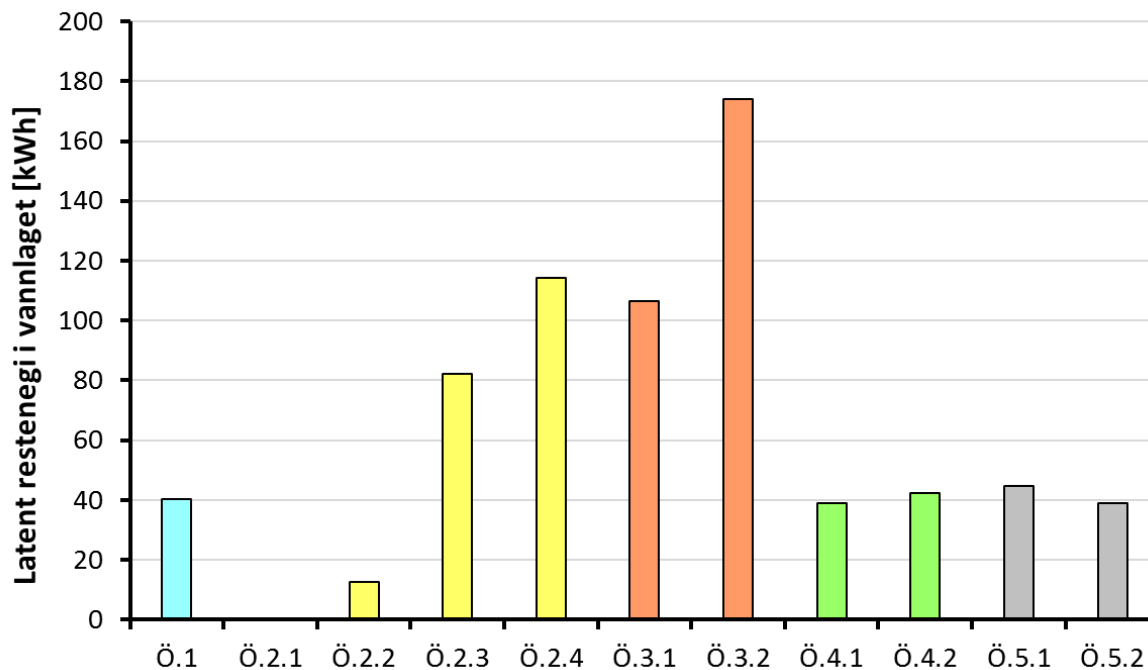
Figur 4.66 viser forskjellen i restenergi mellom scenario Ö.5.1, Ö.1 og Ö.5.2 som har ulike isolasjonstykkelser rundt vanntanken.



Figur 4.66: Latent restenergi for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

Fra figur 4.66 kan man se at tanken med 5 cm isolasjon har den største latente restenergien, og sikkerhetsmarginen avtar med økende isolasjonsmengde. Grunnen til dette er at varmetapet fra tanken øker for tynnere isolasjonstykkelser, og dermed er det logisk at en mindre andel av vannlaget fryser slik som resultatene viser. Med mindre isolasjon vil temperaturen i tanken synke raskere, og varmt vann fra perioder med mye sol vil ikke kunne lagres like lenge. Resultatene tyder imidlertid på at et høyere varmetap fra tanken er fordelaktig i dette tilfellet. Årsaken er sannsynligvis at den lille varmemengden som produseres av solfangeren om vinteren utnyttes bedre når isolasjonen er tynnere. Fra figur 4.4 i delkapittel 4.1 kan man se den direkte normale solinnstrålingen gjennom året i Östersund. Den lille solinnstrålingen i januar kan utnyttes til å produsere litt varmtvann. En annen fordel med en mindre isolasjonstykkelse er også at man sparer plass.

En sammenlikning av den latente restenergien for alle scenarioene er presentert i figur 4.67.

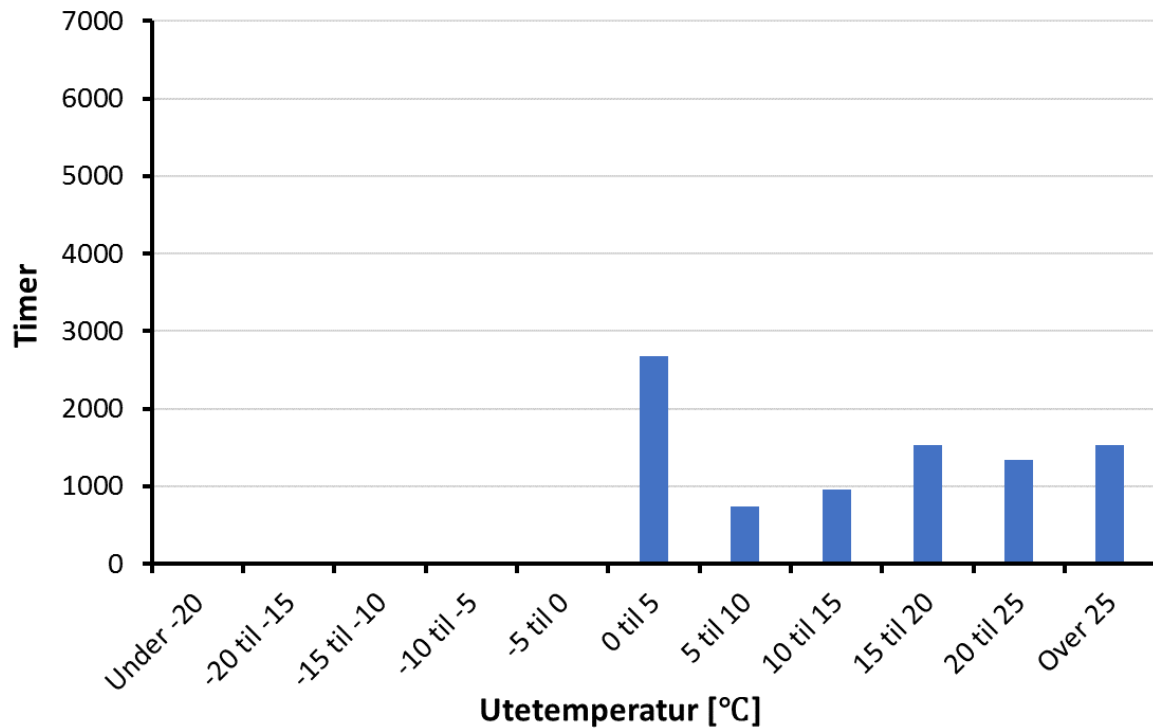


Figur 4.67: Latent restenergi for alle scenariene i Östersund

Fra figur 4.67 kan man observere at forskjellen i restenergi er relativt liten mellom scenario Ö.4.1, Ö.4.2, Ö.5.1 og Ö.5.2. Disse scenariene representerer ulike tankstørrelser og forskjellige isolasjonstykkelser rundt vanntanken. Det er større variasjon mellom scenario Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3, Ö.2.4, Ö.3.1 og Ö.3.2 som har ulike isolasjonstykkelser rundt den indre sonen og forskjellig tykkelser på vannlaget. Det er derfor tydelig at de to sistnevnte parameterne har størst innvirkning på den latente restenergien i vannlaget.

En fordel med en mindre vanntank og tynnere isolasjon rundt den er at mindre plass kreves. Tynnere isolasjon rundt tanken viste seg også å gi høyere restenergi i vannlaget. Ettersom endringene i disse to parameterne ikke ser ut til å påvirke vannlaget i stor grad, kan det se ut til at scenariene med 150 eller 200 liters tank med 5 cm isolasjon rundt kan være gode løsninger. En fordel med en tank på 200 liter er at den rommer mer forbruksvann i bruksperioden. Scenario Ö.5.1 har en restenergi på 41 kWh som gir en god sikkerhetsmargin. En stor del av vannlaget er også utnyttet. Dette scenariet kan derfor se ut til å være en fornuftig løsning.

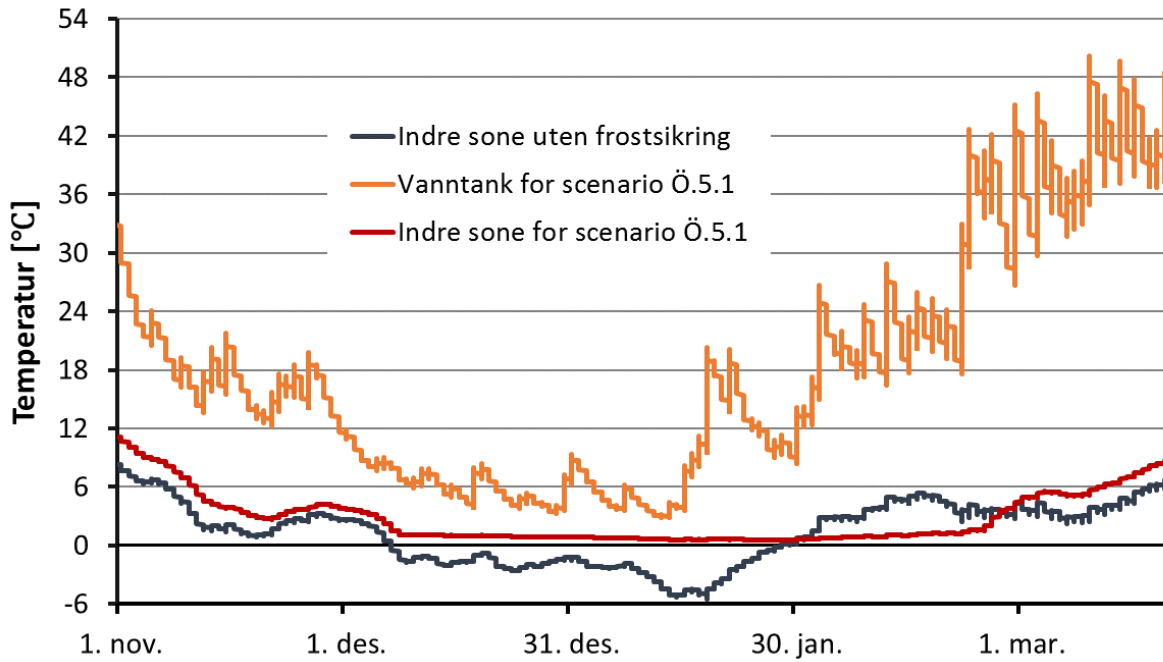
I figur 4.68 er frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario Ö.5.1 presentert.



Figur 4.68: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario Ö.5.1

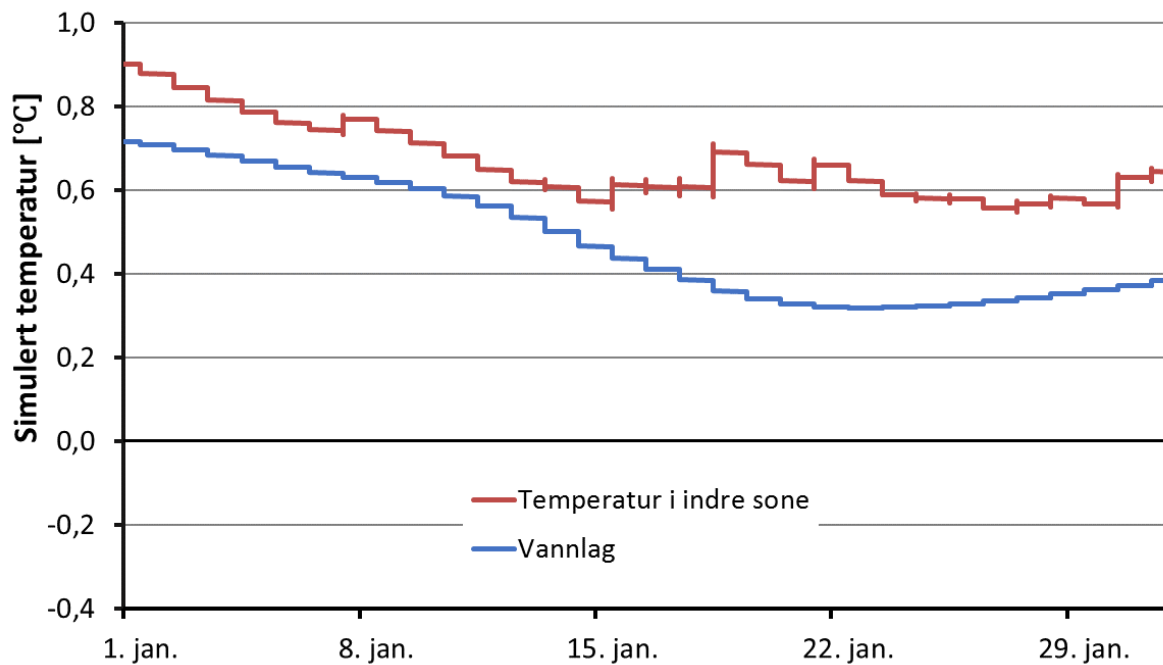
Fra figur 4.68 er det mulig å se at det ikke er noen timer under 0 °C for scenario Ö.5.1. Frostsikringsmetoden hindrer dermed lufttemperaturen i den indre sonen i å falle under frysepunktet. Ö.5.1 har også en sikkerhetsmargin i vannlaget, og risikoen for frostskaader er derfor svært liten.

Figur 4.69 viser simulert temperatur i vannlaget og temperatur i indre sone for scenario Ö.5.1. I tillegg er temperaturen i indre sone uten oppvarming og frostsikring lagt inn. Denne simuleringen har 7.5 cm isolasjon rundt den indre sonen.



Figur 4.69: Temperatur i tanken og i indre sone for scenario Ö.5.1, og i indre sone uten frostsikring

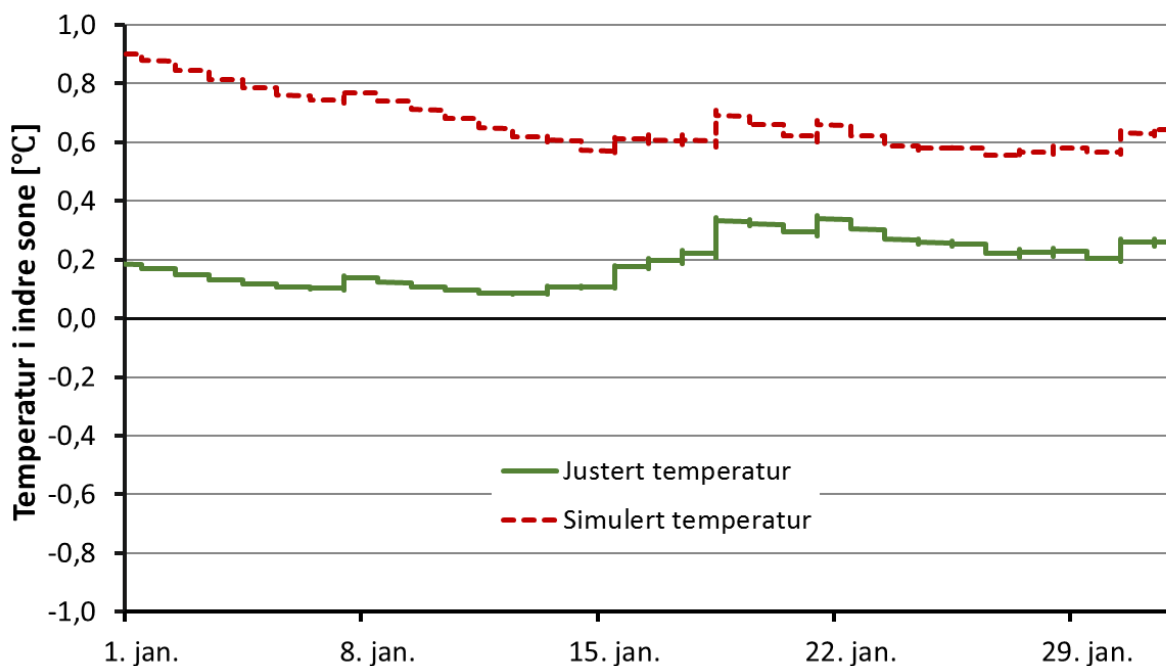
Figur 4.70 illustrerer hvordan vannlaget hindrer temperaturen i den indre sonen i å synke under 0 °C.



Figur 4.70: Simulert temperatur i vannlag og lufttemperatur i indre sone for scenario Ö.5.1

Figur 4.70 viser forskjellen mellom den simulerte temperaturen i vannlaget og lufttemperaturen i den indre sonen. Som tidligere nevnt var det nødvendig å la faseendringen

for vannet skje i et temperaturintervall mellom 0 og 1 °C for å få simuleringsprogrammet til å fungere. Dette påvirker simuleringsresultatene ettersom overgangen fra is til vann skjer ved en konstant temperatur på 0 °C i virkeligheten. For å få et mer realistisk bilde av lufttemperaturen i den indre sonen kan man justere den ved å trekke fra den simulerte temperaturen i vannlaget mellom 0 og 1 °C. Dette er gjort i figur 4.71. Denne justerte lufttemperaturen vil være enda mer virkelighetsnær, men den vil fortsatt ikke være helt korrekt ettersom den simulerte temperaturen i vannlaget manuelt er trukket fra.



Figur 4.71: Simulert og justert temperatur i den indre sonen for scenario Ö.5.1

Den justerte lufttemperaturen som kan observeres i figur 4.71 ligger litt over 0 °C gjennom hele januar, og man kan dermed anta at sanitærinstallasjonene i den indre sonen ikke fryser. Den horisontale temperaturlinjen for 0 °C tilsvarer temperaturen i vannlaget. Så lenge lufttemperaturen i den indre sonen er høyere enn temperaturen i vannlaget vil en andel av vannet fremdeles være flytende. Så selv om lufttemperaturen så vidt er over 0 °C antar man at dette er tilstrekkelig for å holde sanitærinstallasjonene frostfrie.

4.4.5.2 Vurdering av frostsikringsmetoden i Tjøme

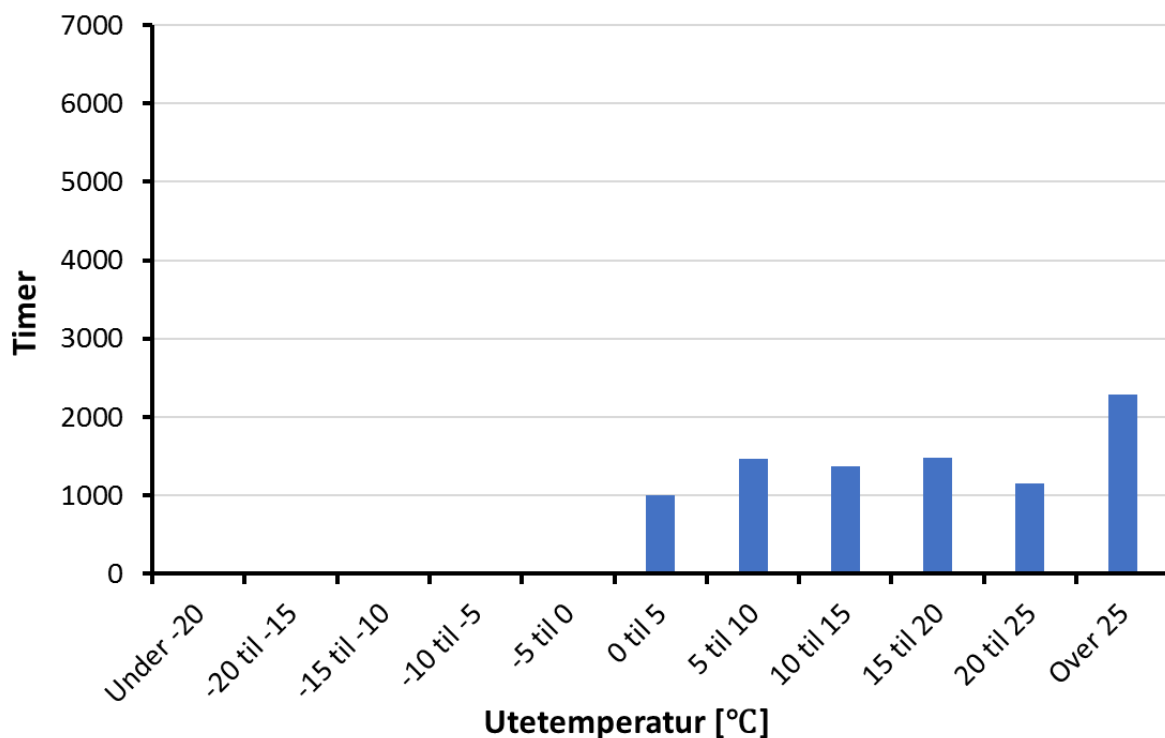
Som nevnt tidligere er simuleringene med klimadata fra Tjøme er gjort uten vannlag. Dermed er minimumstemperaturen i den indre sonen brukt som sammenlikningsgrunnlag. I figur 4.52 ble denne temperaturen presentert for alle scenariene i Tjøme. Fra figuren var det mulig å observere at minimumstemperaturen for alle scenariene lå rett over 0 °C. Videre så det ut til at

det var fordelaktig med tynn isolasjon rundt vanntanken. Scenario T.4.1 har en isolasjonstykkelse på bare 1 cm rundt tanken, og denne simuleringen kan være en god løsning.

Klimafilen som er brukt representerer et typisk år i Tjøme. Resultatene indikerer at de utvalgte verdiene på parameterne holder temperaturen i den indre sonen over 0 °C. Men, dersom det blir en svært kald vinter vil det sannsynligvis bli minusgrader i den indre sonen, noe som kan føre til frostskafer på rør og sanitærinstallasjoner. Derfor bør man finne en løsning som kan tåle en meget kald vinter.

En mulighet kan være å installere et 1 cm vannlag rundt den indre sonen som sikkerhet. Denne tykkelsen vil gi omtrent lik sikkerhetsmargin som den andelen av vannlaget i Östersund som fortsatt er flytende for scenario Ö.5.1, bare litt mer. Alternativt kan man benytte en selvstyrt parafinovn eller liknende. Denne kan programmeres til å skru seg på når temperaturen i den indre sonen faller under 1 °C.

Figur 4.72 viser frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario T.4.1.



Figur 4.72: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario T.4.1

Fra figur 4.72 er det mulig å observere at det ikke er noen timer under 0 °C for scenario T.4.1. I Tjøme var det jo ingen timer under frysepunktet uten oppvarming og frostsikring heller.

Men, med frostsikringsmetoden og sikkerhetsmarginen implementert vil sannsynligheten for frostskafer i løpet av en ekstra kald vinter være minimert.

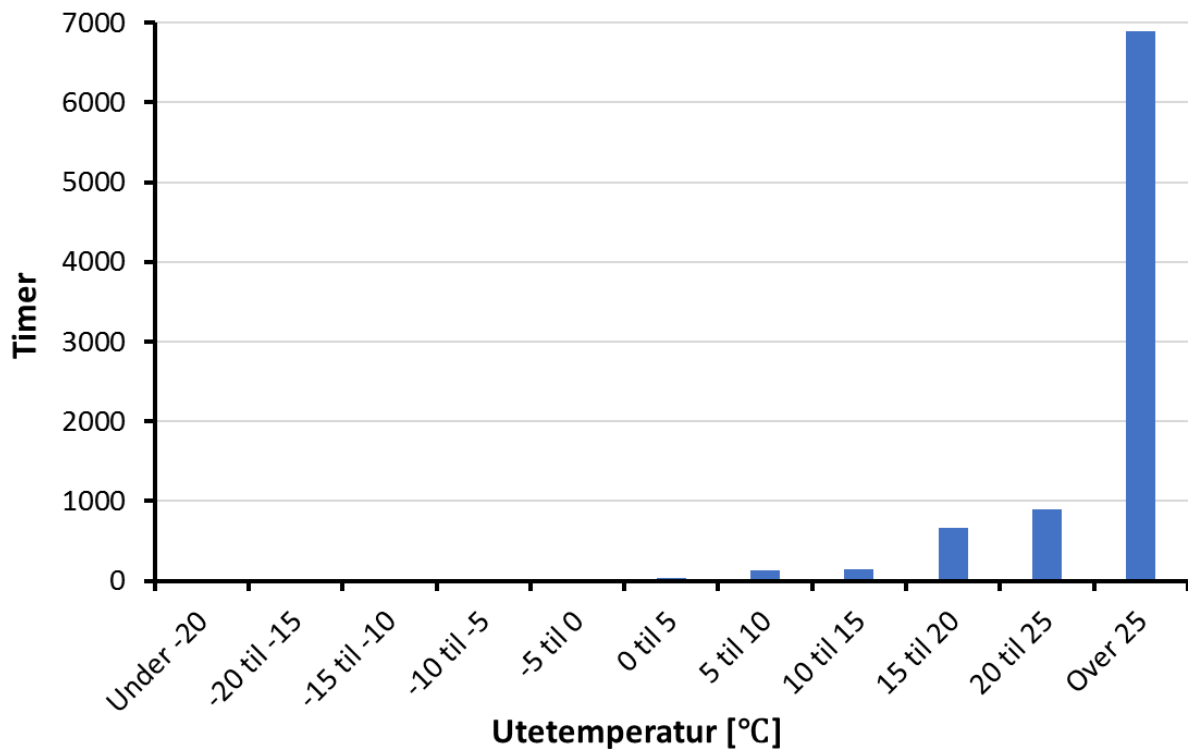
4.4.5.3 Vurdering av frostsikringsmetoden i Calgary

Scenariene fra Calgary ble også simulert uten vannlag, og de blir derfor sammenliknet på bakgrunn av minimumstemperaturen i den indre sonen. Fra figur 4.54 kan man se denne temperaturen for alle scenariene. Ut ifra figuren er det tydelig at det er nødvendig med en enda større vanntank og solfanger i Calgary enn i Östersund og Tjøme. Dette er sannsynligvis på grunn av at Calgary har en enda kaldere vinter enn de andre to stedene, samtidig som solforholdene er bedre. Dermed kan solinnstrålingen utnyttes ved å benytte en stor solfanger og tank.

Videre viser figur 4.54 at det også i Calgary er hensiktsmessig med lite isolasjon rundt vanntanken. Scenario C.4.1 har bare 1 cm isolasjon rundt vanntanken, og det er tydelig at dette er fordelaktig sammenliknet med scenariene med mer isolasjon rundt tanken. Dette scenariet kan derfor være en hensiktsmessig løsning.

Fra figur 4.54 ser man at alle scenariene fra Calgary har en minimumstemperatur i den indre sonen på over 0 °C, bortsett fra C.2.1. Det ser derfor ut til at de fleste scenariene er løsninger som gir frostfrie forhold for typiske år. Man bør imidlertid også ta høyde for at det kan bli en svært kald vinter. Som i Tjøme kan det også være hensiktsmessig å legge et 1 cm vannlag rundt den indre sonen i Calgary. Dette blir da en sikkerhetsmargin slik at en meget kald periode kan håndteres. Sannsynligvis vil det være en fordel å installere et tykkere vannlag i Calgary enn i Tjøme ettersom vinteren er kaldere i Calgary. Men, for sammenlikningens skyld er det praktisk å legge til et 1 cm tykt vannlag som sikkerhetsmargin for begge stedene.

Figur 4.73 viser frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario C.4.1.

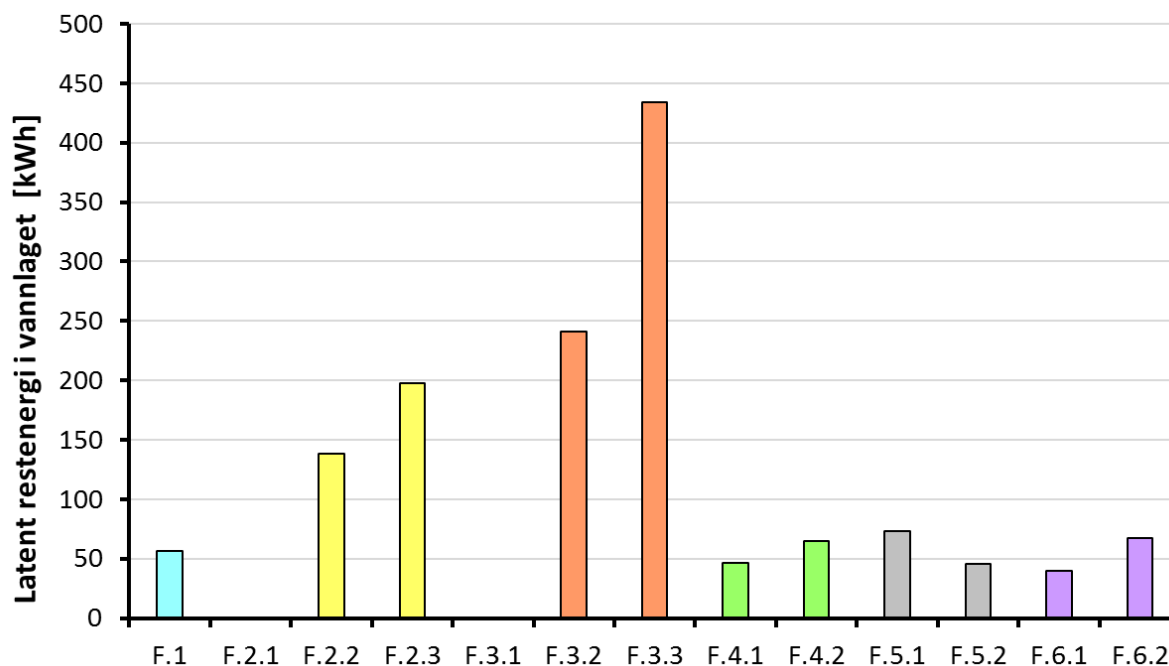


Figur 4.73: Frekvens av temperaturen i den indre sonen for scenario C.4.1

I figur 4.73 er det mulig å observere at det ikke er noen timer under 0 °C for scenario C.4.1. Dermed hindrer frostsikringsmetoden lufttemperaturen i den indre sonen i å falle under frysepunktet. Dersom en sikkerhetsmargin i tillegg implementeres vil risikoen for frostskafer på sanitærinstallasjoner være minimal.

4.4.5.4 Vurdering av frostsikringsmetoden i Fairbanks

For simuleringene fra Fairbanks er den latente restenergien beregnet for alle scenariene. Dette kan observeres i figur 4.74.

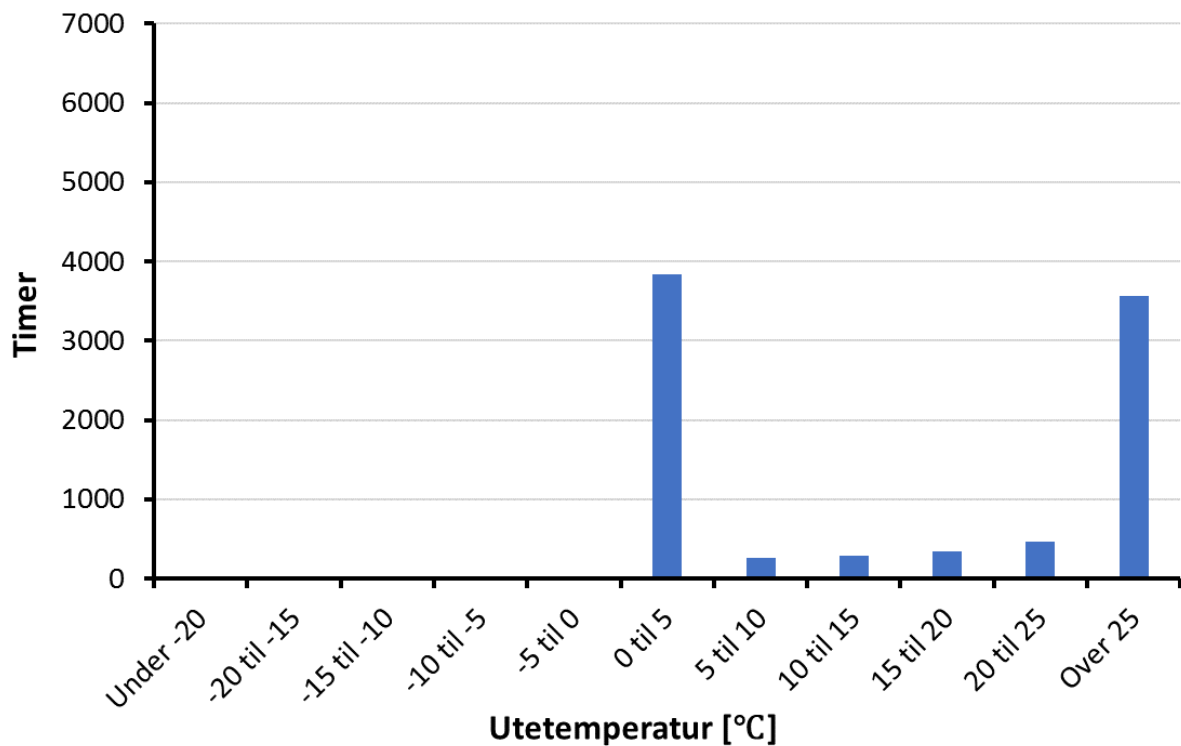


Figur 4.74: Latent restenergi for alle scenariene i Fairbanks

Fra figur 4.74 kan det observeres at den latente restenergien varierer en del mellom de ulike scenariene. Scenario F.2.2 og F.2.3 har henholdsvis 25 og 30 cm isolasjon, mens resten har 20 cm. Ettersom disse to scenariene har såpass høy latent restenergi er det tydelig at mye isolasjon rundt den indre sonen har stor innvirkning på vannlaget. Denne tendensen er tydelig de andre stedene også. Videre har scenario F.3.2 og F.3.3 11 og 14 cm vannlag, respektivt. De andre simuleringene har 8 cm. Dermed er den totale latente energien i vannlaget større, noe som gjør at restenergien blir høy slik man ser i figuren.

Videre kan det se ut til at det også i Fairbanks er en fordel å ha lite isolasjon rundt varmtvannstanken. Men, som diskutert tidligere fører tynn isolasjon rundt tanken til at temperaturen i den blir svært lav. Det er ikke ønskelig at temperaturen i tanken faller så mye som den gjør i scenario F.5.1. Man vil ha en tank som holder en litt høyere temperatur i de kaldeste periodene ettersom det nesten ikke blir noe varmetap fra tanken når den har en temperatur på rundt 0 °C. Derfor er det hensiktsmessig med en del isolasjon rundt vanntanken i Fairbanks slik at den holder et litt høyere temperaturnivå. For scenario F.5.2 holder tanken fortsatt 1 °C på det laveste. Dette vil være fordelaktig med tanke på at en enda kaldere vinter enn det klimadataene representerer kan forekomme. F.5.2 har en isolasjonstykkelse på 10 cm rundt tanken, og kan være en god løsning for Fairbanks. F.5.2 har lavere latent restenergi enn F.5.1, så dette viser at restenergien i vannlaget ikke er den beste måten å finne en god løsning på i Fairbanks.

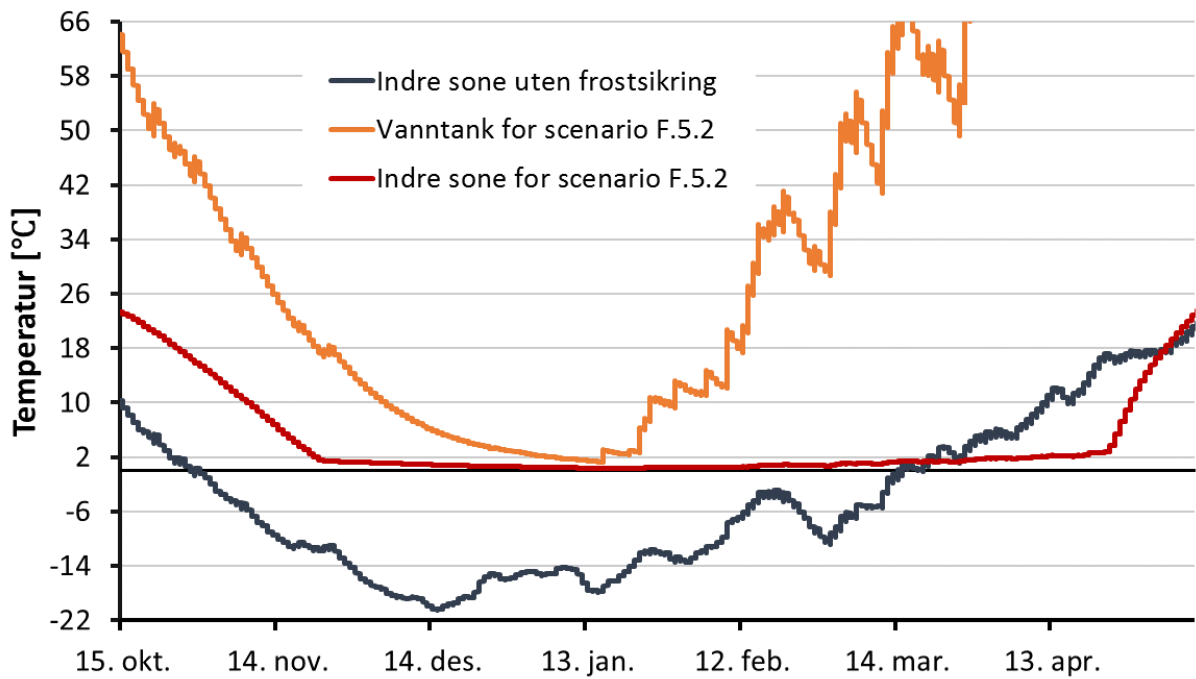
Figur 4.75 viser frekvensen av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario F.5.2.



Figur 4.75: Frekvens av lufttemperaturen i den indre sonen for scenario F.5.2

I figur 4.75 kan man se at for scenario F.5.2 er det ingen timer under 0 °C. Det er derfor tydelig at frostsikringsmetoden holder lufttemperaturen i den indre sonen over frysepunktet. Dermed forhindres frostskafer på sanitærinstallasjoner for et typisk år, og med sikkerhetsmarginen i vannlaget antas det at dette er tilfellet for ekstreme år også.

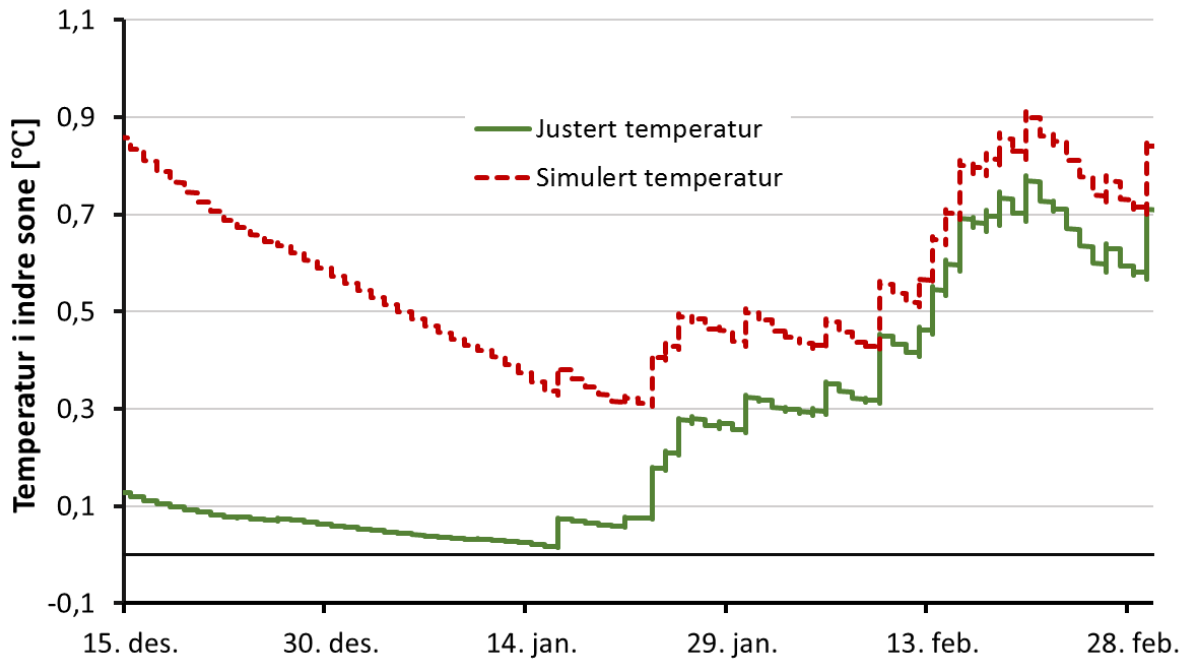
Figur 4.76 viser temperaturforløpet i den indre sonen og i varmtvannstanken for scenario F.5.2. Temperaturen i den indre sonen uten oppvarming og frostsikring er også med i figuren for sammenlikningens skyld. Denne simuleringen har 7.5 cm isolasjon rundt den indre sonen.



Figur 4.76: Temperatur i tanken og i indre sone for scenario F.5.2, og i indre sone uten frostsikring

I figur 4.76 ser man at frostsikringsmetoden med vannlag, tank og solfanger fører til at temperaturen i den indre sonen holder seg over frysepunktet gjennom hele den lange og kalde vinteren i Fairbanks.

Figur 4.77 viser den justerte temperaturen i den indre sonen for scenario F.5.2.



Figur 4.77: Simulert og justert lufttemperatur i indre sone for scenario F.5.2

Fra figur 4.77 kan man se at den justerte temperaturen i den indre sonen er svært nær 0 °C på det laveste, men den holder seg over. Frostsikringsløsningen kan også tåle enda kaldere vintre enn denne ettersom det er mer kapasitet i vannlaget. Isolasjonen rundt tanken gjør også at den ikke kjøles helt ned, noe som vil være hensiktsmessig gjennom en svært kald periode.

4.4.5.5 Oppsummering og sammenlikning av de ulike stedene

I denne masteroppgaven er frostsikring av sanitærinstallasjoner og rørsystemer i en fritidsbolig blitt undersøkt. En modell av bygningen er blitt simulert med klimadata fra fire ulike steder med meget varierende klima. Östersund er en by med en relativt kald vinter og ettersom den ligger ganske langt nord er det relativt lite solinnstråling om vinteren. Tjøme har et klima som mye mildere ettersom kommunen ligger ved kysten i Oslofjorden.

Calgary er stedet som ligger lengst sør, og har derfor ganske gode solforhold om vinteren. Byen ligger imidlertid høyt over havet, noe som bidrar til en enda kaldere vinter enn i Östersund i tillegg til en utetemperatur som varierer mye gjennom døgnet. Det absolutt kaldeste stedet er Fairbanks som har en svært lang og kald vinter. Videre ligger Fairbanks langt nord og har derfor lite sol om vinteren.

For å frostsikre fritidsboligen i Östersund var det tilstrekkelig med en relativt liten solfanger på 4 m² og en tank på 200 liter. Vannlaget på 2,5 cm ble utnyttet ganske mye, og for scenario Ö.5.1 var det omtrent 0,8 cm igjen av det som fortsatt var flytende. Dette scenariet hadde også

ganske tynn isolasjonen rundt vanntanken, noe som viste seg å være hensiktsmessig. I Tjøme kunne løsningen fra Östersund, men uten vannlag, benyttes ettersom vinteren er mild. Lite isolasjon rundt tanken var en fordel her også. Det kan imidlertid bli en kald vinter i Tjøme også, så det er lurt å installere en sikkerhetsløsning. Dette kan være et vannlag på rundt 1 cm.

I Calgary ser det også ut til at den indre sonen kan holde seg over frysepunktet uten et vannlag. Her var imidlertid isolasjonen rundt sonen litt tykkere, og det var nødvendig med en større vanntank og solfanger. Dermed utnyttet de gode solforholdene. Det var nyttig med tynn isolasjon rundt tanken her også. En sikkerhetsløsning bør være tilgjengelig i Calgary i tilfelle det blir svært kaldt. Med et vannlag på rundt 1 cm rundt den indre sonen vil man være mye bedre forberedt på en veldig kald vinter.

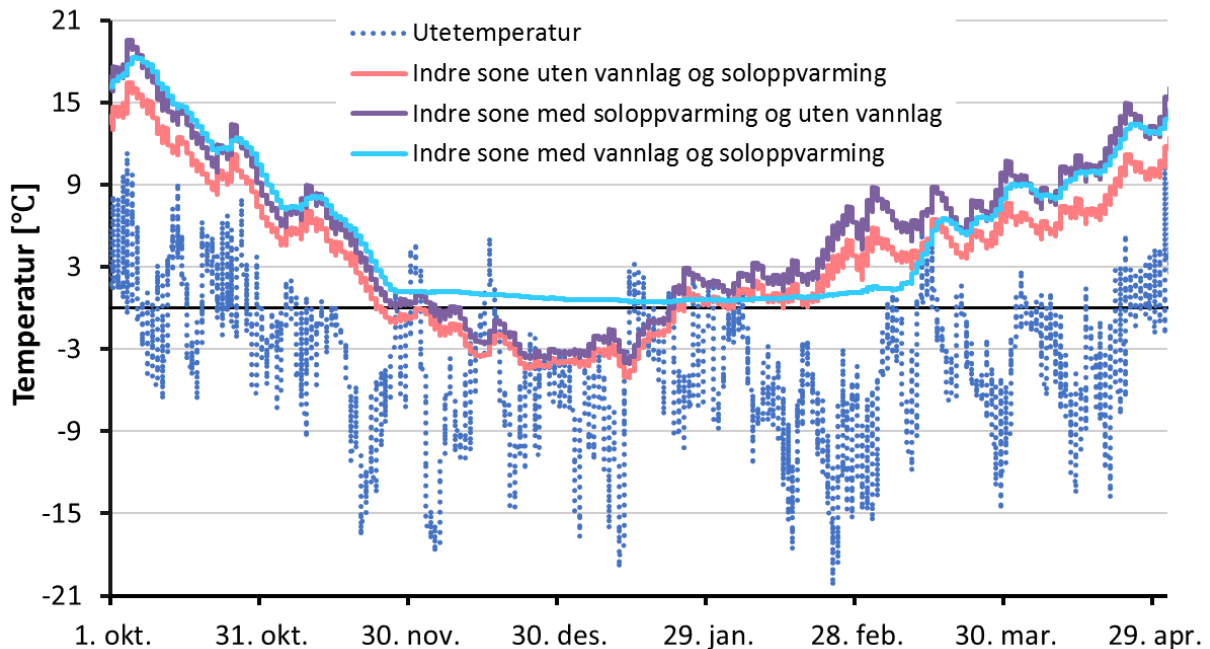
I Fairbanks var det nødvendig å øke isolasjonen og vannlaget rundt den indre sonen betraktelig i forhold til i Östersund. Videre var det nødvendig med en veldig stor vanntank og solfanger. Dette virker rimelig ettersom Fairbanks har et såpass ekstremt klima med en svært lang og kald vinter, og lite sol gjennom denne perioden. Videre kom det frem at det var hensiktsmessig med tykkere isolasjon rundt tanken for Fairbanks. Med mer isolasjon avkjøles tanken saktere, noe som er en fordel når vinteren er såpass ekstrem og det er lite solinnstråling i de kaldeste periodene.

4.4.4.6 Frostsikring av fritidsboliger i fjellområder i Norge

Det opprinnelige hovedtemaet i denne oppgaven, og i masteroppgavene som ble presentert tidligere, er frostsikring av sanitærinstallasjoner i fritidsboliger fjellområder i Sør-Norge. Klimadata fra Östersund ble valgt for mange år siden da man skulle begynne å bruke programmet ESP-r til å simulere fritidsboligen. Av få tilgjengelige klimafilere var dette stedet som hadde et klima som liknet mest på de aktuelle områdene. Nå finnes det et bedre utvalg av klimadata, og gjennom IDA ICE kan man få tilgang til en klimafil for Fokstua som er et lite område på Dovrefjell med en skystasjon og en fjellgård. Breddegraden til Fokstua er 62.2° N og det ligger 974 meter over havet. Östersund ligger altså litt lengre nord og en del lavere over havnivå. Det er derfor rimelig å anta at solforholdene er litt bedre om vinteren for Fokstua, samtidig som utetemperaturen muligens er litt lavere.

En simulering er kjørt med klimadata fra Fokstua. Tanken var å bruke den løsningen for fritidsboligmodellen som ble vurdert for å være mest hensiktsmessig i Östersund. På den måten kan man sammenlikne hvordan frostsikringsmetoden fungerer for de to stedene. Simuleringen med fritidsboligmodellen for scenario Ö.5.1 fungerte imidlertid ikke da den ble

kjørt med klimafilen fra Fokstua. Derfor ble det besluttet å simulere med modellen fra scenario Ö.1 isteden. De mest relevante resultatene fra simuleringen av hyttemodellen i Fokstua er presentert i figur 4.78.



Figur 4.78: Temperaturer fra simuleringen i Fokstua

Fra figur 4.78 er det mulig å se at lufttemperaturen i den indre sonen med vannlag og soloppvarming holder seg over 0 °C gjennom hele vinteren. Uten vannlag, men med soloppvarming, faller den indre sonen under frysepunktet store deler av vinteren. Dersom man også fjerner den soloppvarmede vanntanken blir temperaturen i den indre sonen enda litt lavere. I figuren kan også utetemperaturen i Fokstua observeres, og det er tydelig at det er mange timer under 0 °C gjennom vinterhalvåret.

Minimumstemperaturen i den indre sonen med klimadata fra Fokstua er 0.41 °C. Dette er veldig likt den tilsvarende temperaturen med klimadata fra Östersund som ligger på 0.49 °C. Den indre sonen blir altså litt kaldere i Fokstua, men bare 0.08 °C. Årsaken til at temperaturen blir noe lavere er sannsynligvis at Fokstua ligger mye høyere over havet, og at det derfor er litt kaldere om vinteren.

Verdiene til de to minimumstemperaturene illustrerer at frostsikringsmetoden med vannlag, solfanger og vanntank som er dimensjonert for Östersund fungerer godt i Fokstua også. Antageligvis vil den også fungere for de fleste andre fjellområder i Sør-Norge ettersom disse har et relativt likt klima, eller litt varmere, enn det Fokstua har. Dette betyr at det er rimelig å

anta at å benytte seg av klimadata fra Östersund for å undersøke metoder for å oppnå frostfrie sanitærinstallasjoner i fjellområder i Sør-Norge er en tilfredsstillende løsning.

5 Diskusjon

Det flere antakelser og forenklinger som er gjort i forbindelse med simuleringene av fritidsboligmodellen, og dette er det viktig å være klar over når resultatene vurderes. Blant annet var det nødvendig at faseendringen fra fast til flytende for vannlaget gikk over et temperaturintervall på 1 °C for å få IDA ICE til å fungere. Dette er noe som vil gjøre resultatene mindre virkelighetsnære ettersom vann i realiteten fryser ved en konstant temperatur på 0 °C. Man får imidlertid et mer realistisk bilde av resultatene ved å trekke den simulerte temperaturen i vannlaget fra lufttemperaturen i den indre sonen.

Det er også slik at entalpien til et PCM materiale ikke er konstant når det endrer fase. Det betyr at faseendingen ikke vil foregå lineært (Dolado et al., 2011). For vann vil isdannelsen gå litt saktere til å begynne med, og mot slutten vil det gå raskere. I simuleringene av hyttemodellen foregår fryse- og smelteprosessen til vannlaget lineært mellom 0 og 1 °C, noe som er en forenkling. Men, den totale smelteenergien i vannlaget vil uansett være den samme, og hele laget må fryse før lufttemperaturen i den indre sonen faller under 0 °C. Dermed vil ikke denne forenklingen føre til at det er en risiko for at det ville blitt frost i den indre sonen selv om resultatene fra simuleringene forteller at det ikke blir det. I tillegg gjør den valgte måten å modellere vannlaget på at det blir enkelt og oversiktlig å sammenlikne de forskjellige simuleringene, selv om forskjellene mellom dem ville vært litt annerledes i praksis. I kapittel 2.1 «Frysing av vann» kom det frem av vann som fryser i rør vanligvis blir litt underkjølt før det endrer fase og fryser til is. Videre har isen i rør som blir sprenget av ingen ekspansjonsmulighet. Dette må tillates for vannlaget rundt den indre sonen.

Videre vil en simulering aldri kunne gi et helt nøyaktig bilde av virkeligheten. Det er knyttet usikkerhet til mange sider av et simuleringsverktøy som IDA ICE, og det er flere antagelser og forenklinger som ligger til grunn for beregningene som gjøres i programmet. For eksempel tas det utgangspunkt i at det er en uniform lufttemperatur i de ulike sonene (Janssens et al., 2008). I praksis vil det mest sannsynlig være små temperaturforskjeller mellom de ulike stedene i et rom.

Man bør også være klar over hvordan klimafilene som blir brukt er laget. I denne oppgaven er klimafilene som er benyttet av ulike typer, men alle representerer typiske og gjennomsnittlige år. Med tanke på at det forsøkes å finne en god måte å oppnå en frostfri hytte på, som også kan håndtere ekstreme år, hadde det kanskje være bedre med klimadata for et svært kaldt år. Dette var imidlertid ikke tilgjengelig. Derfor er det heller blitt vurdert hvordan man kan oppnå

en tilstrekkelig sikkerhetsmargin i tilfelle en meget kald vinter skulle forekomme. Om den sikkerheten som er blitt vurdert for å være tilstrekkelig faktisk tåler et år med en veldig lav utetemperatur er det vanskelig å være helt trygg på.

Et annet aspekt man bør ta hensyn til er at modellen av fritidsboligen litt forenklet. Den indre sonen er antatt for å være tilnærmet infiltrasjonsfri, noe som kan være vanskelig å få til i praksis. Videre blir en fritidsbolig vanligvis bygget med flere vinduer og dører i tillegg til en trapp ned til kjelleren. Men, ettersom dette er knyttet til de ytre sonene vil de nok ikke ha en stor innvirkning på frostsikringen av den indre sonen.

6 Konklusjon

Reduksjon av klimagassutslipp er et viktig tema i verden i dag, og å begrense energiforbruket i bygningssektoren er et sentralt tiltak for at dette skal oppnås. Energieffektiv frostsikring av ubebodde bygninger, spesielt fritidsboliger, vil bidra til å nå dette målet.

Oversikten over tidligere masteroppgaver som har analysert ulike løsninger for frostsikring av ubebodde bygninger viste at det er meget fordelaktig med en indre isolert sone som huser sanitærinstallasjoner. Denne løsningen gjør frostsikringen av fritidsboligen enklere og mer energieffektiv ettersom et mye mindre volum må varmes opp. Flere oppgaver viste at dersom elektrisk oppvarming benyttes så reduseres energibruken betydelig når hytta har en slik indre sone. Videre er flere ulike konseptløsninger for en fritidsbolig som er uavhengig av elektrisitetsforsyning analysert, men ingen av disse er vurdert for å være helt tilfredsstillende. En LCA er også blitt utført på ulike konsepter for fritidsboligen, og resultatet fra denne viste at en hytte bygget i heltre på påler vil gi et meget lavt CO₂-utslipp.

Simuleringen av fritidsboligmodellen uten noen form for oppvarming viste at temperaturen i den indre sonen falt under frysepunktet i Östersund, Calgary og Fairbanks. Det var dermed tydelig at det var behov for frostsikring av bygningen. I Tjøme var minimumstemperaturen i den indre sonen rett over frysepunktet. Men, ettersom klimadataene representerer typiske år bør et tiltak for frostsikring implementeres som sikkerhetsmargin. En elektrisk ovn ble deretter simulert som oppvarmingskilde. Energibruken ble kraftig redusert når bare den indre sonen ble varmet opp sammenliknet med å holde hele fritidsboligen over 10 °C. Videre var energibruken for å frostsikre den indre sonen varierende for de ulike stedene, og den var desidert høyest for Fairbanks.

Simuleringene av bygningen med vannlag, termisk solfanger og vanntank fungerte godt. I Östersund ble scenario Ö.5.1 vurdert for å være den mest hensiktsmessige løsningen. Dette scenariet har vannlag på 2.5 cm, 7.5 cm isolasjon rundt den indre sonen og en vanntank på 200 liter med 5 cm isolasjon rundt seg. En stor andel av vannlaget utnyttes for dette alternativet, samtidig som en solid mengde latent restenergi er tilgjengelig som sikkerhetsmargin. Lite isolasjon rundt vanntanken viste seg å utnytte solinnstrålingen om vinteren på en god måte.

Simuleringene i Tjøme og Calgary ble gjort uten vannlag. Grunnet det milde klimaet i Tjøme var en god løsning den samme fritidsboligmodellen som i Ö.5.1 bare uten vannlag og med 1 cm isolasjon rundt tanken. Som sikkerhetsmargin bør imidlertid et 1 cm vannlag eller en

selvstyrende oppvarmingskilde implementeres. I Calgary var det nødvendig med en enda større vanntank og solfanger, noe som utnytter de gode solforholdene i byen. Også her var det en fordel med tynn isolasjon rundt vanntanken. En tilsvarende sikkerhetsløsning som i Tjøme ble vurdert for å være hensiktsmessig.

Resultatene med klimadata fra Fairbanks viste at det var nødvendig med mye isolasjon rundt den indre sonen, et tykt vannlag og en stor vanntank med mye isolasjon rundt. Simuleringene i byen viste at temperaturen i vanntanken ble veldig lav i løpet av den lange og kalde vinteren. For å holde på varmen i tanken best mulig var det en fordel med ganske tykk isolasjon.

En simulering ble også gjort i Fokstua, et sted som representerer fjellområder i Sør-Norge. Frostsikring av fritidsboliger i dette området er jo det som opprinnelig har vært hovedtemaet i denne masteroppgaven, og i oppgavene som er beskrevet i oversikten over tidligere arbeid. Å benytte klimadata fra Östersund ble gjort ettersom denne byen var det beste tilgjengelige alternativet da den første masterstudenten skulle analysere fritidsboligkonseptet. En god løsning for hyttemodellen i Östersund ble simulert med klimadata fra Fokstua. Resultatene viste at dette fritidsboligkonseptet fungerte godt i Fokstua også, og det er dermed rimelig å anta at det vil fungere i andre fjellområder i Sør-Norge.

Det konkluderes med at å frostsikre en fritidsbolig med vannlag, termisk solfanger og vanntank ser ut til å være en meget god og robust løsning ettersom behovet for tilknytning til elektrisitetsnettet og automatisk igangsetting av alternative oppvarmingsløsninger elimineres. Videre kan en hytte med frostsikringsmetoden implementert være bygget i heltre og stå på påler for å minimere CO₂-utslippet gjennom bygningens livsløp ytterligere.

7 Videre arbeid

Å lage en prototype av fritidsboligen er en mulighet for å utvikle og teste frostsikringsmetoden med vannlag, solfanger og vanntank ytterligere. Da kunne man sett på hvordan denne frostsikringsmetoden hadde fungert i virkeligheten. Å bygge en slik fritidsbolig i ville krevd en del tid og ressurser, og en utfordring ville vært å finne en måte å legge inn et vannlag rundt den indre sonen. I et simuleringsprogram er det relativt enkelt å legge inn vann som et isolasjonslag, mens i en fysisk hytte ville det vært en god del vanskeligere. Å benytte metallrør som man legger rundt den indre sonen og fyller med vann kan være en løsning. Det er viktig at rørene er tette slik at vann ikke lekker ut. Videre er må vannet må ha plass til å ekspandere når det fyser.

Å holde den indre sonen infiltrasjonsfri vil også være en stor utfordring i en fysisk modell. Denne bør bygges svært tett for å minimere varmetapet til de ytre sonene.

For videre arbeid kan man også vurdere å lage en enda mer detaljert og nøyaktig modell av fritidsboligen i et simuleringsprogram. I de ytre sonene er det gjort en del forenklinger man kunne endret på, men samtidig har ikke disse sonene en stor innvirkning på frostsikringsmetoden men vannlag, solfanger og vanntank. Noen aspekter som kunne blitt forbedret er å legge inn en dør inn til den indre sonen. Denne døren må da være veldig tett og være lukket i den ubebodde perioden. Effekten av snø om vinteren er også noe som kunne blitt analysert.

Litteraturliste

- AKYURT, M., ZAKI, G. & HABEEBULLAH, B. 2002. Freezing phenomena in ice–water systems. *Energy Conversion and Management*, 43, 1773-1789.
- ANDRESEN, I. 2008. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon. *SINTEF Building and Infrastructure prosjektrapport*, 22.
- AURÅEN, I. K. 2013. *Modellering av varmeveksling med grunnen og analyse av energibruk for en frostsikker fritidsbolig med aktiv soloppvarming*. Master of science, NTNU.
- BEHZADI, S. & FARID, M. M. 2010. Energy storage for efficient energy utilization in buildings.
- BRATTEBERG, T. 2010. *LCA vurdering av konsepter for fritidsbolig med frostsikre sanitærinstallasjoner*. Master of science, NTNU.
- BØRSET, A. 2009. *Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre sone og soloppvarmet vannmagasin*. Master of science, NTNU.
- CABEZA, L. F., CASTELL, A., BARRENECHE, C. D., DE GRACIA, A. & FERNÁNDEZ, A. 2011. Materials used as PCM in thermal energy storage in buildings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 1675-1695.
- CUI, Y., XIE, J., LIU, J. & PAN, S. 2015. Review of Phase Change Materials Integrated in Building Walls for Energy Saving. *Procedia Engineering*, 121, 763-770.
- CURRIE, J., GARNIER, C., MUNEER, T., GRASSIE, T. & HENDERSON, D. 2008. Modelling bulk water temperature in integrated collector storage systems. *Building Services Engineering Research and Technology*, 29, 203-218.
- DOLADO, P., LAZARO, A., MARIN, J. M. & ZALBA, B. 2011. Characterization of melting and solidification in a real-scale PCM–air heat exchanger: Experimental results and empirical model. *Renewable Energy*, 36, 2906-2917.
- EBECO HEATING SOLUTIONS. *F-10 – NYHET!* [Online]. Available: <http://www.ebecoheating.no/frostbeskyttelse/f-10> [Accessed 12.09. 2017].
- ENERGYPLUS. *Weather Data for Simulation* [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather/simulation> [Accessed 11.12. 2017].
- ENERGYPLUS. *Weather Data Sources* [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather/sources> [Accessed 11.12. 2017].
- EQUA SIMULATION AB. *Climate Data Download Center* [Online]. Available: http://www.equaonline.com/ice4user/new_index.html [Accessed 19.11. 2017].
- EQUA SIMULATION AB. *IDA Indoor Climate and Energy* [Online]. Available: <http://www.equa.se/en/ida-ice> [Accessed 07.05. 2017].
- EQUA SIMULATION AB 2013. User Manual: IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5. EQUA Simulations AB.
- ERICSSON, B. 2006. *Fritidsboliger - utvikling og motiver for eierskap*. [Online]. Available: http://utmark.nina.no/portals/utmark/utmark_old/utgivelser/pub/2006-1/art/Ericsson_Utmark_1_2006.html [Accessed 23.05. 2017].
- EUROPEAN COMMISSION. *Climate strategies & targets* [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies_en [Accessed 23.05. 2017].
- FARID, M. M., KHUDHAIR, A. M., RAZACK, S. A. K. & AL-HALLAJ, S. 2004. A review on phase change energy storage: materials and applications. *Energy conversion and management*, 45, 1597-1615.
- FERNANDEZ, A., MARTÍNEZ, M., SEGARRA, M., MARTORELL, I. & CABEZA, L. 2010. Selection of materials with potential in sensible thermal energy storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94, 1723-1729.
- GOOGLE MAPS. Available: <https://www.google.no/maps/> [Accessed 2017].
- GORDON, J. R. 1996. An investigation into freezing and bursting water pipes in residential construction. Building Research Council. School of Architecture. College of Fine and Applied Arts. University of Illinois at Urbana-Champaign.

- GROSVOLD, R. 2016. *Slik slipper du frostsprengte rør og vannskader i vinterkulda* [Online]. Available: <https://www.abcnyheter.no/helse-og-livsstil/bolig-og-interior/2016/01/15/195193890/slik-slipper-du-frostsprengte-ror-og-vannskader-i-vinterkulda> [Accessed 05.09. 2017].
- GRÅBERGSVEEN, K. 2014. *Analyse av soloppvarming av varmelager i grunnen under fritidsbolig*. Master of science, NTNU.
- HAASE, M., ANDRESEN, I. & CENTRE, C. C. I. 2007. *Thermal mass concepts : state of the art*, Trondheim, SINTEF Building and Infrastructure.
- INTERNATIONAL CODE COUNCIL. 2006. *Degree Day and Design Temperatures* [Online]. Available: https://www2.iccsafe.org/states/virginia/plumbing/pdfs/appendix%20d_degree%20day%20and%20design%20temperatures.pdf [Accessed 10.11. 2017].
- JABER, S. & AJIB, S. 2011. Optimum design of Trombe wall system in mediterranean region. *Solar Energy*, 85, 1891-1898.
- JANSSENS, A., WOLOSZYN, M., RODE, C., SASIC-KALAGASIDIS, A. & DE PAEPE, M. 2008. From EMPD to CFD—overview of different approaches for Heat Air and Moisture modeling in IEA Annex 41. *IEA ECBCS Annex 41*, 9-20.
- KALAMEES, T. 2004. IDA ICE: the simulation tool for making the whole building energy and HAM analysis. *Annex*, 41, 12-14.
- KOMMUNAL LANDSPENSJONSKASSE (KPL). 2012. *Ikke la kulda ødelegge vannrørene* [Online]. Available: <https://www.mynewsdesk.com/no/pressreleases/ikke-la-kulda-oedelegge-vannroerene-819818> [Accessed 11.09. 2017].
- KUMANO, H., ASAOKA, T., SAITO, A. & OKAWA, S. 2007. Study on latent heat of fusion of ice in aqueous solutions. *International journal of refrigeration*, 30, 267-273.
- LAING, K. A. & LAING, J. N. 2003. Freeze protection for hot water systems. Google Patents.
- LØGE, R. 2014. *Modellering og analyse av energibruk for en frostsikker fritidsbolig med aktiv soloppvarming og varmelagring i grunnen* Master of science, NTNU.
- NOVAKOVIC, V., HANSEN, S. O., THUNE, J. V., WANGENSTEEN, I. & GJERSTAD, F. O. 2007. *Enøk i bygninger - effektiv energibruk*, Gyldendal Norsk Forlag AS.
- NOVO, A. V., BAYON, J. R., CASTRO-FRESNO, D. & RODRIGUEZ-HERNANDEZ, J. 2010. Review of seasonal heat storage in large basins: Water tanks and gravel–water pits. *Applied Energy*, 87, 390-397.
- PIHL, C. H. & AAMODT-HANSEN, I. 2012. *Slik unngår du frosne vannrør* [Online]. Available: <http://e24.no/privat/eiendom/slik-unngaar-du-frosne-vannroer/20302515> [Accessed 11.09. 2017].
- PINEL, P., CRUICKSHANK, C. A., BEAUSOLEIL-MORRISON, I. & WILLS, A. 2011. A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3341-3359.
- RIMSTAD, S. 2014. *Analyse av oppvarmingsalternativer for frostsikring av en fritidsbolig*. Master of science, NTNU.
- SHERBECK, J. & FETTE, N. 2015. Self-demolding ice mold and methods of use and automation. Google Patents.
- SIEMENS BUILDING TECHNOLOGIES. 2010. *Injusteringsprotokoll* [Online]. Available: http://www.varmevarden.se/assets/RVS46530_1-injusteringsprotokoll.pdf [Accessed 10.11. 2017].
- SINTEF BYGGFORSK. *Unngå vannskader på hytta* [Online]. Available: <https://www.sintef.no/globalassets/sintef-byggforsk/unnga-vannskader-pa-hytta.pdf> [Accessed 11.09. 2017].
- SINTEF BYGGFORSK. 2012. Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/204/klimadata_for_termisk_dimensjonering_og_frost_sikring.
- SMYTH, M., EAMES, P. C. & NORTON, B. 2001. Evaluation of a freeze resistant integrated collector/storage solar water-heater for northern Europe. *Applied Energy*, 68, 265-274.

- STANDARD NORGE 2001. Bygningers termiske egenskaper - Termisk dimensjonering av fundamenter for å unngå telehiv (ISO 13793:2001).
- STENE, J. 2005. Residential CO₂ heat pump system for combined space heating and hot water heating. *International Journal of Refrigeration*, 28, 1259-1265.
- TELNESET, M. 2014. *Fossilfri, frostsikker og energiautonom hytte: en mulighetsstudie*. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- TERRY, N., PALMER, J. & COOPER, I. 2012. Insulation and Thermal Storage Materials.
- URECON. *Design Ambient Temperature Suggestions – Above Ground* [Online]. Available: http://www.urecon.com/applications/municipal_ambient_above.html [Accessed 10.11.2017].
- VARIANT VVS. *Varmeteknikk* [Online]. Available: <http://byggebolig.no/imageoriginals/8215a2bc48464754ae96d2c463616a93.pdf> [Accessed 10.11.2017].
- XU, J., WANG, R. & LI, Y. 2014. A review of available technologies for seasonal thermal energy storage. *Solar Energy*, 103, 610-638.
- ZAMBOLIN, E. & DEL COL, D. 2010. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. *Solar Energy*, 84, 1382-1396.
- ZHOU, F., JI, J., CAI, J. & YU, B. 2017. Experimental and numerical study of the freezing process of flat-plate solar collector. *Applied Thermal Engineering*, 118, 773-784.

Vedlegg

Vedlegg A: Ytterligere resultater fra simuleringer

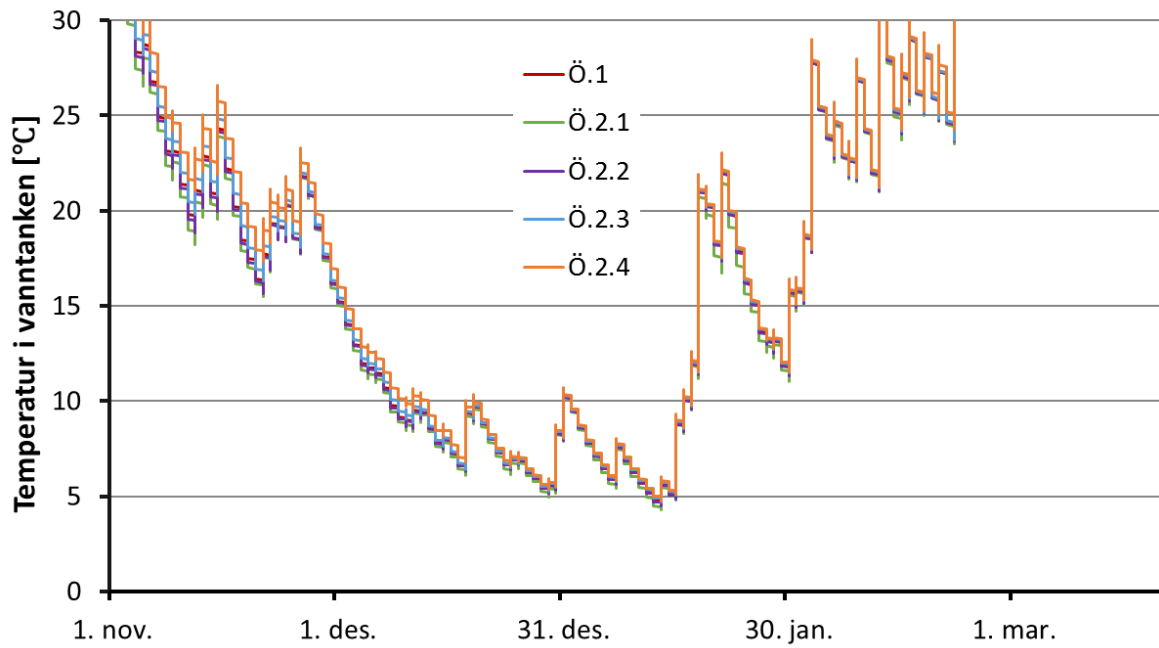
Vedlegg B: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og minimumstemperaturen i den indre sonen for Tjøme og Calgary

Vedlegg C: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og latent restenergi i vannlaget for Fairbanks

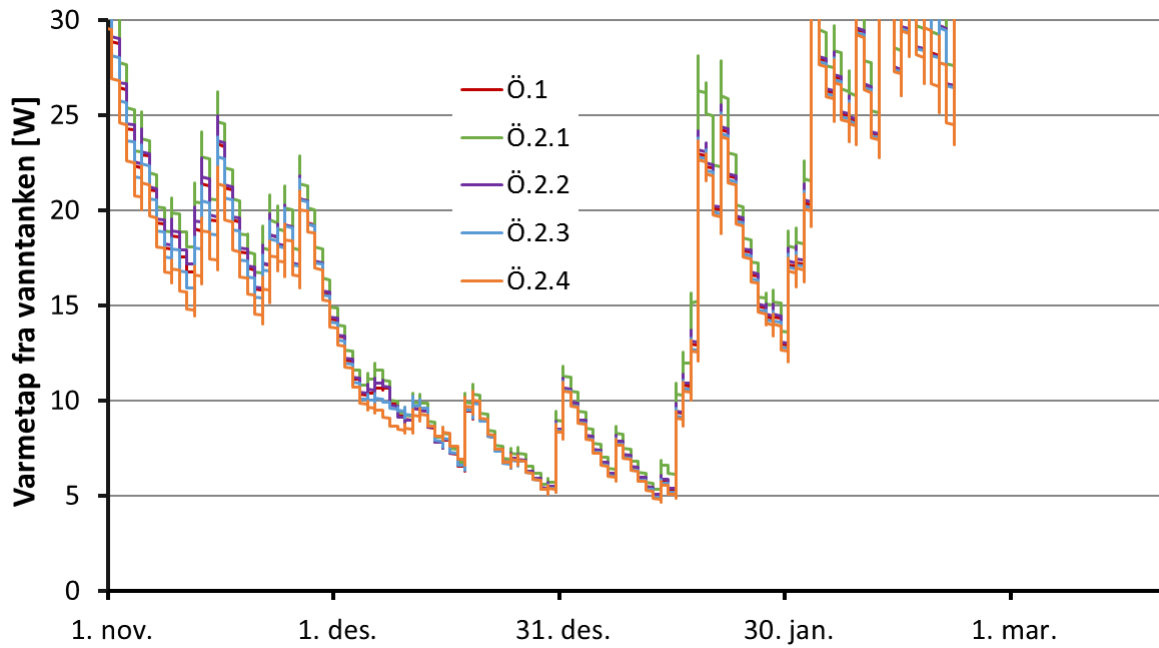
Vedlegg D: Utkast til artikkel for publisering i en internasjonal journal

Vedlegg A: Ytterligere resultater fra simuleringer

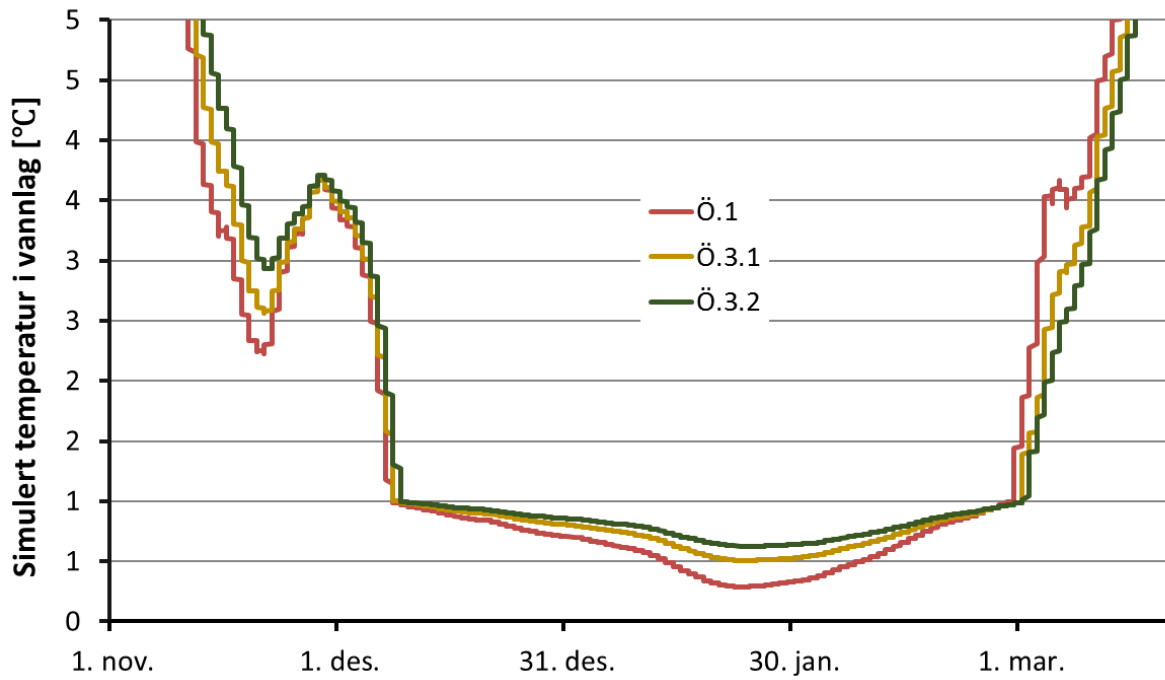
A.1 Ytterligere resultater fra Östersund



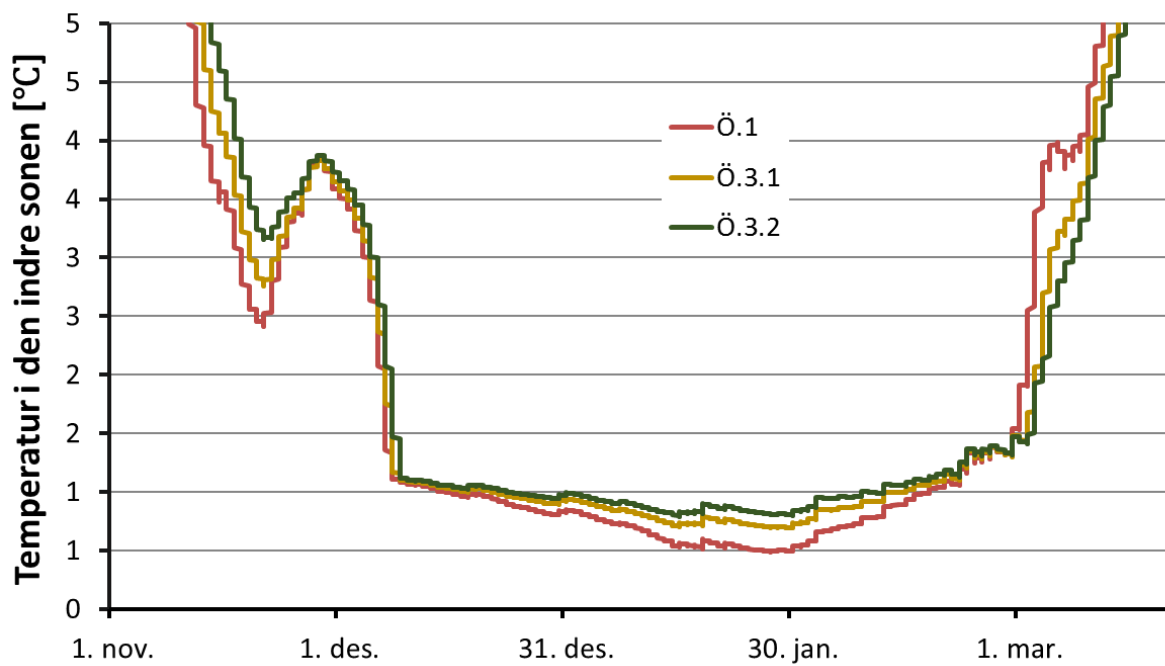
Figur A.1: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4



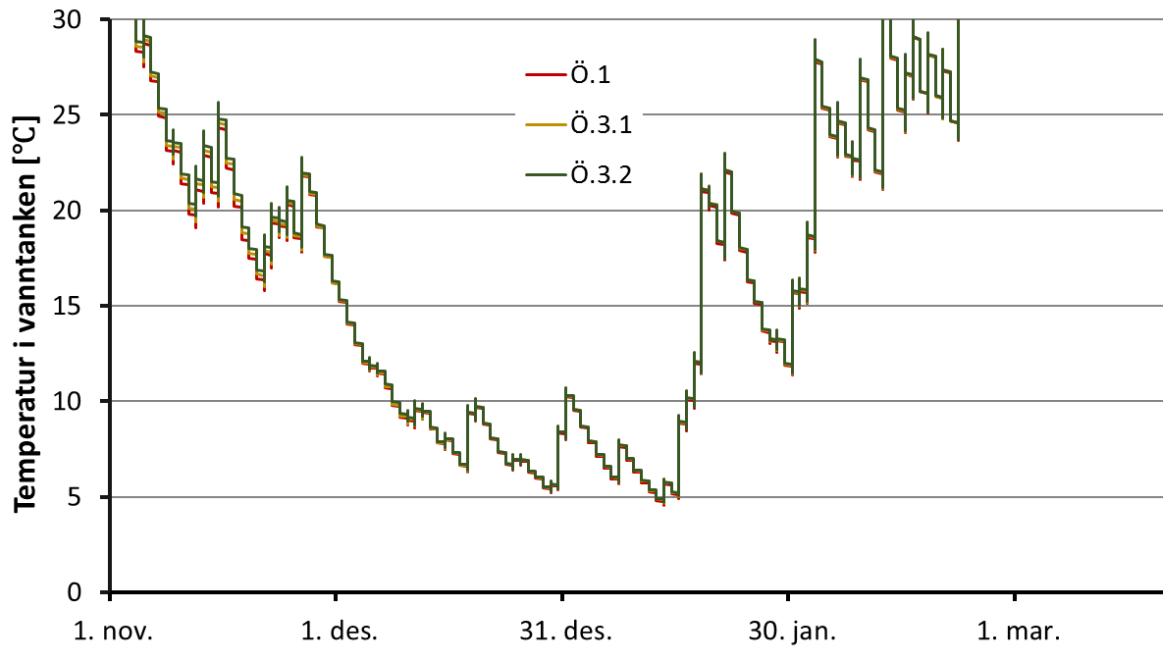
Figur A.2: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.2.1, Ö.2.2, Ö.2.3 og Ö.2.4



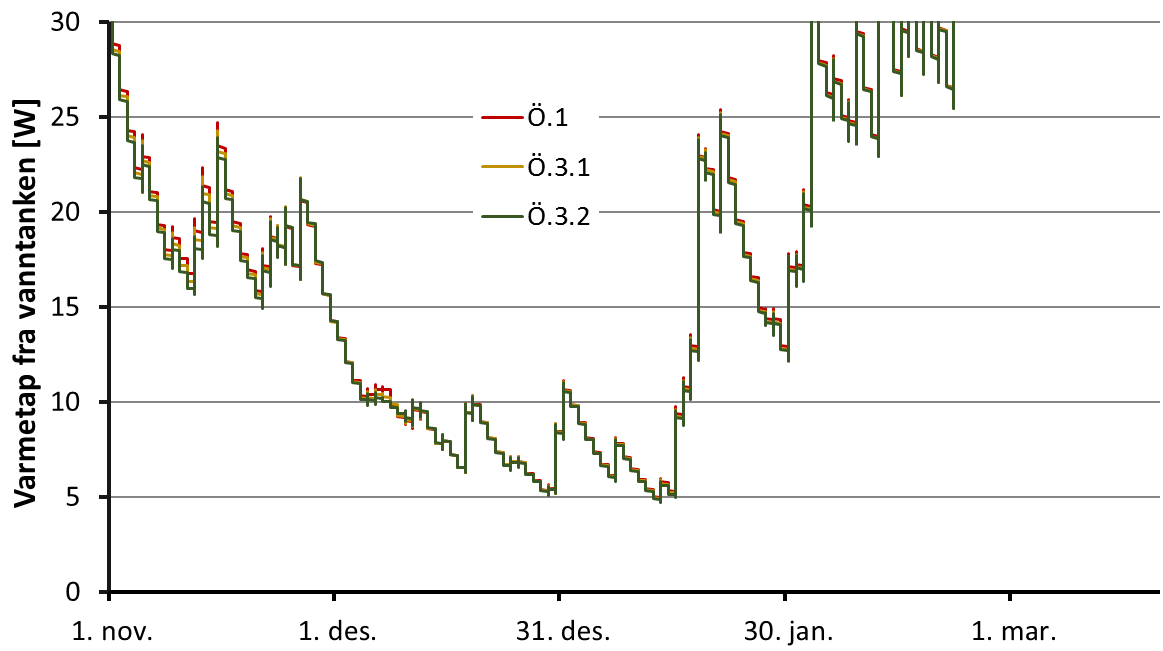
Figur A.3: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2



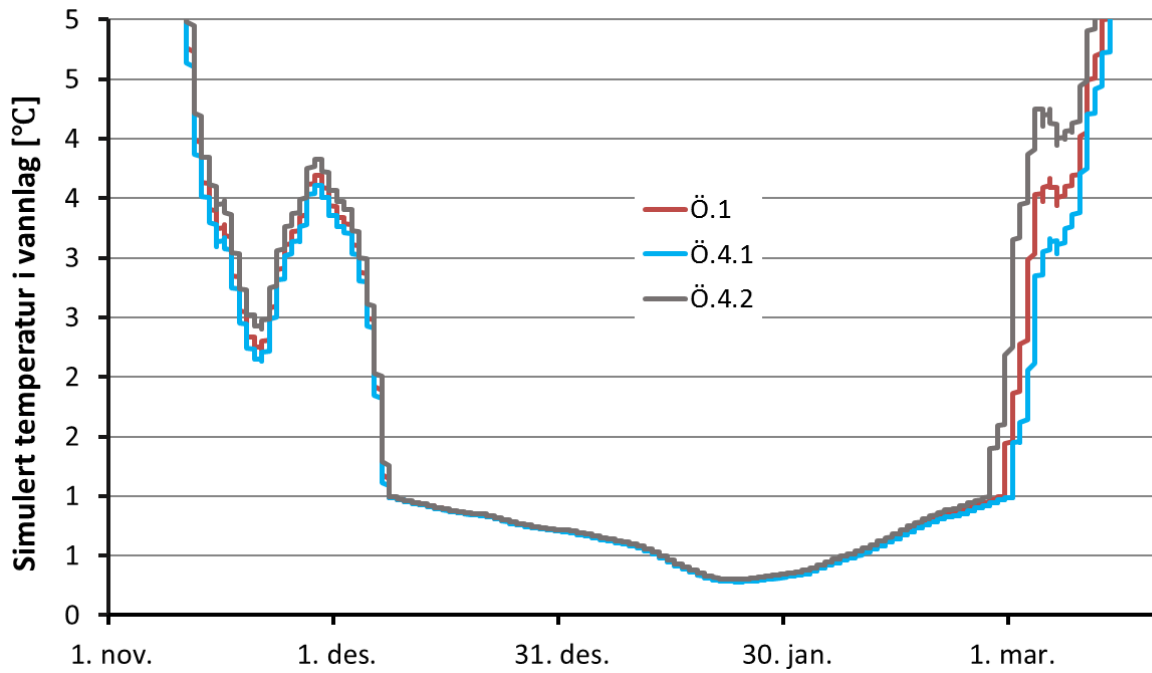
Figur A.4: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2



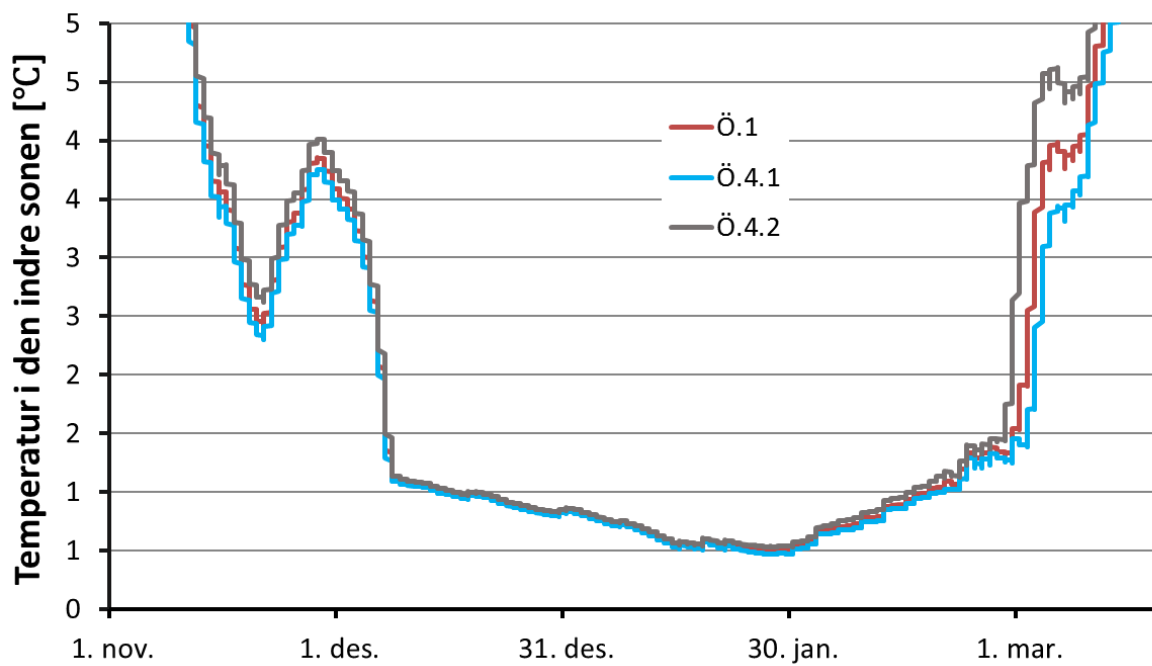
Figur A.5: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2



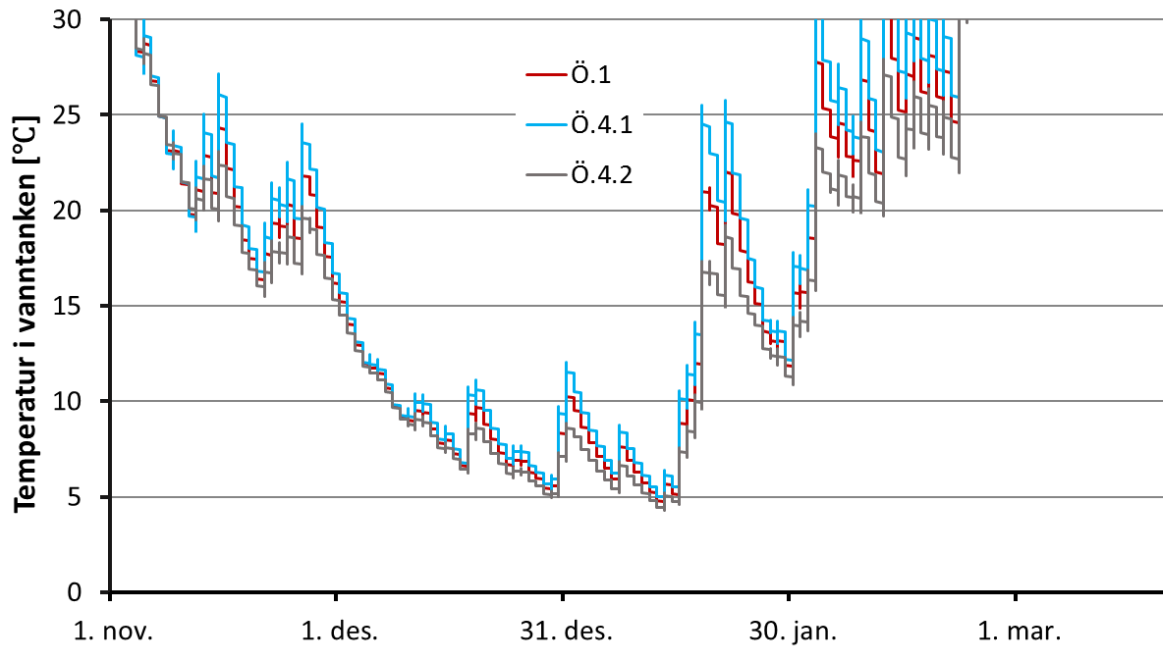
Figur A.6: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.3.1 og Ö.3.2



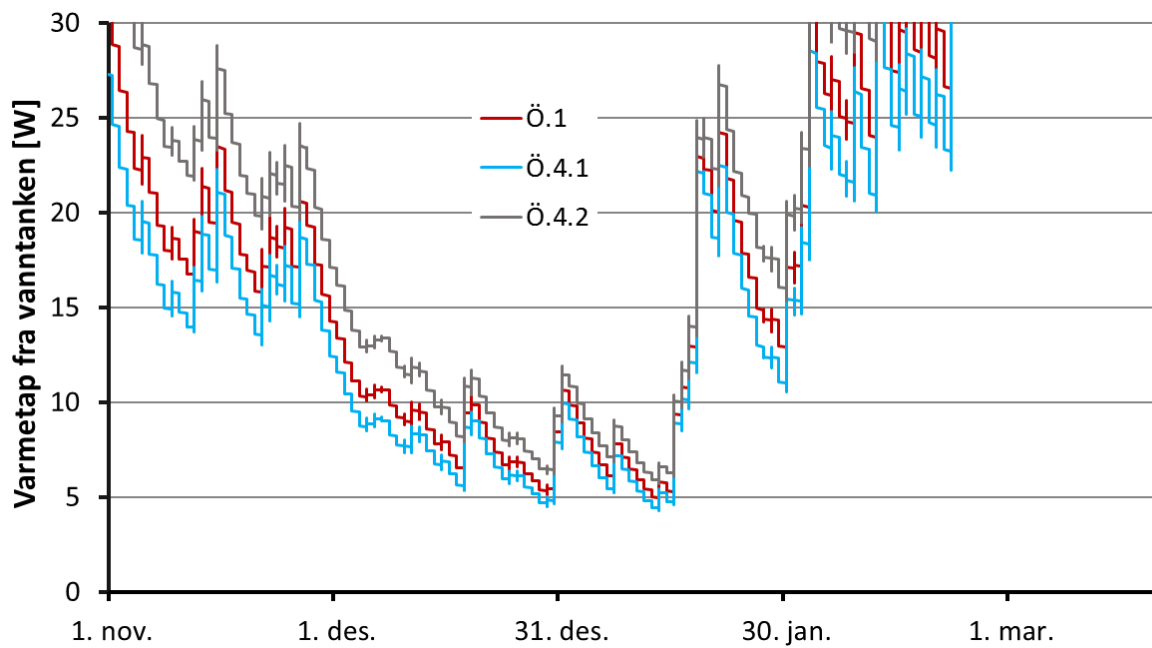
Figur A.7: Simulert temperatur i vannlaget for Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2



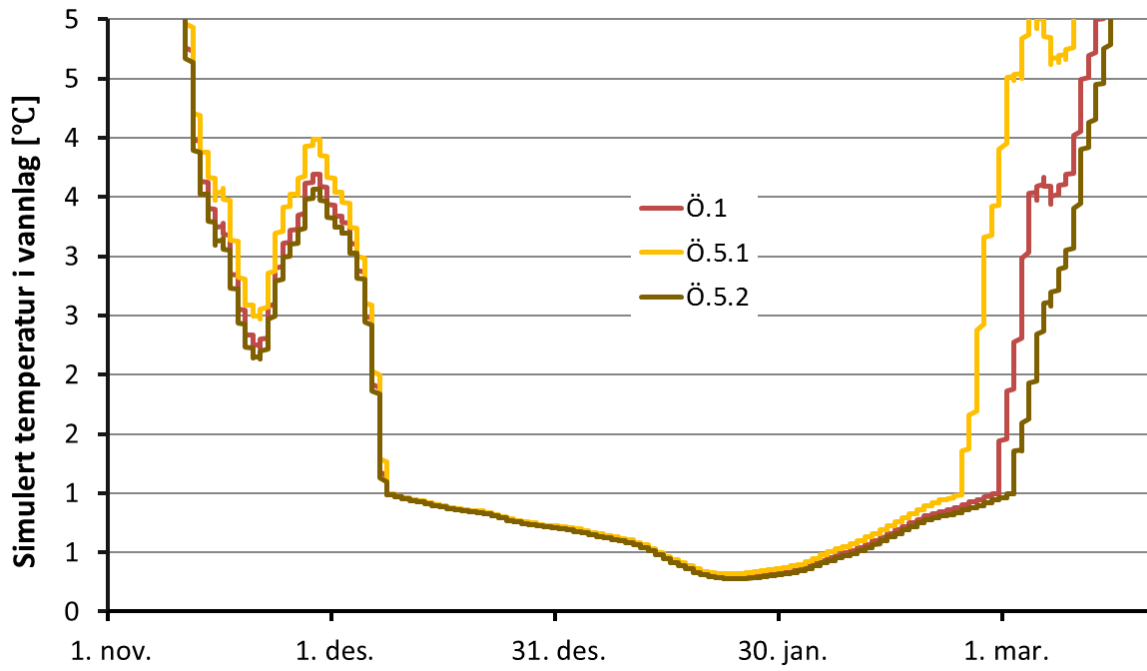
Figur A.8: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2



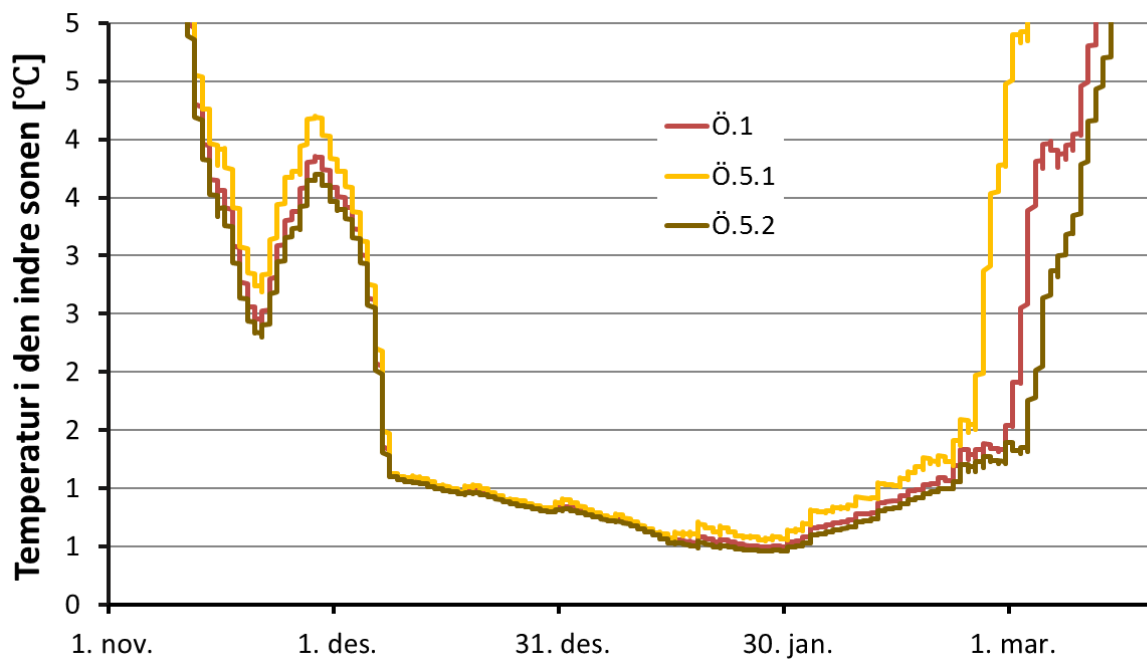
Figur A.9: Temperatur i vanntanken for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2



Figur A.10: Varmetap fra vanntanken for scenario Ö.1, Ö.4.1 og Ö.4.2

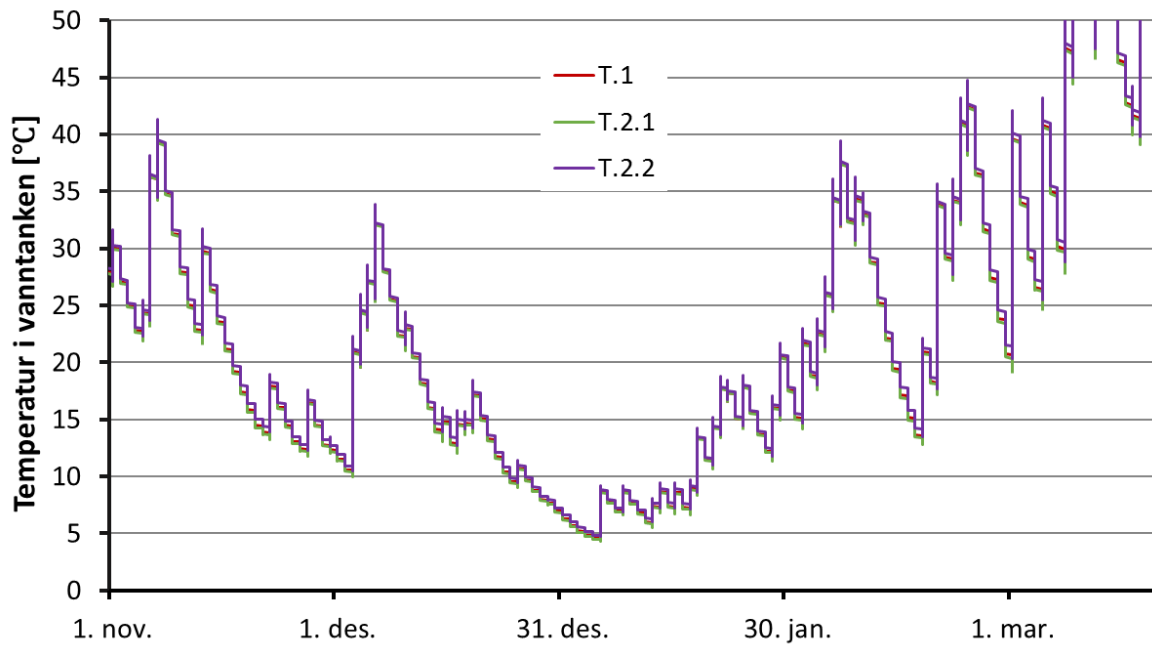


Figur A.11: Simulert temperatur i vannlaget for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

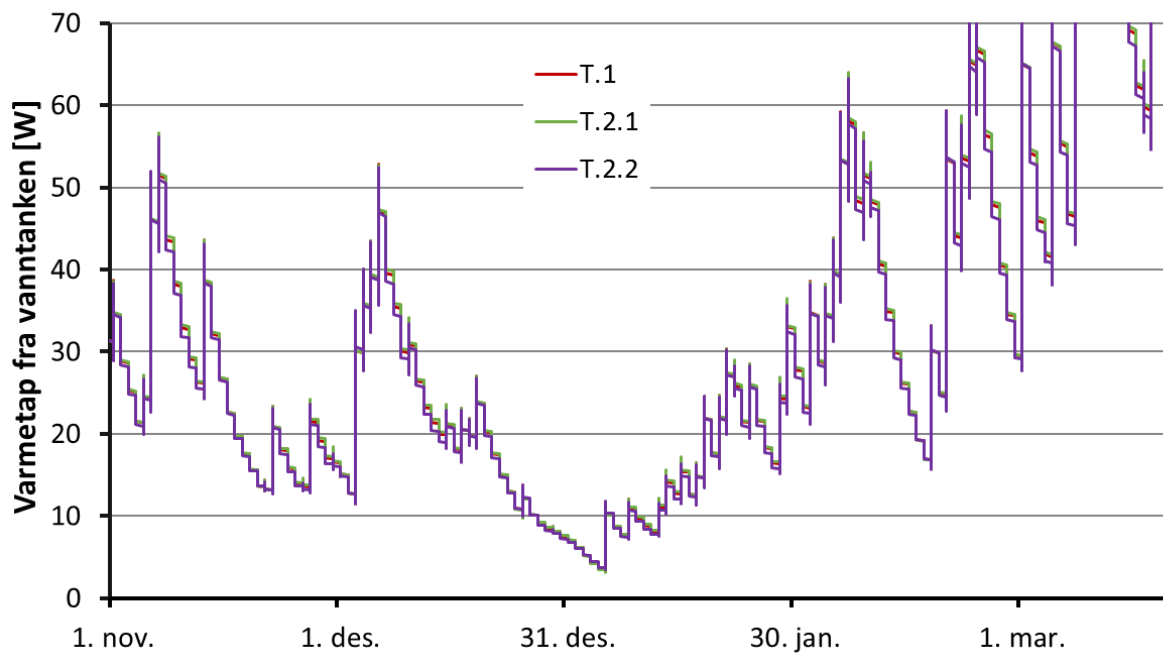


Figur A.12: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario Ö.1, Ö.5.1 og Ö.5.2

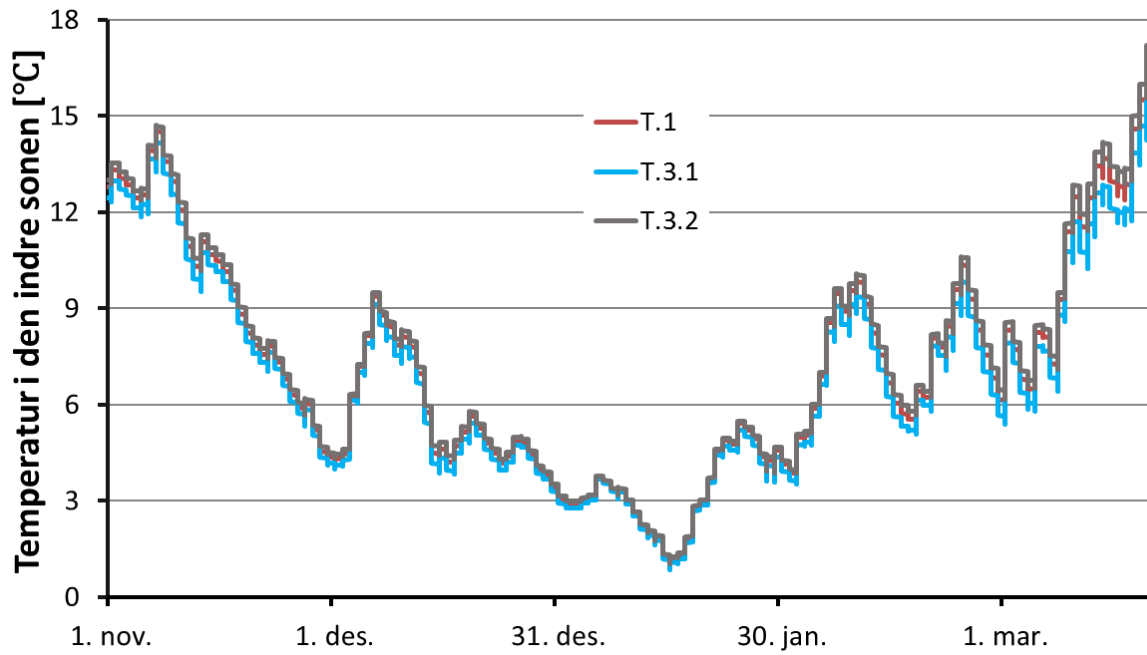
A.2 Ytterligere resultater fra Tjøme



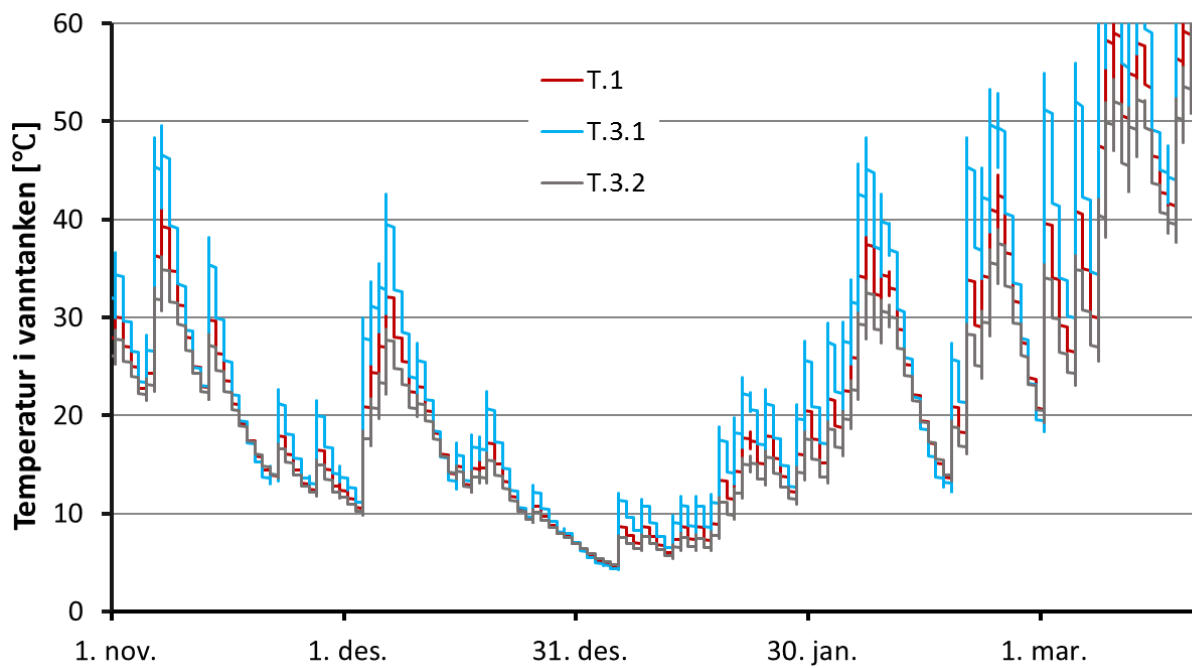
Figur A.13: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2



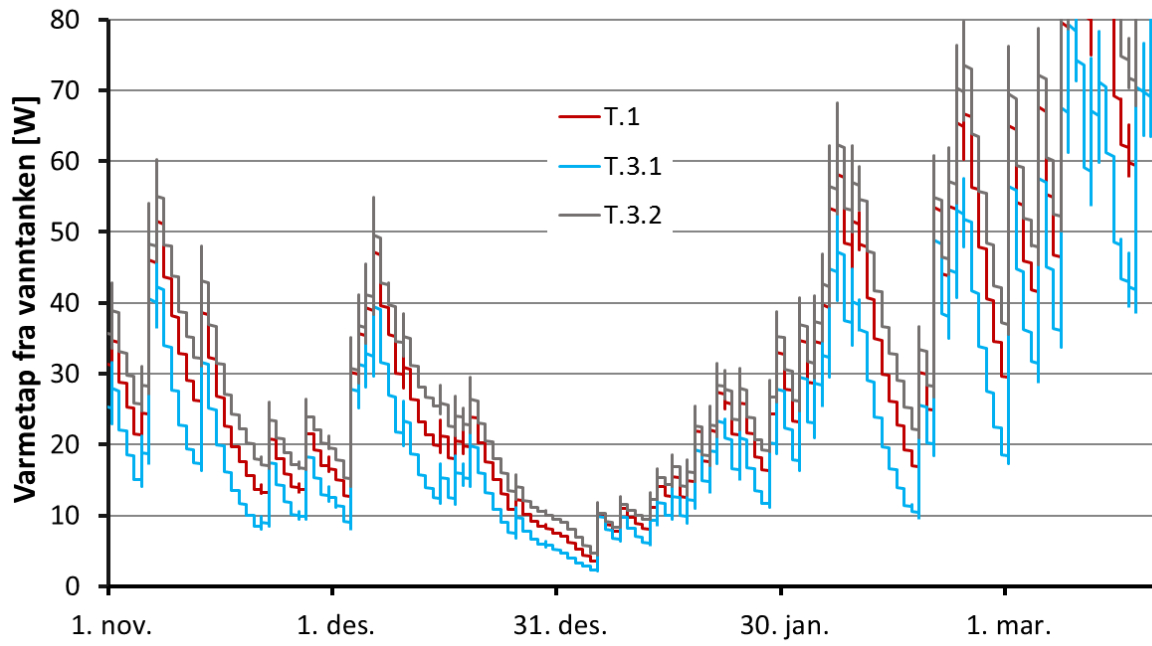
Figur A.14: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.2.1 og T.2.2



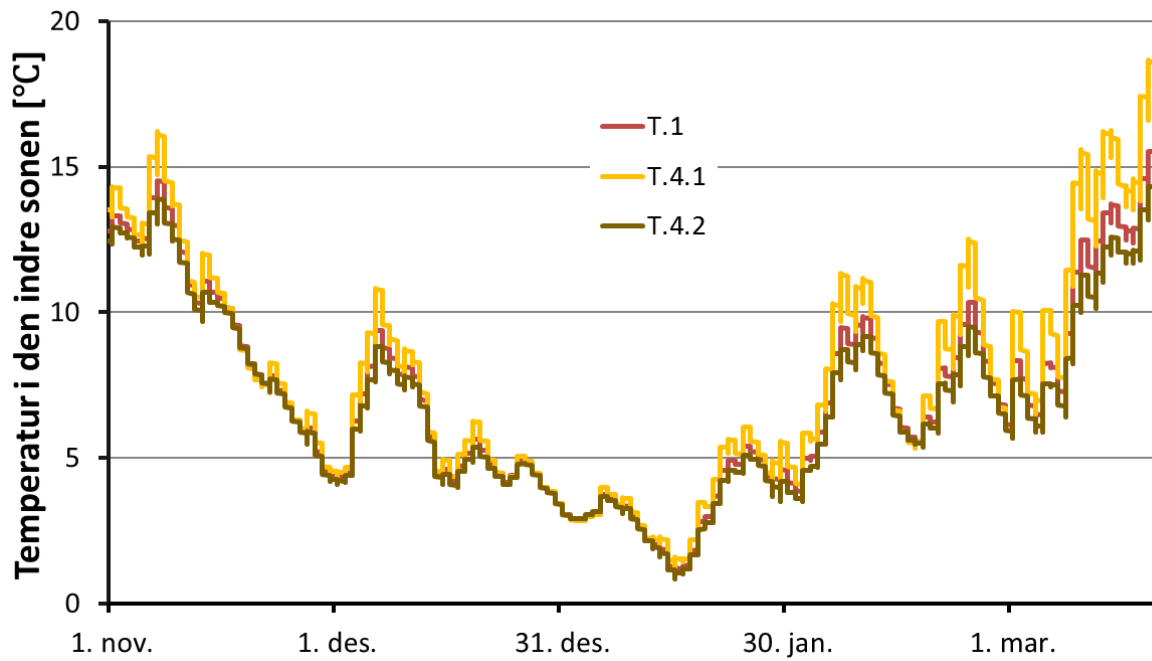
Figur A.15: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2



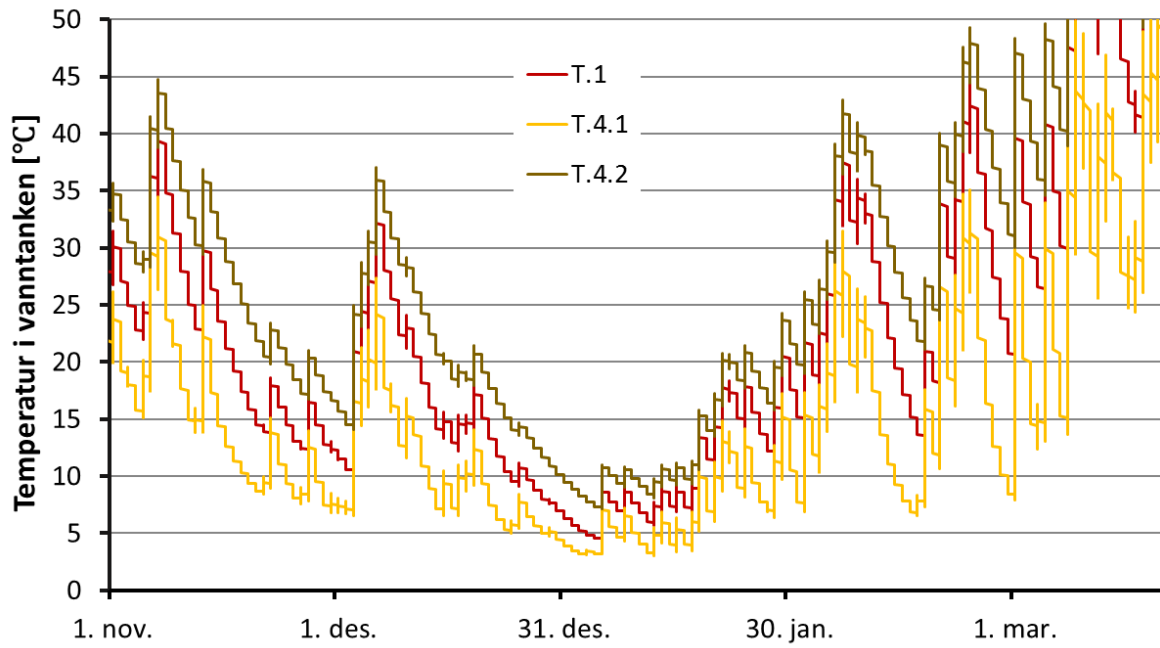
Figur A.16: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2



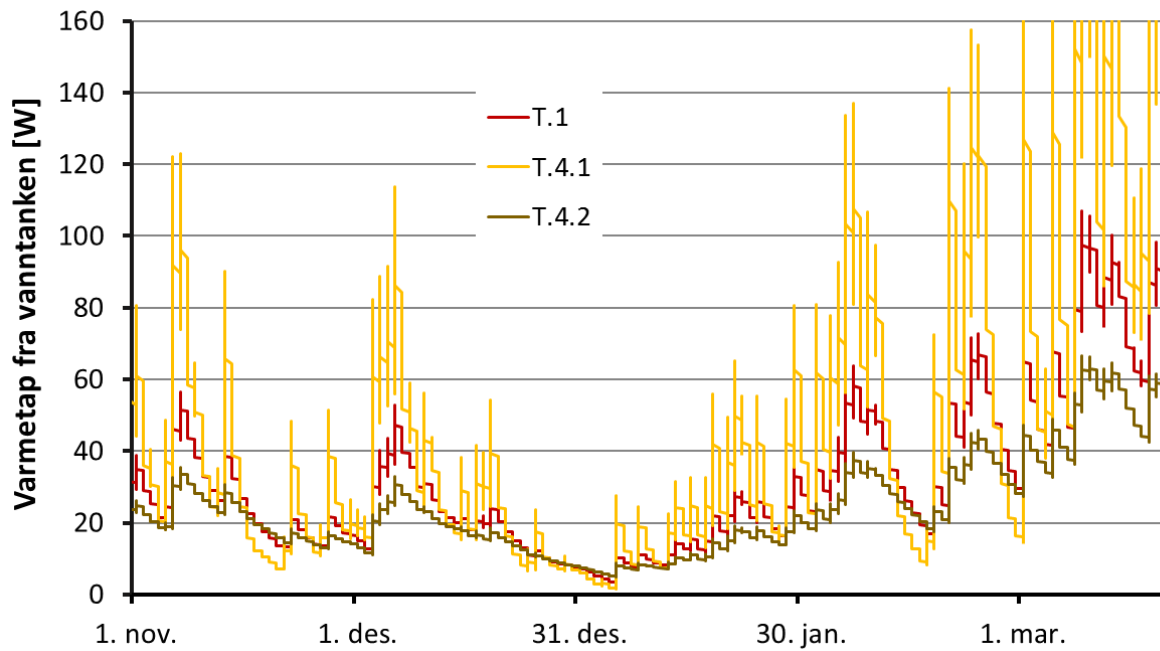
Figur A.17: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.3.1 og T.3.2



Figur A.18: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

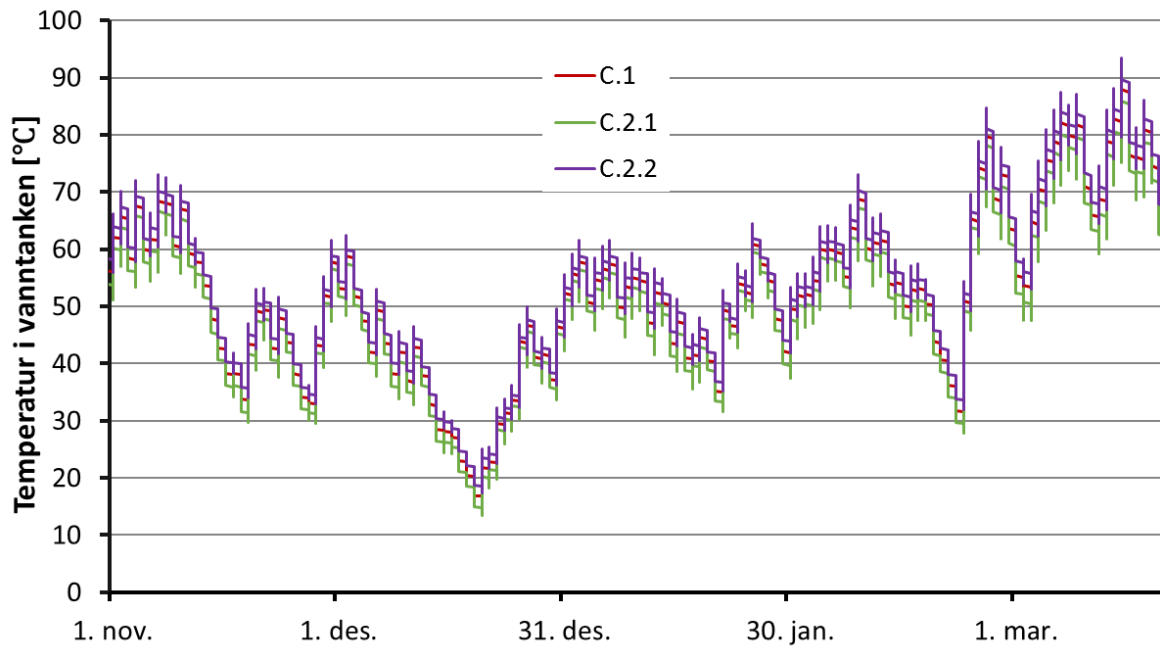


Figur A.19: Temperatur i vanntanken for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

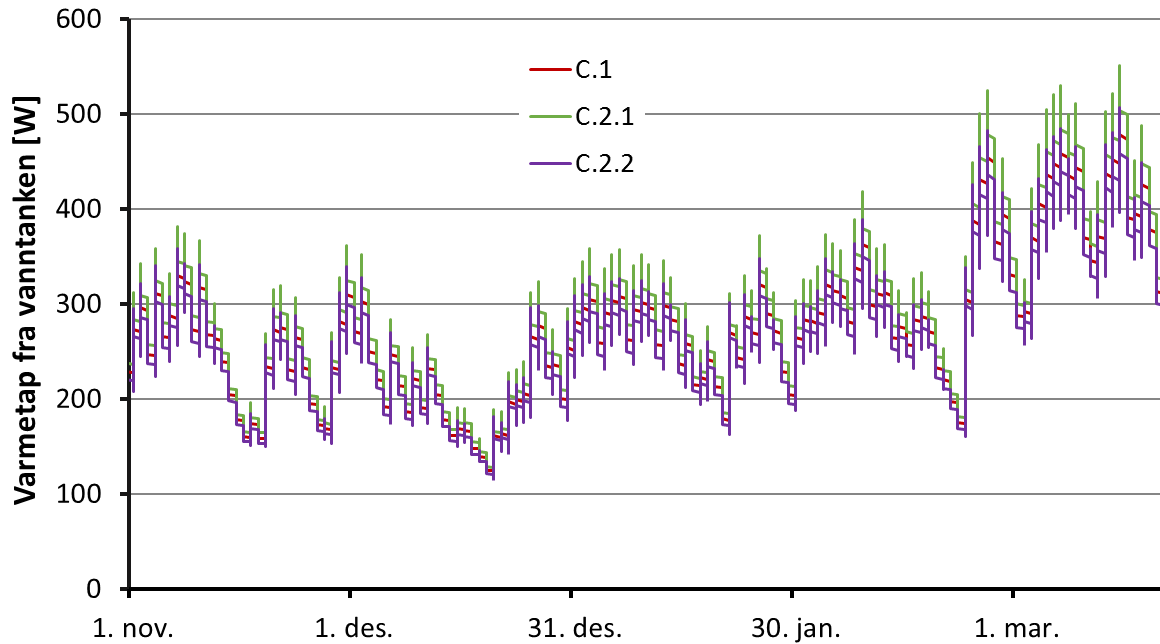


Figur A.20: Varmetap fra vanntanken for scenario T.1, T.4.1 og T.4.2

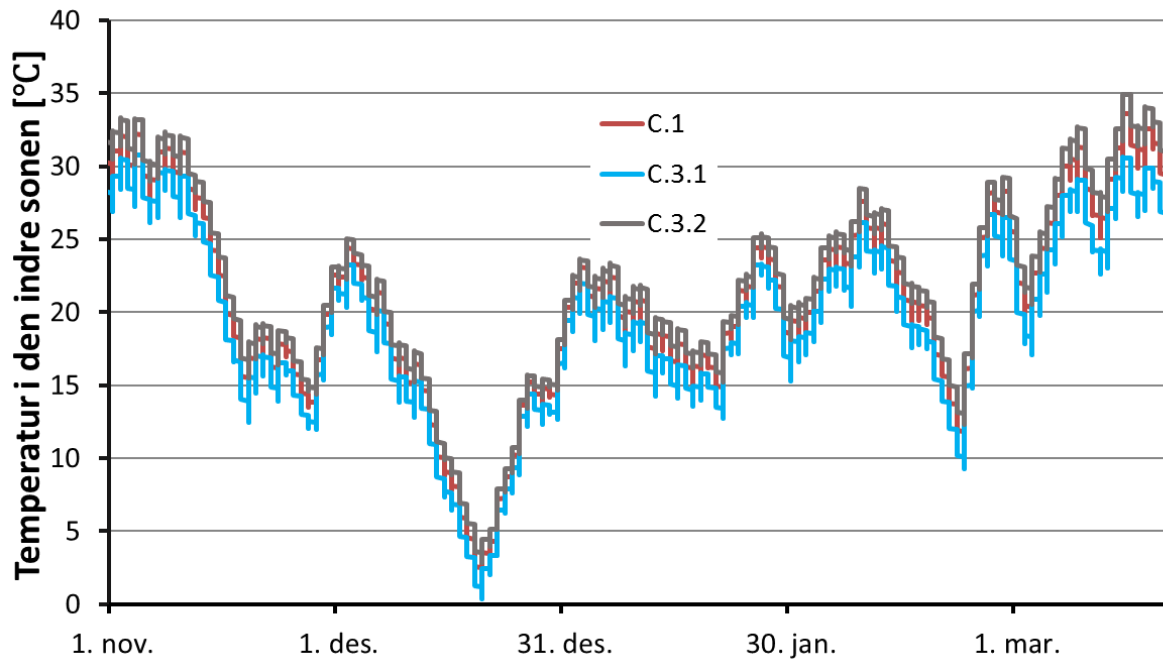
A.3 Ytterligere resultater fra Calgary



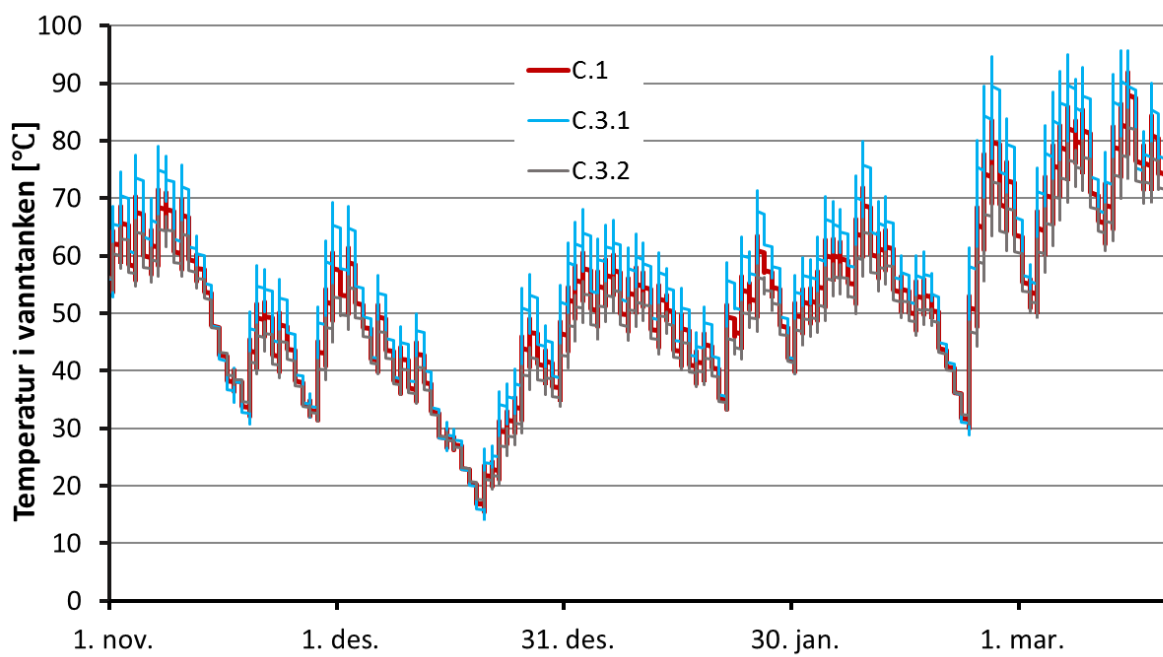
Figur A.21: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.2.1 og C.2.2



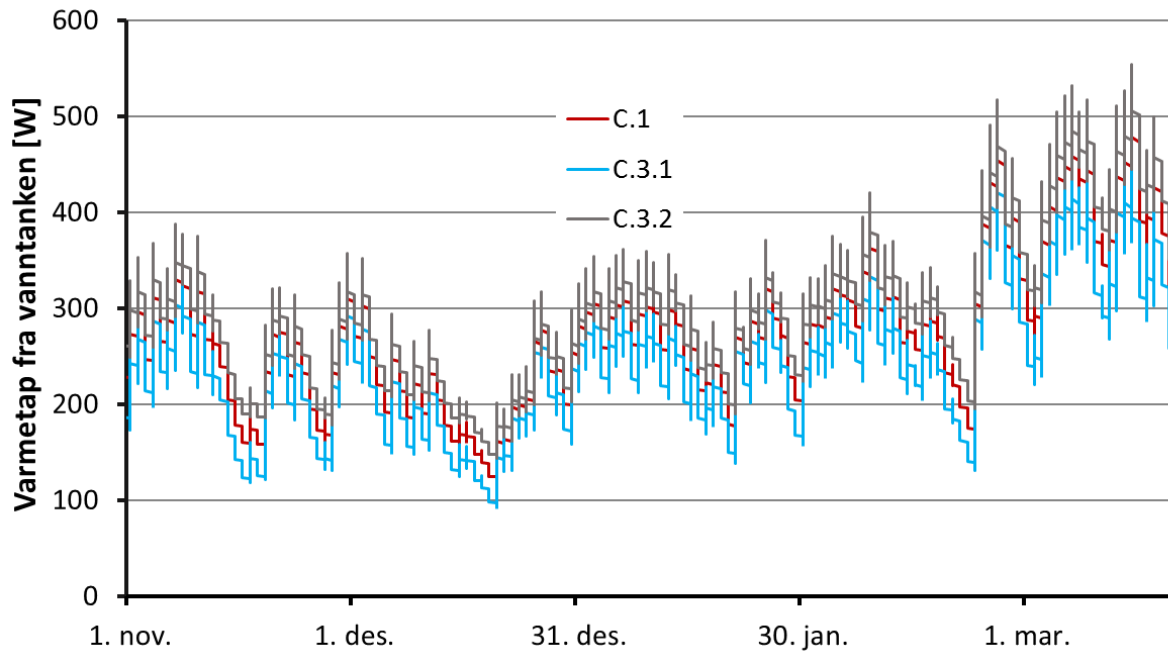
Figur A.22: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.2.1 og C.2.2



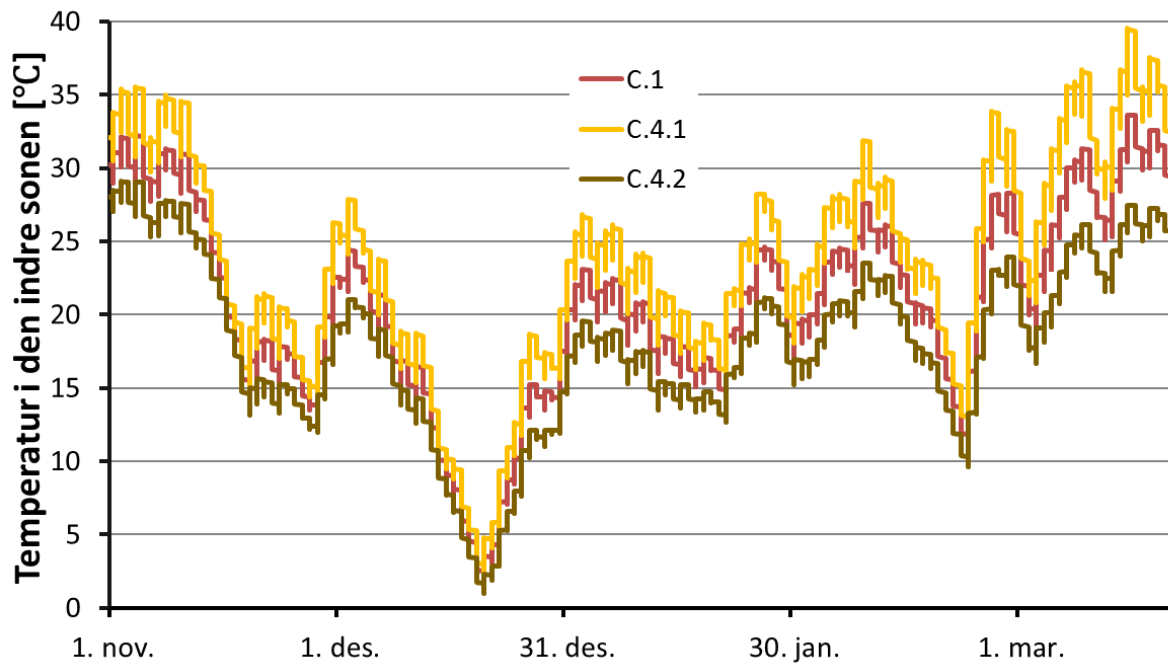
Figur A.23: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2



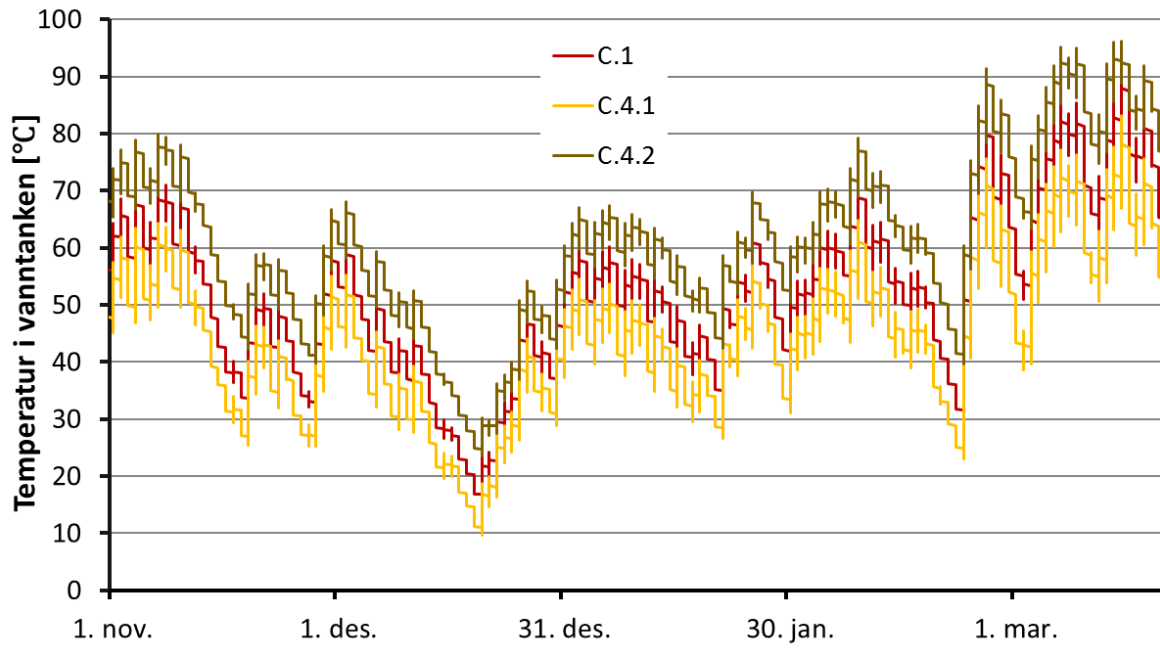
Figur A.24: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2



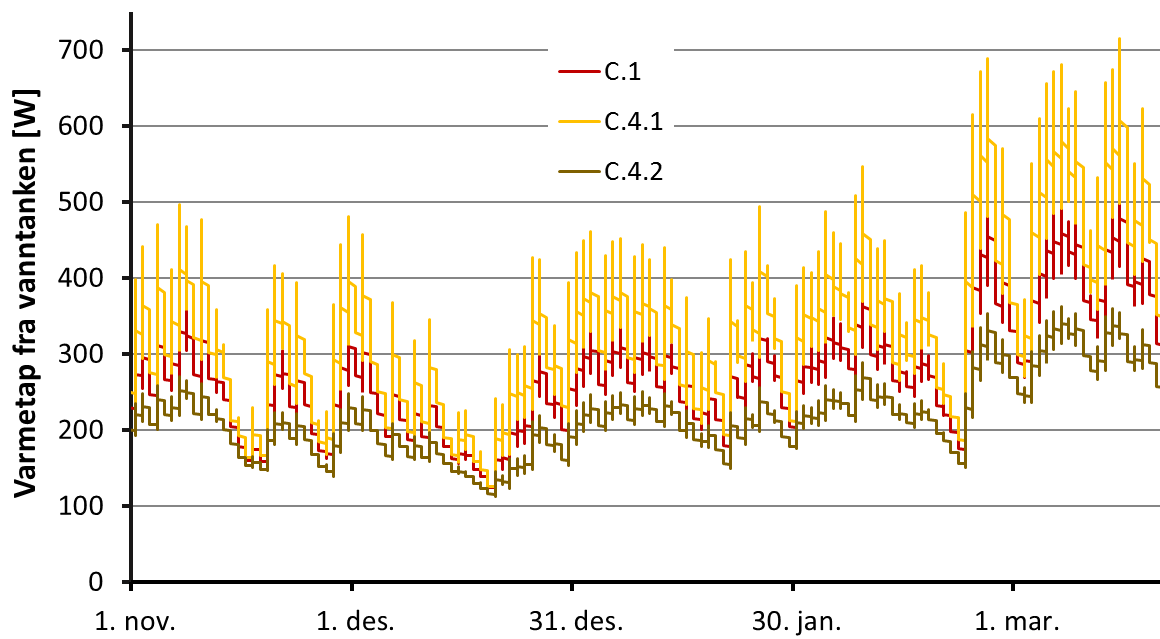
Figur A.25: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.3.1 og C.3.2



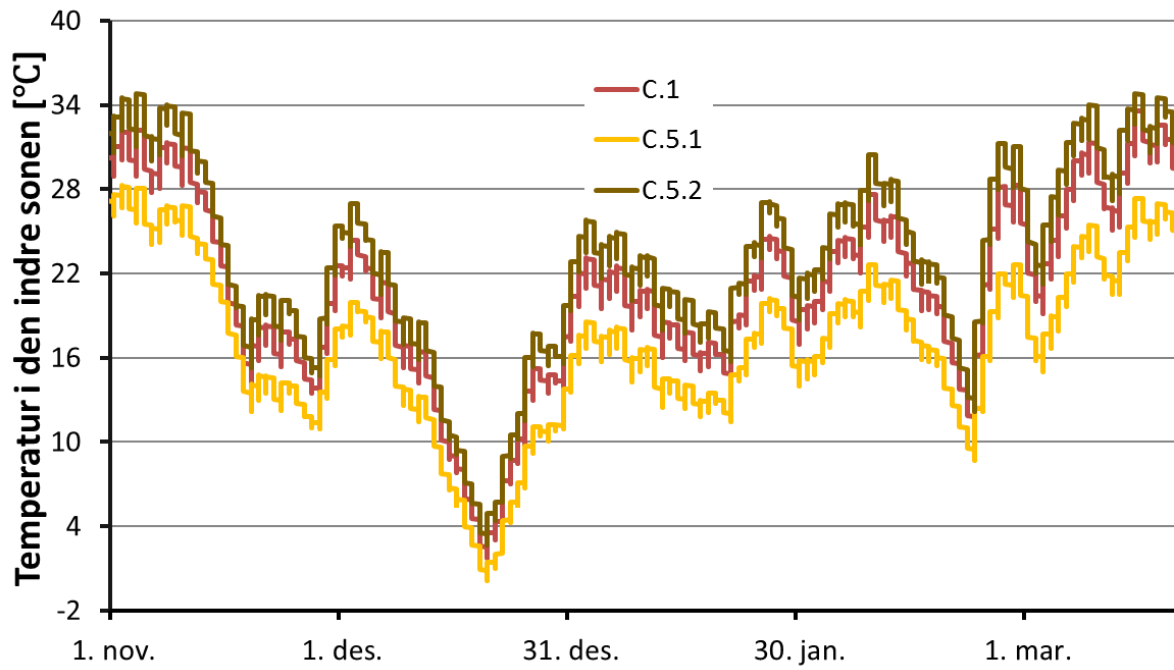
Figur A.26: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2



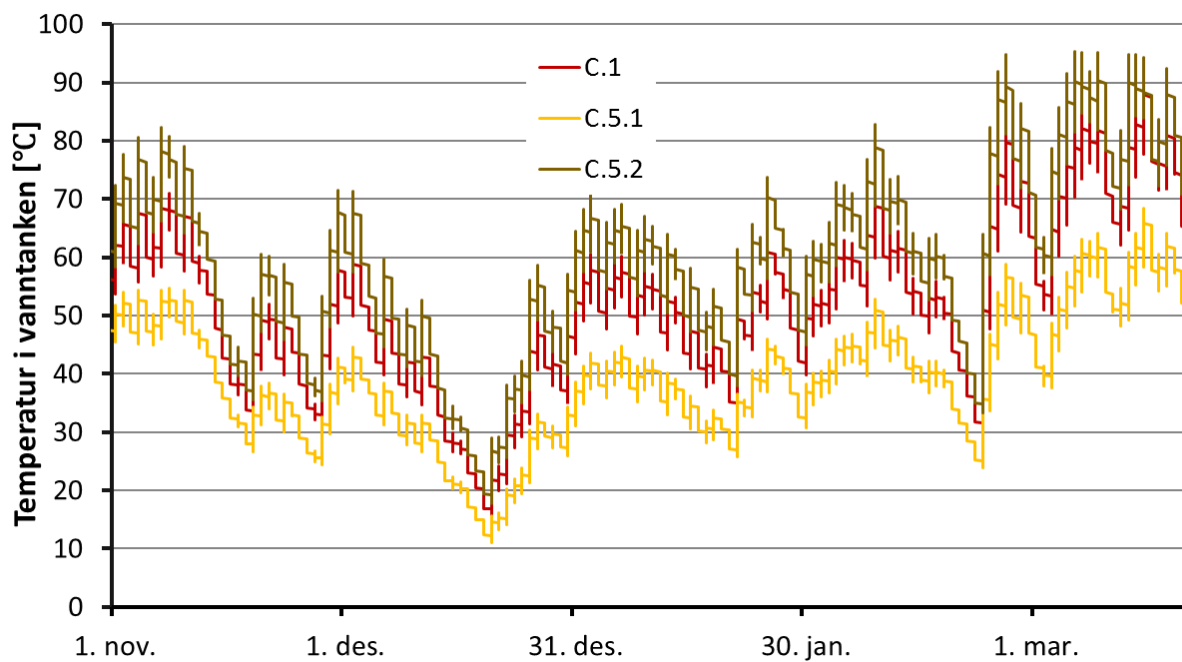
Figur A.27: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2



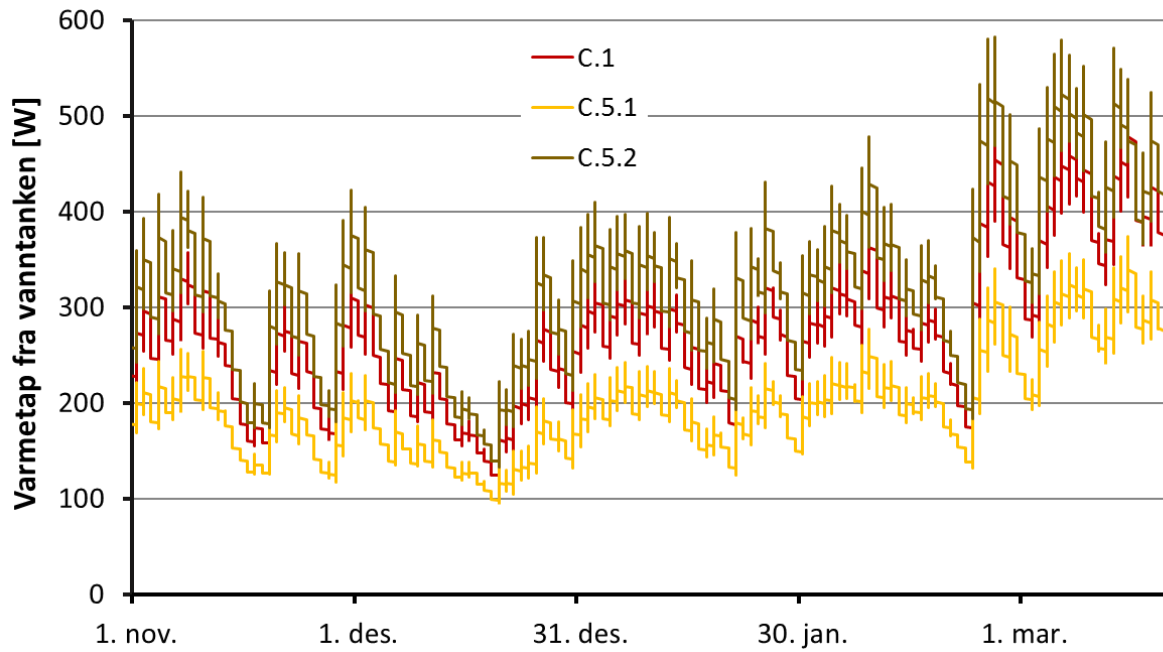
Figur A.28: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.4.1 og C.4.2



Figur A.29: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2

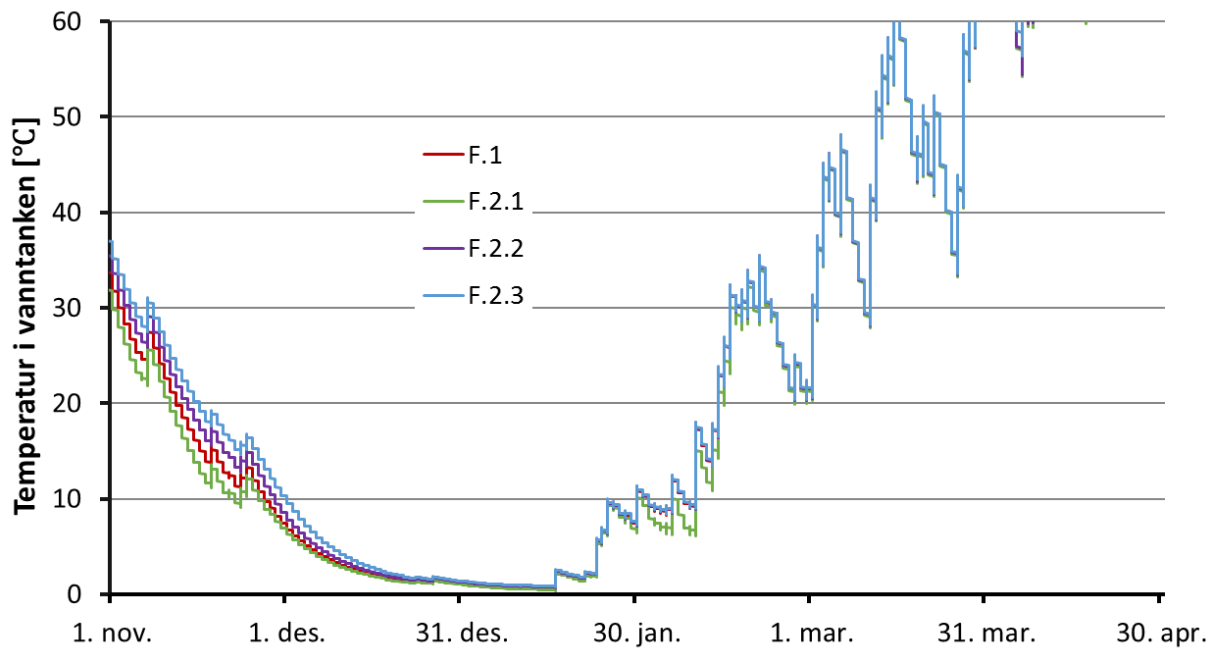


Figur A.30: Temperatur i vanntanken for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2

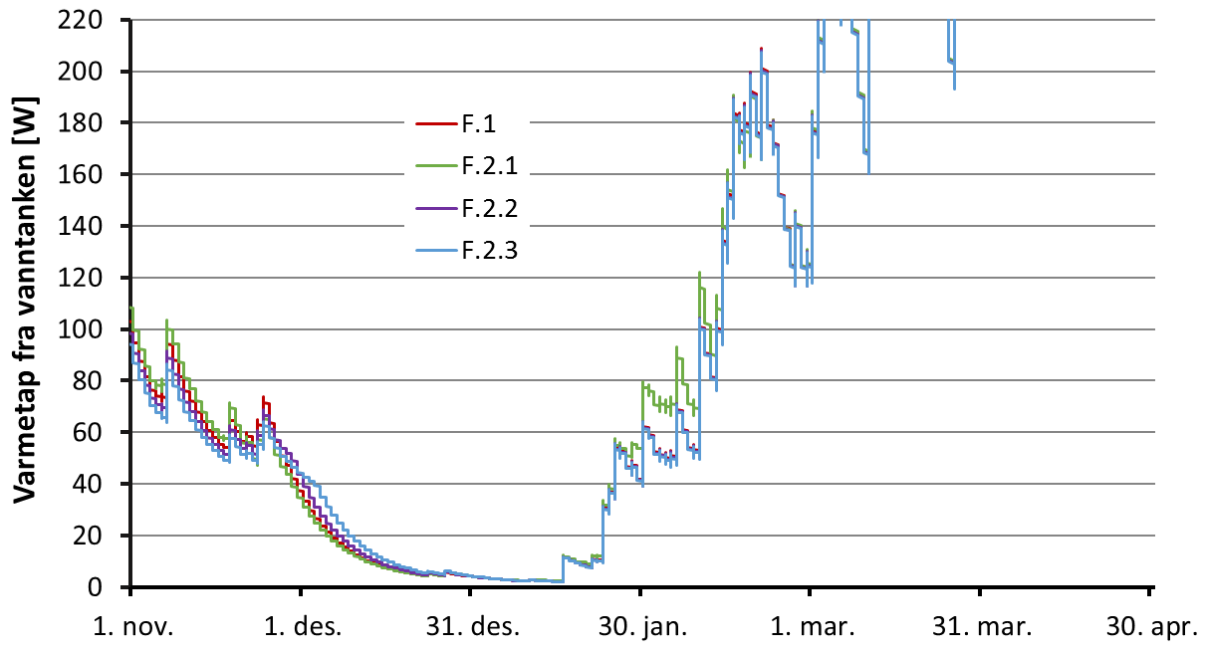


Figur A.31: Varmetap fra vanntanken for scenario C.1, C.5.1 og C.5.2

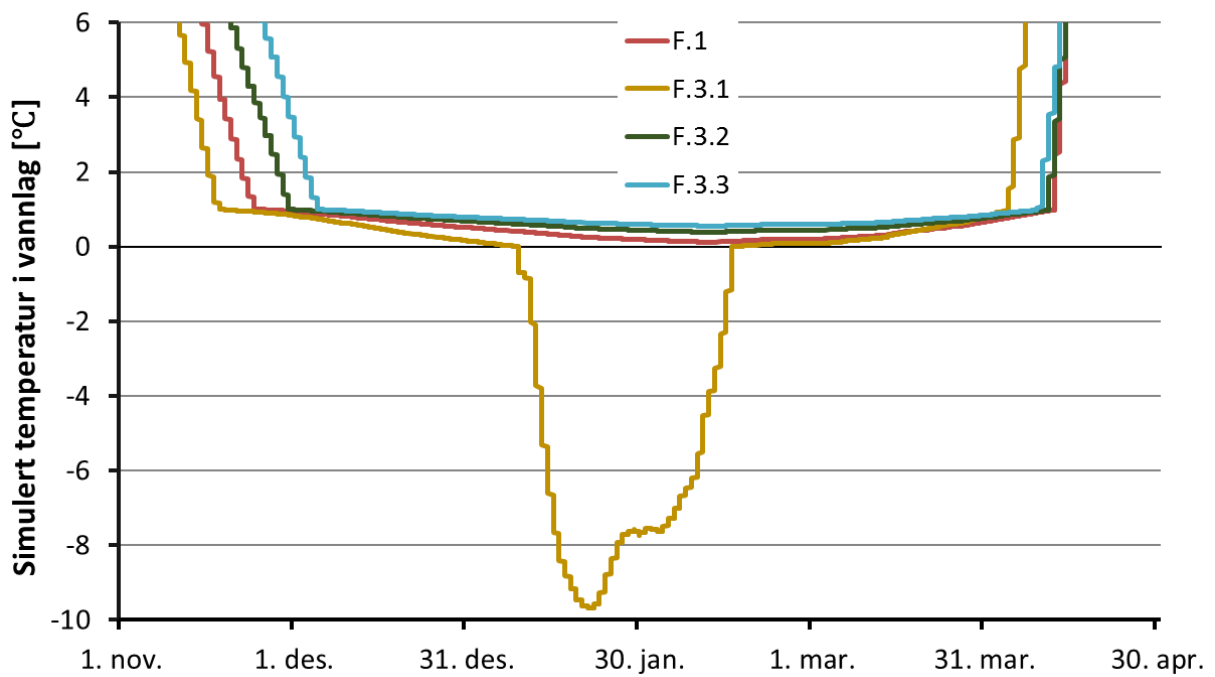
A.4 Ytterligere resultater fra Fairbanks



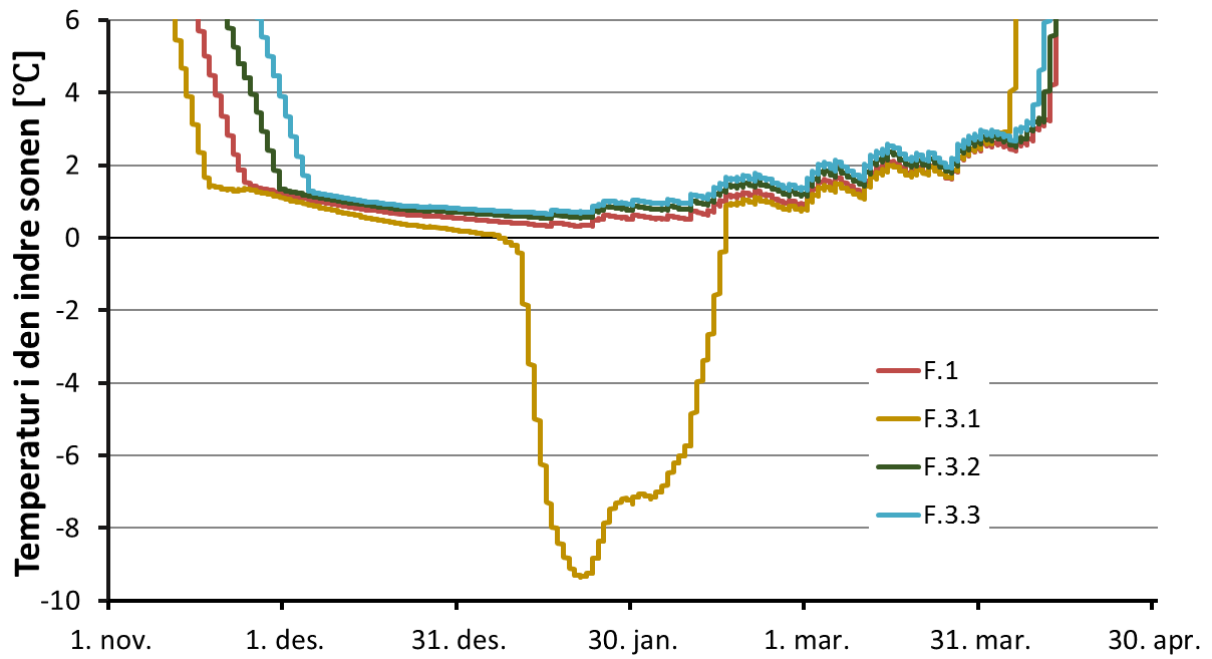
Figur A.32: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3



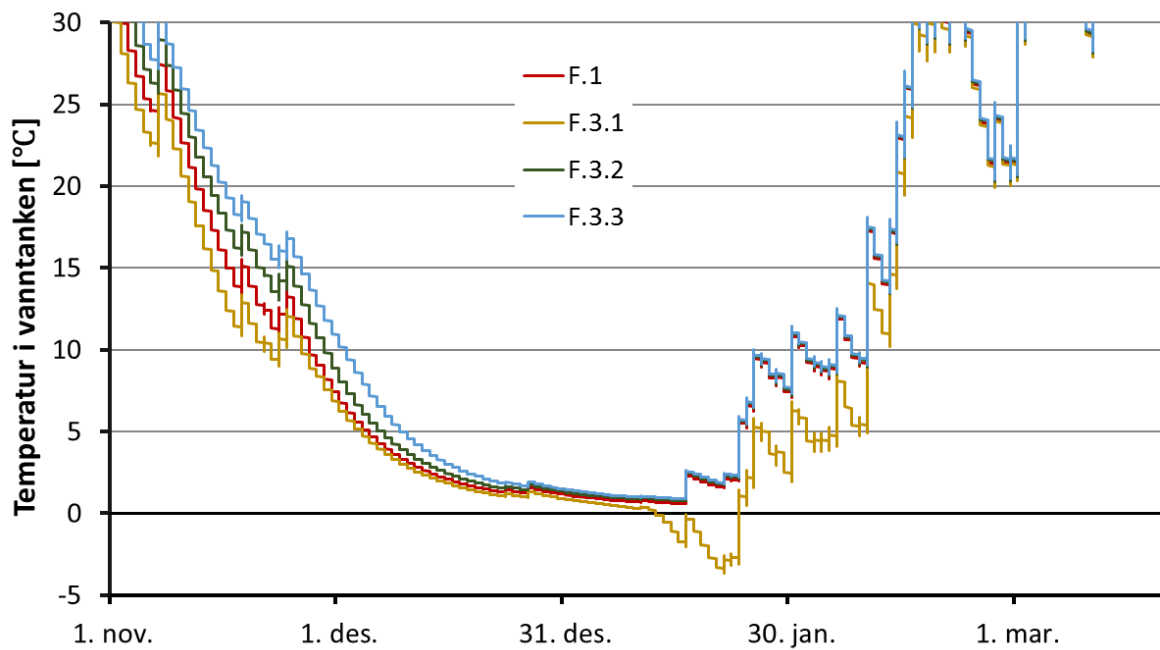
Figur A.33: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.2.1, F.2.2 og F.2.3



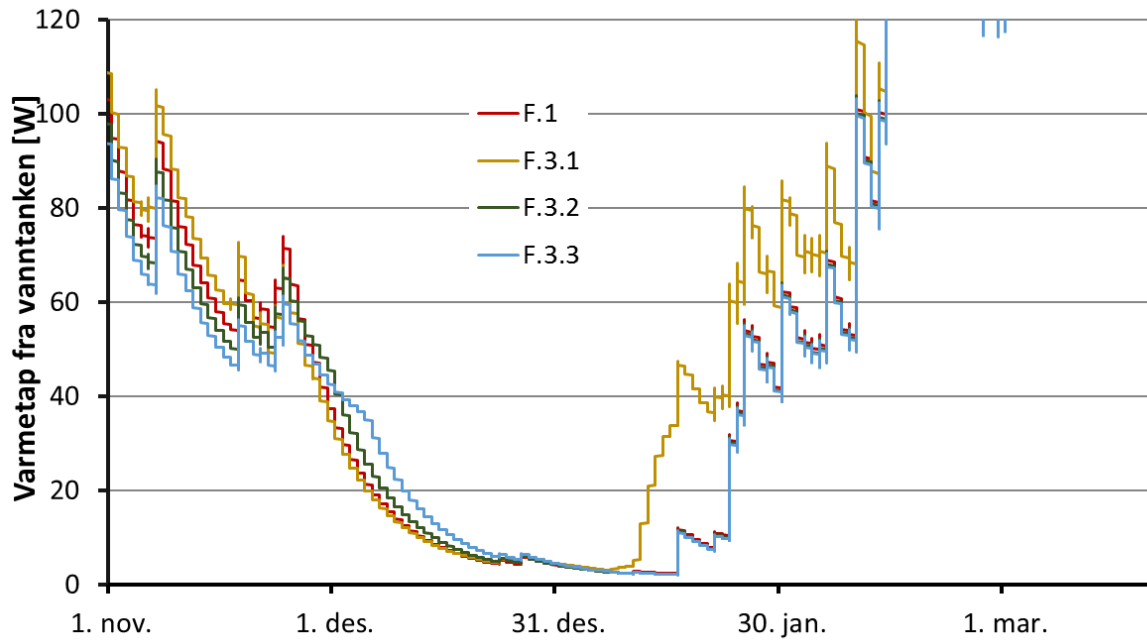
Figur A.34: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3



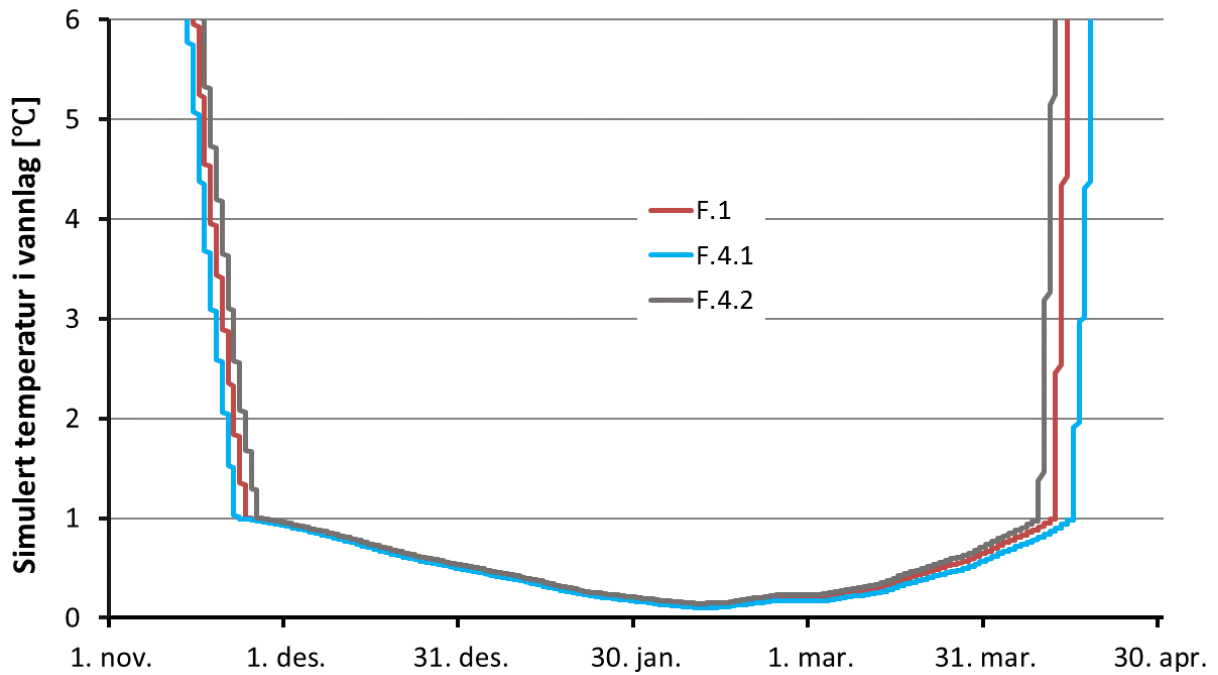
Figur A.35: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3



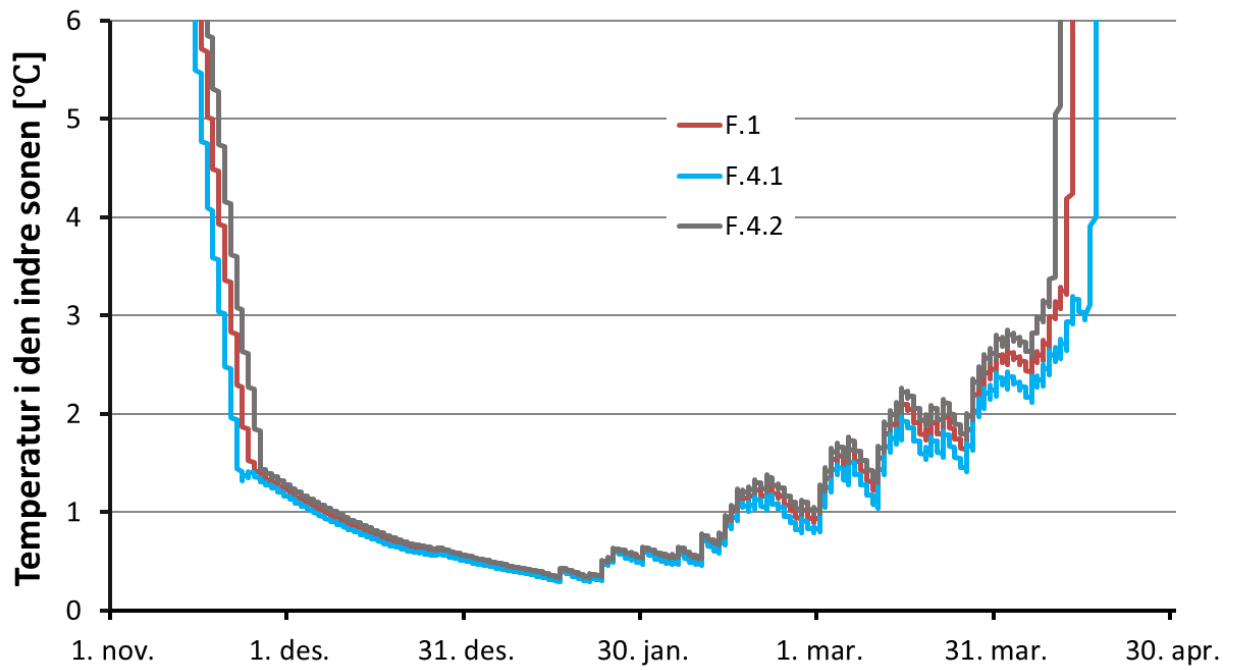
Figur A.36: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3



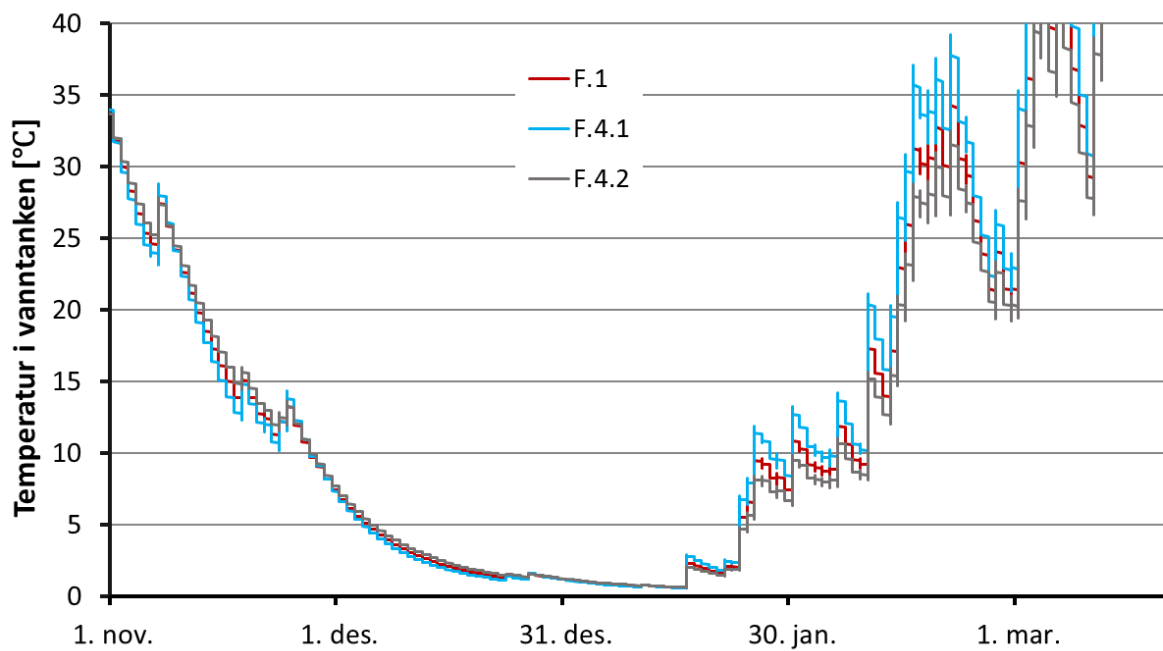
Figur A.37: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.3.1, F.3.2 og F.3.3



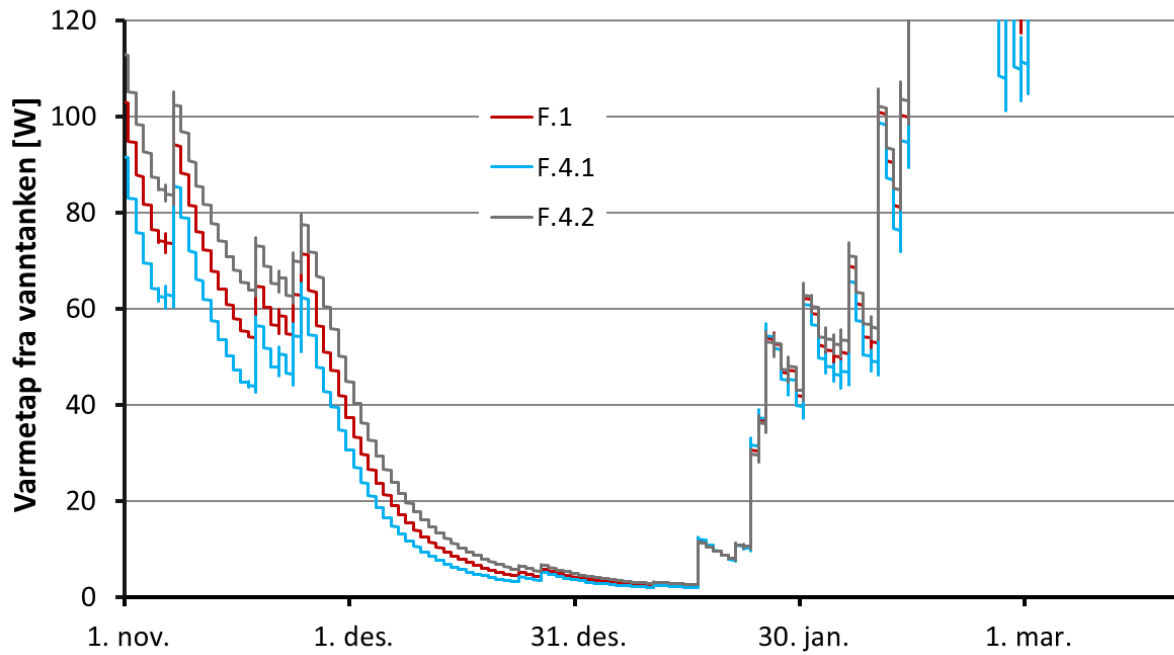
Figur A.38: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2



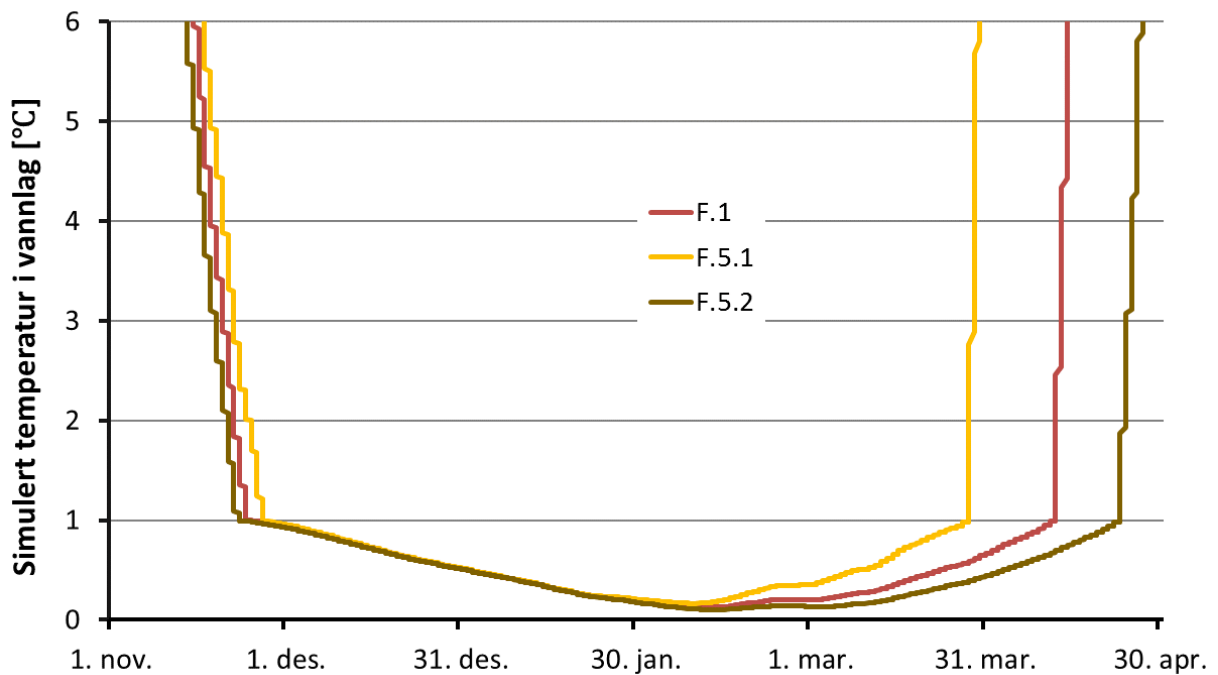
Figur A.39: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2



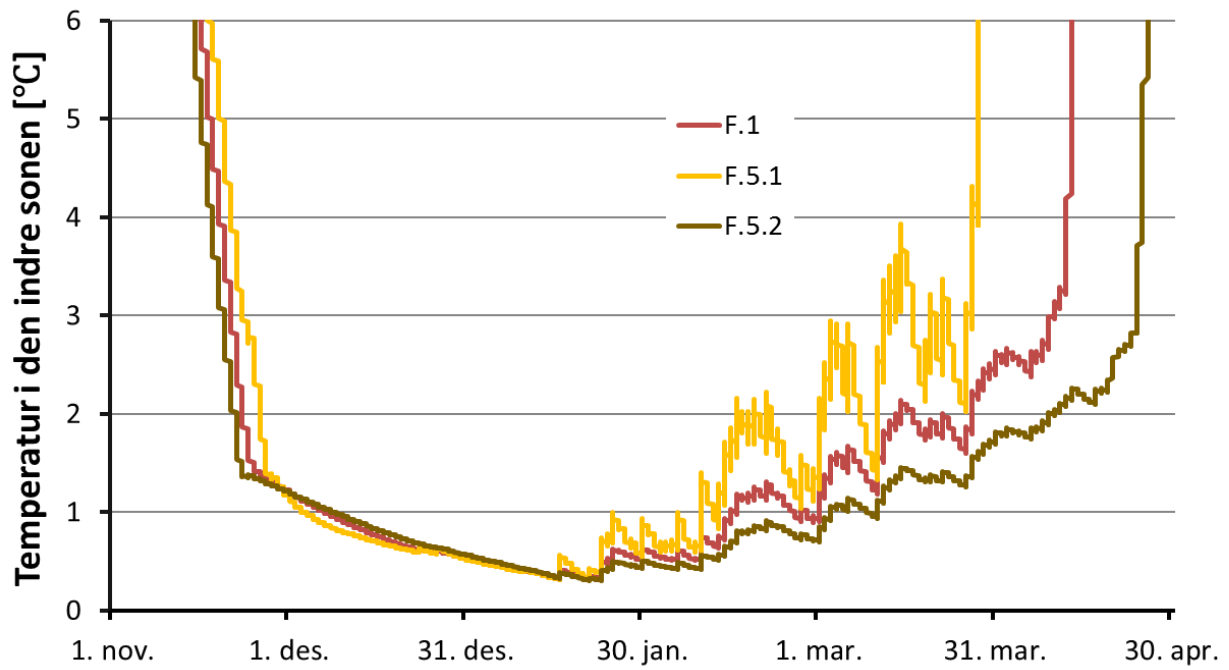
Figur A.40: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2



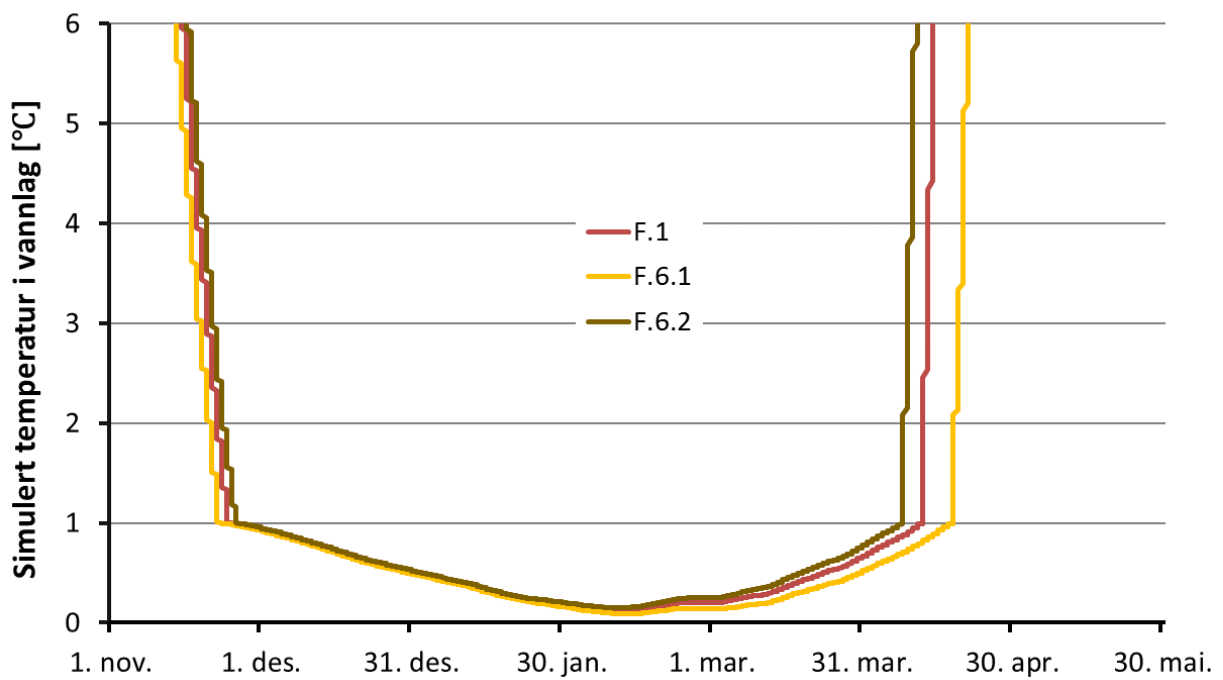
Figur A.41: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.4.1 og F.4.2



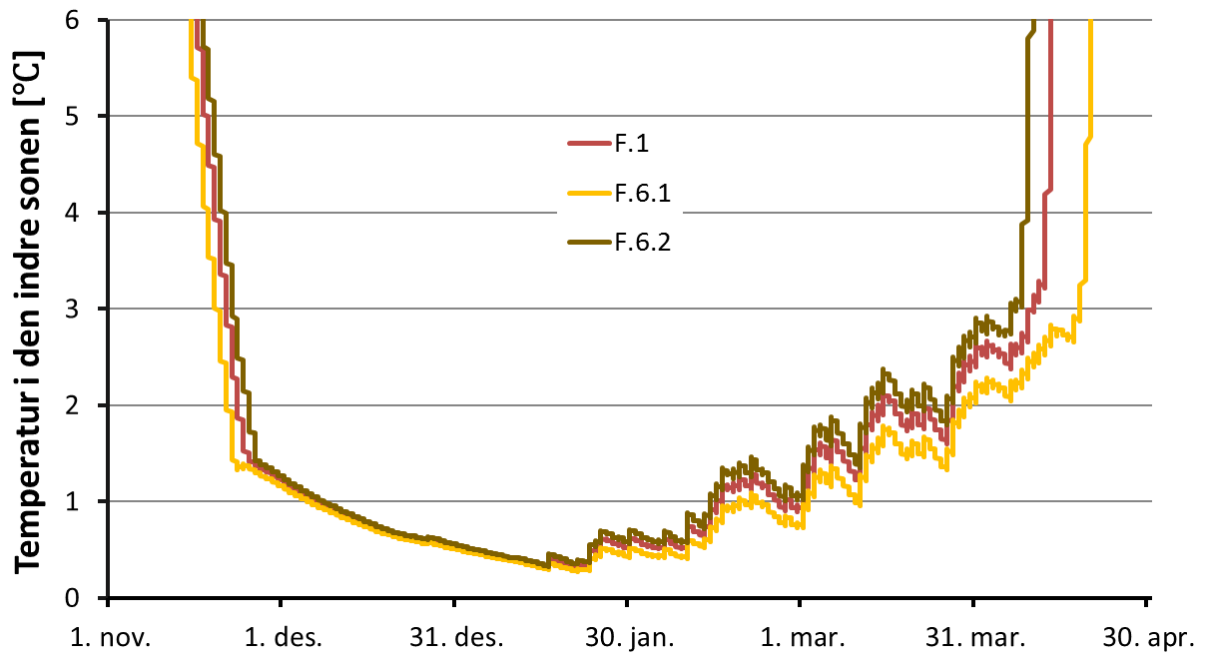
Figur A.42: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2



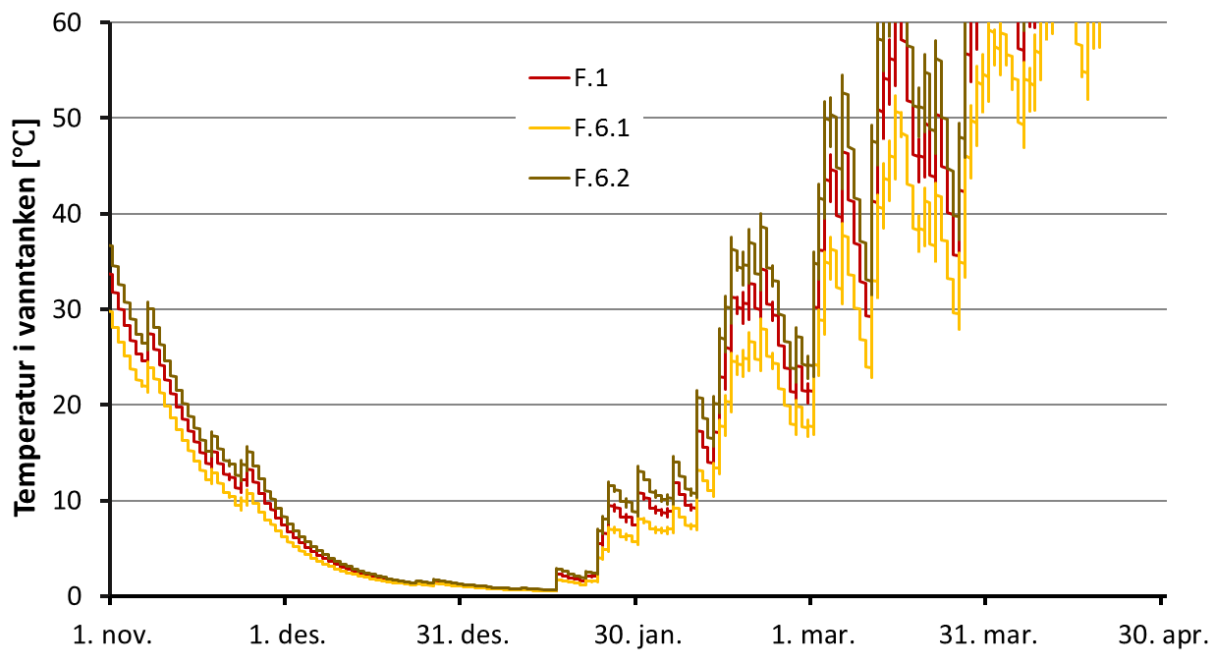
Figur A.43: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.5.1 og F.5.2



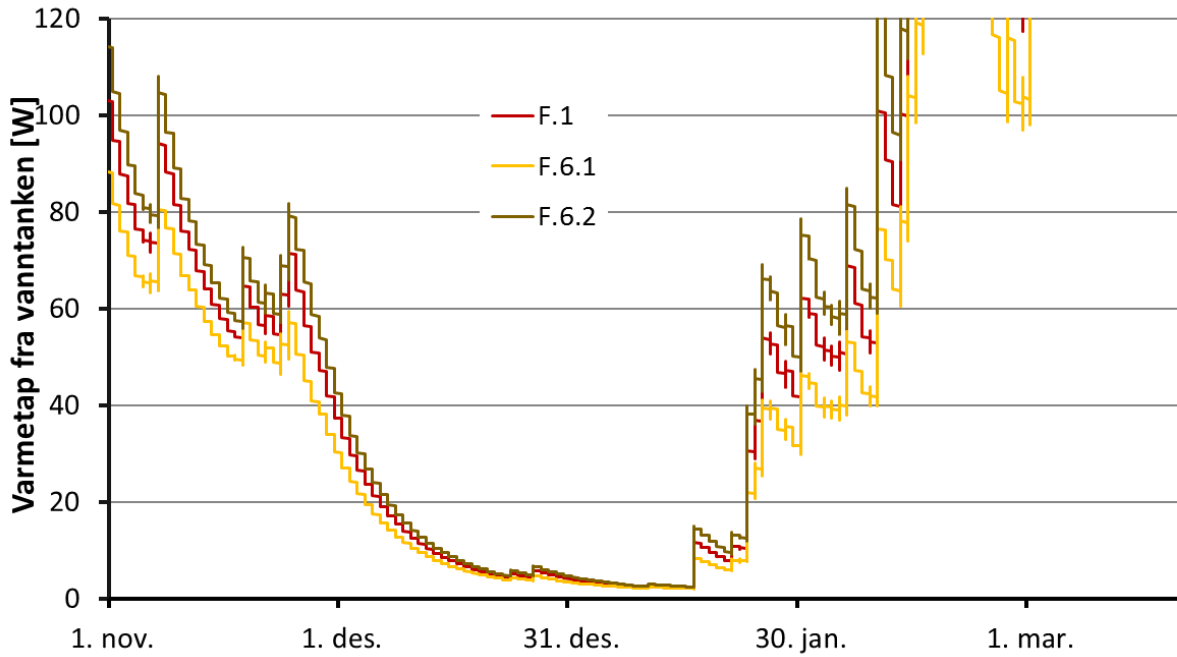
Figur A.44: Simulert temperatur i vannlaget for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2



Figur A.45: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2

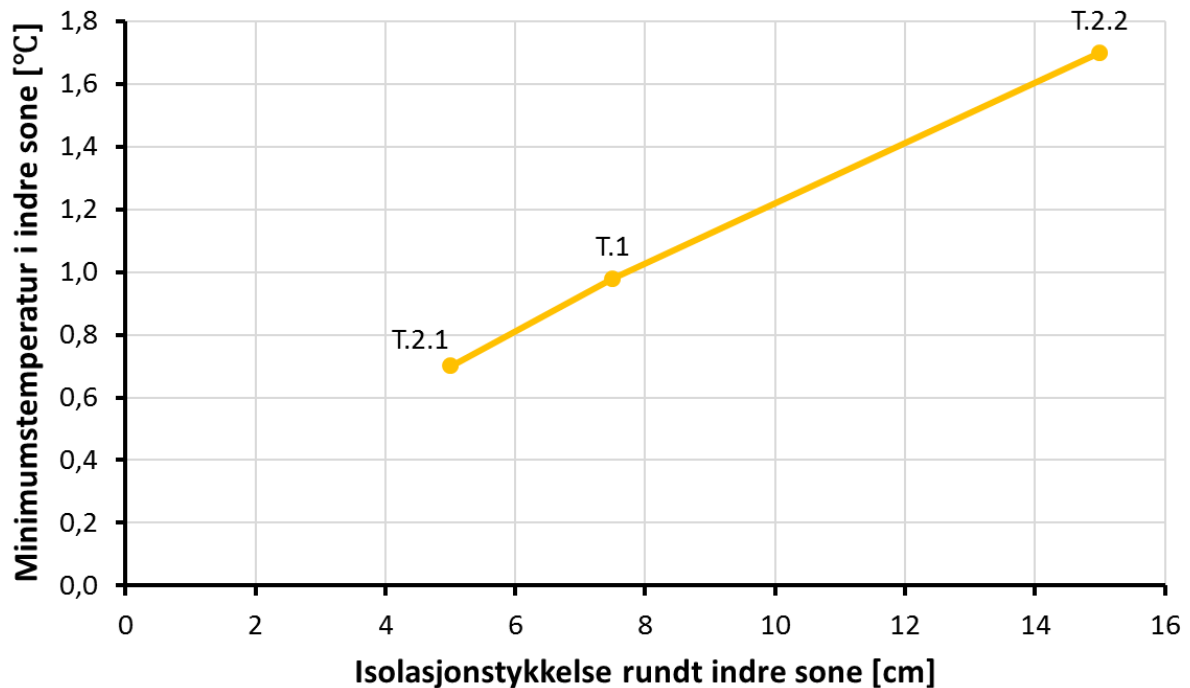


Figur A.46: Temperatur i vanntanken for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2

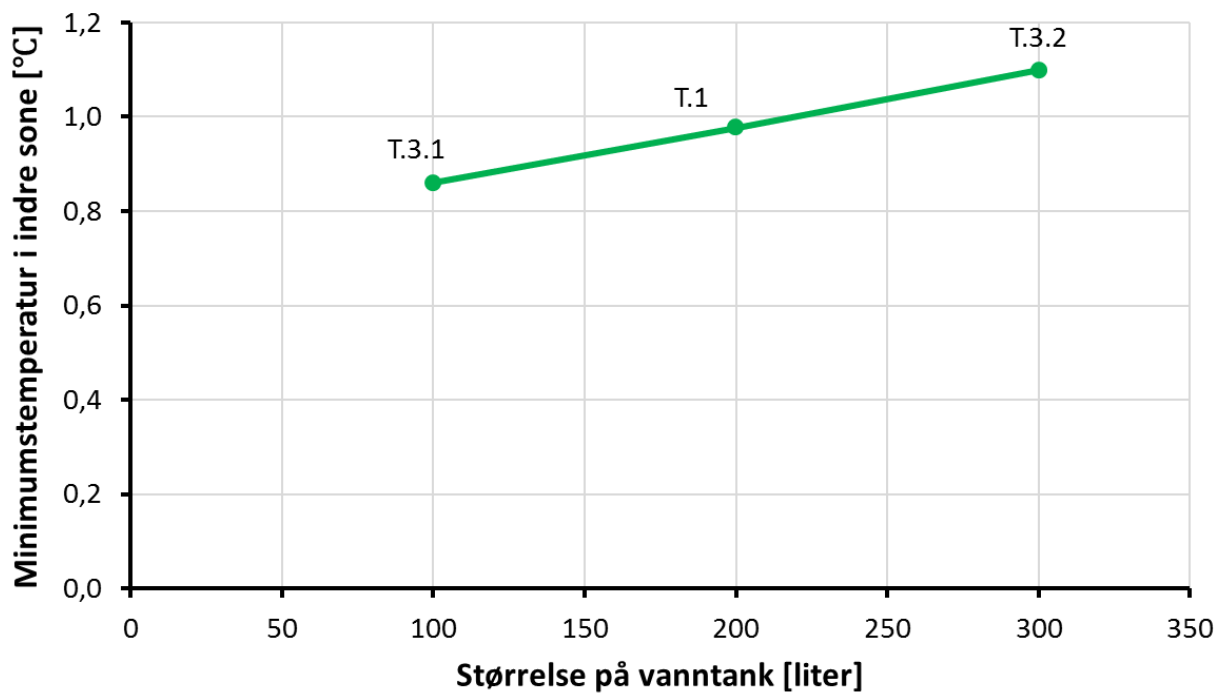


Figur A.47: Varmetap fra vanntanken for scenario F.1, F.6.1 og F.6.2

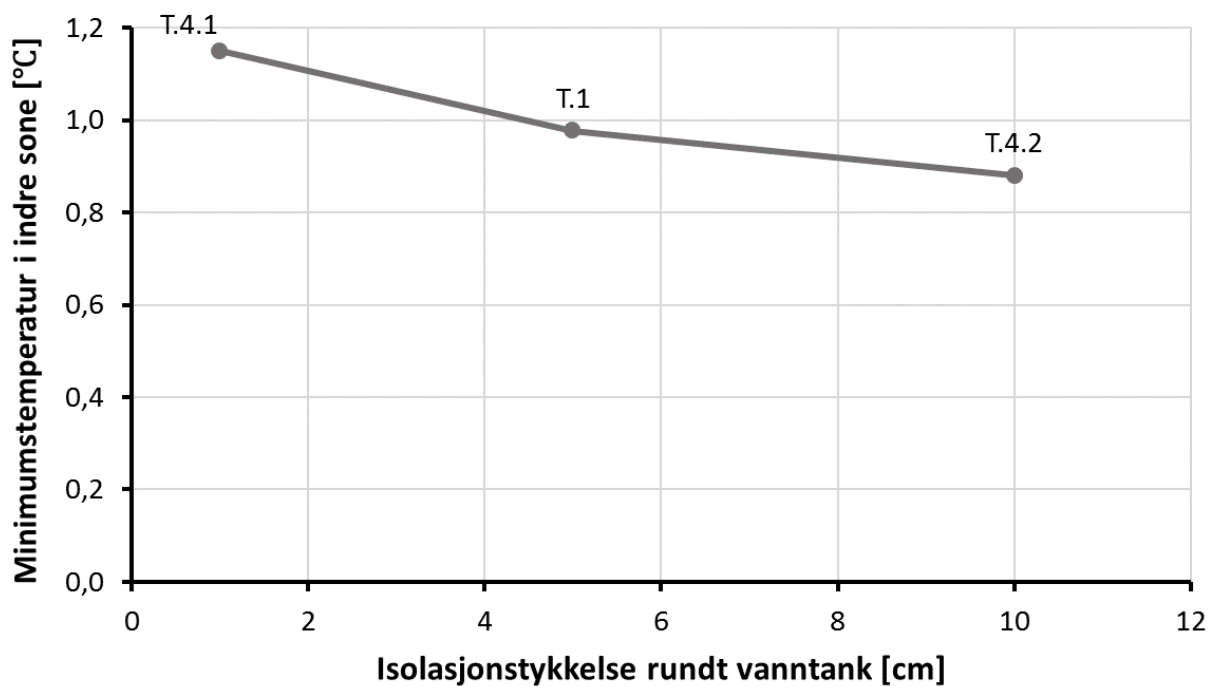
Vedlegg B: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og minimumstemperaturen i den indre sone for Tjøme og Calgary



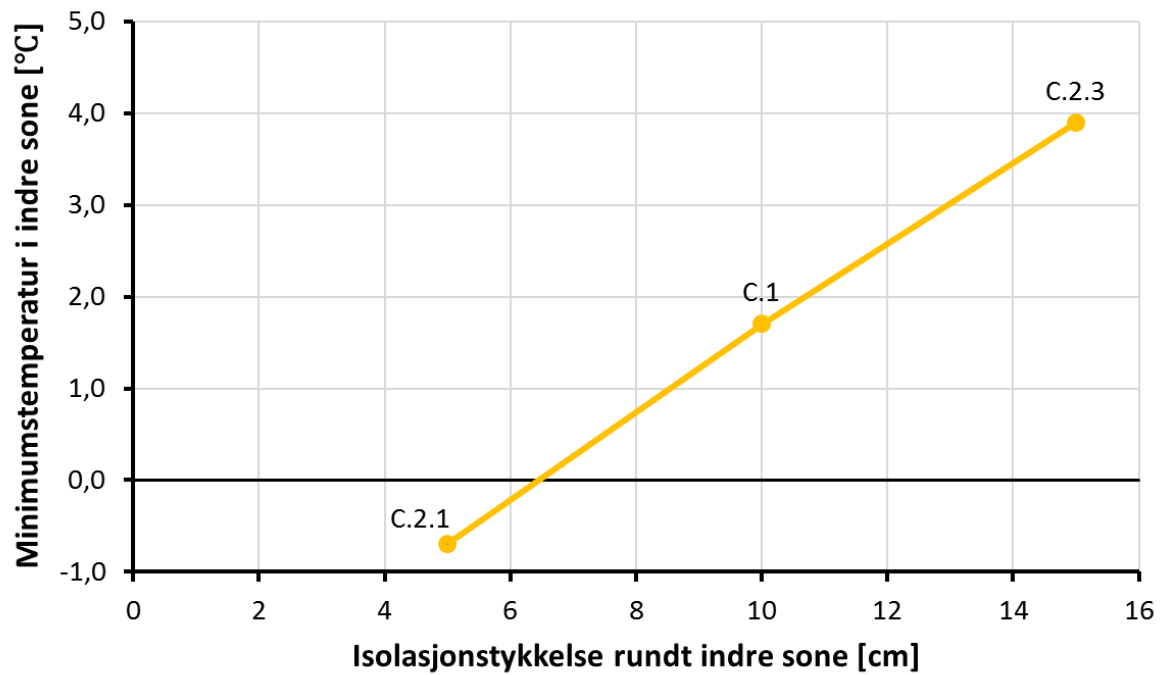
Figur B.148: Lufttemperatur i den indre sone for scenario T.2.1, T.1 og T.2.2



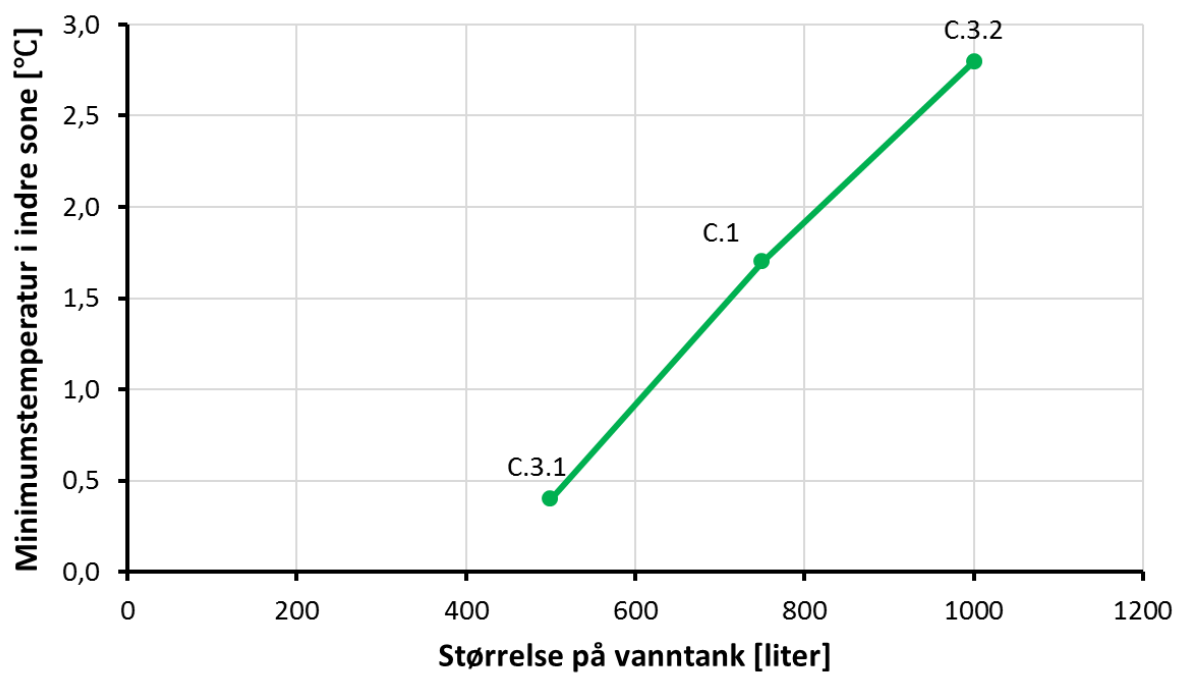
Figur B.249: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.3.1, T.1 og T.3.2



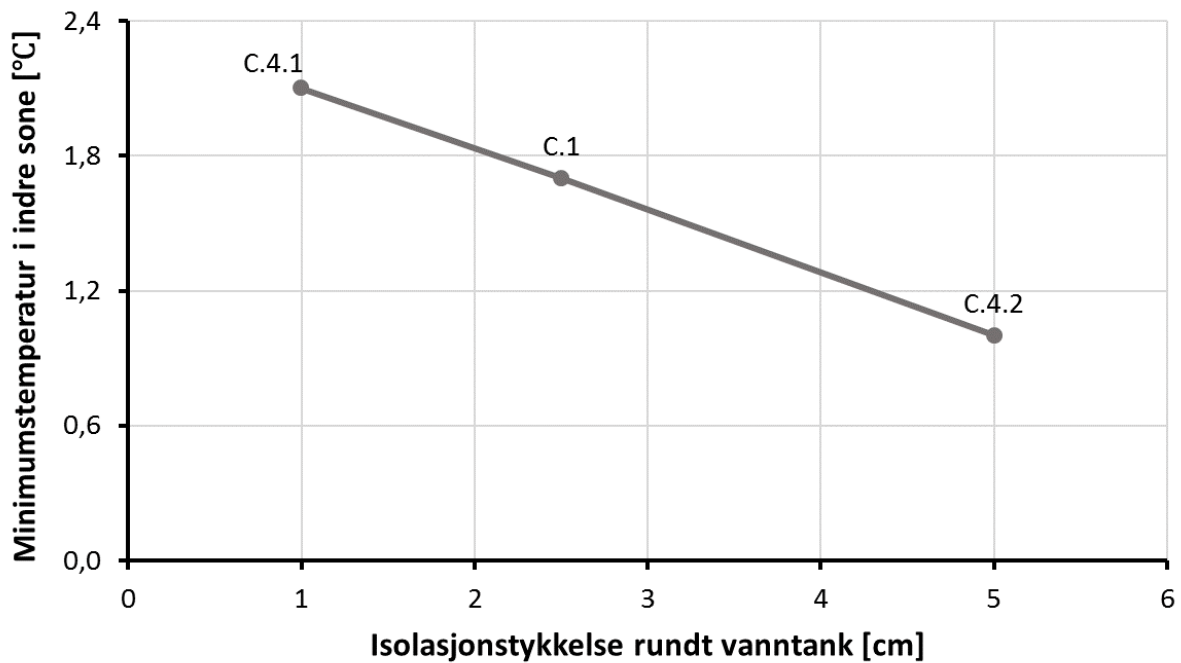
Figur B.350: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario T.4.1, T.1 og T.4.2



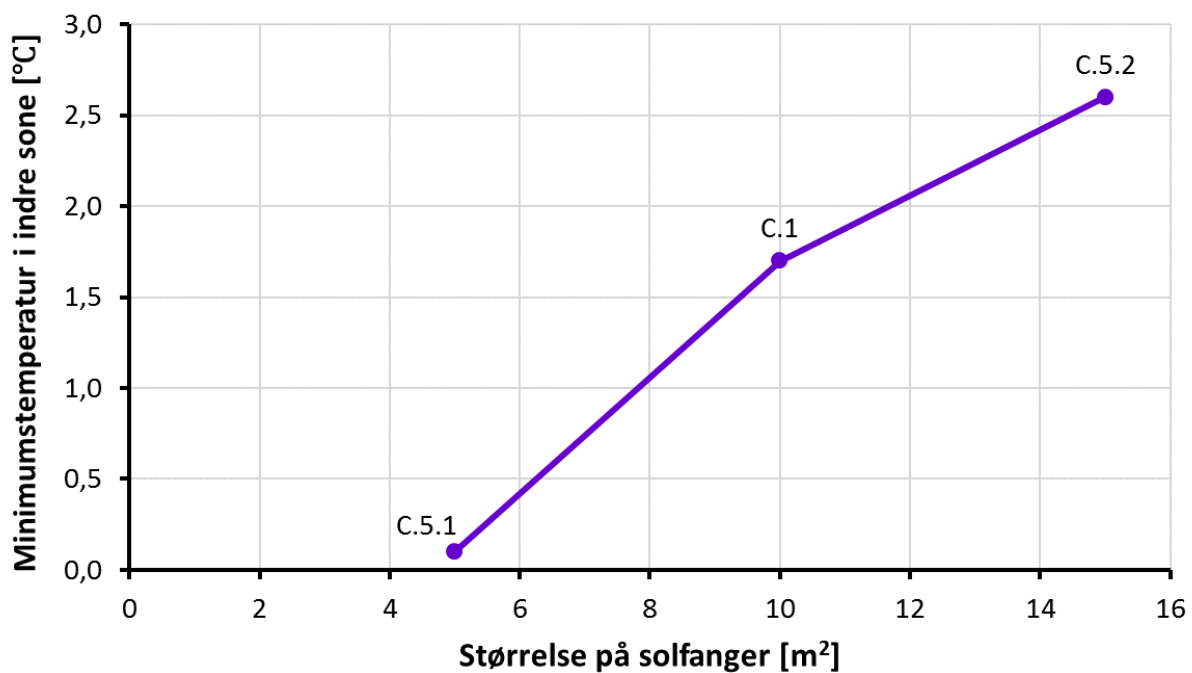
Figur B.451: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.2.1, C.1 og C.2.3



Figur B.552: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.3.1, C.1 og C.3.2

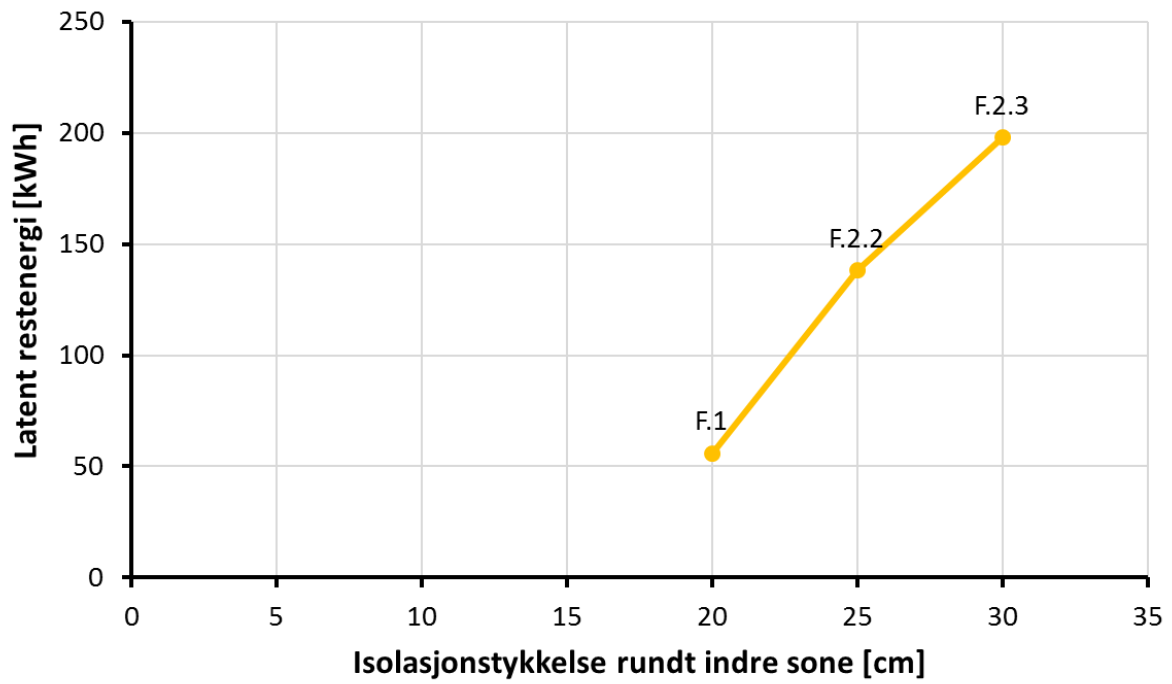


Figur B.653: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.4.1, C.1 og C.4.2

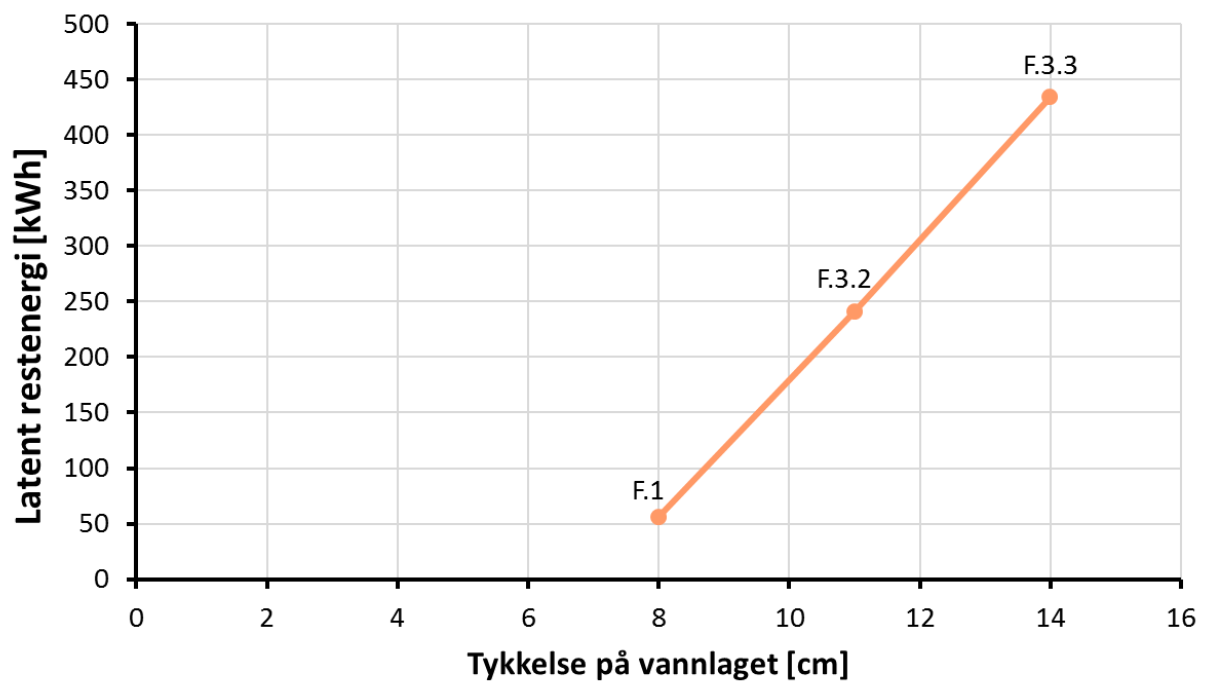


Figur B.754: Lufttemperatur i den indre sonen for scenario C.5.1, C.1 og C.5.2

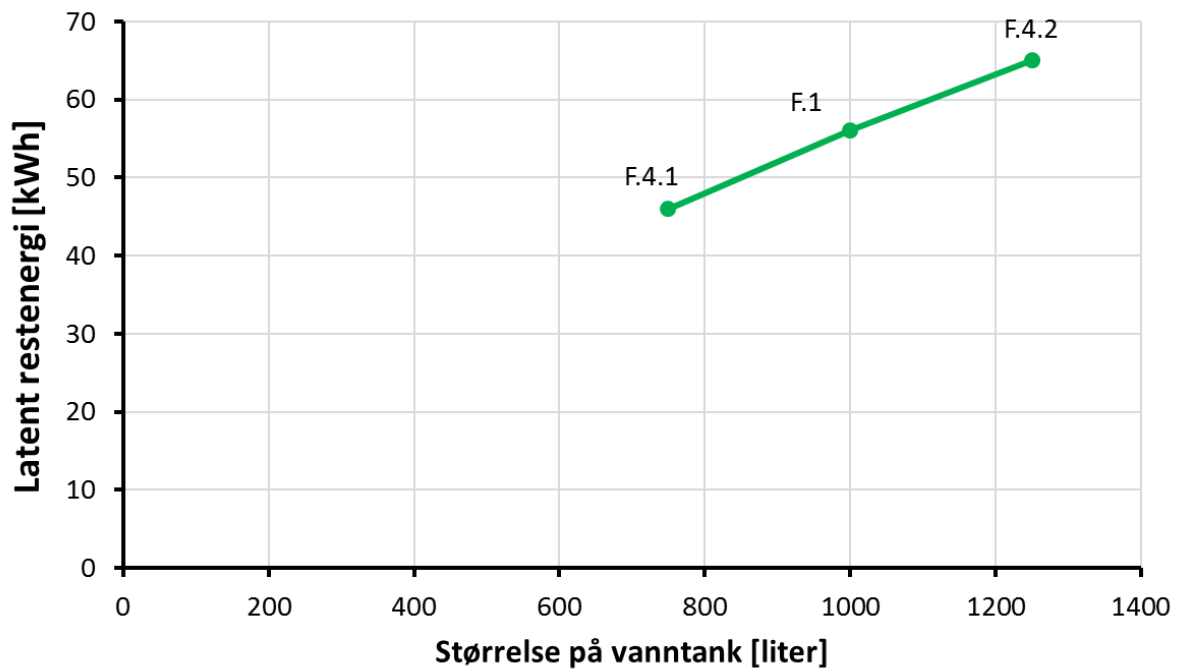
Vedlegg C: Grafer som viser sammenhengen mellom størrelsen på parametere og latent restenergi i vannlaget for Fairbanks



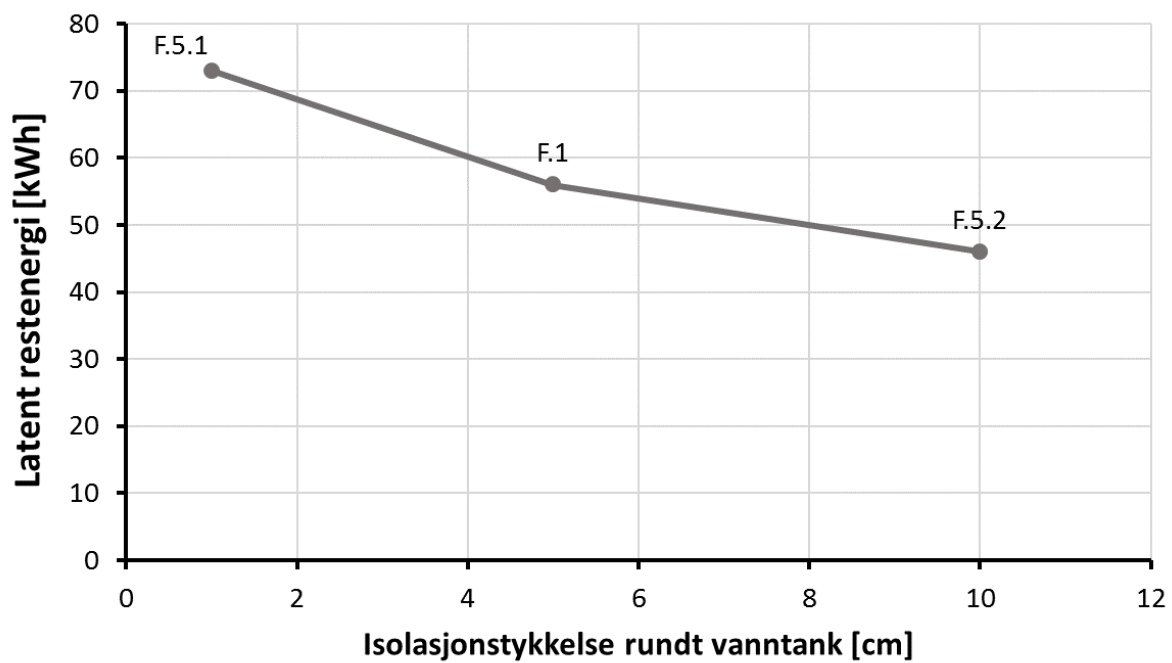
Figur C.155: Latent restenergi for scenario F.1, F.2.2 og F.2.3



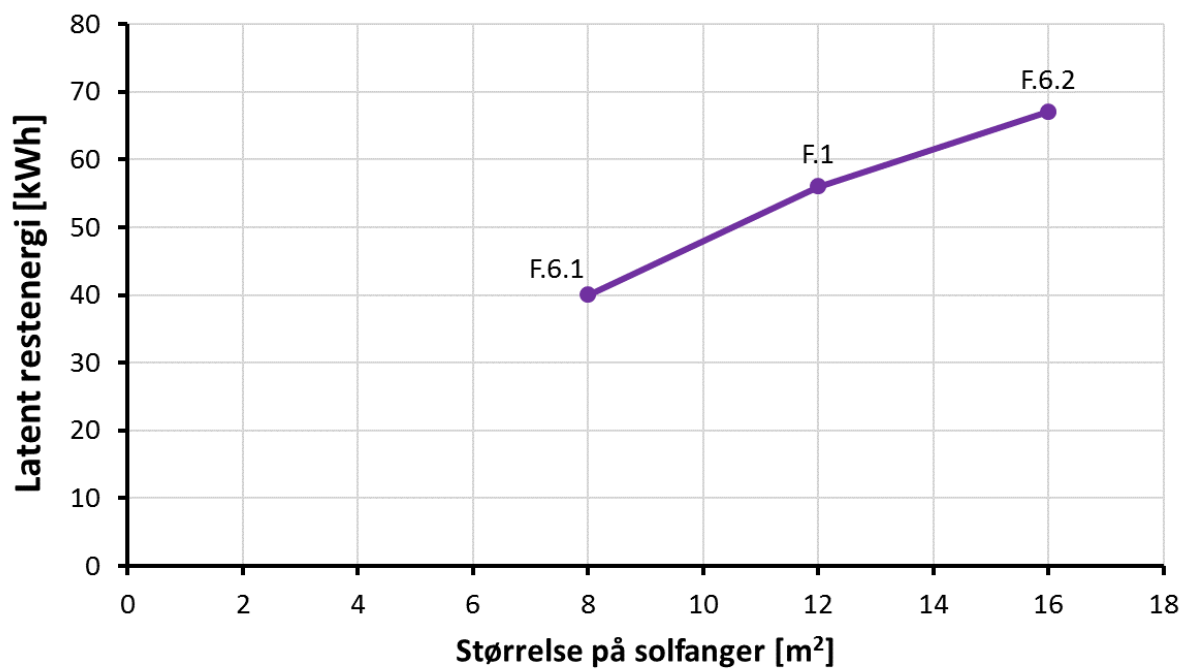
Figur C.256: Latent restenergi for scenario F.1, F.3.2 og F.3.3



Figur C.357: Latent restenergi for scenario F.4.1, F.1, og F.4.2



Figur C.458: Latent restenergi for scenario F.5.1, F.1, og F.5.2



Figur C.559: Latent restenergi for scenario F.6.1, F.1, og F.6.2

Vedlegg D: Utkast til artikkel for publisering i en internasjonal journal

Frost safe sanitary installations in uninhabited buildings

Authors: Ingrid Dolva²

Affiliations:

¹Norwegian University of Science and Technology, Department of Energy and Process Engineering, NO-7491 Trondheim, Norway

²Rambøll AS, Hoffsvæien 4, 0275 Oslo, Norway

*E-mail address: natasa.nord@ntnu.no. Phone number: (+47) 73593338.

Abstract

A method for frost proofing an uninhabited building is analysed. It involves a solar heated water tank placed in an inner zone which is insulated with fibre insulation and a water layer. This inner zone contains sanitary installations and pipes. The large amount of latent heat in the water layer is exploited to keep the air temperature above 0 °C and acts as a PCM. The method is resilient as it is independent of the electricity grid.

The leisure building has been simulated in IDA ICE with climate files from Ostersond, Tjøme, Calgary and Fairbanks. A good solution for Ostersond has a water layer of 2.5 cm, 7.5 cm insulation around the inner zone and a 200 litres tank. With this solution a large portion of the water layer is utilized, while a part is still liquid during the coldest part of the year and serves as a safety margin in case of very cold winters.

Good solutions were also established for the other locations. The climate in Tjøme is mild, and a good result was obtained with the same leisure building model as in Ostersond, but without the water layer. In Calgary, the winter is cold but with good sun conditions which can be exploited with a large solar collector and tank. In Calgary and Tjøme a 1 cm water layer would be wise to install as a safety margin. The extremely cold winter in Fairbanks requires a lot of insulation around the inner zone, a thick water layer, and a large tank to achieve frost free conditions.

A successful simulation was done in Fokstua with a good solution for the leisure building from Ostersond, and it is therefore reasonable to assume that the frost proofing method will work well in other mountain areas in southern Norway as well.

30 **Keywords:** frost proof; frost damage; sanitary installations; PCM; solar collector; water; cabin;
31 leisure building

32

33 **1. Introduction**

34 The world today faces major challenges related to human-induced climate change and
35 limited energy resources. Reducing the energy use in the building sector is important for ensuring
36 a sustainable future. This sector represents 40% of the total energy use worldwide, and for Norway
37 the share is 38% disregarding the energy sector. Electric heating covers most of the heating
38 demand for a big share of the buildings in the country, and this is not desirable. Furthermore, the
39 average person in Norway has the world's largest consumption of electricity [1].

40 The total amount of buildings in Norway includes many leisure buildings, and the number
41 has increased significantly the recent decades. The standard has also been considerably improved,
42 and it is now very common for cabins to have water and electricity [2]. This leads to increased
43 electricity consumption and a higher load on the electricity grid. Water in a cabin also introduces
44 the risk of frost damages. When water freeze, the volume increases by 9% [3] which can cause
45 sanitary installations and pipes to burst. This will most likely result in severe and expensive
46 damage.

47 Cabins are especially prone to frost damage as they are uninhabited for large parts of the
48 year. Many are also located in mountain areas where the outdoor temperature often is very low
49 during the winter. But frost damage can also occur in buildings that are uninhabited for shorter
50 periods of time. However, the damage is usually more extensive in cabins as it can develop over
51 longer periods because there is no one in the building. Thus, the consequences can be major rot
52 due to water leakages from burst pipes. This kind of damage is challenging and costly to repair
53 and can make the holiday home useless for a long time [4].

54 Electrical heating of the whole building is a very common method for preventing frost
55 damage, and Vannskadekontoret at SINTEF Byggforsk recommends heating the entire cabin to
56 10 °C as a preventative measure [5]. Frost proofing a leisure building with this method will result
57 in a high electricity use. This will be expensive for the owner of the cabin, and it will also
58 contribute to greenhouse gas emissions. It is therefore of great interest to investigate alternative
59 methods for achieving frost proof sanitary installations and pipes, especially for holiday homes.

60 Through several years master students have worked on different solutions for frost
61 proofing of leisure buildings. The master theses are all based on a cabin with an inner, well
62 insulated zone in the middle of the building where sanitary installations and pipes are located. This
63 reduces the volume that needs to be heated, and thus also the energy use for preventing frost,
64 significantly. It also makes a frost proofing method for the building easier to implement, and space
65 is saved because it is unnecessary to insulate the whole cabin. With an inner zone, the rest of the
66 leisure home can be insulated moderately, and wood heating can be used when it is inhabited. All
67 these previous theses have shown that it is very advantageous to have this inner insulated zone
68 with sanitary installations. Several master students demonstrated that if electric heating is used, the
69 energy use will be considerably reduced with an inner zone. Furthermore, several different frost
70 proofing solutions for a holiday home that are independent of electricity grid are analysed, but
71 none of these are considered to be completely satisfactory. An LCA was also performed on
72 different concepts for the cabin, and the results showed that a wooden leisure building on stilts
73 gives a very small amount of CO₂ emissions [6-10].

74 The aim of this study was to analyse a solution for frost proofing of an uninhabited
75 building that involves an inner insulated zone that contains sanitary installations and piping. It
76 utilizes solar energy by placing a solar heated water tank in the inner zone which is insulated with
77 fibre insulation and a water layer. The large amount of latent heat in the water is exploited to
78 prevent frost in the zone. The solution is energy efficient and independent of a connection to the
79 electricity grid, which also makes it resilient. The main focus is on frost protection of leisure
80 buildings in southern Norway, but other places in the world that are vulnerable to frost have also
81 been analysed. The results of the study can be useful for other types of buildings as well, and not
82 only for leisure buildings.

83 The paper is organized as the following. First, the climate of the chosen locations where
84 the frost proofing method is analysed, is introduced. The modelling of the leisure building is
85 described afterwards. Lastly, the results from the simulations of the building with the frost
86 proofing method implemented is presented and analysed. An advantageous solution for the
87 concept is discussed for each location.

88 2. Methodology

89 2.1 Chosen climate for studying the method for frost proofing uninhabited buildings

90 A model of the leisure home has been developed in the dynamic simulation tool IDA ICE
91 4.7.1, and climate data from four different locations have been chosen. There are many areas of
92 the world where uninhabited buildings are vulnerable to frost problems. When the cabin is
93 analysed in various places it will be possible to see how the solution for frost proofing works in
94 different types of climates. The climate files for the places represent typical years, and therefore
95 one should keep in mind that more extreme years can occur [11]. The information about the
96 different locations is from the climate files.

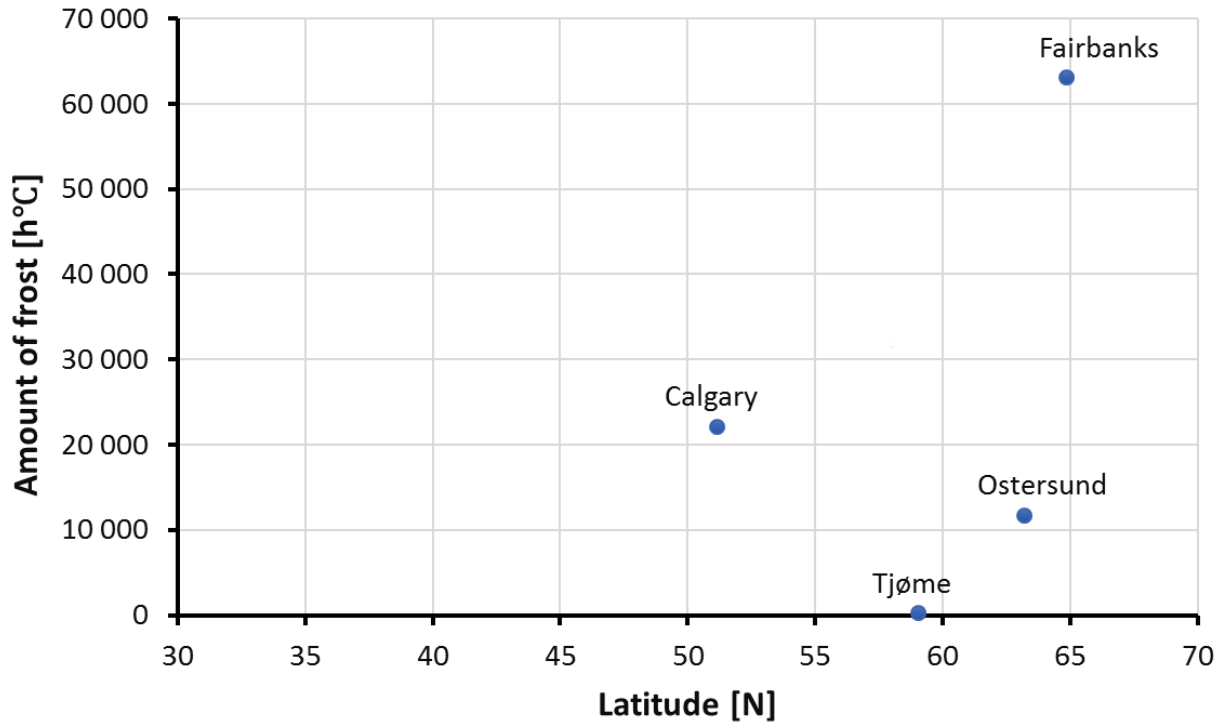
97 Ostersund is the first chosen location because it was chosen when the first master student
98 worked with analysing the leisure home concept. This city is considered to have a typical inland
99 climate which is representative for mountain areas in southern Norway. The winter in Ostersund is
100 relatively cold, the latitude is 63.2° N, and the city is 359 meters above sea level. The type of
101 climate file used for Ostersund is IW2.

102 Another chosen location Tjøme which has a considerably milder climate as it is located in
103 Oslofjorden. The climate file is based on measurements from Færder Fyr which is an island in the
104 municipality of Tjøme, and it is also of the type IW2. The latitude is 59.0° N and Færder Fyr is 8
105 meters above sea level.

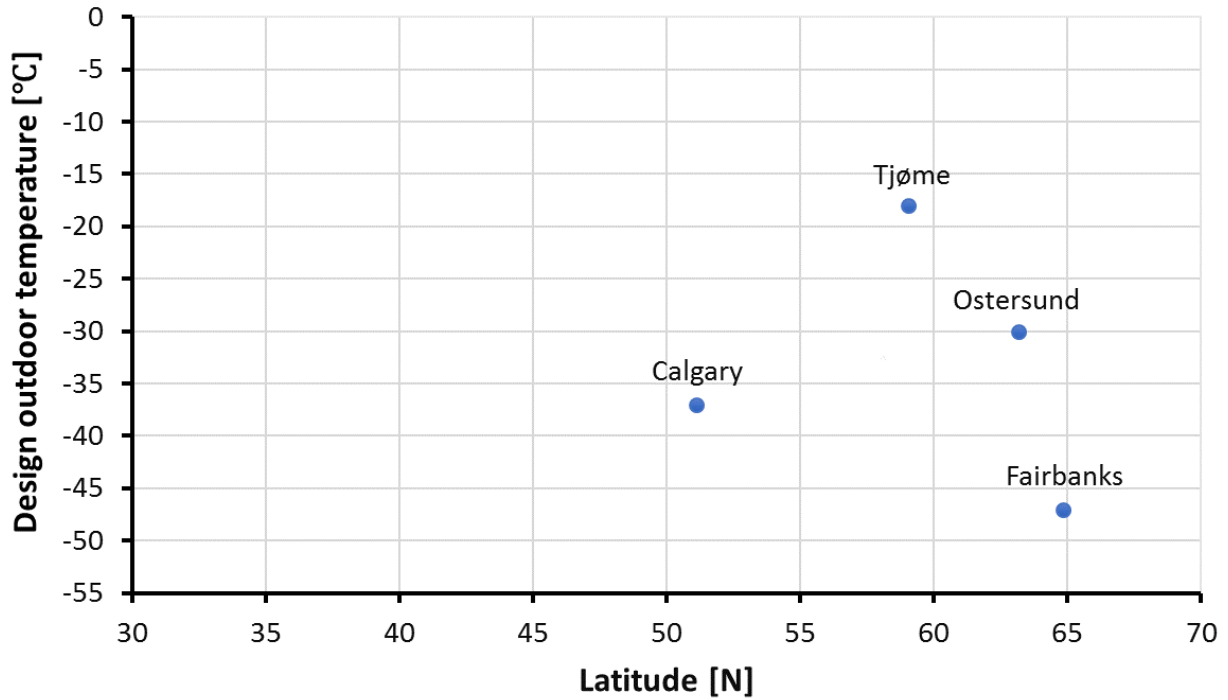
106 The next investigated location is Calgary, Canada. Calgary has a latitude of 51.1° N, which
107 is the smallest out of the chosen places. Therefore, the city has the best solar conditions. However,
108 the winter is colder here than in Ostersund because it is located 1084 meters above sea level. The
109 type of climate file is CWEC.

110 The absolutely coldest place is Fairbanks located in Alaska which has a very long and cold
111 winter. The latitude of the city is 64.8° N and it is 133 meters above sea level. Because it is located
112 so far north there is not a lot of solar irradiation during the winter. The types of climate file used
113 for Fairbanks is TMY3.

114 In Fig. 1. the amount of frost is compared for the four locations.



115
 116 Fig. 1. Comparison of the amount of frost for the different locations
 117 From Fig. 1. it can be seen that Fairbanks has a very large amount of frost compared to the
 118 other locations. Furthermore, Calgary has a much higher amount of frost than Ostersund, although
 119 the city has a lower latitude. This is probably because Canada is high above sea level. Tjøme has a
 120 very small amount of frost due to a very mild winter.
 121 In Fig. 2. the design outdoor temperatures are presented for the different locations. There is
 122 some uncertainty associated quality of the sources where the temperatures are found.
 123

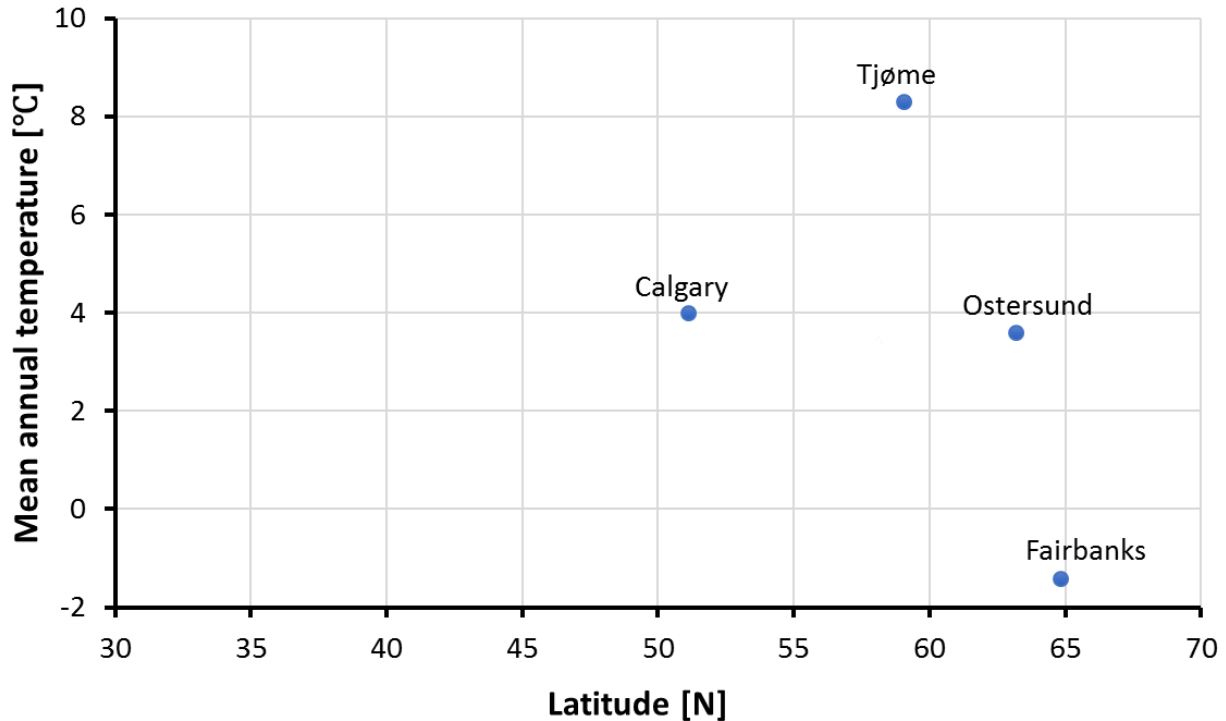


124

125 Fig. 2. Comparison of design outdoor temperature for the different locations [12-15]

126 In Fig.2. it can be observed that the differences in design outdoor temperature between the
 127 different locations are not as big as in Fig.1. This is because this temperature does not vary as
 128 much as the length of winter and the outdoor temperature throughout it.

129 Fig.3. shows the mean annual temperature for the different locations.



130

131 Fig. 3. Comparison of mean annual temperature for the different locations

132 From Fig. 3. it can be seen that Fairbanks has the lowest mean annual temperature. In
 133 Calgary and Ostersund the mean annual temperature is quite similar, even though the winter is
 134 colder in Calgary. The reason for this is probably that it gets very hot when it is sunny in Calgary,
 135 and that the difference between summer and winter is larger in this city compared to Ostersund.

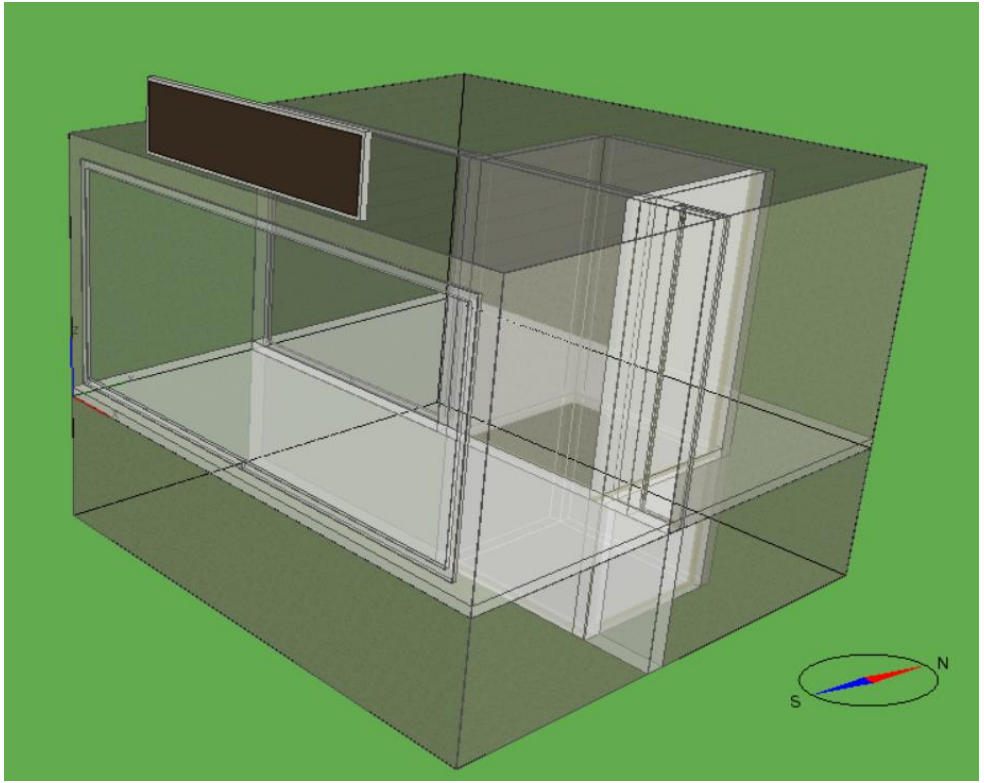
136 **3. Modelling of the cabin**

137 The model of the leisure building is based on the cabin in the master thesis of Are Børset
 138 [7]. This choice was made as this thesis analysed a concept that is similar to what is done in this
 139 study.

140 *3.1. Structure of the model*

141 The holiday home has a simple structure with a basement floor and a ground floor. On
 142 both floors there is a zone in both the south and the north. The inner zone is located in the middle
 143 of the building. The exterior walls all have a length of 8 m, and the basement and the ground floor
 144 are 2 and 4 m high, respectively. The inner zone has four walls with a length of 2.5 m, and it is 6
 145 m high because there is no floor between the basement and the ground floor. A large window

146 covers 80% of the south facing exterior wall. There are also windows between the south and north
 147 zone on the ground floor, and the roof of the model is flat. Fig. 4 illustrates the cabin model in 3D.



148

149

Fig. 4. The model in 3D from IDA ICE

150

Table 1 describes the materials that the leisure building consists of.

Description of construction	Material	Thickness [mm]	U-value [W/m ² K]
Floor between basement and ground floor	Concrete	150	3.87
Walls around inner zone	Aluminum	3	0.59
	Water	25	
	Mineral wool	75	
	Concrete	100	
Basement floor	Floor coating	100	0.16
	XPS	200	
	Concrete	200	
Exterior wall	Mineral wool	250	0.20

	Wood	20	
Wall between north and south zone in the basement	Concrete	300	2.89
Roof	Wood	500	0.06
	Mineral wool	700	
Window of external wall	2-layer window	-	2.81
Window between north and south zone	2-layer window	-	2.81

151 Table 1: Description of the materials in the leisure home

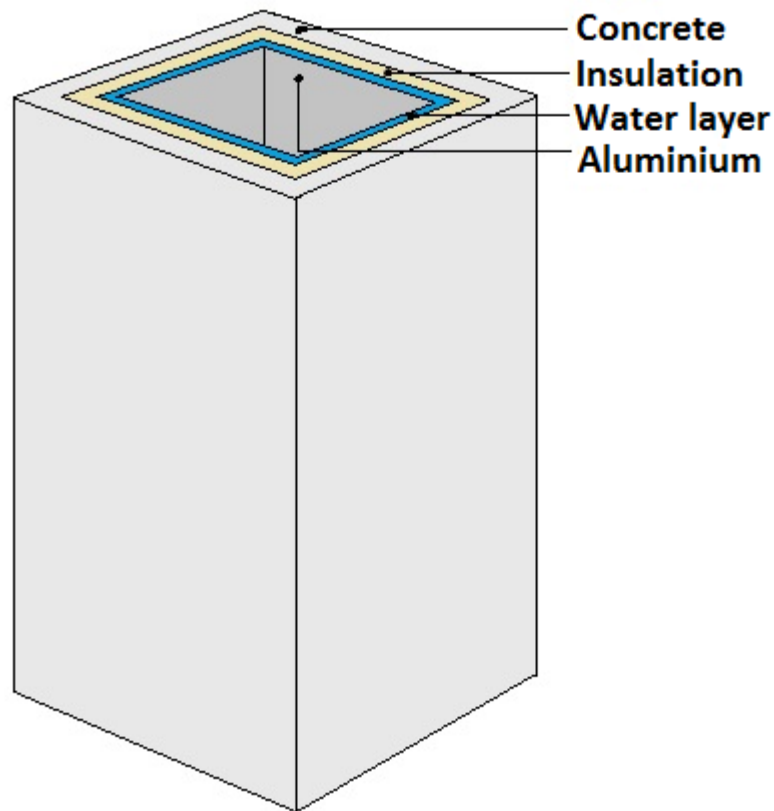
152 The insulation and water layer around the inner zone will vary in the different simulations,
 153 and this will be specified later.

154 "Heavy insulation" from the database of IDA ICE is used as a replacement for mineral
 155 wool. There is a lot of insulation on the roof, and the reason for this is that snow is unavailable in
 156 IDA ICE. A snow layer will have an insulating effect, and it is therefore assumed that additional
 157 insulation will be a good imitation.

158 *3.2.1 Method for frost proofing the leisure building*

159 The frost protection method that has been analyzed involves placing a solar heated water
 160 tank in the inner zone which is insulated with fiber insulation and a water layer. Fig. 5. illustrates
 161 the zone's structure for this method. The large amount of latent heat in the water is utilized to
 162 keep the sanitary installations frost proof.

163

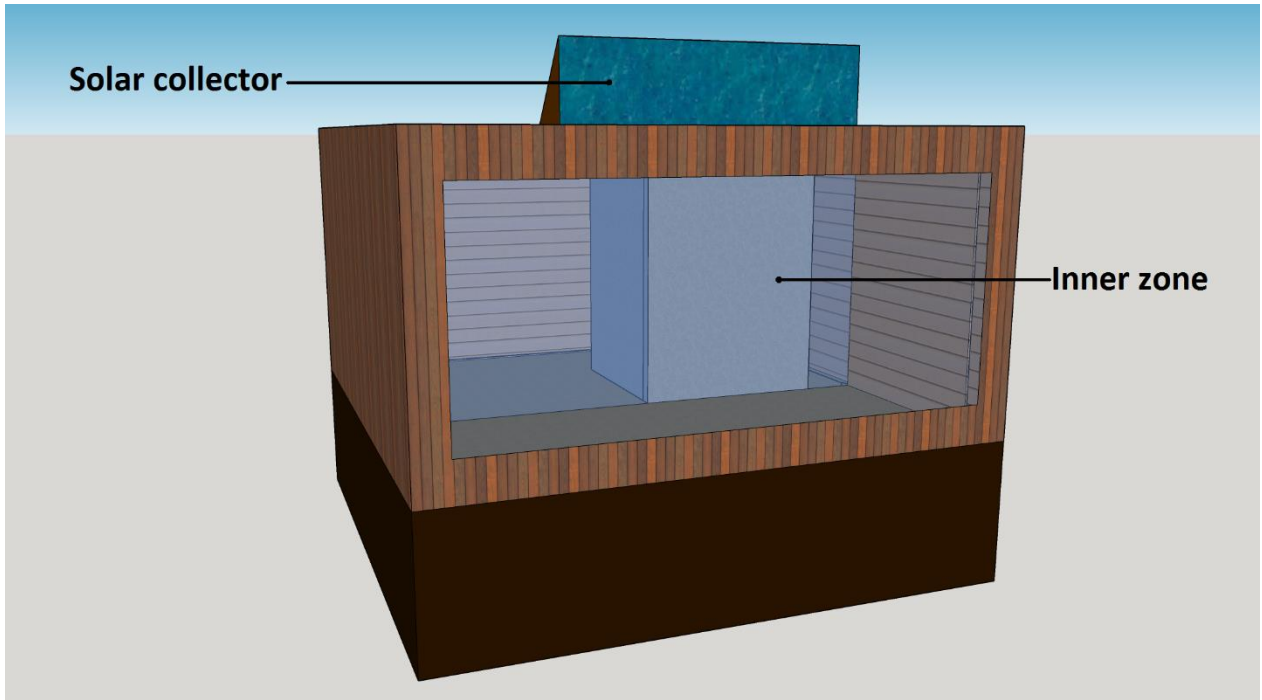


164
165 Fig. 5. Principle drawing of the inner zone (the proportions are not completely correct)

166 From Fig. 5. it is possible to observe that a layer of blank, unprocessed aluminium is
167 placed on the inside of the water layer. The purpose of the aluminium is to almost eliminate heat
168 transfer by radiation. This is done in the simulations as well, but it seemed to have an almost
169 negligible effect. This is probably because the simulation program does not take this special
170 feature of unprocessed aluminium into account. However, as the material is assumed to have an
171 effect, the average air temperature in the inner zone is used in the analysis of the frost protection
172 method.

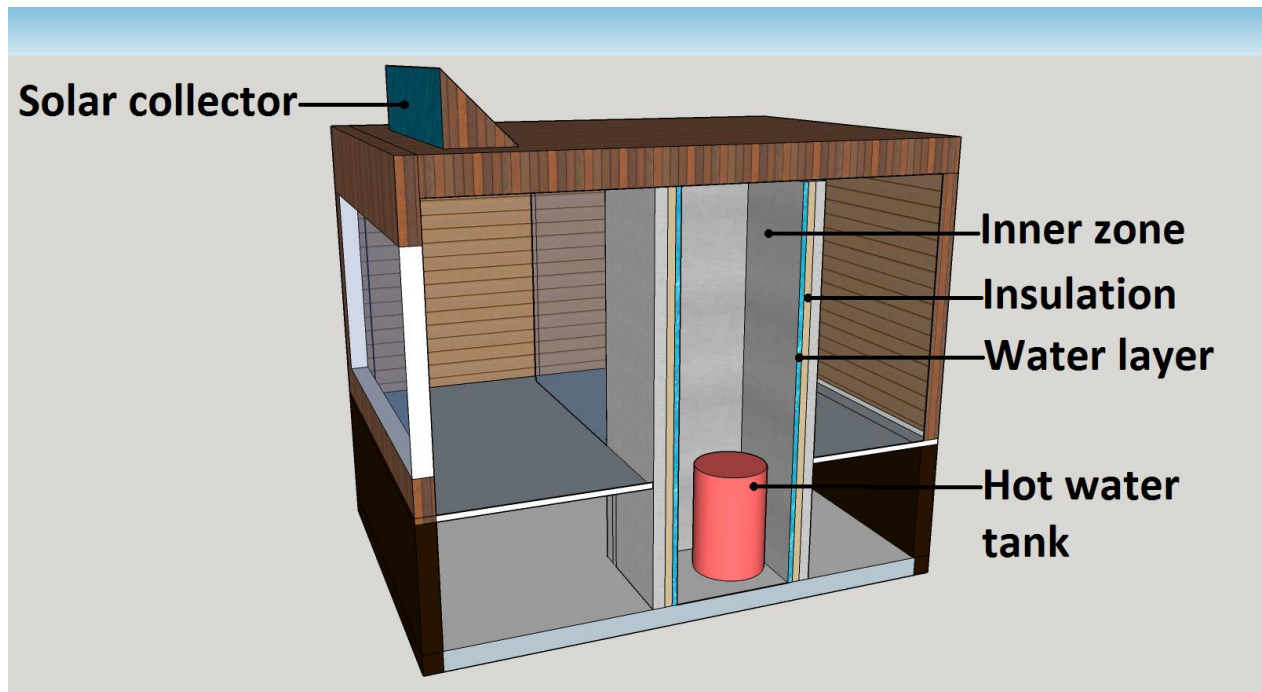
173 A solar collector provides heated water for the tank. During fall and winter, the
174 temperature in the leisure building will drop, and the water tank will be the only heat source.
175 When there are minus degrees in the outer zones, the water layer around the inner zone will start
176 to freeze. Since water has a very high amount of latent heat, a large energy loss from the inner
177 zone will be required before the entire layer is frozen. And, as long as a part of the water layer is
178 still liquid, the temperature in the inner zone will be above 0 °C due to the heat loss from the tank.
179 Therefore, the water acts as a PCM.

180 Fig. 6. and 7. show principle sketches of the leisure building with the frost proofing
181 method implemented.



182
183

Fig. 6. Principle sketch of the leisure building



184
185

186 Fig. 7. Principle sketch of a cross section of the leisure building

187 The tilt angle for solar collector that can be observed in Fig. 6. and 7. was set to be 90°
 188 relative to the horizontal plane in the simulations for Ostersund, Tjøme and Fairbanks. This angle
 189 is beneficial for utilizing the solar irradiance during the winter for locations in the north, especially
 190 if there is snow. However, the snow is not taken into account in IDA ICE. Therefore, it is not
 191 surprising that there was a very small difference between using a tilt angle of 45 ° and 90 ° in
 192 Ostersund when this was tested. In Calgary, the tilt angle was set to 45 ° because this city is
 193 further south, and the good sun conditions in the city will probably be exploited better with a
 194 smaller angle.

195 *3.3. Scenarios for analysis of the frost proofing method*

196 In this chapter, all the analysed scenarios with the frost proofing method implemented are
 197 presented. Each scenario has a descriptive number and letter.

198 The scenarios with climate data from Ostersund are presented in Table 2.

SCENARIO	Insulation around the inner zone [cm]:	Thickness of the water layer [cm]:	Size of the water tank [liters]:	Insulation around the water tank [cm]:	Area of the solar collector [m²]:
O.1	7.5	2.5	200	10	4
O.2.1	2.5	2.5	200	10	4
O.2.2	5	2.5	200	10	4
O.2.3	15	2.5	200	10	4
O.2.4	30	2.5	200	10	4
O.3.1	7.5	3.75	200	10	4
O.3.2	7.5	5	200	10	4
O.4.1	7.5	2.5	150	10	4
O.4.2	7.5	2.5	300	10	4
O.5.1	7.5	2.5	200	5	4
O.5.2	7.5	2.5	200	15	4

199 Table 2: Overview of analysed scenarios in Ostersund

200 From Table 2 it can be seen that four different parameters are varied in Ostersund. The
 201 insulation around the inner zone of O.1 is relatively thin and therefore takes up a small space in

202 the building. The water layer is also quite thin. To simulate the cabin model with a water layer of 1
 203 cm did not work, and therefore only scenarios with a thicker water layer than 2.5 cm are presented.
 204 The tank of 200 litres has the same size as many standard hot water tanks.

205 Table 3 presents the scenarios with climate data from Tjøme.

SCENARIO	Insulation around the inner zone [cm]:	Thickness of the water layer [cm]:	Size of the water tank [liters]:	Insulation around the water tank [cm]:	Area of the solar collector [m ²]:
T.1	7.5	0	200	5	4
T.2.1	5	0	200	5	4
T.2.2	15	0	200	5	4
T.3.1	7.5	0	100	5	4
T.3.2	7.5	0	300	5	4
T.4.1	7.5	0	200	1	4
T.4.2	7.5	0	200	10	4

206 Table 3: Overview of analysed scenarios in Tjøme

207 As can be seen from Table 3, the scenarios with climate data from Tjøme do not have a
 208 water layer. The rest of the parameters are very similar to those in Ostersund. The reason for this is
 209 that Tjøme has a considerably milder winter than Ostersund. Therefore, it is reasonable that if O.1
 210 works well in Ostersund, the same scenario will be good enough in Tjøme without a water layer.

211 The scenarios with climate data from Calgary are presented in Table 4.

SCENARIO	Insulation around the inner zone [cm]:	Thickness of the water layer [cm]:	Size of the water tank [liters]:	Insulation around the water tank [cm]:	Area of the solar collector [m ²]:
C.1	10	0	750	2.5	10
C.2.1	5	0	750	2.5	10
C.2.2	15	0	750	2.5	10
C.3.1	10	0	500	2.5	10
C.3.2	10	0	1000	2.5	10
C.4.1	10	0	750	1	10

C.4.2	10	0	750	5	10
C.5.1	10	0	750	2.5	5
C.5.2	10	0	750	2.5	15

212 Table 4: Overview of analysed scenarios in Calgary

213 As can be seen from Table 4, the scenarios from Calgary are also without a water layer.
 214 The plan was to do simulations with a water layer in this city as well, but this proved to be very
 215 challenging as most of the simulations that was tested with this implemented did not work.

216 From the table it can be seen that both the water tank and the solar collector are quite large
 217 in Calgary. This city has good sun conditions during the winter, and these are exploited by using a
 218 voluminous tank and a large solar collector. The winter is also quite cold in Calgary, and therefore
 219 a lot of solar heat is required to keep the inner zone frost free.

220 In Table 5, the scenarios from Fairbanks are presented.

SCENARIO	Insulation around the inner zone [cm]:	Thickness of the water layer [cm]:	Size of the water tank [liters]:	Insulation around the water tank [cm]:	Area of the solar collector [m²]:
F.1	20	8	1000	5	12
F.2.1	15	8	1000	5	12
F.2.2	25	8	1000	5	12
F.2.3	30	8	1000	5	12
F.3.1	20	5	1000	5	12
F.3.2	20	11	1000	5	12
F.3.3	20	14	1000	5	12
F.4.1	20	8	750	5	12
F.4.2	20	8	1250	5	12
F.5.1	20	8	1000	1	12
F.5.2	20	8	1000	10	12
F.6.1	20	8	1000	5	8
F.6.2	20	8	1000	5	16

221 Table 5: Overview of analysed scenarios in Fairbanks

222 Table 5 shows that both the insulation and the water layer around the inner zone are
223 considerably thicker in Fairbanks compared to the other places. The same applies to the water tank
224 and the solar collector. The reason for this is that Fairbanks by far is the coldest location of the
225 four investigated, and the winter in this city is extremely long and cold. In addition, Fairbanks has
226 the highest latitude, which means that the city has a small amount of solar irradiation during the
227 winter.

228 3.3. *Simulation of the leisure home in IDA ICE*

229 This section describes how the model of the leisure home is built in IDA ICE. The
230 implemented settings that are considered to be most relevant will be presented.

231 3.3.1 *Heating system*

232 As the leisure building is being analysed during the winter when it is uninhabited, the
233 heating system is implemented without considering the periods when the cabin is in use. The only
234 source of heat in the simulations is the hot water tank. It is not possible to physically place the
235 water tank in the inner zone in IDA ICE. This is resolved by inserting an electric heater with a
236 very low power of 1 W in the inner zone. This heater is connected to the heat losses from the
237 water tank, and these losses are thus released from the oven. The hot water tank is divided into
238 eight horizontal layers, and hence stratification is taken into account. Also, the heat loss from the
239 water tank has been modified so that it is based on the air temperature of the inner zone.

240 3.3.2 *Water layer as PCM*

241 The water layer on the walls of the inner zone is inserted as a PCM layer. In reality, the
242 phase change from ice to water occurs when the temperature is 0 °C. However, in order to make
243 the simulations work it was necessary for the water to go from solid to liquid over a temperature
244 range. After testing several options, it was decided that the phase change would take place at a
245 temperature range of 1 °C because then it worked relatively well to run simulations. The latent heat
246 of water was divided and distributed over the temperature range.

247 3.3.3 *Simulation of solar collectors*

248 In the database of IDA ICE there is a plane solar collector, and this is used in the model of
249 the leisure home. To use another type of collector you have to set up this yourself. A vacuum solar
250 collector would be the best choice, as this would provide the most heat during the winter.

251 However, it proved to be challenging to set up this type of solar collector as it was difficult to
252 evaluate the changes in the parameters that would give a realistic vacuum tube collector. Using a
253 plane solar collector was therefore considered to be the best and safest solution as this type is
254 already defined by IDA ICE.

255 3.3.4 *Modelling of the ground*

256 There are two different ground models available in IDA ICE, ISO 1337 and ICE 3. The
257 ISO 1337 model is based on the international standard with the same name. In the ICE 3 model the
258 ground has a constant temperature corresponding to the average temperature of the selected
259 climate file [16]. The ISO 1337 can thus be said to be more accurate than ICE 3, but the problem
260 with the ISO 1337 was that simulation of the water layer proved to be very difficult. With ICE 3 it
261 was significantly easier. One possible explanation for this can be that the ISO 1337 is a more
262 complicated model which makes calculations more complex, and therefore the simulations
263 become more difficult to run. Simulation of the water layer is a very important part of this study,
264 and as this worked considerably better with ICE 3, this ground model was chosen.

265 3.3.5 *Infiltration*

266 The infiltration for the leisure building is set to be 0.5 air changes per hour, or ACH, at a
267 pressure difference of 50 Pa. It is assumed to be nearly air tight between the inner zone and the
268 outer zones.

269 3.3.6 *Pressure coefficients*

270 The pressure coefficients are set to be exposed because leisure home is assumed to be
271 located in an open mountain area which is believed to be relatively exposed to wind and weather.

272 **4. Results and analysis**

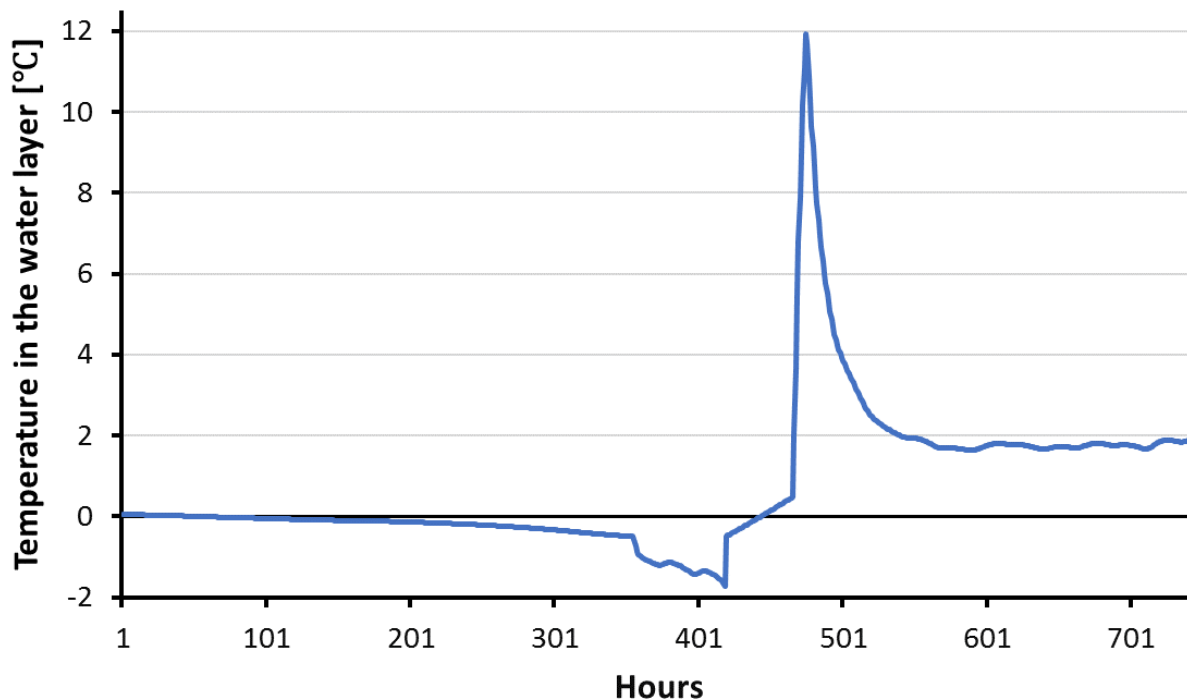
273 This chapter presents the results from the simulations of the model of the leisure home. It
274 has been decided to focus on the coldest months of the year considering that the goal is to keep the
275 sanitary installations frost proof throughout the winter. A validation of the use of PCM as water
276 layer is also presented.

277 4.1 *Test simulation of PCM*

278 A model has been developed to investigate if the latent heat in the simulated water layer is
279 equivalent to the energy that in theory must be added for ice to change phase to water. The leisure

280 home is built up as described earlier, but the insulation around the inner zone is thinner so that the
281 water layer can freeze completely. In this model the water melts between -0.5 and 0.5 °C. A 3 kW
282 electric heater is automatically turned on when the temperature in the inner zone falls below -1.2
283 °C and it is on until the temperature reaches 21.2 °C. By studying the temperature of the water layer
284 it is possible to calculate the amount of energy that must be supplied to melt the ice.

285 Fig. 8. shows the simulated temperature in the water layer in January and early February.
286 The horizontal axis shows the hours from the beginning of the year.



287
288 Fig. 8. Simulated temperature in the water layer for the test simulation

289 In Fig. 8. it is possible to see that the water layer is completely frozen when the
290 temperature suddenly falls faster around hour 350. The heater turns on when it gets cold enough in
291 the inner zone, and the melting of the ice can clearly be observed between -0.5 and 0.5 °C.

292 It is possible to find the time it takes to melt the ice, and then the energy supplied by the
293 electric heater can be calculated by multiplying the time with the power of the heater. By
294 magnifying Fig. 8 it can be seen that the melting of the ice takes about 46 hours. As the electric
295 heater has a power of 3 kW, around 139 kWh is supplied to melt the ice. Theoretically, the energy
296 needed can be calculated by multiplying the kilograms of water in the layer with the latent heat of

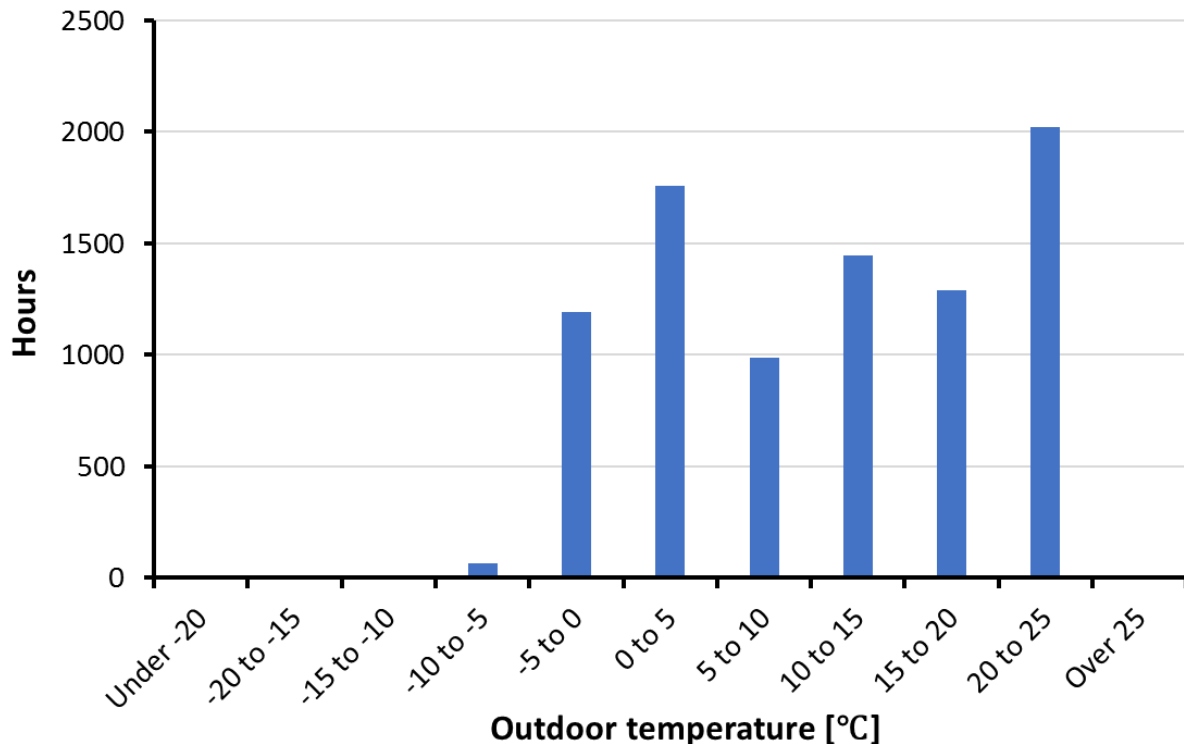
297 water. The water layer has a volume of $0.025 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 4$ walls which corresponds to a
298 weight of 1500 kg. The latent heat of water is 334 kJ / kg [17], and therefore the theoretical
299 amount of energy needed to melt the ice is approximately 139 kWh. These calculations show that
300 the latent heat of the water layer in the model corresponds to the theory.

301 For the rest of the simulations of the leisure home it has been decided that the phase
302 change should take place between 0 and 1 °C. Then the temperature of the water layer during the
303 phase change can be interpreted as the percentage of the water layer that is not yet frozen. For
304 example, a water layer with a temperature of 0.5 °C can be explained to have a share of 50% which
305 is still liquid.

306 4.2 Analysis of the leisure building without heating

307 The model of the leisure home was simulated without frost proofing and heating in
308 Ostersund, Tjøme, Calgary and Fairbanks. Thus, the building has no heating source or water layer
309 implemented. The inner zone had an insulation thickness of 7.5 cm for all the locations.

310 In Fig. 9. the frequency of the air temperature of the inner zone in Ostersund is presented.

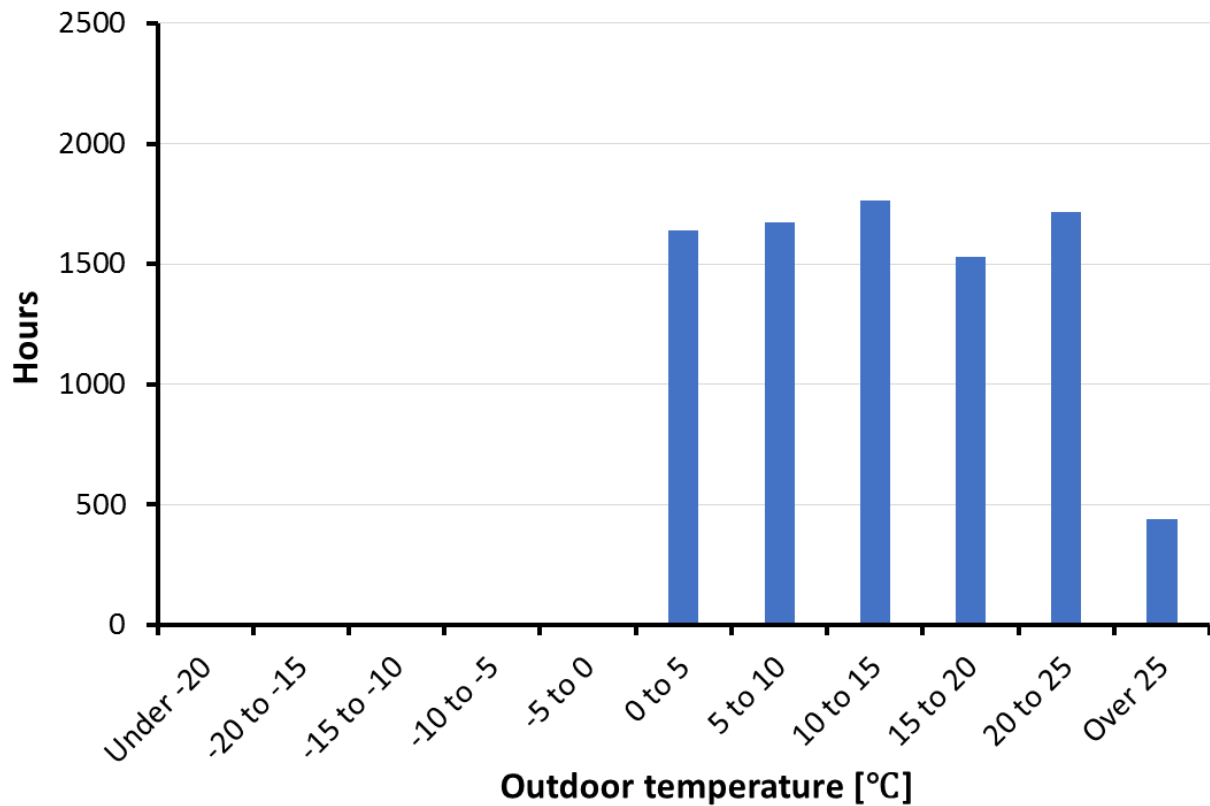


311

312 Fig. 9. Frequency of the air temperature in the inner zone without heating for Ostersund

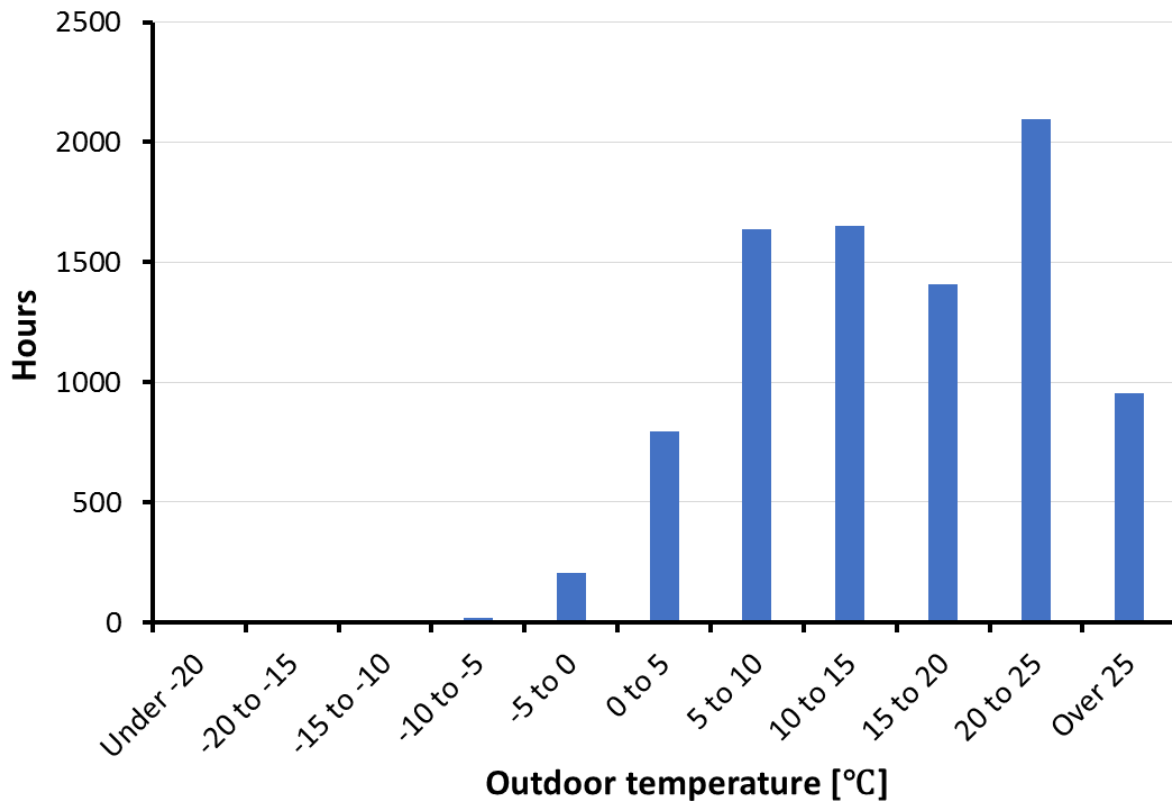
313 From Fig. 9. it is possible to see that there are quite a few hours below 0 °C. Hence, the risk
314 of frost damages on the sanitary installations and pipes is great.

315 In Fig. 10, the frequency of the air temperature in the inner zone without heating in Tjøme
316 can be observed.



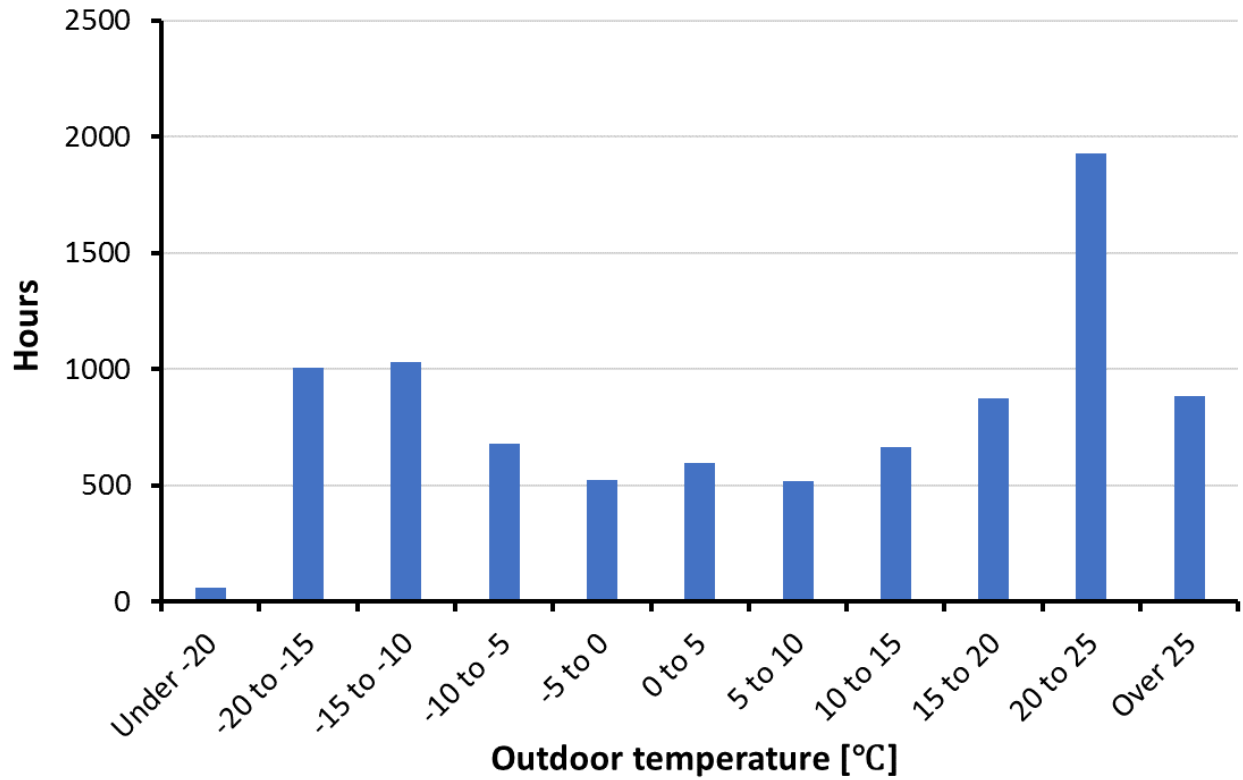
317
318 Fig. 10. Frequency of the temperature in the inner zone without heating for Tjøme
319 In Fig. 10. there are no hours with air temperature below 0 °C in the inner zone for Tjøme,
320 and the zone is likely to remain frost free for a typical year. However, a colder winter can occur
321 which will introduce a risk of frost damage.

322 Fig. 11. shows the frequency of the temperature in the inner zone without heating in
323 Calgary.



324
325 Fig. 11. Frequency of the temperature in the inner zone without heating for Calgary
326 It is possible to see from Fig. 11. that there are quite a few hours with a temperature below 0 °C in
327 the inner zone, and the risk of frost damage is therefore high.

328 Fig. 12. shows the frequency of the temperature of the inner zone for Fairbanks.
329

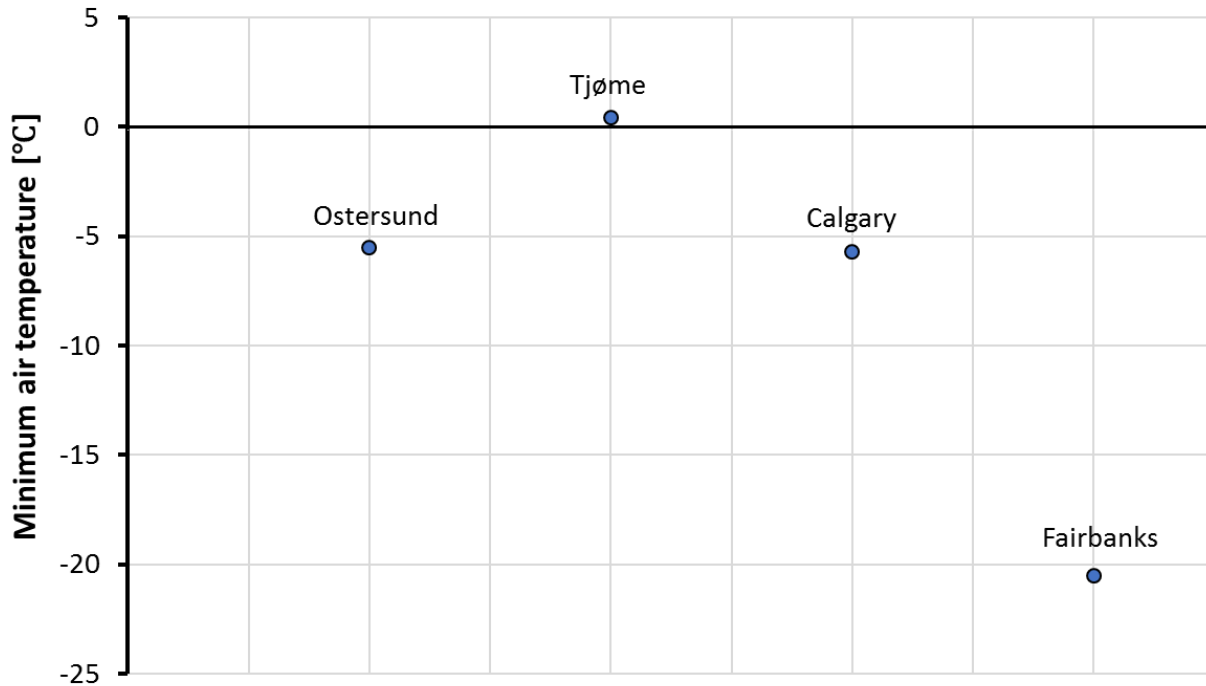


330

331 Fig. 12. Frequency of the temperature in the inner zone without heating for Fairbanks

332 In Fig. 12. it is possible to observe that there are numerous hours below 0 °C, which means
 333 that frost damages on the sanitary installations and piping will most likely occur.

334 Fig. 13. shows a comparison of the minimum air temperatures in the inner zone for
 335 Ostersond, Tjøme, Calgary and Fairbanks.



336

337

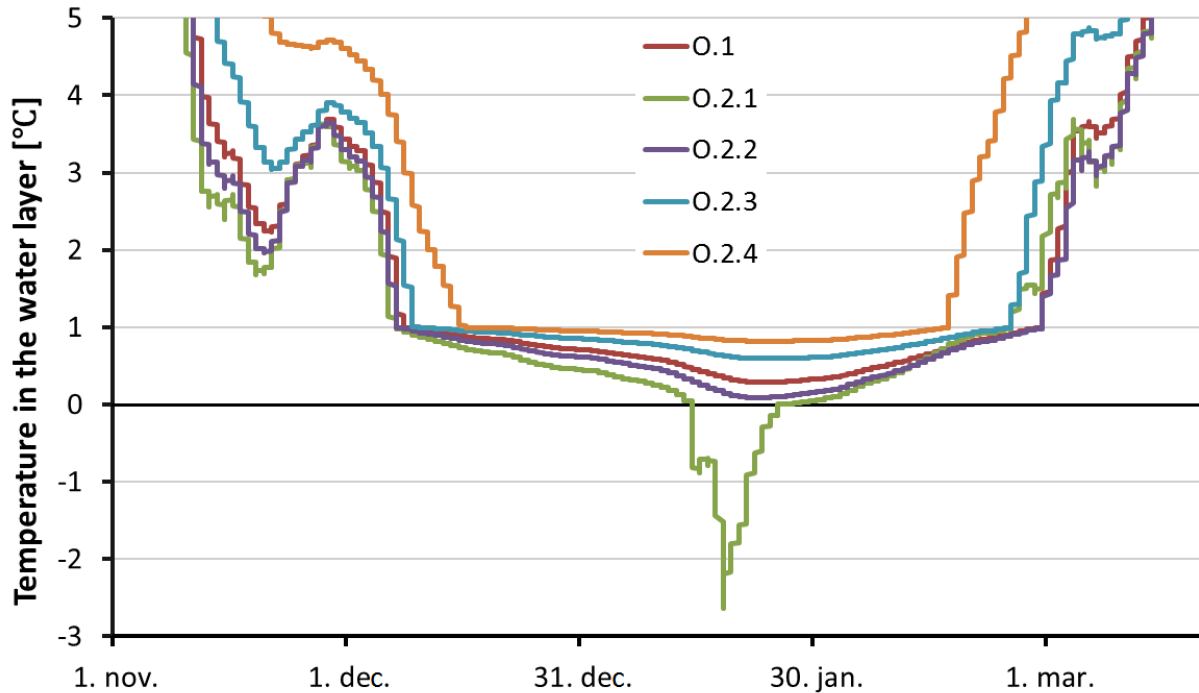
338 Fig. 13. Comparison of minimum air temperature in inner zone for all the locations

339 Fig. 13. illustrates that the lowest temperature in the inner zone without any kind of frost
 340 proofing is below 0 °C for Ostersund, Calgary and Fairbanks. Comparing the minimum
 341 temperatures for the different locations makes it clear that Fairbanks has a significantly colder and
 342 more extreme climate than the other places. It is also possible to see that the lowest temperature in
 343 Ostersund and Calgary is quite similar. These cities have quite different climates. An explanation
 344 for the comparable temperatures is the good sun conditions in Calgary. The sun will probably heat
 345 the leisure home during the day, and the large window will contribute with a lot of solar energy.

346 It is clear that a frost proofing method should be implemented to avoid frost damage on
 347 sanitary installations and pipes. In Tjøme, the lowest temperature in the inner zone is just above
 348 the freezing point. This indicates that the need for frost proofing is smaller here, but a safety
 349 margin should still be implemented in case of a very cold winter.

350 *4.4 Influence of the different parameters on the frost proofing method*

351 The thickness of the insulation around the inner zone affects the amount of the water layer
 352 that freezes during the winter. Fig. 14. shows the simulated temperature of the water layer for
 353 different scenarios in Ostersund where the thickness of the insulation around the inner zone varies.



354
355

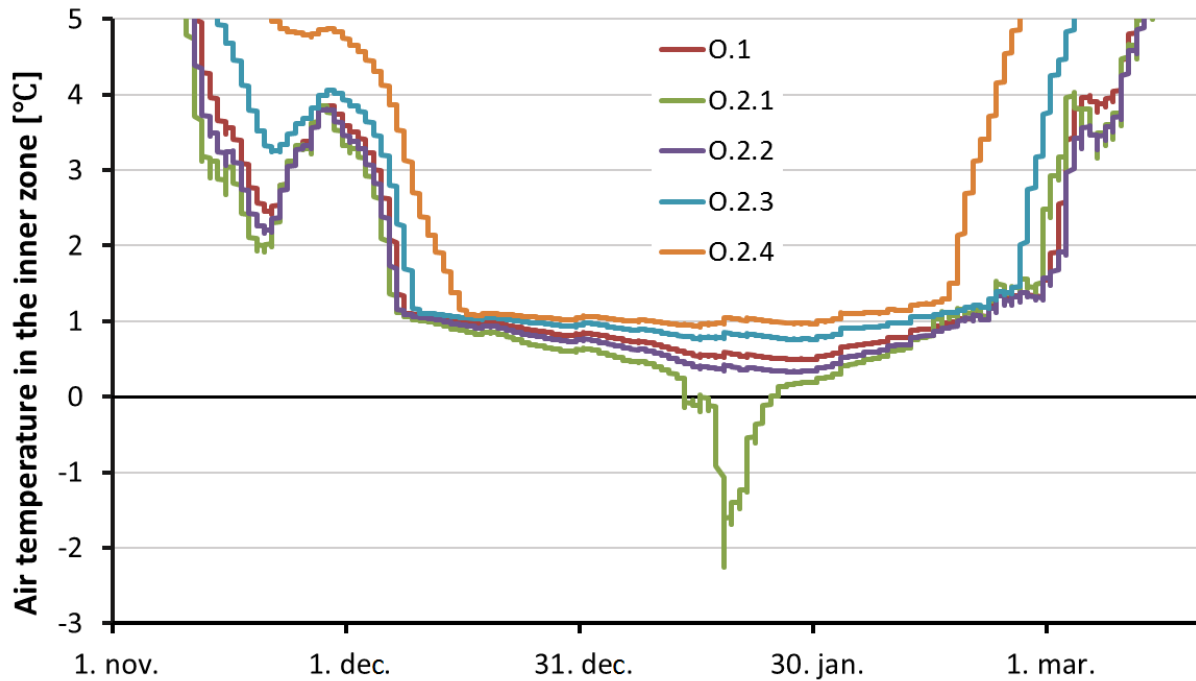
Fig. 14. Simulated temperature in the water layer for O.1, O.2.1, O.2.2, O.2.3 and O.2.4

356 From Fig. 14. it can be seen that there is a relatively big difference between the simulated
357 temperature of the water layer for the various thicknesses of insulation.

358 Fig. 14. also shows that a large energy loss from the inner zone is required for the water
359 layer to completely freeze, which will result in a temperature below 0 ° C. O.2.1 is the only
360 scenario where this happens. The graph of this scenario clearly illustrates that the water layer is
361 completely frozen as the temperature suddenly falls at a much faster pace. It is also possible to see
362 that there is a relatively cold period in November from Fig. 14.

363 Fig. 15. shows the air temperature in the inner zone for the same scenarios.

364



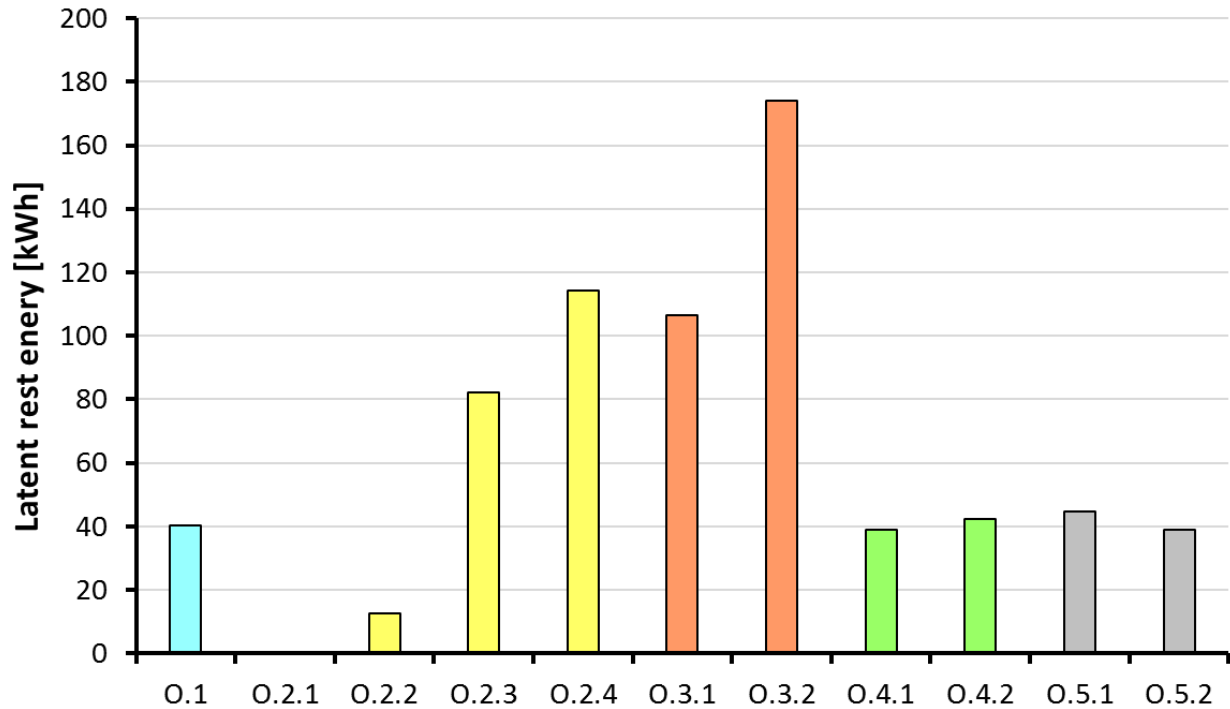
365

366 Fig. 15. Air temperature in the inner zone of scenario O.1, O.2.1, O.2.2, O.2.3 and O.2.4

367 The air temperatures in the inner zone that can be observed in Fig. 15. are slightly higher
 368 than the simulated temperature of the water layer for the same scenarios. This is due to the heat
 369 loss from the water tank.

370 Based on the results from the simulations with the frost proofing method implemented, the
 371 lowest percentage of the water layer that is still liquid can be found. From this share, the energy
 372 loss that can be allowed before the entire water layer is frozen is calculated. This latent rest energy
 373 in the water layer can be considered to be a safety margin. When the latent rest energy for a
 374 scenario is large, the probability of the sanitary installations to remain frost free throughout the
 375 winter will be higher. It is desirable with a safety margin that is low enough for a large part of the
 376 water layer to be utilized, and at the same time sufficient to handle a very cold winter.

377 The latent rest energy for all the scenarios from Ostersund is presented in Fig.16.



378

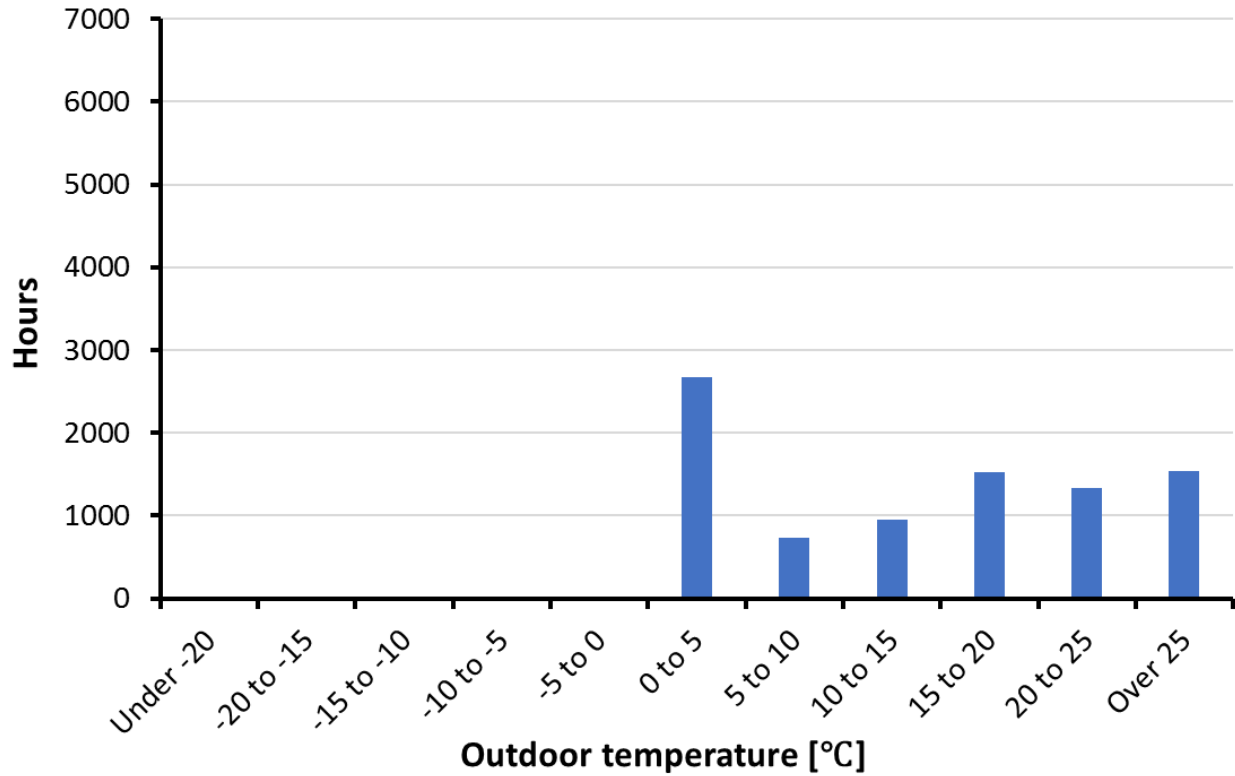
379 Fig. 16. Latent rest energy in the water layer for all scenarios from Ostersund

380 From Fig. 16. it can be observed that the difference in latent rest energy is relatively small
 381 between O.4.1, O.4.2, O.5.1 and O.5.2. These scenarios represent different tank sizes and various
 382 thicknesses of the insulation around the tank. There is a greater variation between scenario O.2.1,
 383 O.2.2, O.2.3, O.2.4, O.3.1 and O.3.2 which have different thicknesses of insulation and water layer
 384 around the inner zone. It is therefore clear that the latter two parameters have the greatest impact
 385 on the latent rest energy in the water layer.

386 An advantage of a smaller water tank with thinner insulation is that less space is required.
 387 Thinner insulation around the tank also results in higher latent rest energy. As the changes in these
 388 two parameters do not seem to significantly affect the water layer, it seems that a 150 or 200 litre
 389 tank with 5 cm insulation around are advantageous solutions. A benefit of using a 200 litre tank is
 390 that it holds more domestic hot water for the inhabited periods. O.5.1 has a latent rest energy of
 391 44.5 kWh which provides a decent safety margin. A large part of the water layer is also utilized for
 392 this scenario.

393 In Fig. 17. the frequency of the air temperature of the inner zone in Ostersund is presented.

394



395

396

Fig. 17. Frequency of the temperature in the inner zone for scenario O.5.1

397

From Fig. 17. it is possible to see that there are no hours below 0 °C for scenario O.5.1.

398

Hence, it is clear that the frost proofing method is preventing the air temperature in the inner zone

399

from dropping under 0 °C, and thus frost damages on the sanitary installations are also avoided.

400

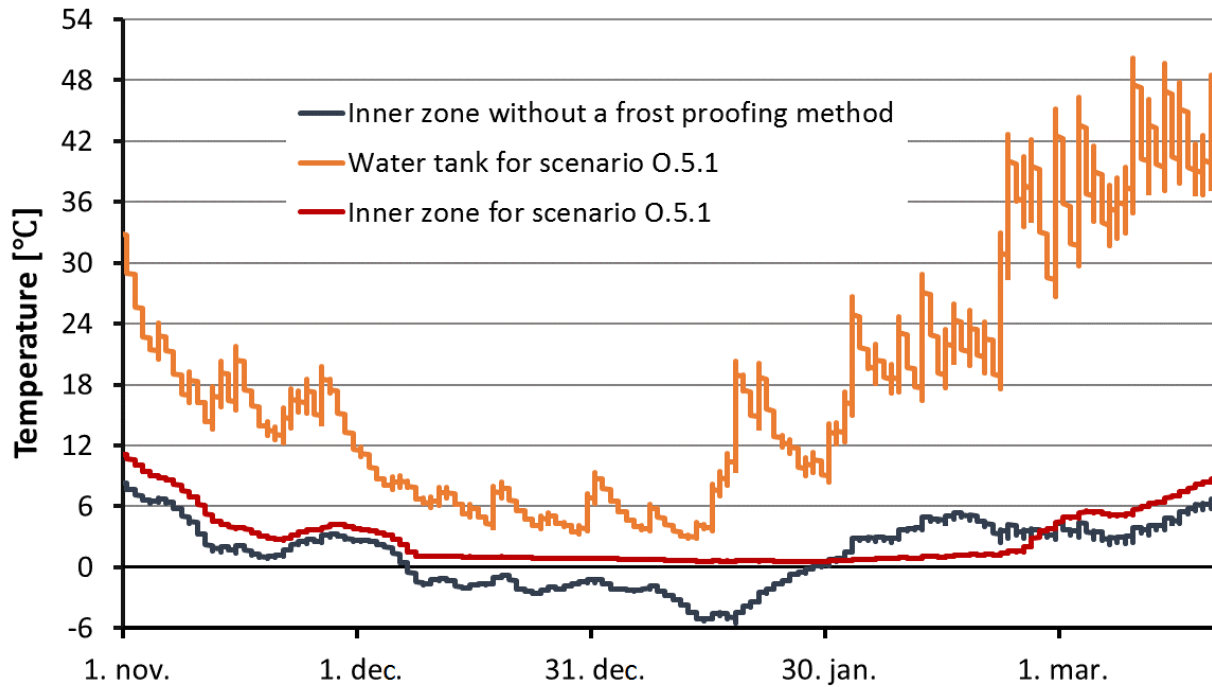
Fig. 16 shows the air temperature in the inner zone for scenario O.5.1, and for a model of

401

the leisure building without heating or a frost proofing method implemented. This model has 7.5

402

cm insulation around the inner zone. The temperature in the tank for O.5.1 can also be observed.



403

404
405

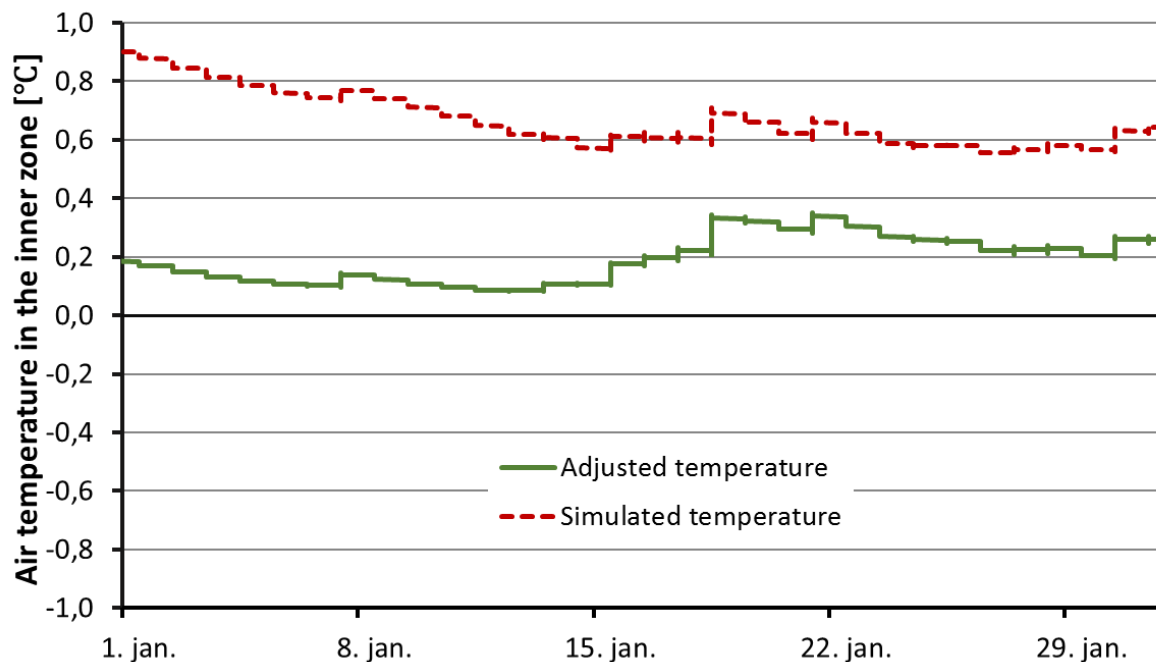
Fig. 18. Temperature in the tank and inner zone for scenario O.5.1, and in the inner zone without a frost proofing method

406
407

From Fig. 18. it is possible to see that the frost proofing method keeps the air temperature in the inner zone above 0 °C.

408
409
410

To get an even more realistic air temperature in the inner zone, it can be adjusted by subtracting the simulated temperature in the water layer between 0 and 1 °C. This is done in Fig. 19.



411

412

Fig. 19. Simulated and adjusted temperature in the inner zone for O.5.1

413

414

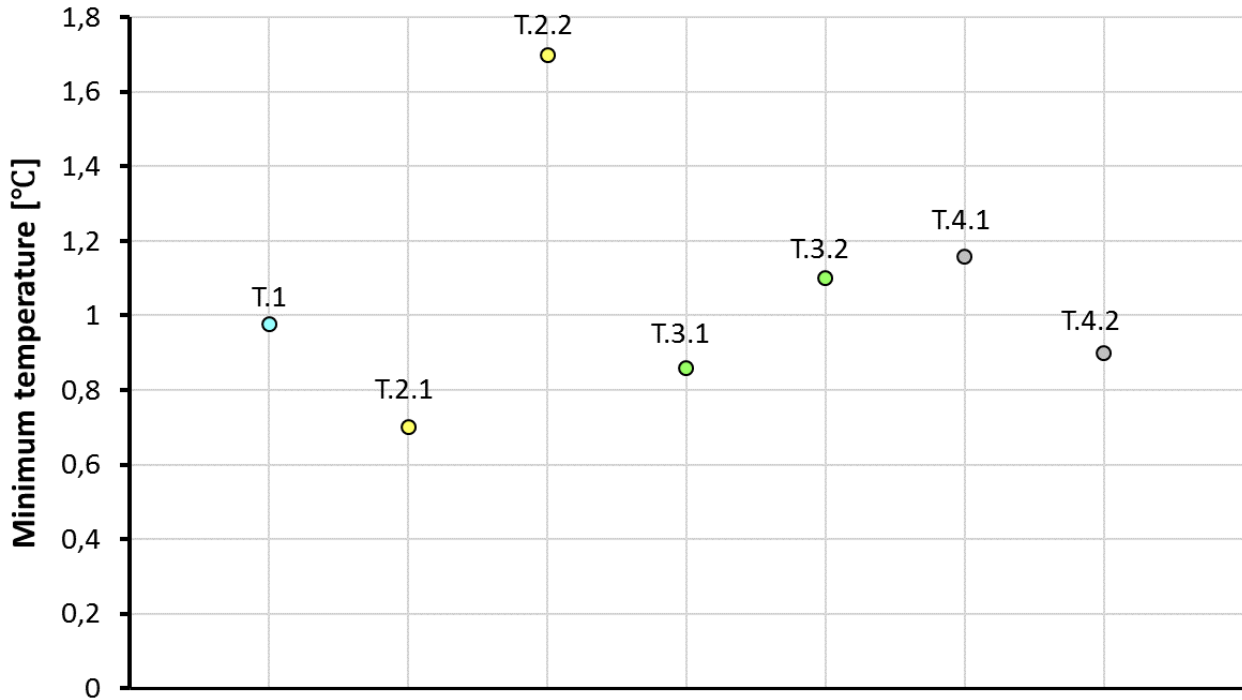
The adjusted air temperature that can be observed in Fig. 17 is slightly above 0 °C throughout January, and it can therefore be assumed that the sanitary installations in the inner zone are kept frost proof.

415

416

In Fig. 20, the minimum temperature in the inner zone for all scenarios with climate data from Tjøme is presented.

417



418

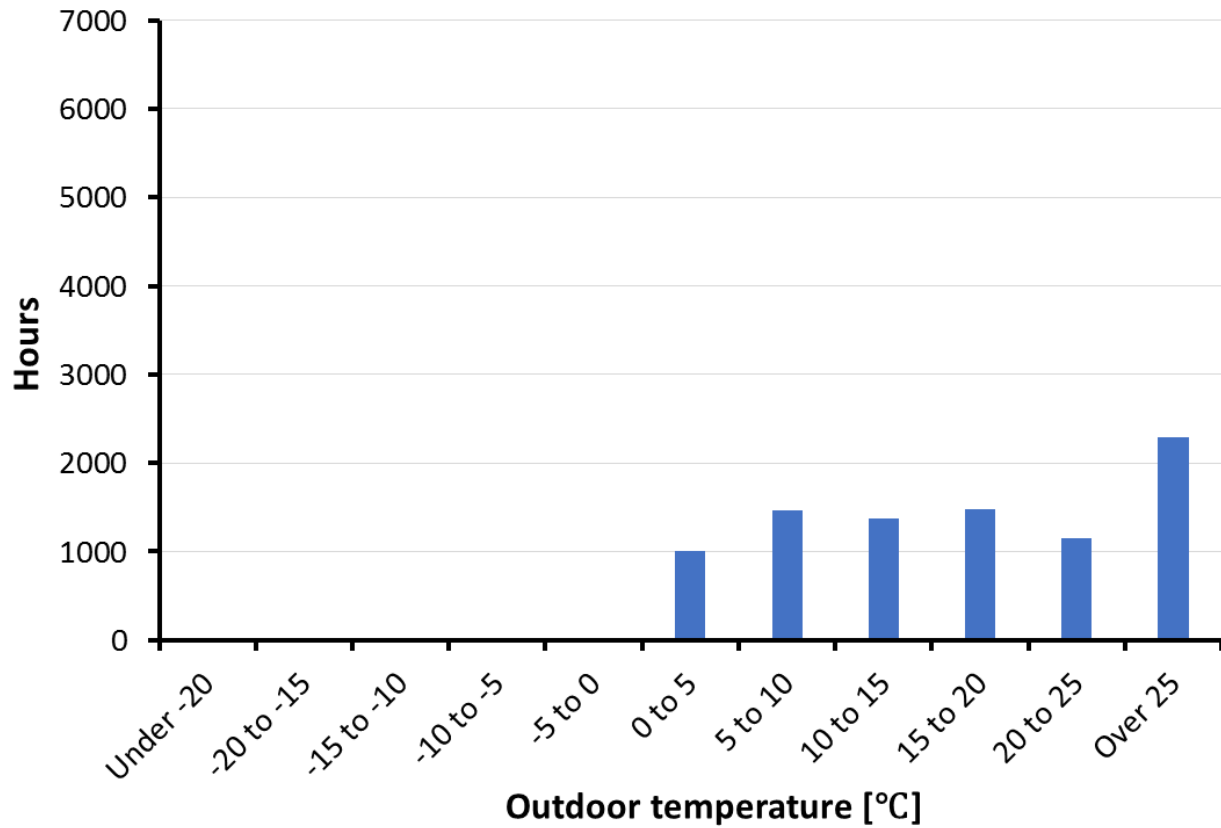
419 Fig. 20. Minimum temperature in inner zone for all scenarios from Tjøme

420 From Fig. 20. it can be observed that the minimum temperatures in the inner zone for the
 421 scenarios from Tjøme are quite similar to those from Ostersund. However, there are larger
 422 differences between the scenarios as they have been simulated without a water layer.

423 Various insulation thicknesses around the tank have been investigated, and scenario T.4.1
 424 has only 1 cm of insulation. As this scenario has a higher minimum temperature than both T.1 and
 425 T.4.2, it is clear that thinner insulation is advantageous in Tjøme.

426 There is a mild climate in Tjøme, but relatively cold winters can occur. Therefore, it is
 427 advisable to install a type of safety margin. This can be a water layer of around 1 cm which can be
 428 utilized in case of a very cold period.

429 Fig. 21. shows the frequency of the temperature in the inner zone for scenario T.4.1.



430

431

Fig. 21. Frequency of the temperature in the inner zone for scenario T.4.1

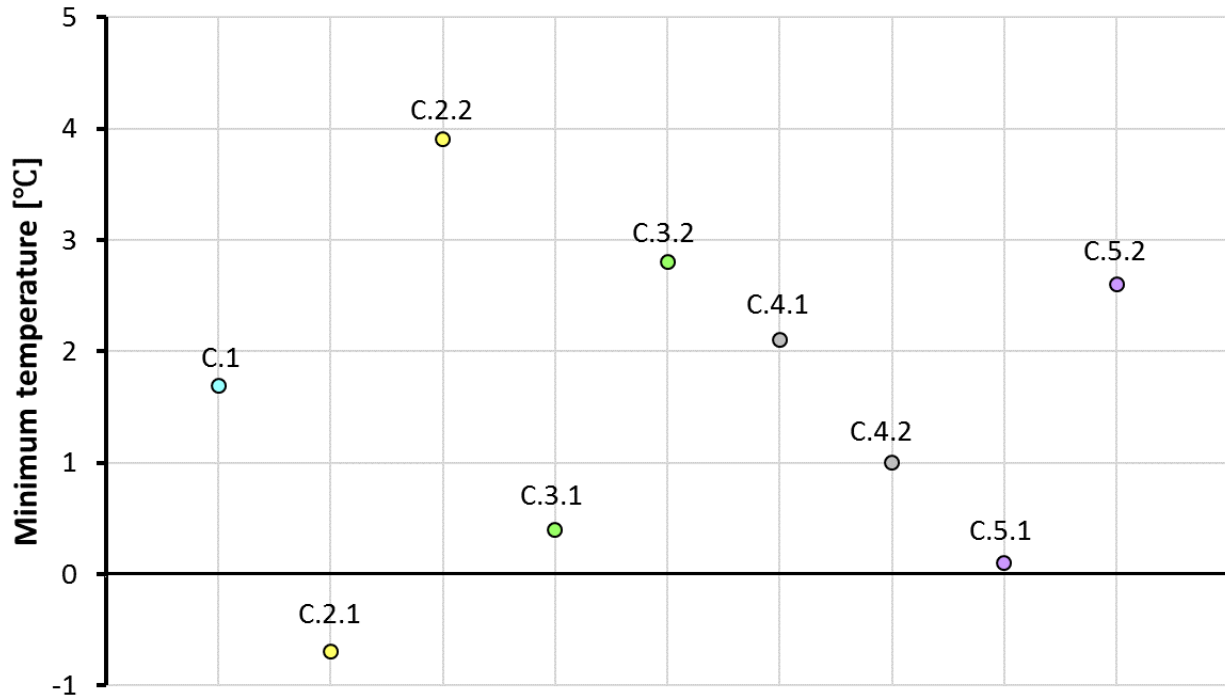
432

From Fig. 21. it is possible to observe that there are no hours below 0 °C for scenario T.4.1, and the temperature level is higher than without a frost proofing method or heating implemented.

433

434

Fig. 22. shows the minimum temperature in the inner zone for all scenarios from Calgary.



435

Fig. 22. Minimum temperature in the inner zone for all scenarios in Calgary

436

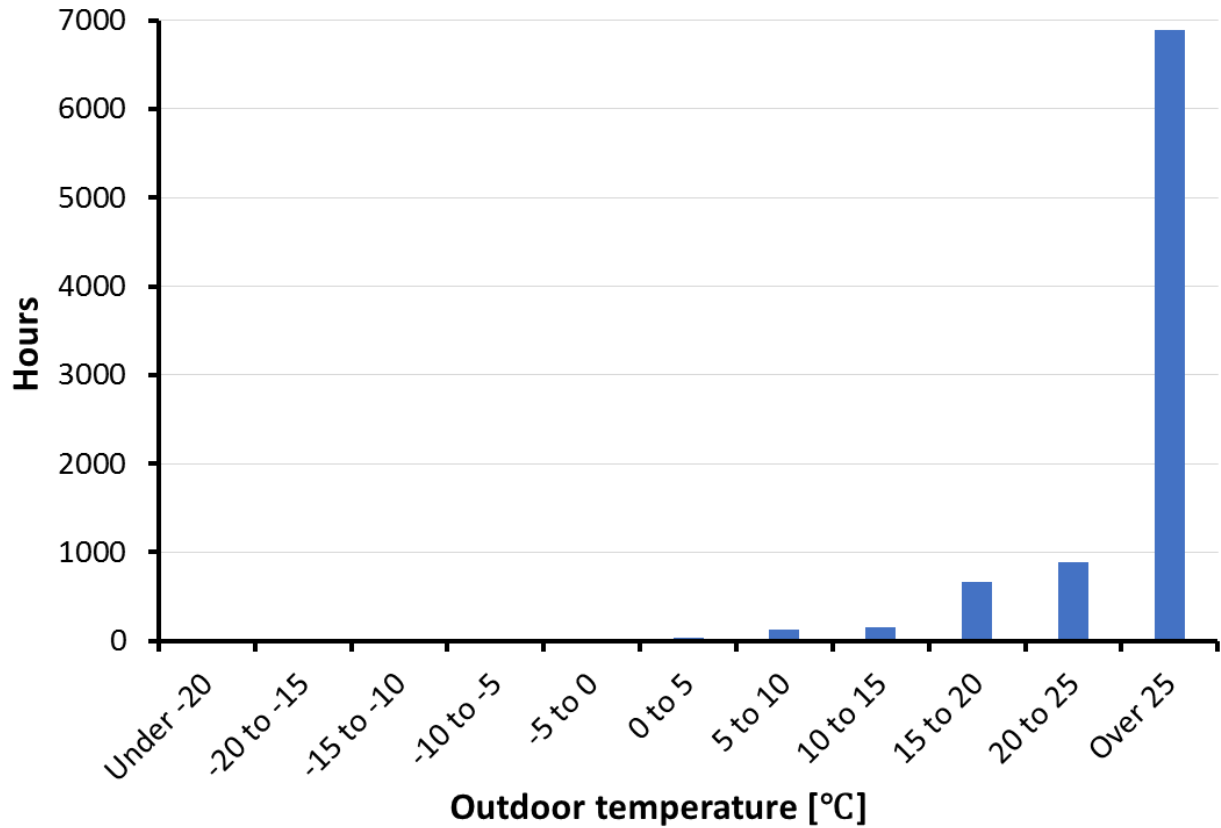
437 As can be seen in Fig. 22, the minimum temperatures for the scenarios from Calgary
 438 differs quite a lot. The variation between C.3.1 and C.3.2 is quite large which shows that it is
 439 important to be able to store solar heated water in a fairly large tank, even though there are good
 440 solar conditions in Calgary.

441 In Calgary, different sizes for the solar collector are also investigated. The lowest
 442 temperature for C.5.1, C.1 and C.5.2 shows that a larger solar collector provides a higher
 443 minimum temperature in the inner zone. However, a large collector requires a higher investment.

444 Fig. 22. also shows that thin insulation around the tank is an advantage as C.4.1 has a
 445 higher minimum air temperature in the inner zone compared to C.1 and C.4.2. This is reasonable,
 446 as Calgary has a lot of solar irradiation throughout the winter.

447 The frost proofing method should also have a safety margin in Calgary. With a 1 cm water
 448 layer installed, the leisure building will be much better prepared for a colder winter than usual.

449 Fig. 23. shows the frequency of the air temperature in the inner zone for scenario C.4.1.

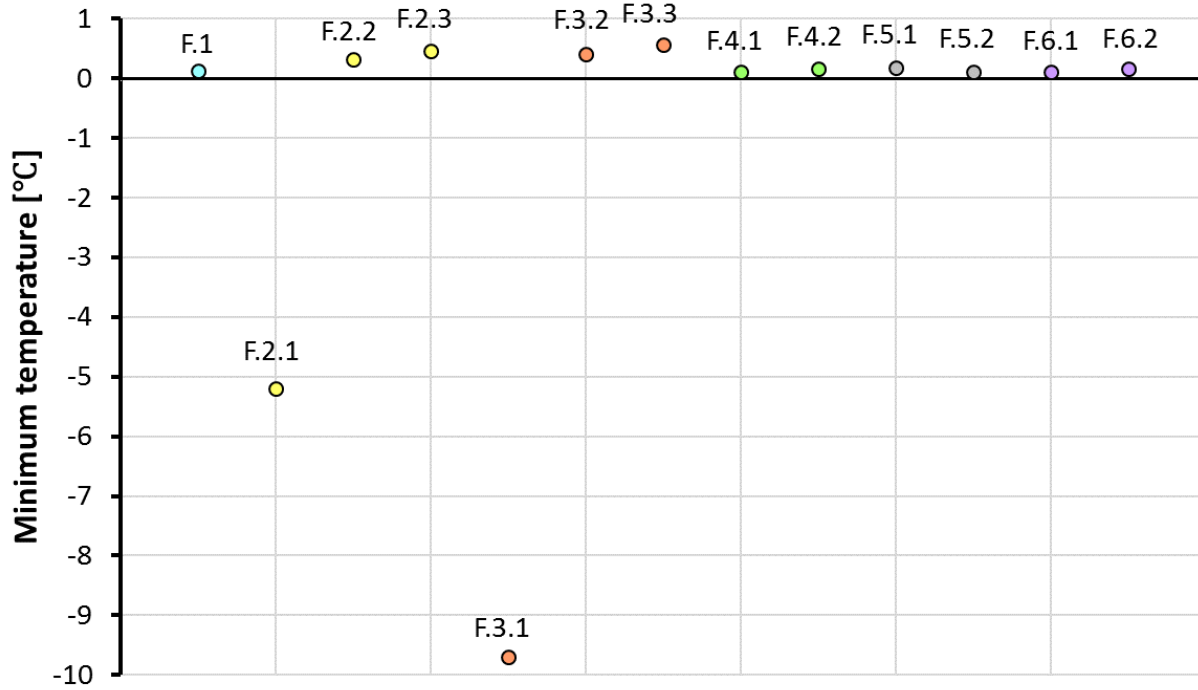


450

451 Fig. 23. Frequency of the temperature in the inner zone for scenario C.4.1

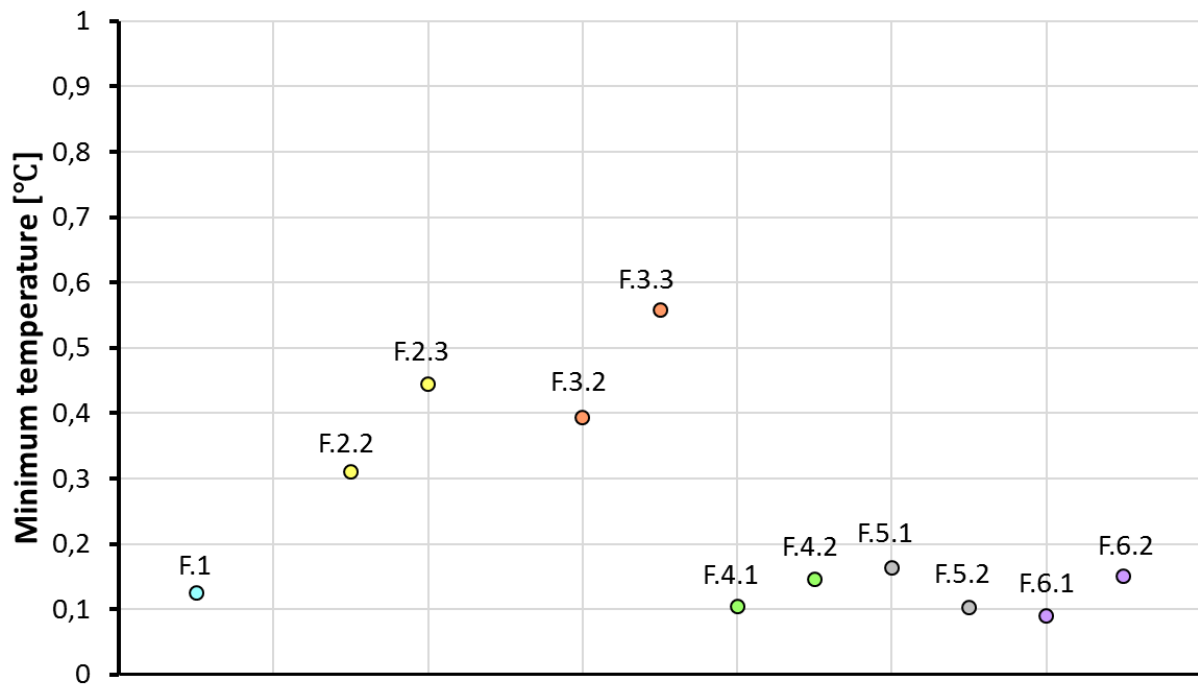
452 In Fig. 23. it is possible to observe that there are no hours below 0 °C for scenario C.4.1. If
 453 a safety margin is also implemented, the risk of frost damage will be minimal.

454 Fig. 24. shows the simulated minimum temperature in the water layer for all scenarios with
 455 climate data from Fairbanks. In Fig. 25, the range between 0 and 1 °C is enlarged.



456

457 Fig. 24. Simulated minimum temperature in the water layer for all scenarios from Fairbanks

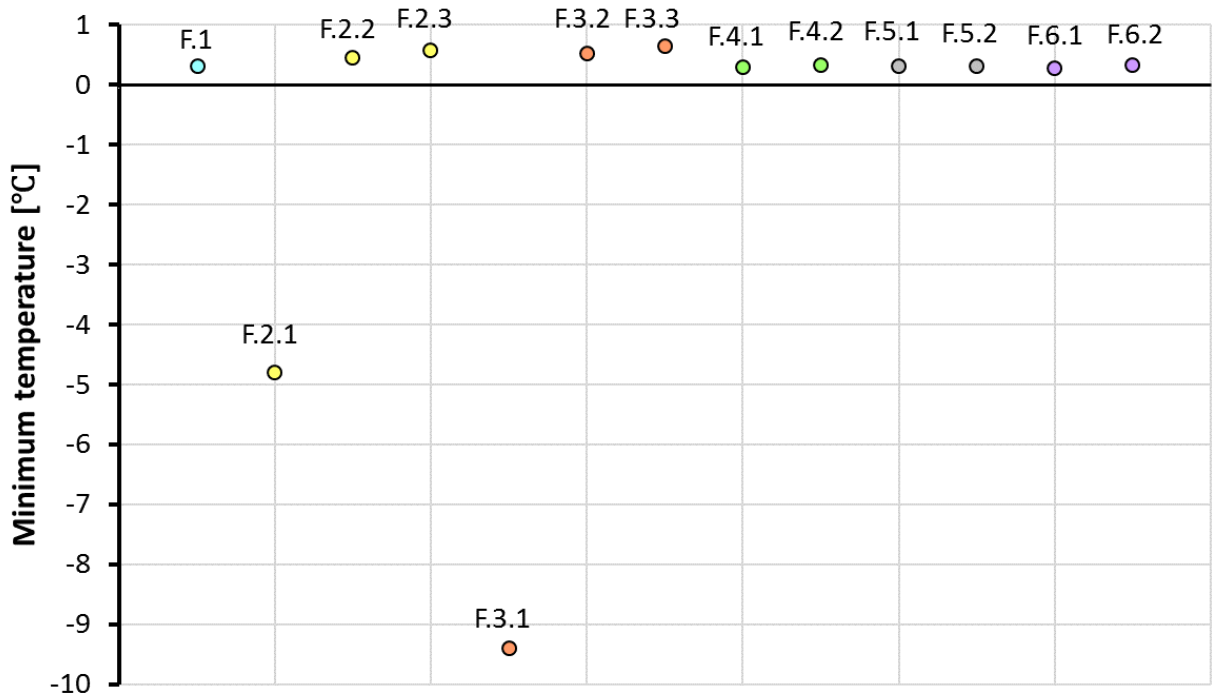


458

459 Fig. 25. Simulated minimum temperature in the water layer for scenarios in Fairbanks between 0
460 and 1 °C

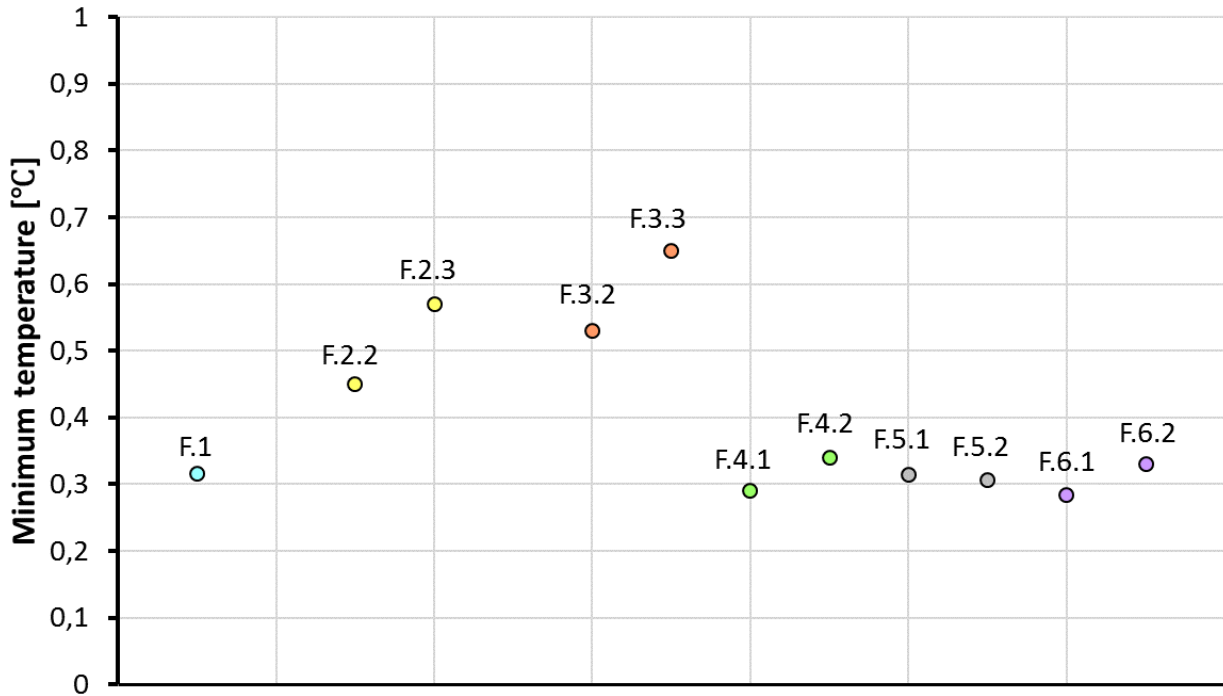
461 Fig. 24. shows that the simulated minimum temperature in the water layer is between 0 and
462 1 °C for most of the scenarios, except for F.2.1 and F.3.1. For these, the water layer is completely
463 frozen. In Fig. 25. it is possible to see that the scenarios with a minimum temperature below 0 ° C
464 have a significantly lower temperature compared to the rest. This is because the winter is very cold
465 in Fairbanks.

466 From Fig. 26, the minimum air temperature of the inner zone for all scenarios with climate
467 data from Fairbanks can be seen. Fig. 27. shows the range between 0 and 1 °C only.



468

469 Fig. 26. Minimum air temperature of the inner zone for all scenarios in Fairbanks

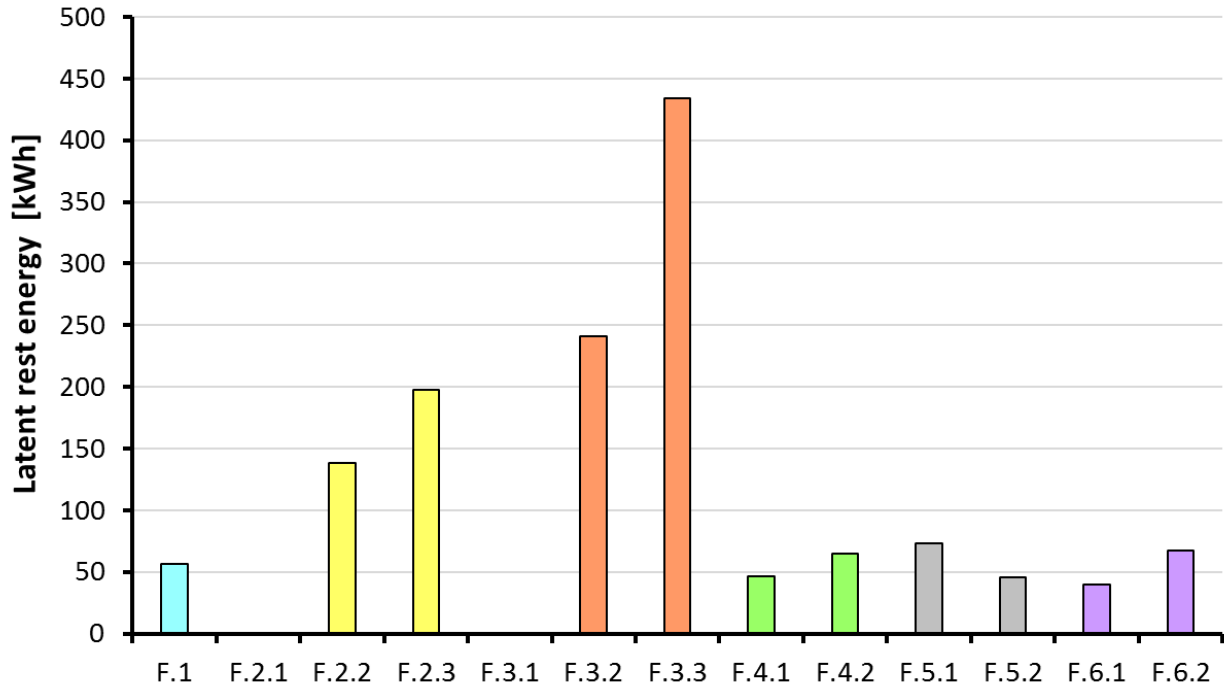


470

471 Fig. 27. Minimum air temperature of the inner zone for scenarios in Fairbanks between 0 and 1 °C

472 Fig. 26. and 27. show that the minimum air temperatures of the inner zone are slightly
 473 higher than in the water layer. However, from both Fig. 26. and 27. it can be observed that the
 474 difference between F.5.1 and F.5.2 is very small. From Fig. 25. it is clear that the variation is
 475 greater between the minimum temperatures in the water layer for the two scenarios. The reason for
 476 this is probably that the temperature in the tank approaches 0 °C for F.5.1. This scenario has a
 477 colder tank than F.5.2. The reason why F.5.1 still has a decent air temperature in the inner zone is
 478 probably heat loss from the tank during early fall.

479 The latent rest energy is calculated for all scenarios from Fairbanks. This can be observed
 480 in Fig. 28.



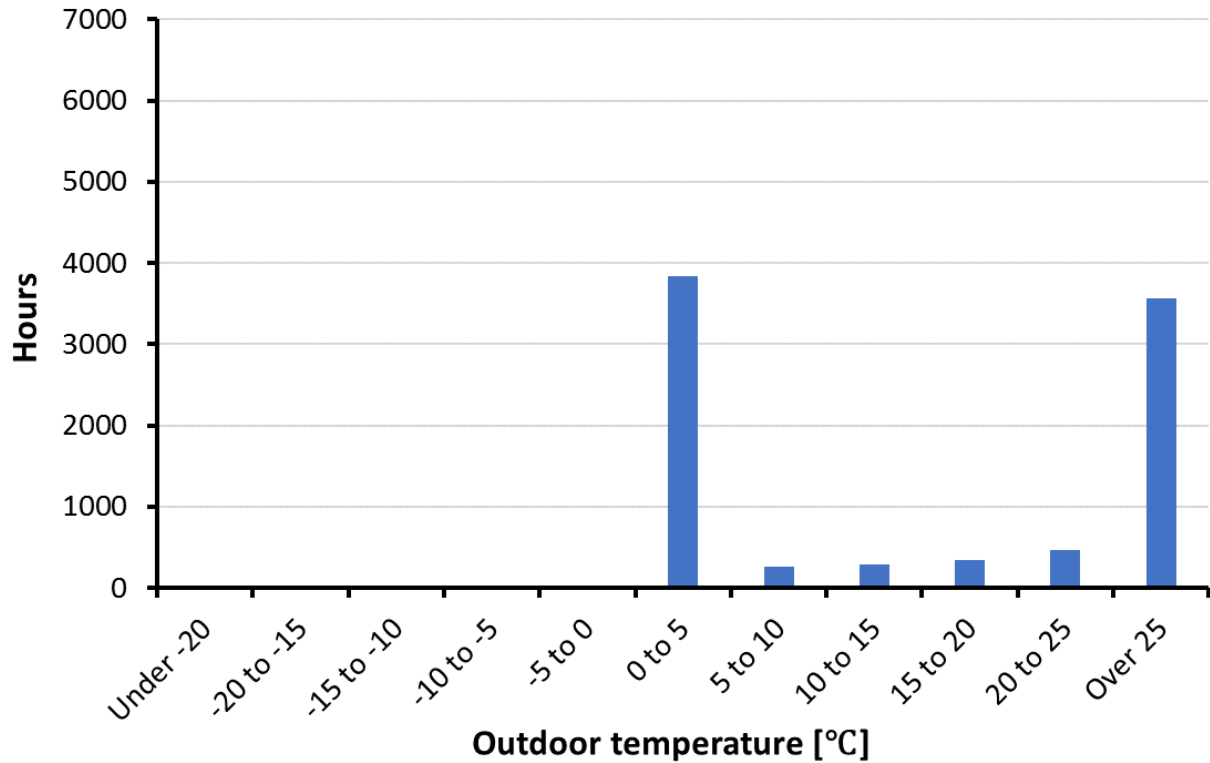
481

482 Fig. 28. Latent rest energy for all scenarios from Fairbanks

483 From Fig. 28. it can be observed that the latent rest energy varies quite a lot for the
 484 different scenarios. Based on the latent rest energy for F.5.1 and F.5.2 it seems advantageous to
 485 have thin insulation around the tank in Fairbanks. However, as discussed earlier, a small amount
 486 of insulation leads to a temperature close to 0 °C in the tank. It is not desirable to have a tank with
 487 such a low temperature as in F.5.1. It is beneficial with a slightly higher temperature during the
 488 coldest periods as the heat loss is nearly negligible when the tank has a temperature of almost 0 °C.
 489 Scenario F.5.2 has a tank that is slightly warmer with a temperature around 1 °C at the lowest. This
 490 would be advantageous, especially in case of a colder winter than usual. F.5.2 has lower latent rest
 491 energy than F.5.1. This illustrates that using the latent rest energy in the water layer is not the best
 492 way to find a good solution in Fairbanks.

493 Fig. 29. shows the frequency of the air temperature of the inner zone for scenario F.5.2.

494



495

496

Fig. 29. Frequency of the air temperature in the inner zone for scenario F.5.2

497

498

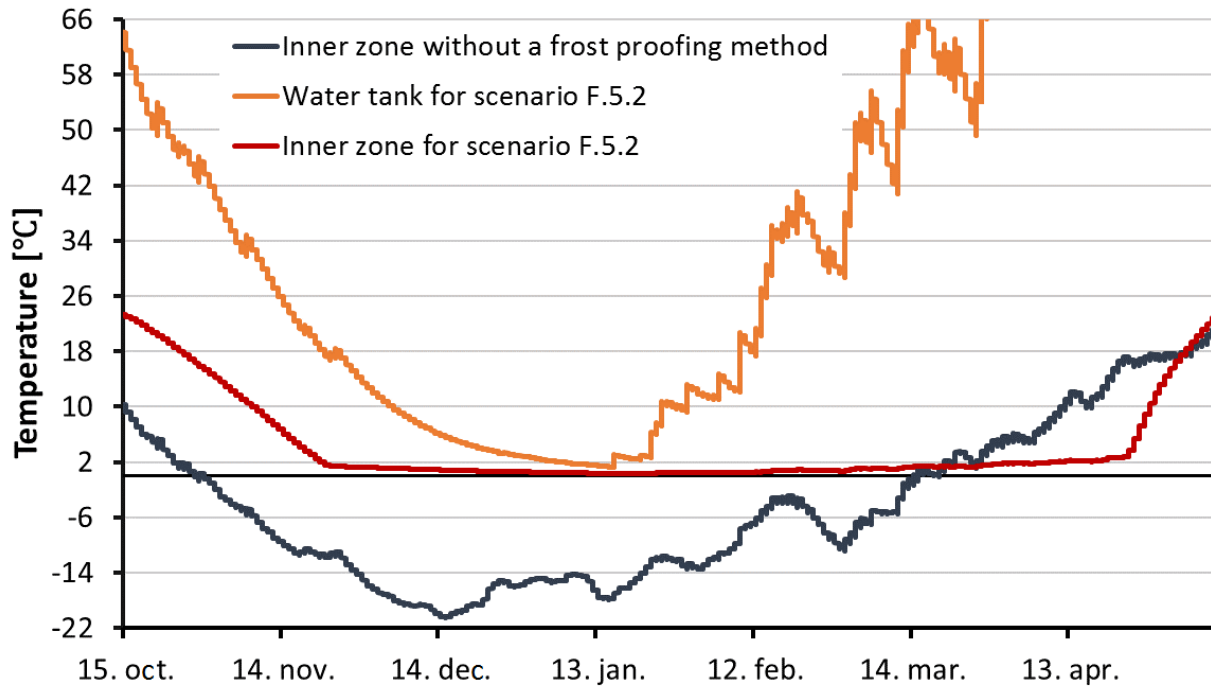
In Fig. 29 it is possible to observe that there are no hours below 0 °C for scenario F.5.2. It is therefore clear that the frost proofing method is ensuring an air temperature in the inner zone above 0 °C, and thus also prevents frost damages on the sanitary installations.

500

501

502

Fig. 30. shows the air temperature for the inner zone and the hot water tank for scenario F.5.2. The temperature in the inner zone without a frost proofing method or heating implemented, is also included. This leisure home model has 7.5 cm insulation around the inner zone.



503

504 Fig. 30. Temperature in the tank and inner zone for scenario F.5.2, and in the inner zone without
 505 frost proofing

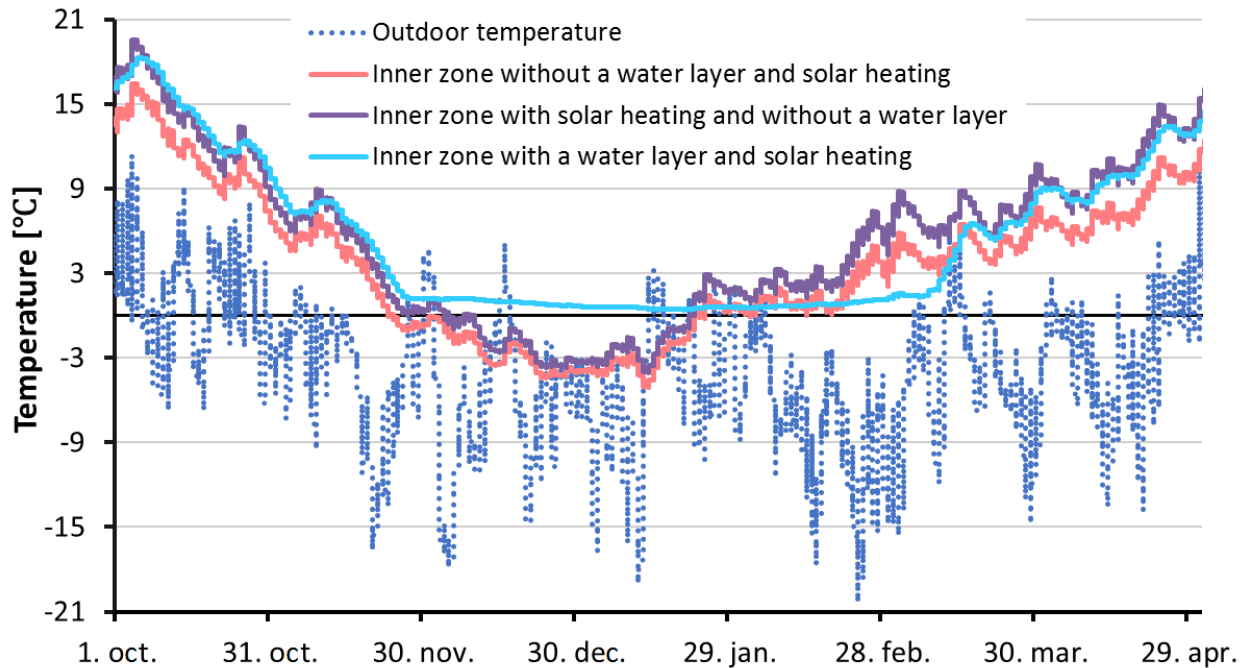
506 In Fig. 30. it can be observed that the frost proofing method with a water layer, tank and
 507 solar collector provides an air temperature in the inner zone above the freezing point throughout
 508 the long and cold winter of Fairbanks.

509 *4.5 Frost proofing in mountain areas of southern Norway*

510 The original focus in this study is frost proofing of sanitary installations in leisure
 511 buildings in mountain areas in southern Norway. To use climate data from Ostersund was chosen
 512 many years ago when the first master student who was working on the subject was going to
 513 simulate the holiday home in the simulation program ESP-r. Ostersund was chosen because this
 514 was the best obtainable climate file. Today the selection is better, and a climate file for Fokstua,
 515 which is a small area located on Dovrefjell in Norway, is available. The latitude of Fokstua is 62.2
 516 ° N and it is 974 meters above sea level. Because Ostersund is slightly further north and closer to
 517 the sea level, the solar conditions are a little better in Fokstua and the outdoor temperature is
 518 slightly lower during the winter.

519 A simulation has been run with climate data from Fokstua. The idea was to use the model
 520 of the leisure home that was considered to be most advantageous in Ostersund. However, to

521 simulate the leisure home model from scenario O.5.1 with climate data from Fokstua did not
522 work. Therefore, the model from scenario O.1 was used instead. The most relevant results from
523 the simulation are presented in Fig. 31.



524

525 Fig. 31. Temperatures from the simulation for Fokstua

526 From Fig. 31. it can be seen that the temperature in the inner zone with a water layer and
527 solar heating is above 0 °C throughout the winter. Without a water layer, but with solar heating, the
528 air temperature in inner zone falls below the freezing point during a large part of the winter. If the
529 solar heated water tank is also removed, the temperature in the inner zone will be even lower.

530 The minimum air temperature in the inner zone with climate data from Fokstua is 0.41 °C.
531 This is very similar to the corresponding temperature from Ostersund which is 0.49 °C. The reason
532 why the temperature is lower for Fokstua is probably because the outdoor temperature is slightly
533 colder during winter. The values for the two minimum air temperatures illustrate that the solution
534 for the frost proofing method which is dimensioned for Ostersund works well in Fokstua. This
535 solution will probably work for other mountain areas in southern Norway as well considering that
536 these have climates similar to Fokstua.

537 **5. Discussion**

538 The model of the leisure building is based on several assumptions and simplifications, and
539 it is important to be aware of these when studying the results.

540 It was necessary for the phase change from solid to liquid for the water layer to occur over
541 a temperature range of 1 °C in order for the simulations to work in IDA ICE. This is a
542 simplification as water in reality freezes at a constant temperature of 0 °C. However, it is possible
543 to adjust the air temperature in the inner zone to get a more accurate picture of the results. This is
544 done by subtracting the simulated temperature in the water layer from the air temperature in the
545 inner zone.

546 The enthalpy of a PCM is not constant when it changes phase [18]. For water, this means
547 that the transition to ice will be a bit slower to begin with, and then go faster towards the end. In
548 the leisure home model the freezing and melting process of the water layer is linear between 0 and
549 1 °C. However, the total latent energy in the water layer will be the same regardless, and the entire
550 layer must be frozen in order for the air temperature of the inner zone to fall below 0 °C. Hence,
551 this simplification does not mean that frost can occur in the in the inner zone if the results from the
552 simulations show that the air temperature is above the freezing point. Also, the chosen way of
553 modelling the water layer makes it convenient to compare the different scenarios, although the
554 differences between them would be slightly different in reality. Furthermore, water in pipes is
555 usually supercooled before the freezing process begins [19]. It is also important that the water in
556 the layer on the walls of the inner zone has the possibility to expand when it freezes.

557 Another aspect that should be taken into account is that the model of the leisure building is
558 somewhat simplified. The inner zone is believed to have practically no infiltration, and this can be
559 difficult to achieve in reality.

560 **6. Conclusions**

561 Reduction of greenhouse gas emissions is an important subject in the world today, and
562 decreasing the energy use in the building sector is crucial to ensure a sustainable future. Energy
563 efficient frost proofing of uninhabited buildings, especially leisure buildings, will contribute to
564 achieving this goal.

565 Several master theses from the previous years have analysed different solutions for frost
566 proofing uninhabited buildings. They all showed that it is very beneficial with an inner insulated
567 zone where sanitary installations and piping are located. This solution makes the frost proofing of

568 the holiday home easier and more energy efficient, as a significantly smaller volume needs to be
569 heated. An LCA was also performed on different concepts for the cabin, and the results show that
570 a wooden leisure building on stilts will have a very small amount of CO₂ emissions.

571 The simulations of the holiday home model without any kind of heating or frost proofing
572 showed that the air temperature in the inner zone fell below the freezing point in Ostersund,
573 Calgary and Fairbanks. Thus, it was clear that there is need for frost proofing of the building. In
574 Tjøme, the minimum air temperature in the inner zone was just above the freezing point.
575 However, since the climate files represent typical years, a frost proofing method should be
576 implemented as a safety margin in case of a colder winter than usual.

577 The simulations of the building with a water layer, solar collector and water tank worked
578 as expected. In Ostersund, scenario O.5.1 was considered to be the most advantageous solution.
579 This scenario has a water layer of 2.5 cm, 7.5 cm insulation around the inner zone and a 200 litres
580 water tank with 5 cm insulation around it. A large part of the water layer is utilized, while a
581 sufficient amount of latent rest energy is still available as a safety margin. Thin insulation around
582 the tank proved to exploit the solar irradiation during the winter in a good way.

583 The simulations in Tjøme and Calgary were done without a water layer. The same holiday
584 home model as in O.5.1 without a water layer, and with 1 cm insulation around the tank, was a
585 good solution due to the mild climate in Tjøme. However, there is a need for a safety margin, and
586 this could be a 1 cm water layer.

587 In Calgary, a larger water tank and solar collector was needed and take advantage of the
588 good solar conditions in the city. For this location it was also an advantage with thin insulation
589 around the water tank. A similar solution for the safety margin as in Tjøme is considered to be
590 advantageous.

591 The results from Fairbanks showed that it was necessary with a lot of insulation around the
592 inner zone, a thick water layer and a large tank with a lot of insulation in this city. From the
593 simulations it was possible to see that the temperature in the tank was very low during the winter.
594 In order for the tank to lose a smaller amount of heat, it is an advantage with quite thick insulation
595 around it.

596 A simulation was also done in Fokstua which represents mountain areas in southern
597 Norway. Frost proofing of leisure buildings in this area is the original focus in this study. Using
598 climate data from Ostersund was done because this city was the best available option when the

599 first master student was going to analyse the holiday home concept. A good concept for the model
600 from Osteraund was simulated with climate data from Fokstua. The results showed that this
601 solution worked well in Fokstua, and it is therefore reasonable to assume that it will be an
602 advantageous concept for other mountain areas in southern Norway too.

603 It is concluded that frost proofing an uninhabited building with a water layer, solar
604 collector and water tank seems to be a very good and resilient solution considering that the need
605 for a connection to the electricity grid is eliminated. And a wooden leisure building on stilts with
606 this frost proofing method implemented will be very environmentally friendly and have a small
607 amount of CO₂ emissions.

608

609 **Acknowledgement**

610 The authors appreciate the support from the Department of Energy and Process
611 Engineering of the Norwegian University of Science and Technology.

612

613 **References:**

614 [1] V. Novakovic, S.O. Hanssen, J.V. Thune, I. Wangensteen, F.O. Gjerstad, Enøk i bygninger -
615 effektiv energibruk, 3. utgave ed., Gyldendal Norsk Forlag AS, 2007.

616 [2] B. Ericsson, Fritidsboliger - utvikling og motiver for eierskap., in, 2006.

617 [3] J. Sherbeck, N. Fette, Self-demolding ice mold and methods of use and automation, in,
618 Google Patents, 2015.

619 [4] Kommunal Landspensjonskasse (KPL), Ikke la kulda ødelegge vannrørene, in, 2012.

620 [5] SINTEF Byggforsk, Unngå vannskader på hytta, in.

621 [6] I.K. Auråen, Modellering av varmeveksling med grunnen og analyse av energibruk for en
622 frostsikker fritidsbolig med aktiv soloppvarming, Department of Energy and Process
623 Engineering, NTNU, 2013.

624 [7] A. Børset, Utvikling av konsept for en nullutslipp fritidsbolig med en isolert frostfri indre
625 sone og soloppvarmet vannmagasin, Department of Energy and Process Engineering, NTNU,
626 2009.

627 [8] T. Bratteberg, LCA vurdering av konsepter for fritidsbolig med frostsikre
628 sanitærinstallasjoner, Department of Energy and Process Engineering, NTNU, 2010.

629 [9] K. Gråbergsveen, Analyse av soloppvarming av varmelager i grunnen under fritidsbolig,
630 Department of Energy and Process Engineering, NTNU, 2014.

631 [10] S. Rimstad, Analyse av oppvarmingsalternativer for frostsikring av en fritidsbolig,
632 Department of Energy and Process Engineering, NTNU, 2014.

633 [11] EQUA Simulation AB, Climate Data Download Center, in.

634 [12] Variant VVS, Varmeteknikk, in.

635 [13] Siemens Building Technologies, Injusteringsprotokoll, in, 2010.

636 [14] International Code Council, Degree Day and Design Temperatures, in, 2006.

637 [15] URECON, Design Ambient Temperature Suggestions – Above Ground, in.

638 [16] EQUA Simulation AB, User Manual: IDA Indoor Climate and Energy Version 4.5, in,
639 EQUA Simulations AB, 2013.

640 [17] H. Kumano, T. Asaoka, A. Saito, S. Okawa, Study on latent heat of fusion of ice in aqueous
641 solutions, International journal of refrigeration, 30 (2) (2007) 267-273.

642 [18] P. Dolado, A. Lazaro, J.M. Marin, B. Zalba, Characterization of melting and solidification in
643 a real-scale PCM–air heat exchanger: Experimental results and empirical model, Renewable
644 Energy, 36 (11) (2011) 2906-2917.

645 [19] J.R. Gordon, An investigation into freezing and bursting water pipes in residential
646 construction, in, Building Research Council. School of Architecture. College of Fine and Applied
647 Arts. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1996.

648