

Energieffektivisering av eksisterende boliger i Longyearbyen

Sett i lys av lønnsomhet, energisituasjon og behov for klimatilpasning

Martin Berg Haugan

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2018

Hovedveileder: Svein Bjørberg, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved Institutt for bygg- og miljøteknikk (IBM) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) våren 2018. Oppgaven utgjør 30 stp. i omfang og tar for seg ulike forhold rundt energieffektivisering av eksisterende boliger i Longyearbyen. Tematikken er aktuell med tanke på energisituasjonen i Longyearbyen, en aldrende bygningsmasse og et klima i endring. Veileder for oppgaven har vært professor Svein Bjørberg ved Institutt for bygg- og miljøteknikk.

Arbeidet med masteroppgaven er en videreføring av en prosjektrapport fra 2017 som tar for seg utfordringer knyttet til infrastruktur i Longyearbyen og klimaendringer. Prosjektoppgaven skrevet av undertegnede i regi av emnet TBA4501 Eiendomsledelse og forvaltning, fordypningsprosjekt. Arbeidet besto av gjennomgang av relevant litteratur og samtaler med aktører med tilknytning til Longyearbyen og rapporten ble ferdigstilt desember 2017.

Interessen rundt tematikken og Svalbard er fra et studieopphold ved Universitetscenteret på Svalbard (UNIS) høsten 2016 hvor jeg gjennomførte emnet *AT301 Arctic Infrastructures in a Changing Climate* (10 stp.).

Det rettes en stor takk til Svein Bjørberg for god hjelp og engasjement som veileder for oppgaven. I tillegg ønsker jeg å takke alle som har stilt opp til samtaler og bidratt med datagrunnlag i arbeidet mitt. I løpet av 2017 og 2018 har jeg flere reiser til Svalbard og det er gitt støtte til to av mine opphold og i Longyearbyen av Legat til Henrik Homans minne. Til slutt en stor takk til de som har bidratt til å legge til rette for mine opphold i Longyearbyen, herunder særlig stor takk til Arne Aalberg ved UNIS.

Trondheim, 07.06.2018



Martin Berg Haugan

Sammendrag

Oppgaven har til hensikt å vurdere om man bør gjøre energieffektiviserende tiltak på eksisterende bygninger i Longyearbyen. Oppgaven har til formål å vise hvor mye energi som kan spares og lønnsomheten for ulike energitiltak på et eksisterende småhus i Longyearbyen. På bakgrunn av Longyearbyens spesielle samfunnsutvikling og byggeskikk skal også energieffektivisering ses i sammenheng med tilstand til dagens bygningsmasse og energisituasjon. Oppgaven har også til hensikt å belyse hvordan eksisterende bygningsmasse kan måtte tilpasses et klima som er ventet å bli varmere og våtere.

Tematikken er relevant for et stort omfang av eksisterende bygninger på Svalbard. På bakgrunn av stor spredning i byggeår og standard samt variasjon av hustyper er oppgaven avgrenset til å vurdere energitiltak for en konkret hustype i Longyearbyen. Referansehuset i oppgaven er basert på et av de ikoniske «Spisshusene» i Lia. Lønnsomhetsvurderinger av energitiltak vurderes i privatøkonomisk sammenheng og tar ikke i betraktning samfunnsøkonomisk aspekt. I beregningene er ikke klimagassutslipp medtatt på grunn av manglende datagrunnlag.

Det er i litteraturstudiet funnet at energieffektivisering av eksisterende bygninger i Norge kan ha stor betydning for å nå overordnede mål om reduserte utslipp. Lønnsomhetsberegninger viser at energitiltak i eksisterende bygninger kan ha lavere tilbakebetalingstid enn i nye hus. Samtidig eksisterer barrierer som hindrer tilsynelatende lønnsomme prosjekter i å bli gjennomført. Det funnet behov for å tilpasse seg energisituasjonen i Longyearbyen ettersom dagens løsning har begrenset kapasitet og framtidig energikilde for Svalbard ikke er avklart. Framtidig klima er forventet å bli varmere og våtere og kan føre til behov for klimatilpasning. Rapporter belyser ulike barrierer rundt klimatilpasning i Norge.

Det er gjennomført innledende samtaler med ulike aktører tilknyttet Longyearbyen og i sammenheng med dette ble problemstilling formulert og datagrunnlag for referansehuset innhentet. Videre er det gjennomført litteratursøk for å danne et teorigrunnlag og som en del av resultatet i oppgaven. Energibesparende effekt og lønnsomhet ved ulike energitiltak er beregnet i simuleringsprogrammet SIMIEN. Kostnader lagt til grunn i er basert på enhetspriser fra Holte Kalkulasjonsnøkkelen og det er gjennomført følsomhetsanalyser for nåverdiberegningene. Det er gjort en rekke antagelser og forenklinger for å simulere referansehuset og beregne kostnader. Usikkerhet knyttet til dette kan medføre at beregningene ikke gir et representativt bilde for alle Spisshusene.

Energisituasjonen i Longyearbyen tilsier at bygningsmassen bør energieffektiviseres. Tiltak som gjør bygninger i Longyearbyen avhengig av mindre energi vil være bedre rustet til å møte

mulige kapasitetsproblemer i framtiden. Samfunnsutvikling i Longyearbyen har medført andre brukerkrav enn tidligere. Det gir et eksempel på hvorfor vedlikeholds- og oppgraderingsinnsats bør ses i sammenheng med byggets evne til å møte nye krav. Bygg som skal energieffektiviseres bør også være klimatilpasset. Temperaturene er ventet å stige mot slutten av dette århundret og beregninger viser at fundamenter vil kunne få omfattende setninger og redusert bæreevne. På bakgrunn av dette anbefales det å vurdere at levetiden til fundamentene er minst like lang som beregnet tilbakebetalingstid for energiltakene. I dag ligger deler av bebyggelsen i skredfarlig områder og det er i dag lite grunnlag for å si hvor mye som vil bli skredsikret. Energieffektiviseringstiltak bør også ses i sammenheng om skredutsatte områder vil være bebodd i framtiden. I 2018 startet tiltak som skredsikrer Spisshusene i Lia og legger til rette for bevaring og framtidig bruk av husene.

Beregning av energibehov for referansehuset viser et årlig energibehov til oppvarming på 345 kWh/m² og stemmer godt med erfaringstall for målt energiforbruk i boliger i Longyearbyen. Simulering av ulike energiltak viser et betydelig potensial for besparelse av energi til oppvarming. Installering av balansert ventilasjonssystem har potensial for å redusere oppvarmingsbehovet men krever et forholdsvis tett hus. Simuleringer viser liten energibesparende effekt dersom lekkasjetallet i bygget er høyt og disse tiltakene anbefales å ses i sammenheng. Nåverdiberegningene viser at de utvalgte energiltakene ikke vil tjenes inn med dagens energipriser. Beregninger med økt fjernvarmepris viser at flere av tiltakene være lønnsom innen antatt levetid. Etterisolering av gulvkonstruksjon er beregnet å ha lav lønnsomhet og anbefales ikke.

English summary

This thesis will carry out and assess whether energy conservation measures (ECM) should be taken on existing buildings in Longyearbyen. The purpose is also to show the potential energy saving and the profitability of various energy-improving measures on a houses om Longyearbyen. Based on Longyearbyen's history and development, implementation of ECM should also be seen in context with the condition of today's building mass and limited energy supply. This thesis also aims to illustrate how existing building mass may have to be adapted to a climate that is expected to change by getting warmer and wetter.

These measures are relevant to a large extent of existing buildings in Svalbard. Due to the large spread in age and standards as well as variety of building types, evaluation of ECM is limited to a single type of house found in Longyearbyen, the iconic "Spisshusene" in Lia. Profitability of the different ECM is focused in a building owner-perspective. Social and environmental approach is not carried out due to lack of available data.

Through the literature review it is found great potential in implementation of ECM on the existing building mass in Norway. This also is considered to play a part in the goal to reduce emission nationally. Studies show that ECM implemented on existing buildings may have a lower payback period than applied on newer houses. At the same time studies show barriers preventing seemingly profitable ECM-projects to be carried out. It is also found a need to adapt to todays energy situation in Longyearbyen. As the current solution has limited capacity and uncertainty towards what will be the future energy source for Svalbard. The climate is expected to change where winters are expected to get warmer and wetter in the region. Studies carried out presents barriers to climate adaption in Norway.

Early on into this project, meetings with people associated with Longyearbyen were carried out. Based on their experiences an approach to meet these challenges were made. These meetings also gave me information, which I later used to define the reference house. A literature review was carried out as a part of the theoretical foundation of the thesis, but also as a part of the results. Evaluation of energy conservation and profitability for the different measures are calculated in the simulation program SIMIEN. Estimation of costs related to the various measures is made based on unit prices from Holte calculation series. Sensitivity analyzes for the net present value calculation (NVP) is carried out to evaluate impact of changes in parameters. A numerous of assumptions and simplifications have been made regarding the simulations and costs calculations. Therefore, results may be less representative for some of the houses.

Based on the challenges limited capacity in delivered energy may cause, ECM should be implemented on buildings in Longyearbyen. ECM that reduce energy dependency in buildings will be better equipped to address this challenge. The development of Longyearbyen as a community has led to a change in user demands regarding housing. And gives an example of how maintenance and upgrading efforts should be seen in context with a buildings ability to meet new requirements. Implementation of ECM should only be carried out on houses that are adapted to address changes in climate. Rise in temperature is expected to a reduction of permafrost and may lead to severe foundation deformation. This in mind, a buildings foundation should function at least as long as the expected service life of implemented ECMs. Part of the settlement in Longyearbyen are in hazardous areas and are in demand of safety measures. ECM should also be seen in context with that which area will be secured. As for “Spisshusene” in Lia, measures are now taken to facilitate future use of the houses.

Simulations of the reference house shows an annual energy demand for heating of 345 kWh/m² and is somewhat in range of what has been recorded in different houses in Longyearbyen earlier. Evaluation of different ECMs show great potential energy saving for heating. It is found implementing balanced ventilation systems (BVS) can lead to great reduction of energy loss, but only in a building with good air tightness. BVS used in a house with great air leakages shows greatly reduced effect on energy savings. Calculated NPV shows that evaluated ECMs is not profitable with today’s energy prices. Calculations with increased cost of district heating prices shows pay back periods within the expected lifespan. Retrofitting of the floor construction in the reference house is calculated to have low profitability and is not recommended.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	iii
English summary	v
Innhold	vii
Figurliste.....	ix
Tabelliste	xi
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven.....	1
1.2 Formål og problemstilling.....	3
1.3 Avgrensninger	4
1.4 Rapportens oppbygning og leseveiledning	5
2 Litteratur og teori	7
2.1 Klimatiske forhold og forventede klimaendringer.....	7
2.2 Byggemetoder i permafrost.....	9
2.3 Naturskader og klimapåkjenning	12
2.4 Bygningsvedlikehold og ombygging	13
2.5 Studier på klimatilpasning og energieffektivisering	16
3 Metode	19
3.1 Metodebeskrivelse	19
3.2 Valg av metoder	20
4 Resultat	25
4.1 Utvikling i Longyearbyen	25
4.2 Fundamentproblematikk	31
4.3 Skredfare	37
4.4 Energisituasjon.....	41
4.5 Dynamisk energiberegning i SIMIEN	43
4.6 Kontroll mot forskrift.....	56

4.7	Energieffektivisering av eksisterende bygninger	60
4.8	Kostnadsoverslag for ulike energiltak	64
4.9	Beregning av lønnsomhet	70
5	Diskusjon	79
5.1	Byggeskikken i Longyearbyen	79
5.2	Klimapåkjenning	81
5.3	Skredfare	83
5.4	Utfordringer rundt klimatilpasning	84
5.5	Vedlikehold og utvikling av bygg	85
5.6	Energiltak	87
6	Konklusjon	97
7	Videre arbeid	99
8	Referanseliste	101
	Vedlegg 1 – Plan- og snittegning for Spisshus	I
	Vedlegg 2 – Inndata, bygning, sone	III
	Vedlegg 3 – Klimadata for Longyearbyen	IV
	Vedlegg 4 – Inndata, referansehus (spisshus)	V
	Vedlegg 5 – Inndata, med U-verdier for et typisk bygg fra 1970-tallet	VII
	Vedlegg 6 – Inndata: Bygningsdeler referansehus	IX
	Vedlegg 7 – Inndata: ventilasjon, teknisk, internlast o.l.	XV
	Vedlegg 8 – Kostnadsoverslag for energiltak med forklaring	XVII
	Vedlegg 9 – Følsomhetsanalyse, beregning	XVIII

Figurliste

Figur 1: Byggeskikk (prosess) (SINTEF Byggforsk, 1993)	4
Figur 2: Byggeskikk (bestand av hus) (SINTEF Byggforsk, 1993).....	4
Figur 3: Temperaturprofil i permafrost (Andersland og Ladanyi, 2004)	9
Figur 4: Fundamenteringsteknikker bruk i permafrost (Andersland og Ladanyi, 2004)	10
Figur 5: Thermosyphon ved vannmagasin ved Pyramiden på Svalbard (foto: M. Haugan)....	11
Figur 6: Utvikling av standarden til et bygg over tid (Bjørberg, 2017)	14
Figur 7: Vedlikeholdsstrategi (Bjørberg, 2017)	15
Figur 8: Kart over de største boligfeltene i Longyearbyen (Norsk Polarinstitutt, 2017)	26
Figur 9: Prinsipptegning av sålefundament og tilbakefylling (Gregersen, 1986)	28
Figur 10: Eksempel på skjørt under hus (Foto: M. Haugan).....	29
Figur 11: Refundamenteringsarbeid av Sysselmannsboligen fra 2017 (Foto: M. Haugan).....	32
Figur 12: Refundamentert taubanebukk stående i en skråning (Foto: M. Haugan)	33
Figur 13: Eksempel på råteskadet pelefundament i Longyearbyen (Foto: M. Haugan)	35
Figur 14: Nærbilde av råteskadet trepel (Foto: M. Haugan)	35
Figur 15: Skredfaresoner fra Sukkertoppen.(Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018b). 39	
Figur 16: Fordeling av beregnet energibruk.....	45
Figur 17: Fordeling av energitype for referansehuset	46
Figur 18: Månedlig energibehov for referansehus	47
Figur 19: Varmebalanse for referansehuset.....	48
Figur 20: Varmetapstall for referansehuset	49
Figur 21: Fordeling av beregnet energibruk ved normerte U-verdier	51
Figur 22: Fordeling av energitype ved normerte U-verdier	52
Figur 23: Årlig netto energibehov ved normerte U-verdier	53
Figur 24: Varmebalanse ved normerte U-verdier.....	54
Figur 25: Varmetapstall for ved normerte U-verdier	55
Figur 26: Ytterveggkonstruksjoner av tre	60
Figur 27: Sensitivitet ved etterisolering av yttervegger	76

Figur 28: Sensitivitet ved etterisolering av tak.....	76
Figur 29: Sensitivitet ved etterisolering av gulv	77
Figur 30: Sensitivitet ved bytte av vindu og dører	77
Figur 31: Sensitivitet ved flere tiltak samtidig	78
Figur 32: Utvikling av standarden til et bygg over tid (Bjørberg, 2017)	86
Figur 33: Varmetap for referansehus, uten noen energiltak (Luftlekkasjetall 6,0 1/h).....	92
Figur 34: Varmetap etter installering av balansert ventilasjon (Luftlekkasjetall (6,0 1/h)	93
Figur 35: Varmetap ved balansert ventilasjon samt forbedret luftlekkasjetall (2,5 1/h).....	93

Tabelliste

Tabell 1: Temperaturer fra 1971-2000 og estimater for 2071-2100 (Isaksen et al., 2017).....	8
Tabell 2: Klimapåkjenning vs. naturskade (Flyen et al., 2014)	12
Tabell 3: TONE-prinsippet (NTNU Universitetsbiblioteket, 2017a).....	21
Tabell 4: Bebyggelse og utbyggingsperioder	27
Tabell 5: Vurdering av trepeler, tilstandsgrader (Nordhus & Martinsen, 2018).....	36
Tabell 6: Sikkerhetsklasser i skredfarlige områder (Direktoratet for byggkvalitet, 2016)	37
Tabell 7: Energipriser (Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017)....	41
Tabell 8: Beregnet oppvarmingsbehov for småhus, (SINTEF Byggforsk, 2004a).....	42
Tabell 9: Beregnet årlig energibehov for referansehuset	44
Tabell 10: Beregnet årlig behov for levert energi for referansehuset.....	46
Tabell 11: Beregnet behov for referansehus, lokalt og normalisert klima	47
Tabell 12: Årlige energikostnader for referansehuset	49
Tabell 13: Energibudsjett til et «typisk hus» fra 1970-tallet	50
Tabell 14: Beregnet energibehov til et «typisk hus fra 1970-tallet»	52
Tabell 15: Sammenligning av energibehov ved normerte U-verdier	53
Tabell 16: Årlige energikostnader ved normerte U-verdier	55
Tabell 17: Energiltak (§14-2) (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010)	56
Tabell 18: Forskriftens krav ved energirammer (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010)	57
Tabell 19: Minimumskrav til energieffektivitet (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010).....	57
Tabell 20: Oversikt over kontrollen mot forskrift	57
Tabell 21: Vurdering av referansehus mot energiltaksmetoden	58
Tabell 22: Evaluering av omfordeling for referansehus.....	58
Tabell 23: Evaluering av energirammer for referansehus	59
Tabell 24: Evaluering av referansehus opp mot minstekrav	59
Tabell 25: Krav til energiforsyning	59
Tabell 26: Valgte energiltak for referansehuset	63
Tabell 27: Grunnlag for kostnadsoverslag	65

Tabell 28: Kalkulert ekstrakostnad ved etterisolering av yttervegg.....	66
Tabell 29: Kalkulerte ekstrakostnader ved etterisolering av tak	66
Tabell 30: Kalkulerte ekstrakostnader ved etterisolering av gulv mot friluft	67
Tabell 31: Kalkulerte kostnader ved bytte til vindu og dører.....	68
Tabell 32: Kalkulert kostnad ved installasjon av balansert ventilasjon	68
Tabell 33: Kostnadsestimat for et annet eksempel (Lavenergiprogrammet, 2015c).....	69
Tabell 34: Kostnadsestimat for et annet eksempel (Lavenergiprogrammet, 2015c).....	69
Tabell 35: Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017	71
Tabell 36: Inndata for lønnsomhetsberegning.....	71
Tabell 37: Beregnet årlige energibesparelser	72
Tabell 38: Beregning av lønnsomhet med dagens energipriser	73
Tabell 39: Beregning av lønnsomhet med en dobling av fjernvarmepris	73
Tabell 40: Beregning av lønnsomhet ved støtte (40 % av investeringskostnad).....	74
Tabell 41: Beregning av lønnsomhet ved utvalgte tiltak og støtte.....	75
Tabell 42: Beregning av lønnsomhet ved et utvalg tiltak og dobling av fjernvarmepris	75

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

1.1.1 Energisituasjon

I dag forsynes Longyearbyens innbyggere med elektrisitet og fjernvarme fra Energiverket. Energiproduksjonen er drevet på kullforbrenning og leveransen av fjernvarme i dag er opp mot Energiverkets maksimale kapasitet og det er i dag usikkert om dagens energiløsning er i stand til å møte framtidig behov (Innst. 88 S, (2016-2017)). På bakgrunn av energisituasjonen i Longyearbyen oppfordres det gjennom Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) til ønskelige bygg og energieffektive tiltak.

Dagens energisituasjon i Longyearbyen gir ikke optimal forsyningsikkerhet. Energiverket har vært i drift siden 80-tallet og en ser hyppigere driftstans og økt vedlikeholdsbehov (Longyearbyen lokalstyre, 2012c). Dagens reserveløsning er drevet av diesel men reservekraftverket klarer ikke alene å dekke behovet for elektrisitet til Longyearbyens innbyggere (Prop. 1 S, (2017-2018)). De ulike bosetningene på Svalbard har egne energiløsninger som ikke er tilknyttet hverandre. Ved driftsproblemer ut over dagens løsninger vil en ikke kunne støtte seg direkte på de øvrige energiløsningene på øygruppen (Prop. 129 S, (2016–2017)).

I 2018 startet Regjeringen en utredning for å finne alternativer til dagens energiforsyning i Longyearbyen. En ønsker å forbedre forsyningsikkerheten etter prinsipp om oppgradering av infrastruktur og diversifisering av energikildene (Prop. 129 S, (2016–2017)). I tillegg ønsker Regjeringen en løsning som er bærekraftig og basert på fornybarhet (Innst. 88 S, (2016-2017); Prop. 1 S, (2017-2018)). Energiproduksjonen i Longyearbyen står for direkte klimagassutslipp og Energiverket avgir store mengder CO₂ i forhold til mengden energi som leveres (Innst. 88 S, (2016-2017)).

1.1.2 Energieffektivisering

Samarbeidsprosjektet mellom SINTEF Byggforsk og Lavenergiprogrammet av Dokka *et al.* (2009) påpeker at energieffektivisering er det enkleste og rimeligste klimatiltaket. I Norge vil energieffektivisering av bygg kunne stå helt sentralt for å gjøre vårt bidrag for å redusere klimagassutslipp globalt. I følge hovedrapporten til Lavenergiutvalget (2009) har byggesektoren et stort potensiale for energieffektivisering. Dette gjelder for nybygging men også tiltak og forvaltning av eksisterende bygningsmasse. Rapporten belyser flere barrierer for

hvorfor energieffektiviseringsprosjekter som tilsynelatende er lønnsomme ikke blir gjennomført og funn fra denne rapporten presenteres i oppgaven.

Det er i dag lite grunnlag for å si noe om lønnsomheten og effekten ved å gjøre energibesparende tiltak i Longyearbyen. Tradisjonelt har innbyggere i Longyearbyen betalt for fjernvarme etter bruksareal etter gjeldende gebyr- og fakturasatser. Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre (2017) åpner for at fjernvarmeabonnenter heller kan betale for sitt faktiske forbruk. For byggeiere skaper dette et insentiv for å gjøre energieffektiviseringstiltak for å redusere energibehovet i byggene sine.

1.1.3 Dagens infrastruktur og klimascenario

Endringer i klima er med på å forsterke utfordringer rundt forvaltningen av infrastruktur. Klima rundt Arktis og Svalbard er forventet å bli varmere og våtere de kommende århundre (Hansen *et al.*, 2014; Isaksen *et al.*, 2007; Førland *et al.*, 2010; Isaksen *et al.*, 2017). Klimaendringer i Arktis vil kunne påvirke eksisterende infrastruktur og framtidig utvikling i regionen. Instanes *et al.* (2005) påpeker at mange av klimautfordringene vil kunne løses rent teknisk men økte kostnader kan være en hindring. Særlig utsatt er infrastruktur som ikke er prosjektert og ment å tåle en slik påkjenning. Dette kan medføre at prosjektering av ny infrastruktur i arktiske områder må tilpasses i framtiden (Instanes, 2003).

I dag ligger deler av Longyearbyens bebyggelse og infrastruktur i skredfarlig område (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016, 2018b) og i 2015 mistet to mennesker livet da et snøskred traff deler av bebyggelsen i Longyearbyen. Den seneste skredrapporten av Norges vassdrags- og energidirektorat (2018b) utvidere tidligere skredutløpssoner og ytterligere bebyggelse ligger i faresonen. I dag pågår sikringstiltak av deler av den utsatte bebyggelsen (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018a) men det framkommer også at kritisk infrastruktur som deler av energiforsyningsnettet ligger i skredfaresonen (Prop. 1 S, (2017-2018); Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

Mye av dagens infrastruktur er fra 1970-tallet og på bakgrunn av alder og standard ved oppføringstidspunkt ser en et økende behov for oppgradering (Prop. 1 S, (2017-2018); Rongved, Eraker og Instanes, 2017). Det er forventet at økt temperatur og reduksjon av permafrost sammen med forandrede klimaforhold vil kunne ha langtidsvirkninger på dagens infrastruktur (Isaksen *et al.*, 2007; Flyen *et al.*, 2010; Instanes *et al.*, 2005). På Svalbard trodde en lenge at forekomst av råte i treverk ikke var mulig på grunn av det tørre og kalde klima. Senere forskning viser forekomst av råte blant annet pelefundamenter av tre (Flyen *et al.*, 2010; Flyen og Mattsson, 2013; Mattsson, Flyen og Nunez, 2010; Mattsson, 2017; Flyen og Mattsson, 2010).

1.2 Formål og problemstilling

På bakgrunn av Longyearbyens unike samfunnsutvikling, klimaforhold og energisituasjon vil spørsmål rundt energiltak på mange områder skille seg fra andre plasser i Norge. Oppgaven har som formål å belyse ulike aspekt rundt energieffektivisering av boliger i Longyearbyen.

Problemstilling for oppgaven er:

«Bør en gjøre energieffektiviseringstiltak på eksisterende boliger i Longyearbyen?»

Samfunnsutviklingen i Longyearbyen har etter en lang historie med kullutvinning vært preget av denne virksomheten. Byggevirksomheten har i liten grad vært regulert slik vi er vant med på fastland. En betydelig del av dagens bygningsmasse er oppført på tidspunkt uten strenge reguleringer eller forskrifter. På bakgrunn av dette ønsker jeg å belyse hvordan byggeskikken har vært fram mot dagens praksis og hvilken rolle det spiller ved energieffektivisering av eksisterende boliger.

Fra tidligere utarbeidet prosjektoppgave var det tydelig at fundamentproblematikk og skredfare er to sentrale utfordringer i bygningsforvaltning i Longyearbyen i dag. Et klima som er ventet å bli varmere og våtere kan ha stor innvirkning på hvordan en bør forvalte boligmassen. En evaluering av fundament- og skredproblematikken skal belyse forhold som kan ligge til grunn i en beslutningsprosess.

Det er i dag lite grunnlag for å si noe om lønnsomhet for energieffektiviseringstiltak i Longyearbyen. For en byggeier er det ikke gitt at kostnader knyttet til energiltak vil tjene seg inn over tid. Det er skal belyses ved å se på effekt og inntjeningstid for ulike energieffektiviseringstiltak for et referansehus.

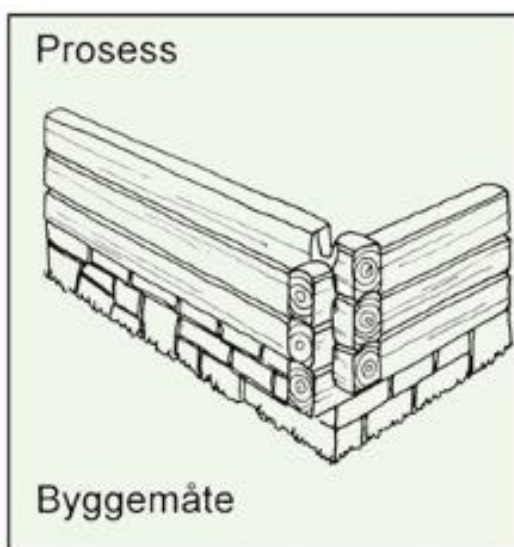
For å belyse disse aspektene ved problemstillingen skal følgende forskningsspørsmål besvares:

- *Hvordan har byggeskikken i Longyearbyen utviklet seg frem mot i dag?*
- *Hvilken innvirkning har fundamentproblematikken og skredfaren?*
- *Hvor stor lønnsomhet har ulike energiltak på et «Spisshus»?*

1.3 Avgrensninger

Fundamentproblematikk og skredfaren som drøftes i oppgaven gjelder på mange områder annen infrastruktur i Longyearbyen også men det er fokusert på bolighus.

Byggeskikk er et begrep som kan ha vid betydning og SINTEF Byggforsk (1993) skiller mellom fire ulike betydninger. I denne oppgaven er to av de lagt til grunn. Den første betydningen tar for seg byggemåter og prosessen bak bygging (figur 1). Den andre betydningen av ordet er å beskrive bestanden av husene (figur 2) og kan gi en beskrivelse av for eksempel tilstand.



Figur 1: Byggeskikk (prosess) (SINTEF Byggforsk, 1993)



Figur 2: Byggeskikk (bestand av hus) (SINTEF Byggforsk, 1993)

Mye av tematikken kan være relevant for infrastruktur på andre områder av Svalbard men denne oppgaven er geografisk avgrenset til Longyearbyen. Energisimuleringer er gjort basert på værdata fra Longyearbyen og kan på bakgrunn av klimatiske forskjeller være ulik for andre områder på Svalbard.

Energieffektivisering i Longyearbyen kan være like aktuell for andre bygninger (eks. næringsbygg, kontorer og lignende) men det er kun valg å fokusere på en type småhus. Referansehuset som er valgt er basert på hustypen som kalles «Spisshus». Forskjeller i bygningsfysiske egenskaper og oppbygning vil gjøre resultater i denne oppgaven mindre sammenlignbare med andre hustyper. Grunnlag og antagelser er nærmere beskrevet i metodekapittelet. Tiltak som påvirker inneklimate er nevnt men ikke vektlagt i denne oppgaven.

Et overordnet mål med energieffektivisering er å redusere klimagassutslipp. Lønnsomhet kan også være et mål på miljømessig gevinst med reduserte utslipp. På grunn lite datagrunnlag om virkningsgrad og lekkasjer på fjernvarmenettet er dette ikke vurdert i oppgaven. I beregningsprogrammet er det heller ikke lagt inn verdier for CO₂-utslipp.

Lønnsomhet rundt energieffektivisering kan måles på ulike områder (Lavenergiutvalget, 2009). Omfattende energieffektivisering kan ha samfunnsøkonomisk påvirkning i form av blant annet sysselsetting og økt behov for arbeidskraft. I denne oppgaven er det fokusert på det privatøkonomiske og lønnsomhet sett fra byggeiers/-forvalters perspektiv. Lønnsomhet i denne oppgaven skal vurderes gjennom å beregne nåverdi og tilbakebetalingstid av de ulike tiltakene.

1.4 Rapportens oppbygning og leseveiledning

Oppgaven er basert på en IMRAD-oppbygning og består av følgende kapitler:

- Introduksjon
- Teori
- Metode
- Resultat
- Diskusjon
- Konklusjon
- Videre arbeid

Kapitlene er inndelt i kapittelnummer (1, 2, 3, ...). Underoverskrifter i hvert enkelt kapittel er nummerert kronologisk etter kapittelnummeret (1.1, 1.2, 1.3, ...). Totalt går overskriftene ned til tre nivåer (eks. 1.1.1). Figurer og tabeller er oppgitt i kronologisk rekkefølge igjennom hele oppgaven, uten å følge kapittelinnstillingen. Formler er nummerert i henhold til kapittelet det presenteres i (eks. er formler oppgitt i kapittel 4 nummerert som 4.1, 4.2, 4.3, ...).

I dette introduksjonskapittelet presenteres bakgrunnen og avgrensninger for oppgaven. Videre blir problemstilling definert og forskningsspørsmålene presentert. Relevante litteratur blir lagt fram i et teorikapittel og som danner et faglig grunnlag for å besvare oppgaven. Videre følger metodekapittelet som gir innsikt hvordan oppgaven er utført og hvordan jeg har kommet fram til mine resultater. Styrker og svakheter rundt metodevalg drøftes også.

Resultater og funn blir så presentert i resultatkapittel. Første del av resultatkapittelet er basert på litteratur og andre del består av egenproduserte data. Mine resultater drøftes så i diskusjonskapittel hvor også resultatkapittelet ses i sammenheng med teoridelen.

I konklusjonskapittelet besvares forskningsspørsmålene som vil gi grunnlag for en endelig konklusjon som svarer på problemstillingen. Avslutningsvis skriver jeg et lite avsnitt om arbeid som kan gjøres videre.

2 Litteratur og teori

2.1 Klimatiske forhold og forventede klimaendringer

2.1.1 Permafrost og aktivt lag

Svalbard omtales ofte som en «arktisk ørken» på bakgrunn sitt kalde og tørre klima. Store deler av landarealet på Svalbard er dekket av permafrost (Humlum, Instanes og Sollid, 2003). Permafrost defineres som grunn som har temperatur under null grader i minimum to vintre og en mellomliggende sommer (Andersland og Ladanyi, 2004). Tykkelsen av permafrost på Svalbard varierer stort og kan strekke seg fra mindre enn 100 meter tykkelse i kyststrøk og til mer enn 500 meter i høyfjellet (Liestøl, 1986). Variasjonene kan blant annet skyldes varierende terreng som påvirker jordtemperatur (Humlum, Instanes og Sollid, 2003). På grunn av Svalbard sitt fjellandskap kan det å være mer utsatt for temperaturendringer enn andre områder med permafrost, som for eksempel i lavlandet rundt Canada, Sibir og Alaska (Humlum, Instanes og Sollid, 2003).

Områder der øvre sjikt av permafrosten utsettes for tining og frysing danner et øvre sjikt kalt et aktivt lag. Det aktive laget defineres av øvre del av grunnen som stiger over 0 °C i løpet året (Andersland og Ladanyi, 2004) og som utsettes for tine-fryse-sykluser på grunn av temperaturvariasjoner. Tykkelsen av dette laget varierer og for Svalbard er den typisk mellom 1 og 2 meter dyp (Larsen, 2016). Variasjon av tykkelsen kan påvirkes av eksponering mot omgivelser som akkumulasjon av snø, jordtype og vegetasjon på stedet (Dolnicki *et al.*, 2013). Snøoppsamlinger kan ha en isolerende effekt på grunnen og kan redusere nedkjøling i løpet av de kalde vintermånedene.

2.1.2 Temperatur

Årsmiddeltemperaturen for Svalbard Lufthavn for referanseperioden 1971-2000 er målt til -5,9 °C. Hvorav gjennomsnittlig temperatur i sommersesongen er +4,5 °C og -14 °C for vintersesongen. Etter at temperaturmålingene ved Svalbard lufthavn startet på 1960-tallet har en rekke varmerekorder blitt registrert etter år 2000. Årene 2006, 2007, 2012, 2014 og 2015 er de varmeste som er registrert ved denne stasjonen (Vikhamar-Schuler, Førland og Hisdal, 2016). Temperaturen på Svalbard har steget siden begynnelsen av det forrige århundre (Nordli *et al.*, 2014) og er siden 1970 en av de plassene på jorda der temperaturen har steget raskest (Isaksen *et al.*, 2017). Særlig en økning i vintertemperaturene er observert (Førland *et al.*, 2011; Nordli *et al.*, 2014; Isaksen *et al.*, 2017). Varme vintre har effekt på permafrosten, hvor en etter

en varm vinter i 2006 har observert endring i temperaturen helt til 15 meter ned i bakken (Isaksen *et al.*, 2007).

Avhengig av ulike utslippsscenarioer kan en vente at årsmiddeltemperaturen på Svalbard kan øke med opptil 4-10 °C (Førland *et al.*, 2010; Førland *et al.*, 2011; Isaksen *et al.*, 2017) og framkommer av tabell 1. For et scenario med høyt utslipp vil temperaturøkning i vintermåneden kunne gi Longyearbyen en middeltemperatur på -0,6 °C (Isaksen *et al.*, 2017), mot referansetemperaturen på -14,0 °C. Ofte vil et varmere klima kunne akselerere pågående tineprosesser (Instanes, 2003).

Tabell 1: Temperaturer fra 1971-2000 og estimer for 2071-2100 (Isaksen *et al.*, 2017)

Observert temperatur og estimat av framtidig temperatur i Longyearbyen				
	Observert for 1971-2000		Estimat for 2071-2100	
	Observert	«BEST»	«MIDDELS»	«VERST»
ÅR	-5,9	-2,3	0,6	3,3
VINTER	-14,0	-8,3	-4,9	-0,6
VÅR	-9,6	-5,9	-2,9	0,1
SOMMER	4,5	5,6	7,1	8,5
HØST	-4,7	0,5	2,0	4,7

2.1.3 Nedbør

Ved Svalbard Lufthavn er gjennomsnittlig årsmiddelnedbør 196 mm fra referanseperioden 1971-2000 (Isaksen *et al.*, 2017). Dette tilsvarer omtrent 2-3 ganger mindre enn andre målestasjoner på Spitsbergen (Førland *et al.*, 2011) og laveste årsnedbør for norske målestasjoner (Førland *et al.*, 2010). En har observert en økning i årsnedbør på rundt 2 % økning per tiår det forrige århundre, og ser en økende trend med mer nedbør i form av regn i vinterhalvåret (Isaksen *et al.*, 2017; Vikhamar-Schuler, Førland og Hisdal, 2016). Det er generelt knyttet stor usikkerhet til nedbørsmåling i Arktis (Isaksen *et al.*, 2017), særlig grunnet utfordrende vindforhold og snødrift.

Klimasimuleringer peker på en økning i nedbør mot slutten av århundret (Førland *et al.*, 2011), både en økning i sesong- og årsnedbør (Isaksen *et al.*, 2017). Førland *et al.* (2010) anslår en økning av årsmiddelnedbør på 5-20 % og nyere simuleringer fra Isaksen *et al.* (2017) anslår en økning 20-40 % avhengig av utslippsscenario. Mot 2100 forventes også dager med kraftig nedbør å øke, samt nedbørsmengden disse dagene (Isaksen *et al.*, 2017).

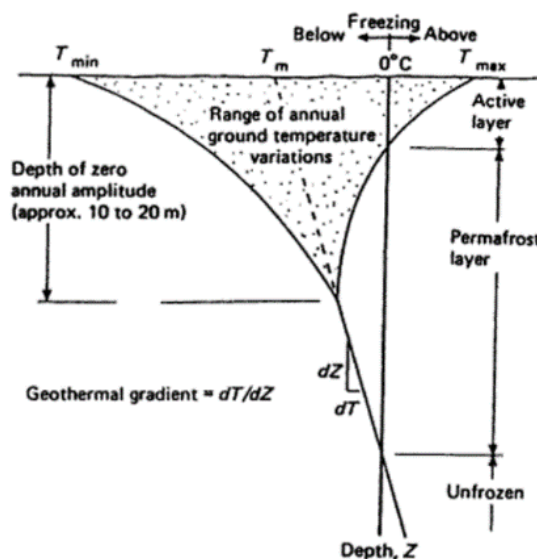
I vintersesongen kan hendelser med værømslag og temperaturforandring forekomme. For eksempel i januar 2012 gikk temperaturen på kort tid gikk fra minusgrader til + 8 °C og i samme periode kom det store mengder nedbør. Etter år 2000 har slike ekstreme mildværsperioden forekommet oftere og med økt intensitet (Vikhamar-Schuler *et al.*, 2016). En så også temperaturutslag etter et ekstremvær i januar 2012 ned til 5 meter under bakken (Hansen *et al.*, 2014). Fram mot 2100 kan en regne med å få et økt antall ekstreme mildværsperioder om vinteren enn tidligere (Vikhamar-Schuler *et al.*, 2016; Isaksen *et al.*, 2017). Perioder med mildvær og nedbør i form av regn er også forventet å forekomme hyppigere, opptil tre ganger oftere.

2.2 Byggeteknikker i permafrost

2.2.1 Fundamenteringsprinsipper

Styrkeegenskaper og deformasjonskarakteristikkene til frossen jord er avhengig av blant annet jordtype, densitet, temperatur og belastning (Instanes *et al.*, 2005; Instanes, 2003). Ved fundamentering er det viktig å kjenne til grunnforholdene. Det er å kartlegge årlig tinedybde og tykkelsen på det aktive laget gjennom levetiden til bygget (Larsen, 2016).

Styrkeegenskapene i jorda blir dårligere desto høyere temperatur og særlig når jorda tiner og nærmer seg null grader (Andersland og Ladanyi, 2004; Larsen, 2016). Der er derfor viktig å kjenne til temperaturprofilen for plassen før man fundamenterer (figur 3). Særlig utsatt for deformasjon er jord med høyt innhold av salt og is (Instanes *et al.*, 2005; Instanes og Rongved, 2017; Larsen, 2016). Setningshastigheten er sterkt knyttet til temperaturprofilen i grunnen og danner noe av grunnlaget for egne fundamenteringsteknikker i arktiske områder.



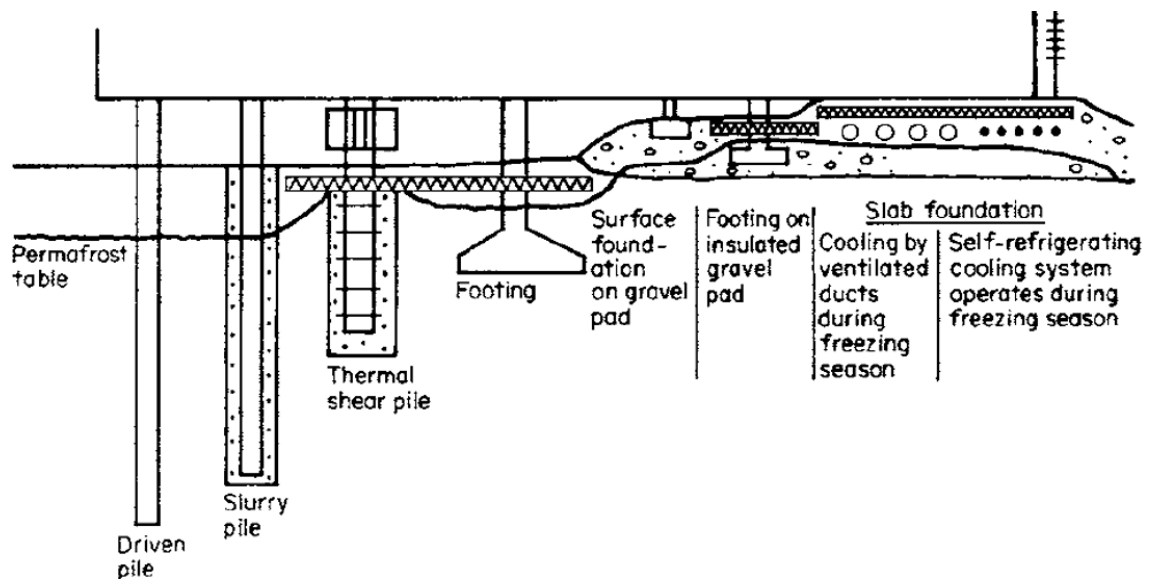
Figur 3: Temperaturprofil i permafrost (Andersland og Ladanyi, 2004)

Når en prosjekterer fundamenter i områder med permafrost må evaluere maksimum dybde på det aktive laget i byggets levetid og høyeste temperatur under fundamentet (Instanes, 2003; Larsen, 2016). Maksimal dybde kan beregnes etter Stefans formel (Andersland og Ladanyi, 2004) beskrevet på norsk av Larsen (2016).

Dersom grunnen er tinstabil, det vil si at den ikke endrer volum når den tiner (Instanes, 2005), vil den kunne være mindre utsatt for fundamentproblemer. Samtidig behøver den gjerne å være permeabel for å ikke utøve poretrykk. Slike egenskaper har for eksempel grus, da den er har gode permeable egenskaper og god bæreevne, også når den tiner (Andersland og Ladanyi, 2004).

2.2.2 Fundamenteringsmetoder

Når en fundamenterer i arktiske områder er et generelt prinsipp å begrense forstyrrelse av naturgitte forhold (Larsen, 2016), hovedsakelig ved å minimere varmeveksling mellom konstruksjon og grunnen og samtidig la lave vintertemperaturer kjøle ned grunnen. Ulike fundamenteringsteknikker er utviklet for å følge prinsippene i strøk med permafrost. Figur 4 av Andersland og Ladanyi (2004) viser noen av de grunnleggende teknikkene.



Figur 4: Fundamenteringsteknikker bruk i permafrost (Andersland og Ladanyi, 2004)

Gjennom varmeveksling fra overflaten og ned i jorda vil en kunne påvirke temperaturprofilen under konstruksjonen (Instanes og Rongved, 2017). Tradisjonelt løses dette ved fundamentering med peler og å løfte byggene opp fra bakken (Instanes og Rongved, 2017; Larsen, 2016) og lar det være sirkulasjon av luft under bygget. Bruk av peler er kostnadseffektiv måte å fundamenterer på stabile masser dypt i jorden, metoden har også kort installasjonstid (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).

Der grunnen har høyt innhold av is og salt og dermed utsatt for deformasjon ved tining, kan en sikre termisk stabilitet ved å holde grunnen kunstig nedkjølt (Instanes, 2010). Dette er også gunstig for bygg som er tiltenkt lang levetid (Instanes og Rongved, 2017).

En metode for kunstigkjøling av grunnen er bruken av «thermosyphon» og kan ses lengst til høyre i figur 5 samt et praktisk eksempel fra Russisk bosetning på Svalbard i figur 5. Prinsippet er at en forsterker nedkjøling av grunnen på vinteren og gjør den bedre rustet til å holde lav temperatur i den varme årstiden. Prosessen foregår i et lukket system der ved at væske fordampes under bakken og stiger til overflaten (Larsen, 2016). Ved lav lufttemperatur kondenserer gassen og bringer nedkjølt væske til bunn.



Figur 5: Thermosyphon ved vannmagasin ved Pyramiden på Svalbard (foto: M. Haugan)

2.3 Naturskader og klimapåkjenning

Naturskadeforsikringsloven (1990) beskriver en naturskade som en skade som direkte skyldes hendelser som skred, flom, storm og stormflo, jordskjelv, vulkanutbrudd. Naturskader oppstår vanligvis som et resultat av en ekstremværhendelse, som forløper over en begrenset periode (Flyen *et al.*, 2014).

Klimarelaterte skader oppstår som følge av en belastning over tid. Et hardt klima øker sårbarheten for naturskade ved ekstremvær (Flyen *et al.*, 2014). Også ekstremvær kan øke klimapåkjenning over tid.

Tabell 2 angir en sammenheng mellom plutselige og gradvise skader (Flyen *et al.*, 2014).

Tabell 2: Klimapåkjenning vs. naturskade (Flyen *et al.*, 2014)

		Klima	
		Hverdagsvær	Ekstremvær
Bygg og infrastruktur	Klimapåkjenning (gradvis skade)	Hverdagsvær som fører til gradvis nedbrytning av bygg og disponerer bygg for ekstremvær Eksempel: Fuktskader som svekker konstruksjonen	Ekstremvær som påkjenner bygninger og som i neste omgang disponerer bygg for gradvis nedbrytning Eksempel: Værhendelser som skader klimaskallet og eksponerer bygget for fuktskader
	Naturskade (brå skade)	Ekstraordinært vær som fører til skade på bygg og eventuelt disponerer det videre for ekstremværskader Eksempel: Intenst eller uvanlig vær som ikke defineres som ekstremvær	4. Ekstremvær som påfører direkte skade på bygninger Eksempel: Storm, flom og skred

2.4 Bygningsvedlikehold og ombygging

2.4.1 Bygningsvedlikehold

Bygningsforvaltning innebærer å vedlikeholde og utvikle bygningsmasser. Vedlikehold er aktiviteter som utføres for å holde en bygning med sine tekniske installasjoner til et fastsatt kvalitetsnivå (Valen *et al.*, 2011). De aktivitetene som typisk faller inn under vedlikeholdskategorien foretas gjerne periodevis og sjeldnere enn hvert år. Vedlikeholdskostnader defineres av NS3454 som «*kostnader som er nødvendige for å opprettholde byggverket på et fastsatt kvalitetsnivå og derved gjøre det mulig å bruke det til sitt tiltenkte formål innenfor en gitt brukstid*» (Standard Norge, 2013).

Ulike bygningskomponenter har typisk ulik teknisk levetid. I sammenheng med bygningsvedlikehold forventes gjerne fundamet og bæresystem å vare gjennom hele byggets levetid (Valen *et al.*, 2011) og klimaskjerm forventes å måtte vedlikeholdes til den eventuell skrives ut. Følgeskader kan forekomme når skader på bygget oppstår som følge av manglende vedlikehold eller reparasjoner (Valen *et al.*, 2011). Av bygningers totale livssyklus kostnader utgjør generelt vedlikeholdskostnadene en mindre andel, men har stor innvirkning på byggets levetid (Valen *et al.*, 2011).

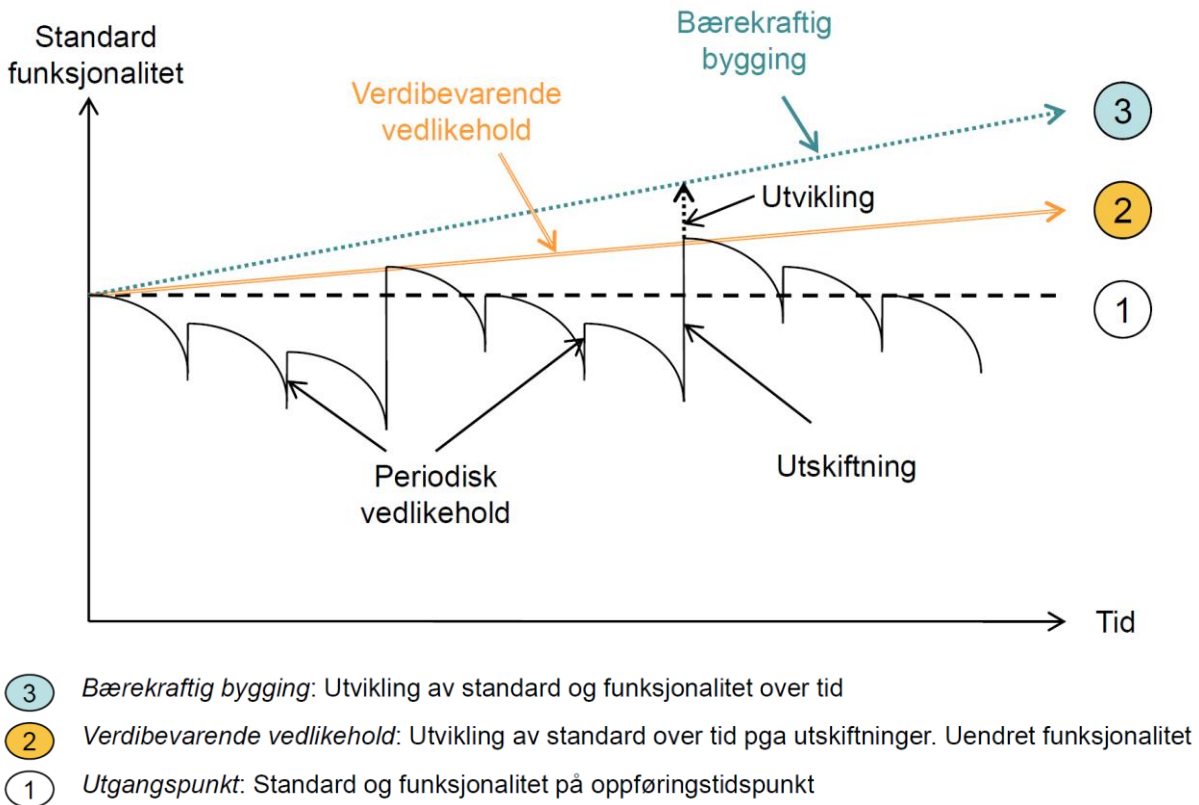
Behovet for vedlikehold kan vurderes på bakgrunn av tilstandsvurdering NS3424 (Standard Norge, 2012). Tilstanden på bygningsdeler og komponenter kan klassifiseres etter tilstandsgrad fra 0 til 3, der 0 indikerer best tilstand. En kan definere og tilpasse gradene for hver enkelt tilstandsvurdering (Standard Norge, 2012).

Det er gjerne sammenheng mellom tilstandsgraden til en bygningsdel og behovet for vedlikehold (Valen *et al.*, 2011). Som strategi for vedlikehold kan man velge et akseptabelt kvalitetsnivå. En strategi kan for eksempel være å ikke ha noen bygningsdeler over TG2 og en normal standard kan være å utbedre deler med TG 2 og 3 fortløpende (Valen *et al.*, 2011).

Verdibevarende vedlikehold kan omfatte rehabilitering av bygget og utskiftning av bygningsdeler etter dagens standard og krav (Figur 6, punkt 2). Ved oppgradering av bygninger påpeker Almås *et al.* (2009) at en grundig tilstandsanalyse er essensielt for valg av tiltak. Utførelse av tilstandsrapport etter NS3424 bør utføres av personer med relevant erfaring og kunnskap om typen bygg, farer og problemområder (Standard Norge, 2012).

2.4.2 Utvikling og ombygging

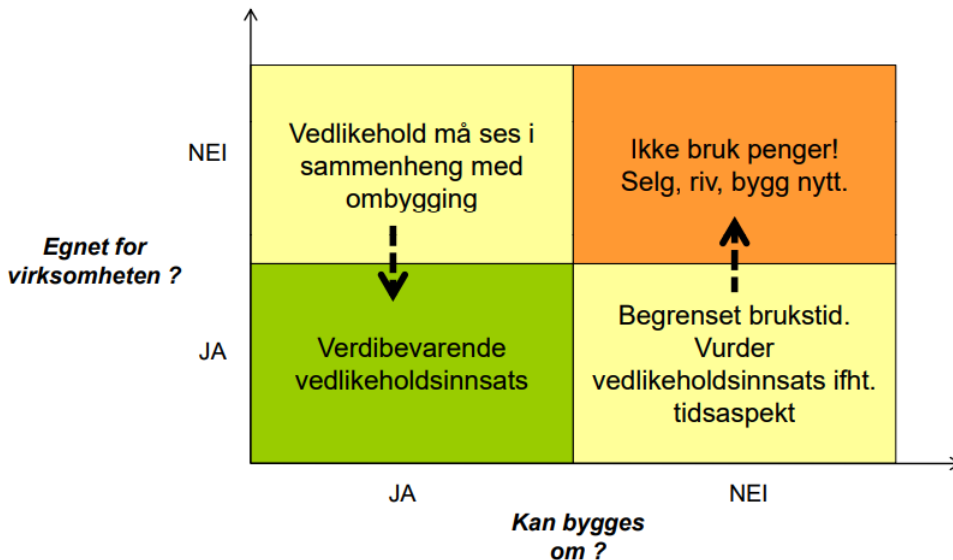
Ombygging og utvikling av bygget innebærer å endre funksjonen til et bygg for å møte nye og framtidige krav. Figur 6 illustrerer hvordan bygningens standard kan løftes i sammenheng med vedlikehold. Utviklingskostnader kan defineres som «Kostnader til utvikling av byggverk for å opprettholde dets verdi over tid i forhold til nye krav fra brukere, marked og myndigheter» (Standard Norge, 2013).



Figur 6: Utvikling av standarden til et bygg over tid sett i sammenheng med vedlikehold og utvikling (Bjørberg, 2017)

På et taktisk forvalternivå anbefales det at vedlikehold og utvikling planlegges og ses sammenheng i forvalterorganisasjonen (Valen *et al.*, 2011). Vedlikehold og utvikling av bygninger bør ses i sammenheng og utføres sammen der det er gunstig. For eksempel ved skifte av fasadekledning eller takteking bør man vurdere om man skal etterisolere konstruksjonen samtidig (Valen *et al.*, 2011).

Når en legger en strategi for utvikling og vedlikehold kan det vurderes opp mot byggets tilpasningsdyktighet (Valen *et al.*, 2011). Figur 7 gir en skjematisk måte å vurdere innsatsen som legges i bygget sitt. Avhengig av hvor en plasserer bygget sitt i matrisen kan følgende vurderes:



Figur 7: Vedlikeholdsstrategi ved vurdering av byggets tilpasningsdyktighet (Bjørberg, 2017)

- Øverst til venstre: Dersom bygget ikke egner seg til dagens bruk men kan tilpasses framtidig bruk (ombygges). Da bør man se både vedlikeholdstiltak og utviklingstiltak i sammenheng (Valen *et al.*, 2011) slik at bygget kan plasseres i kvadrant under i matrisen.
- Nederst til venstre: Dersom bygget er tilpasset dagens bruk og har mulighet til å utvikles til å møte framtidig bruk. Da bør en drive verdibevarende vedlikehold (Valen *et al.*, 2011).
- Nederst til høyre: Dersom bygget kun er tilpasset dagens behov men ikke framtidig formål og kan ikke ombygges. Da bør en drive vedlikehold sett i forhold til hvor lenge den skal brukes (Valen *et al.*, 2011). Over tid vil bygget ikke være tilpasset virksomheten og bevege seg opp til kvadranten over i matrisen.
- Øverst til høyre: Bygget er ikke egnet virksomheten og kan ikke tilpasses. Minimer innsats (Valen *et al.*, 2011). Vedlikehold kan ses i sammenheng med om bygget skal selges eller rives. Dersom bygget må beholdes, for eksempel på bakgrunn av vernestatus bør vedlikeholdet minimeres til å opprettholde nødvendig standard (Valen *et al.*, 2011).

2.5 Studier på klimatilpasning og energieffektivisering

2.5.1 Klimatilpasning

Som en del av Klima 2050-prosjektet, har Hauge *et al.* (2017b) kartlagt barrierer i forbindelse med klimatilpasning av bygninger og infrastruktur i Norge. Gjennom at nye byggeprosjekter tilpasses dagens og framtidens klima vil en oppnå god bærekraft. På lik linje kan også eksisterende bygningsmasse tilpasses og en kan redusere behovet for utbedring og vedlikehold i levetiden (Hauge *et al.*, 2017b). Deler av funnene i rapporten presenteres her og belyser hva som fungerer som barrierer og drivere for klimatilpasning.

For å lykkes med klimatilpasning i byggeprosesser fordrer at alle involverte aktører har et felles fokus fra begynnelsen av prosessen (Hauge *et al.*, 2017b). Det trekkes for eksempel fram at organisasjoner må ha kapasitet og tid til å tilegne seg ny kunnskap. På et høyere forvaltningsnivå ser en at klimatilpasning ofte konkurrerer med andre fokusområder. En er derfor avhengig av organisatorisk og politisk vilje for å drive klimatilpasning. En stor utfordring er knyttet til eksisterende bygg og infrastruktur og det etterspørres retningslinjer for klimatilpasning av områder som allerede er utbygd (Hauge *et al.*, 2017b).

For å praktisk kunne tilpasse seg klima må veiledere være tilgjengelige og spisset for ulike brukergrupper. Et annet studie av Hauge *et al.* (2017a) har kartlagt en stor andel brukerveiledninger for klimatilpasninger i Norge. Funn fra denne studien er at dersom store mengder veiledere er tilgjengelig, vil brukerne kunne føle det som overveldende og fører nødvendigvis ikke til bedre klimaadaptasjon. En redusert andel veiledere og økt brukt av veiledere for spesifikke brukergrupper kan skape bedre tilgjengelighet for brukere og kan virke positivt på klimatilpasning (Hauge *et al.*, 2017a).

Personlig holdninger påvirker også evne til klimatilpasning. Hauge *et al.* (2017b) påpeker at mennesket har en tendens til å ikke ta «saktekommende» kriser på alvor, som for eksempel klimaendringer over tid. Typisk undervurderer vi farer som er langt unna i tid og sted med at vi heller reagerer etter noe har skjedd, som for eksempel å gjøre tiltak først etter et skred eller flom har inntruffet (Hauge *et al.*, 2017b).

2.5.2 Barrierer mot energieffektivisering og erfaringer

Et overordnet mål med energieffektivisering er å redusere utslipp av klimagasser og øke forsyningssikkerhet (Lavenergiutvalget, 2009). Som nevnt innledningsvis har byggesektoren et stort potensial for energieffektivisering som inkluderer nybygging men også forvaltning av den eksisterende bygningsmassen. Utredninger viser at prosjekter som kunne vært lønnsom innen energieffektivisering ikke gjennomføres (Lavenergiutvalget, 2009). Studiet tar for seg ulike barrierer for energieffektivisering og energibesparende tiltak både for private meg også bedrifter.

Få boligeiere eller bedrifter har satt av kapital for framtidige energiltak (Lavenergiutvalget, 2009). Dette og et fokus på kortsiktige investeringskostnader er en psykologisk barriere som kan føre til at potensielt økonomisk lønnsomme tiltak ikke blir gjennomført (Lavenergiutvalget, 2009). Det påpekes at det i Norge generelt stilles få krav til byggherre vedrørende energibruk i bygg. Løsninger som kan gi brukeren lavere energiutgifter kan kreve høyere byggekostnad og velges gjerne bort til fordel for rimeligere og mindre energieffektive løsninger (Lavenergiutvalget, 2009).

Mangelfull informasjon og kunnskap er også en årsak til at potensielt lønnsomme energieffektiviseringsprosjekter ikke gjennomføres (Lavenergiutvalget, 2009). Effektive løsninger kan kreve at ulike systemer jobber godt sammen, som for eksempel varme- og kjølesystemer. Kunnskap om slik type optimalisering kan for byggeier oppleves som en barriere fordi det kan kreve koordinering mellom leverandører og faggrupper. For mange utgjør energiutgiftene en liten andel av kostnadene og vil i mange tilfeller ikke forsvare kostnader rundt kartlegging av energieffektiviseringstiltak. Det eksisterer støtteordninger gjennom for eksempel Enovatilskuddet (Enova, 2018b). For private og bedrifter gir Enova tilskudd til enkelte energiltak og bidrar til å redusere byggeiers investeringskostnader. Det gis også støtte til energirådgivning for å kartlegge gode energiltak ved rehabilitering av eksisterende bygg.

Lave energipriser og få støtteordninger gjør at færre effektiviseringstiltak blir lønnsomme. Samtidig gjør lave energipriser at villigheten reduseres dersom gevinsten ved tiltak er forholdsvis liten (Lavenergiutvalget, 2009). Rapport av Dokka *et al.* (2009) påpeker at tilbakebetalingstiden er følsom for endring i energipris. Svingninger i energipriser bidrar til en økt usikkerhet når en vurderer lønnsomheten i energieffektiviseringsprosjekter (Lavenergiutvalget, 2009).

Energiforbruk og energikostnader er i mange tilfeller lite synlig for aktører. For leietakere er det funnet vanskelig å bevisstgjøre energibruk når utgifter til energi ofte er innbakt i en leiepris

(Lavenergiutvalget, 2009). Leietakere som stiller krav til energibruk til bygget kan også risikere å bli valgt bort til fordel for noen som aksepterer høyere energibruk.

I Norge er vi generelt ikke flink til å skru av elektrisk utstyr når det ikke er i bruk, hvor det i andre land kan være er en annen kultur når det kommer til besparelse av elektrisitetskostnader (Lavenergiutvalget, 2009). Dette forklares ved at energiprisene i andre deler av utlandet kan være betydelig høyere enn i Norge.

Klinski *et al.* (2012) har sammenstilt ulike studier om energibruk fra noen områder i utlandet. Det er funnet at energibruk til oppvarming kan variere stort selv om boenheter har samme teoretiske behov. Forskjeller i bruksvaner er påpekt som en årsakene. En ser at hus med høyere energiytelse (for eksempel passivhusstandard) er mer robust for forskjell i bruksvaner. Eksempler viser forskjell i energibruk mellom hus med passivhusstandard på 3,5 og 32,5 kWh/m², der det høyeste forbruket er over 800 % høyere enn det laveste. Til sammenligning viser energiforbruk mellom hus med høyere energibehov forskjell i forbruk mellom 70 og 260 kWh/m²år, en økning på rundt 270 % fra det laveste. Prosentvis er forskjellen større men i absolutt forbruk gir det mindre utslag for passivhus.

I følge prosjektrapport om energieffektivisering i bygninger av Dokka *et al.* (2009) har det vært få som rehabiliterer til dagen forskrift og enda færre som oppgraderer videre til passivhusstandard. Rapporten evaluerer blant annet tilbakebetalingstid for energieffektivisering av ulike typer bygg. For boliger som allerede skal rehabiliteres gir et grovt anslag merkostnader mellom 750-1800 kr/m², avhengig av ønsket ambisjonsnivå og energistandard (Dokka *et al.*, 2009). Det legges til grunn at kostnadene er ekstrakostnader for tiltak og forutsetter at oppgradering finner sted slik at energitiltaket ikke medfører økt rigg og drift og lignende. Dokka *et al.* (2009) beregner at tilbakebetalingstid rehabiliteringsprosjekter kan være raskere enn for nybygg når en ser på merkostnader ved energitiltakene. Tilbakebetalingstiden er også påvirket av lavere investeringskostnad. Rapporten viser til økt lønnsomhet i form av kortere tilbakebetalingstid for prosjekter dersom kostnader støttes med 40 %.

3 Metode

3.1 Metodebeskrivelse

3.1.1 Bakgrunn for metodekapittelet

I dette kapittelet presenteres valg av metoder og en beskrivelse av hvordan resultatene er hentet. Først presenteres ulike måter å drive forskning og deretter redegjøres det for brukte metoder. Styrker og svakheter med metodevalg drøftes underveis i kapittelet. Det er viktig å være bevisst i forhold til valg av forskningsmetode da det er med på å kvalitetssikre eget arbeid. Ved å forklare metodene får leseren mulighet til å se grunnlaget for konklusjonene som framkommer av oppgaven (Olsson, 2011). I tillegg gir en grundig metodebeskrivelse andre mulighet til å videreføre arbeidet.

3.1.2 Kvalitativ- og kvantitativ metode

En kan skille mellom kvalitative- og kvantitative forskningsmetoder. En kvalitativ metode kjennetegnes ved at man går i dybden på et tema og kan ofte være basert på få studieobjekter. Metoden kan egne seg godt for å få inngående forståelse om et tema ved hjelp av andres oppfatning men kan til gjengjeld være vanskelig å etterprøve (Fellows og Liu, 2015). Eksempler på kvalitative metoder er dokumentgjennomgang, litteraturstudium, observasjon og intervju (Thagaard, 2003).

Kvantitativ metode tar gjerne utgangspunkt i data som er tellbar data som er målbar (Olsson, 2011). For eksempel gjennomgang av statistikk, større datasett eller spørreundersøkelser med ferdig utfylt svaralternativ. Slike analyser kan gi et bredt og representativt bilde av et tema. Ulempen med denne metoden er at den kan ha vanskelig for å gå i dybden i et tema og ikke få fram personlige meninger, erfaringer og lignende.

3.1.3 Reliabilitet og validitet

En kan evaluere forskningsmetoder på områder som reliabilitet og validitet. Grad av reliabilitet sier noe om hvor enkelt det er å reprodusere/etterprøve metoden. Det er derfor viktig å være tydelig på fremgangsmetode og etterlate liten tvil om hvilke antagelser som gjort for å få mine resultater (Olsson, 2011). Validitet angir i hvilken grad innsamlet data er av relevans for problemstillingen. Høy validitet oppnås ved å ta utgangspunkt i faktiske forhold rundt det en undersøker og forsker på.

3.2 Valg av metoder

3.2.1 Innledende intervjuer

Som nevnt tidligere i kapittelet er intervju en form for kvalitativ tilnærming og kan gi et inngående bilde av et tema. I idéfasen av prosjektet mitt var mitt mål å få inntrykk av hva som oppleves som utfordrende når det gjelder eksisterende infrastruktur. På bakgrunn av dette er det gjennomført flere innledende samtaler med et utvalg aktører med tilknytning til Longyearbyen. Herunder personer med ansvar og bakgrunn innen:

- Eiendomsforvaltning (Longyearbyen lokalstyre, Store Norske Boliger, Statsbygg)
- Teknisk infrastruktur (Teknisk sjef og driftsingeniør for fjernvarme i Longyearbyen lokalstyre)
- Skredsikring (Prosjektingeniør i Longyearbyen lokalstyre)
- Plan- og utvikling (Arealplanlegger og byggesaksbehandler Longyearbyen lokalstyre)
- Utførende (Prosjektingeniør fra LNS Spitsbergen og daglig leder Svalbard Bygg)
- Prosjektering (Ulike konsulenter fra Multiconsult med erfaring fra Svalbard)
- Forskning på råte på Svalbard (Biolog innen mykologi med doktorgrad fra NTNU)

Disse samtalen ble utført på en åpen og uformell måte uten forhåndsbestemte spørsmål eller fastsatt intervjuguide i forkant. Intervjuobjektene ble gjort oppmerksom på at jeg ikke kom til å sitere de uten deres samtykke og samtalen bar preg av at intervjuobjektet kunne snakke fritt og om sine erfaringer. På den måten var det enkelt å komme i dialog med intervjuobjektene og jeg fikk raskt et godt bilde av ulike utfordringer de opplever i sin rolle, stilling eller ansvarsområde.

Valg av en uformell intervjuform er valgt på bakgrunn av hensikten med samtalen. De ble utført for å danne et godt grunnlag for videre utarbeidelse og definering av problemstilling. Dersom intervjuene skulle brukes konkrete resultat i oppgaven burde en mer formell intervjuform.

3.2.2 Litteratursøk

Det er gjennomført litteratursøk i innledende fase av prosjektet for å danne et teorigrunnlag. I tillegg er deler resultatkapittelet basert på litteratursøk. Deler av litteraturstudiet er en videreføring av en prosjektoppgave skrevet høsten 2017. Det omfatter teori om byggemetoder i arktisk samt klimautfordringer i Longyearbyen.

Det er gjort litteratursøk etter artikler og publikasjoner fra bibliotekets søketjeneste Oria og i tillegg til søkemotoren Google Scholar. Søkemetoden har vært å utarbeide gode søkeord som

tar høyde for synonymer og engelske emneord etter veiledning av NTNU Universitetsbiblioteket (2017b).

Vurdering av kilder er tillært gjennom kurs i litteratursøk 2017. Kilder som er brukt er vurdert etter TONE-prinsippet (Tabell 3) og er fra NTNU Universitetsbiblioteket sin veiledning til kildekritikk (NTNU Universitetsbiblioteket, 2017a). Ved å vurdere litteraturkilder etter disse kriteriene er det enklere å oppnå god reliabilitet og validitet til oppgaven.

Tabell 3: TONE-prinsippet (NTNU Universitetsbiblioteket, 2017a)

	Kriterium	Hva vurderes
T	Troverdighet	Hvem er forfatter og framkommer det kontaktinformasjon? Hvilken institusjon og bakgrunn har forfatter? Hvor er data publisert, i hvilket tidsskrift og er den fagfellevurdert?
O	Objektivitet	Presenteres data på en objektiv måte og belyses ulike sider av saken? Hvordan er resultatene sett i sammenheng med tidligere forskning?
N	Nøyaktighet	Framkommer forskningsmetoden? Er det en god metode? Kan data verifiseres av andre kilder?
E	Egnethet	Er dette relevant for min oppgave og problemstilling? Hvem er publikasjonen skrevet for?

Ut over litteratursøk fra nett er det også lagt to fagbøker til grunn. «*Frozen ground engineering*» av Andersland og Ladanyi (2004) er danner mye av grunnlaget for byggemetoder i arktiske strøk men ikke utarbeidet spesifikt for Svalbard. Validiteten vurderes som høy da den blant annet er henvist til denne i dagens byggeforskrift for Longyearbyen. I tillegg er «Bygningsvedlikehold: Bedre planlegging – en nøkkel til bedre vedlikehold» av Valen *et al.* (2011) også lagt til grunn. Denne er utarbeidet for vedlikehold generelt, ikke spesifikt for arktiske strøk. Prinsipper om godt vedlikehold anses i stor grad å være likt for Svalbard.

3.2.3 Dokumentgjennomgang

Gjennomgang av dokumenter er av Olsson (2011) anbefalt som en forberedende aktivitet. Det er en fordel at data kan verifiseres fra andre dokumenter/kilder for å kvalitetssikre og øke nøyaktigheten før videre bruk som resultat. Dokumenter som er benyttet står oppført i litteraturlisten.

Det er i oppgaven gjennomgått ulike rapporter som omhandler problemstillingen. Disse er funnet på internett og vurdert etter samme kriterier som for litteraturstudiet. Et utvalg av disse

publisert av Longyearbyen lokalstyre og andre er offentlige rapporter fra for eksempel Stortinget. Alle disse vurderes å ha høy validitet og relevans for oppgaven.

I kontakt med enkelte aktører i Longyearbyen fikk jeg tilgang til ulike dokumenter som er lagt til grunn for å danne et referansehus. Validiteten av disse er vurdert som høy da de er spesifikt gjelder samme hustype. Følgende dokumentasjon er innhentet:

- «Objekt- og tilstandsbeskrivelse for hus» 230-26
- «Vedlikeholdsplan» for hus 230.26
- Plan-, snitt- og fasadetegning for «Spisshus» (Vedlegg 1)

På grunn av at disse ikke er offentliggjort er reliabiliteten ved bruken av disse er lav og mulighet for etterprøvbarehet er redusert. Andre svakheter rundt bruk av disse diskuteres videre i dette kapittel 3.2.4.

3.2.4 Dynamiske energisimuleringer

Det er utført simulering i SIMIEN med tre ulike formål:

- Beregne energibehov
- Kontrollere mot forskrift (TEK10)
- Vurdere lønnsomheten til ulike energiltak

Etter Standard Norge (2016) kan energibehov regnes ut av dynamisk beregningsprogram som er validert etter NS-EN15265. SIMIEN er et energiberegningsprogram som er validert etter EN15265. Ettersom den er tilpasset etter NS 3031 (Lavenergiprogrammet, 2015h) og den utfører dynamiske beregninger er den egnet for å simulere energibehov i bygg. I tillegg kan SIMIEN brukes til å evaluere bygningen mot energikrav i TEK10 og NS 3700 for Passivhus og lavenergibygninger (Lavenergiprogrammet, 2015h).

Beregning av energibehovet til eksisterende bygninger kan brukes som grunnlag i planlegging av utbedringstiltak (Standard Norge, 2016). Simuleringer og beregninger kan si noe om hvor stor effekt ulike tiltak vil kunne ha og for å få en så presis beregning som mulig bør nøyaktige inndata brukes. En bør ha tilgang til faktiske klimadata, detaljer om bygningskonstruksjonen, varmeanleggets virkningsgrader og faktiske forhold når det gjelder bruk av bygning (Standard Norge, 2016). Ved manglende inndata brukes veiledende inndata av NS3031 Tillegg B (Standard Norge, 2016).

Alle inndata brukt i simuleringene er dokumentert og lagt ved i vedlegg (1-7) og resultatene bør la seg reprodusere med hjelp av å kjenne disse. I beregningene er det gjort en rekke antagelser og forenklinger som framkommer av kapittel 4.5-4.7 samt vedlegg 2-7.

Referansehuset tar i hovedsak ikke utgangspunkt i ett spesifikt «Spisshus», men denne spesifikke hustypen. Energisimuleringene har som formålet å danne et bilde av potensialet for ulike energiltak for hustypen i sin opprinnelige tilstand. Det er valgt på bakgrunn av at grad av at eventuelle oppgradering gjort etter byggeåret kan ha stor innvirkning for samme hustype uten oppgradering. Av tilstandsrapporten framkommer det også at enkelte bygningsdeler er oppgradert siden oppføring og det er etter beste evne tatt hensyn til.

«Spisshusene» ble oppført fra midten av 1970-tallet og har ulik tilstand og forfatning. På bakgrunn av alder er det grunn til å tro at det er ulik standard ettersom tiltak kan ha funnet sted siden oppføring. I prinsippet kan dette betyr at referansehuset jeg simulerer ikke eksisterer. Resultatene vil da være mindre av mindre relevans ettersom det da skiller seg fra den faktiske bygningsmassen. Dersom deler av resultatene skal brukes i en beslutningsprosess bør relevansen vurderes i hvert enkelt tilfelle.

En svakhet med bruken av «Objekt og tilstandsbeskrivelse» for hus 230-26 som grunnlagsdokument, er at dette konkrete huset er fjernet etter snøskredene i 2015/2017. På grunn av at det konkrete huset ikke eksisterer i dag gjør det problematisk å etterprøve og kontrollere informasjonen som framkommer av rapporten.

I løpet av prosjektet har jeg vært på befaring i en bolig av samme hustype som er under oppussing av Statsbygg. Det ga meg mulighet til å kontrollere deler av datagrunnlaget fra tilstandsbeskrivelsen. På grunn av pågående innvendig oppussing var det også usikkerhet knyttet til enkeltmålinger. For eksempel er det knyttet usikkert hvorvidt alle ytterveggene er av opprinnelig tykkelse 100 mm eller 150 mm. Dette medfører usikkerhet knyttet til resultatene i oppgaven.

Kort notat om benyttet SIMIEN-versjon:

Versjonen av programmet som er benyttet er ikke nyeste utgave, men en eldre fra 2015 (versjon 5.502) da denne er tilgjengelig for studenter ved instituttet. Nyeste versjon kan brukes til å kontrollere opp mot TEK17, men er ikke relevant for gjeldende forskrift i Longyearbyen. Det vurderes derfor ikke å være en svakhet for resultatene.

Kort notat om Beregning etter NS3031:

I arbeidet med energiberegningene er det benyttet to standarder fra Norsk Standard. *SN/TS 3031:2016 Bygningers energiytelse – Beregning av energibehov og energiforsyning* som formelt sett er gjeldende, gjelder kun som supplement sammen med NS 3031:2014 (Standard Norge, 2016). *NS3031:2014 Beregning av bygningers energiytelse – Metode og data* er formelt sett trukket tilbake men den skal fortsatt brukes ved kontroll opp mot krav til TEK og passivhus (Standard Norge, 2014a) og er også lagt til grunn i beregningene.

3.2.5 Kostnadsestimater

I forbindelse med lønnsomhetsvurderingene er det beregnet investeringskostnad/merkostnad ved ulike energiltak. Kalkulering av merkostnader er gjort ved å ta utgangspunkt i enhetspriser i Holte Kalkulasjonsnøkkelen fra 2014. Det er gjort en rekke antagelser og forenklinger som framkommer i kapittel 4.8.1 og 4.8.2. Prisgrunnlaget for Holte Kalkulasjonsnøkkelen er basert på et kontor/industribygg på 1000 m² på østlandsområdet. Lokale tilpasninger er gjort for å tilpasse kostnadene byggeprosjekt for Longyearbyen. Reliabiliteten ville vært høyere dersom erfaringstall og enhetspriser fra lokale entreprenører i Longyearbyen hadde vært lagt til grunn. Det har ikke vært slik datagrunnlag tilgjengelig.

3.2.6 Sensitivitetsanalyse/følsomhetsanalyse

Det er knyttet usikkerhet til beregning av lønnsomhet ved ulike tiltak. Graden av lønnsomhet ved de ulike energiltak påvirkes av ulike faktorer / parametere. For å kartlegge hvor stort utslag de ulike parametere har for resultatet er det gjennomført sensitivitetsanalyser. For hvert energiltak er det vurdert sensitiviteten til endringer for følgende:

- Investeringskostnad
- Energifris for fjernvarme
- Årlig bespart energi
- Kalkulasjonsrente
- Tilbakebetalingstid (levetid)

4 Resultat

4.1 Utvikling i Longyearbyen

4.1.1 Samfunnsutvikling

Svalbardloven slår fast at Svalbard er en del av kongeriket Norge (Svalbardloven, 1925). Norges største bosetning ligger i Longyearbyen og har fra forrige århundre hatt gruvevirksomhet som hovednæring. I denne perioden satte Bergverksordningen (1925) krav til arbeidsgiver der i blant en forpliktelse «til å skaffe sine arbeidere sunt og forsvarlig husrom...». Store Norske hadde som den største arbeidsgiveren ansvar for ulike samfunnsoppgaver for beboerne (Ingerø, 2017; Bjørnsen og Johansen, 2012).

I dag har gruvevirksomheten avtatt og fra 1990-tallet har samfunnet gått fra å være et industrisamfunn til utvikling av et familiesamfunn (Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap, 2016; Bjørnsen og Johansen, 2012). I 2002 ble det innført lokaldemokrati i form av opprettelse av Longyearbyen lokalstyre med hjemmel i Svalbardloven. Et av formålene er å forvalte og utvikle lokalsamfunnet på en miljøforsvarlig og bærekraftig måte (Svalbardloven, 1925). Tidligere, under «Store Norske-tiden» var utgifter til for eksempel oppvarming, vann og avløp gjerne dekt av arbeidsgiver (Bjørnsen og Johansen, 2012). I dag har lokalstyret overtatt ansvar for drift og leveranse av slike tjenester.

I dag er Longyearbyen et samfunn som har relativt stabilt innbyggertall, men preges av hyppig utskiftning (Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap, 2016). I følge Bjørnsen og Johansen (2012) flytter om lag 20 % av befolkningen årlig og nye flytter til. Utskiftningen kan føre til utfordringer med erfaringsoverføring i næringsvirksomheter (Bjørnsen og Johansen, 2012; Ingerø, 2017).

4.1.2 Bebyggelse og byutvikling

Historisk sett har bebyggelsen i Longyeardalen flyttet seg etter gruvevirksomheten og infrastruktur lagt i tilknytning til gruvene. Gruvearbeidene ble gjerne innlosjert i brakker og funksjonærer bodde gjerne i egne boliger til seg og sin familie (Tom Backe og Hallvard Holm, 2017). På grunn av usikrede fjellsider har det gjennom tiden vært store utfordringer å finne egnede tomter til boliger (Tom Backe og Hallvard Holm, 2017). På 60-tallet ble motoriserte kjøretøy tilgjengelig og veger ble også etablert. Fra denne tiden var da ikke like stort behov for å ha boliger i umiddelbar nærhet av gruvene (Tom Backe og Hallvard Holm, 2017). Etter at hybelhus ble oppført i sentrumsområde flyttet gruvearbeideren fra brakkene og inn i hybler (Tom Backe og Hallvard Holm, 2017). Typisk var hyblene tilpasset en til to gruvearbeidere. I

senere tid er behovet for større boligenheter økt ettersom flere familier trenger flere soverom (Bjørnsen og Johansen, 2012).

Under krigen ble mye av bebyggelsen ødelagt av tyskerne og det som står igjen fra før 1946 er automatisk fredet etter Svalbardmiljøloven (2001). Dagens bebyggelse og infrastruktur er oppført fra ulike tidsperioder. Figur 8 gir et bilde og oversikt av bebyggelsen per 2017 og tabell 4 gir et bilde av når utbyggelsene startet. Det er i dag begrenset tilgang på tomter som er regulert til boligformål og setter begrensninger for nybygging (Longyearbyen lokalstyre, 2016). I tillegg har elveerosjon langs Longyearelva ført til at nærliggende områder kan være uegnet til byggeformål (Longyearbyen lokalstyre, 2016). I følge Bjørnsen og Johansen (2012) har Longyearbyen har vokst siden 90-tallet men påpeker at videre vekst er begrenset av eksisterende bygningsmasser.



Figur 8: Kart over de største boligfeltene i Longyearbyen (Norsk Polarinstitutt, 2017)

Tabell 4: Bebyggelse og utbyggingsperioder basert på årstall fra (Ingerø, 2017; Longyearbyen lokalstyre, 2018; Tom Backe og Hallvard Holm, 2017)

Område	Etableringsperiode for bebyggelse(ca.)
Nybyen	Mellom 1945-48
Haugen	Mellom 1946-53
Skjæringa	Fra 1950
Lia	Fra 1968
«Spisshusene» (Nord-øst i Lia)	Fra 1976
Felt B2 (Elvesletta Sør)	Fra 1981
Sentrumsfeltet (Elvesletta sør)	Fra 1983
Blåmyra ved Gruvedalen	Fra 1990

I følge Rongved, Eraker og Instanes (2017) har en stor andel av bygningsmassen overskredet forventet levetid for bygning på permafrost. Det påpekes at flere av bygningene som brukes i dag ikke ble dimensjonert for å ha lang levetid ved oppføringstidspunktet og bærer tydelig preg av dette i dag. Mangelfull vedlikehold eller menneskelige påvirkninger påpekes som mulige årsaker bak tilstand og skadeomfang i flere tilfeller (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).

Det er ulike forvaltere av boligmassen i Longyearbyen, der noe er eid av private aktører men store deler er eid av statlige forvaltere som Store Norske, Statsbygg og Longyearbyen lokalstyre. Longyearbyen lokalstyre (2017b) anslår dagens boligmasse til å omfatte ca. 1300-1400 boenheter. I følge Statistisk sentralbyrå (2017) utgjør rekkehus, småhus, hybelhus og blokkleiligheter over 90 % av boligmassen i Longyearbyen, hvor enmanns- og tomannsboliger utgjør i underkant 5 %.

I 2003 trådte Byggesaksforskrift for Longyearbyen i kraft, med intensjon om å sikre bygge- og anleggsvirksomhet er i tråd med intensjonene i plan- og bygningsloven (Byggesaksforskrift for Longyearbyen, 2003). Forskriften ble innført etter Deleg. til Longyearbyen lokalstyre etter svalbl (2002) som også sier at det ikke gjøres unntak fra sikkerhetsmessige minstekrav i bygningsregelverket for fastland. Planområdet til Longyearbyen er regulert av Svalbardmiljøloven (2001) og ansvarlig planmyndighet er lokalstyret.

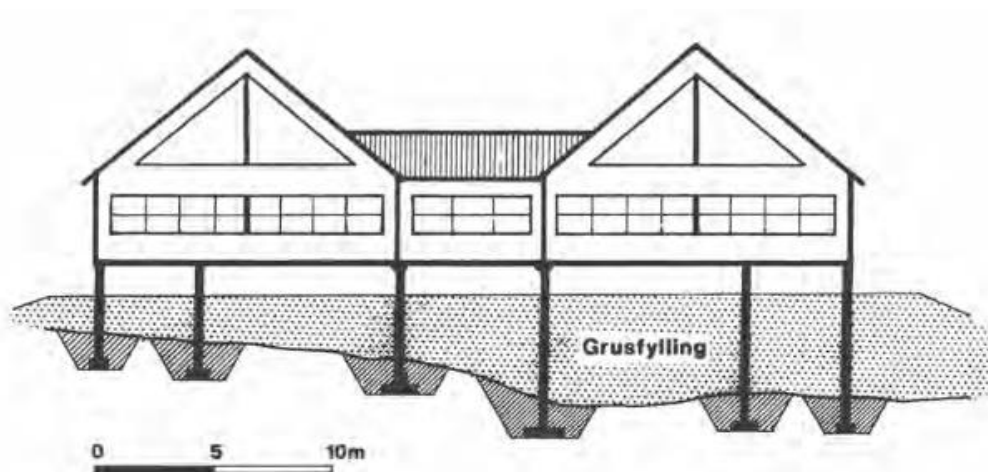
Byggeforskrift for Longyearbyen tar utgangspunkt i regelverket på fastlandet og angir hvilke deler av plan- og bygningsloven, Byggeteknisk forskrift (TEK10) og Byggesaksforskriften (SAK 10) som gjelder for Longyearbyen. Det er i tillegg gjort noen lokale tilpasninger som omhandler energi.

4.1.3 Typiske fundamenteringsmetoder i Longyearbyen

På Svalbard er det meste av grunnen permanent frossen og metoder for fundamentering i permafrost benyttes. Svalbard et område som i svært liten grad er selvforsynt med byggematerialer og det aller meste må importeres fra fastland. Den norske bosetningen er bygd forholdsvis lett for å ikke trenge massive fundamenter i motsetning til den russiske bosetningen som har utbredt bruk av betongfundamenter og større bygg (Instanes, 2010).

Tidligere har prosjektering av fundamentkonstruksjoner har vært tid- og kostnadskrevende for byggevirksomhet i arktiske strøk. Gregersen (1986) påpeker at på den tiden ble ofte prosjekteringen gjort uten tilgang på tilstrekkelig data og uten grunnundersøkelser. Rongved, Eraker og Instanes (2017) påpeker også at det tradisjonelt sett er fundamentert mye uten geoteknisk prosjektering.

Sålefundamentering har vært en forholdsvis vanlig fundamenteringsmetode. Metoden krever ikke at en graver veldig langt ned i permafrosten. Prinsipptegning av sålefundament kan ses i figur 9 (Gregersen, 1986).



Figur 9: Prinsipptegning av sålefundament og tilbakefylling (Gregersen, 1986)

I Longyearbyen er fundamentering på peler en utbredt. Tradisjonelt sett har korte trepeler blitt brukt med lengder typisk rundt 6 meter (Rongved, Eraker og Instanes, 2017) og eldre bygninger i Longyearbyen er gjerne oppført med uimpregnerte trepeler (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Metoder der en bruker kunstig kjøling er benyttet på flere store bygninger som er fundamentert rett på bakken. Kjølesystem med varmepumpe ble på Svalbard tatt i bruk fra 1986 (Instanes, 2010).

I dag er pelefundamentering den vanligste fundamenteringsmetoden i Longyearbyen (Rongved, Eraker og Instanes, 2017; Instanes, 2010). Fra 80-tallet har maskiner gjort det mulig å bore lengre ned i bakken enn hva en klarte tidligere. Fra denne perioden pelefundamenterte man typisk 10-12 meter ned i bakken (Instanes, 2010). I dag gjør anleggsmaskiner og peler av stål det mulig å pele til dybder over 20 meter. Erfaringen til Rongved, Eraker og Instanes (2017) er at bruken av pelelengder over 12 meter er lite utbredt da bestillingstid gjerne er lengre samt økte frakt og installasjonskostnader. I dag ser man at de fleste boliger i Longyearbyen står på trepeler (Rongved *et al.*, 2018).

Det er utbredt å ha en et skjørt rundt pelene på hus i Longyearbyen, slik som illustrert i figur 10. En kan da minske oppsamling av snø under byggene. Som introdusert i kapittel 2.2.1 kan snøoppsamling isolere grunnen for kald vinterluft og begrense nedkjøling om vinteren. En relativt åpen kledning sikrer god ventilering slik at varme fra konstruksjonen luftes ut og kald vinterluft slipper til om vinteren.



Figur 10: Eksempel på skjørt under hus (Foto: M. Haugan)

I Longyearbyen er det observert varierende dybder ned til fjell og målinger viser at grunnforholdene har lokale variasjoner. Instanes og Rongved (2017) viser til målte avstander på under ti meter enkelte områder og opp mot nærmere 20 meter andre steder. Instanes og

Rongved (2017) påpeker varierende innhold av vann og forekomster av islinser men registrerer at store deler av grunnen i Longyearbyen har høyt innhold av is og salt. Tidligere grunnundersøkelser ser en gradvis høyere innhold av salt desto nærmere fjorden en måler (Instanes og Rongved, 2017).

4.1.4 Levetid for bygninger

Generelt regner en med at bygninger fundamentert på permafrost har kortere levetid enn hva som er normalt på fastland. I arktisk er levetid stort sett ikke mer enn 30-50 år (Instanes, 2003; Instanes og Rongved, 2017). Konstruksjoner bør fungere til sitt formål med normalt vedlikehold i denne perioden og eldre bygg i arktisk derfor forventes å måtte totalrehabiliteres eller rives og erstattes (Instanes, 2003).

Levetid for konstruksjoner i områder med permafrost er i liten grad nevnt i norske og europeiske standarder, men i Canada pågår arbeid knyttet til regelverk for regulering av byggeprosjekter i Arktiske strøk, herunder teknisk veiledning for klimatilpasning (Instanes og Rongved, 2017).

I dag er vanlig praksis å prosjektere med Plan- og Bygningsloven med TEK10 og Eurokoder som grunnlag (Instanes og Rongved, 2017). Fra Byggteknisk forskrift (TEK10) (2010) §10-2 stilles krav til konstruksjonssikkerhet og essensen av noen av kravene er listet opp her:

- Materialer skal ha tilstrekkelig mekanisk motstandsevne og stabilitet. Materialene skal ha slike egenskaper at byggverket fyller sitt formål i levetiden og ikke sette byggverkets sikkerhet i fare over tid.
- Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilstrekkelig sikkerhet mot brudd og stabilitet for laster under forutsatt bruk.
- Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak. Dette kan oppfylles ved prosjektering etter Norsk Standard NS-EN Eurokode 1990 og NS-EN-1991 til og med NS-EN-1999

Veileder til Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) og Instanes og Rongved (2017) påpeker at fundamentering i permafrost ikke omtales grundig i TEK eller NS. Herunder ikke i Eurokoden som vanligvis benyttes ved geoteknisk prosjektering (Instanes og Rongved, 2017). Veileder til byggeforskriften henviser blant annet til litteratur utenfor Norge, «Frozen ground engineering» av Andersland og Ladanyi (2004).

4.2 Fundamentproblematikk

4.2.1 Bæreevne og setninger

Økt temperatur fører til reduksjon av permafrost og et tykkere aktivt lag. Dette kan føre til ustabile grunnforhold under bygninger (Vikhamar-Schuler, Førland og Hisdal, 2016). Rapport av Instanes og Rongved (2017) regner at det vil være permafrost til lenge etter år 2100 men dybden på aktivt lag forventet å øke i størrelsesorden 1,5 meter til 2,5 meter mot år 2100. Lengre ned i jorda, dypere enn 10 meter er temperaturøkningen i ventet å foregå saktere enn ved øvre sjikt.

Selv om permafrosten vedvarer i områder vil temperaturøkning i grunnen medføre redusert bæreevne og økte setningshastigheter (Instanes og Rongved, 2017). Dette må tas hensyn til ved prosjektering av nye hus og forvaltning av eksisterende bebyggelse. En løsning kan være bruk av peler som er lengre, eventuelt ned til berg og peler med større i diameter (Instanes og Rongved, 2017). Også bruken av fundamenteringsmetoder som benytter kunstig kjøling kan også ventes å øke (Longyearbyen lokalstyre, 2012c; Instanes og Rongved, 2017) og kan være gunstig for bygg med tiltenkt lang levetid (50-100 år). Det trekkes fram av Rongved, Eraker og Instanes (2017) at bruk av stålpeler også vil kunne tilpasse da det kan legges inn kunstig kjøling i disse. For øvrig er korte peler utsatt for setninger og frostjekkning (Rongved, Eraker og Instanes, 2017) der pelene løftes av telehiv.

I følge Instanes og Rongved (2017) inneholder store deler av grunnen i Longyearbyen is-rike grunnmasser med høyt saltinnhold. Slike masser er utsatt for krypsetninger som vil kunne deformere konstruksjoner og føre til økte vedlikeholdskostnader. Setningshastigheten er sterkt avhengig av temperaturprofilen for grunnen (Instanes og Rongved, 2017) og en vil unngå varmeoverføring til grunnen. Sinitsyn, Ringheim og Martinsen (2017) påpeker årsaker til setninger og forskyvning av fundamenter i permafrost:

- Lastpåkjenning som komprimerer frossen grunn med innhold av is
- Tining av permafrost som inneholder is
- Frostheving
- Forskyvning av jordtrykk

Innenfor levetiden til bygninger er det forventet å bli utsatt for setninger (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Grad av setningspåkjenning bør tas hensyn til under prosjektering og toleransen settes gjerne på bakgrunn av bygningstype og bruksområde. Generelt kan bygg med høy stivhet omfordele lastfordeling ved lokale setninger bedre (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).

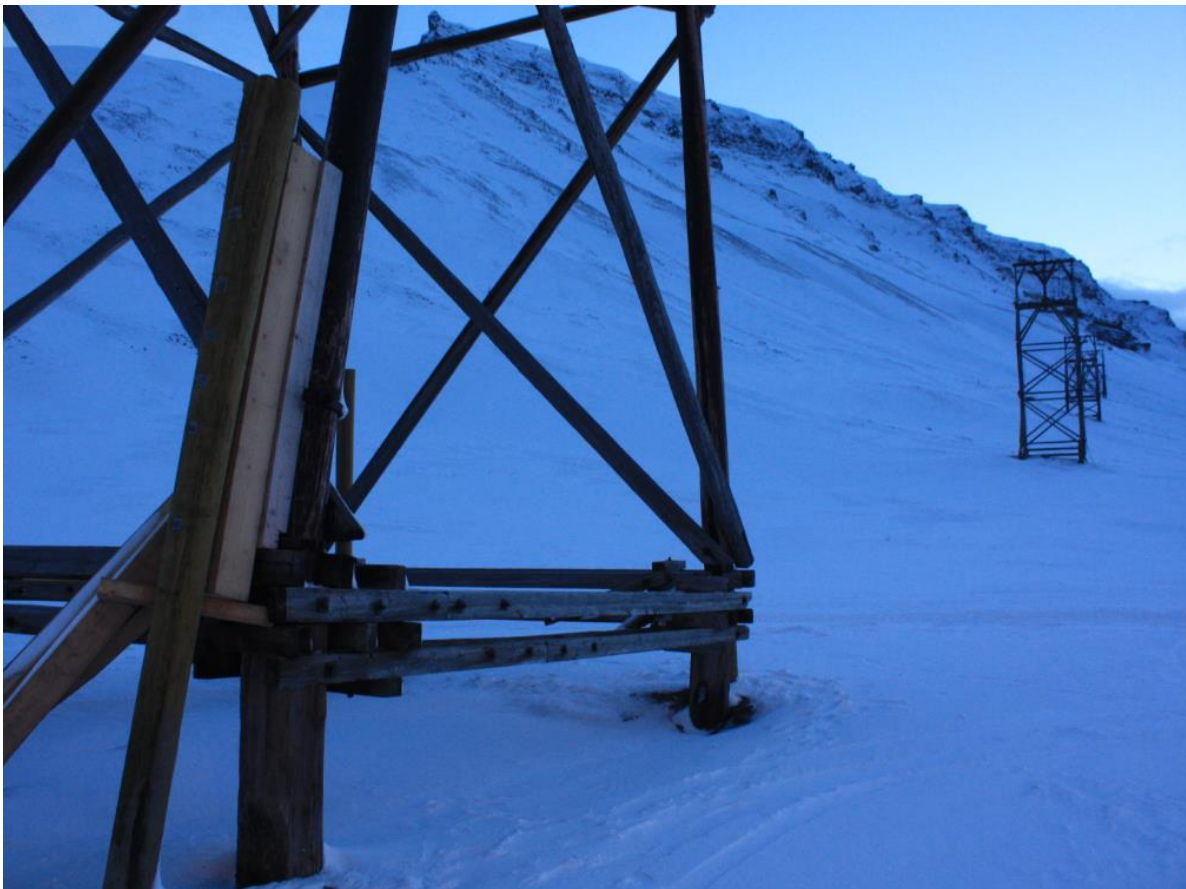
Store skader er observert på bygninger som er direkte fundamentert på grunnen og med varm kjeller (Rongved, Eraker og Instanes, 2017). For eksempel «Sysselmansboligen» som ligger på Skjæringa. Der har en oppvarmet kjeller bidratt til tining av grunnen og blitt påført setningsskader og bygget er senere refundamentert (Rongved, 2010). Figur 11 viser en pelerigg i kjelleren av Sysselmansboligen i forbindelse med refundamenteringsarbeid i 2017.



Figur 11: Refundamenteringsarbeid i kjelleren av Sysselmansboligen fra 2017 (Foto: M. Haugan)

I skrånninger og bratt terreng kan deformasjoner i grunnen forekomme som følge av solifluksjon i det aktive laget (Larsen, 2016). Det synes gjerne der det aktive laget er vannmettet og er og noe som er typisk forekommer i skrånninger i Longyearbyen (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). En økning av tykkelse i det aktive laget og tilgang på fuktighet er forventet å øke graden av jordsig (Kverndal, Jaworowski og Hansson, 1990).

Jordsig kan gi omfattende belastning på fundamenter i hellende terreng (Rongved, Eraker og Instanes, 2017) og figur 12 viser en taubanebukk som er refundamentert på bakgrunn av dette. For eksisterende bygg med lite avstivning vil kunne bli påført deformasjoner ved jordsig. Mange av husene i Lia, på Haugen og i Gruvedalen ligger i skrånende terreng og rapport av Rongved, Eraker og Instanes (2017) viser til observasjoner av at flere av pelene er ute av lodd. Det er også vurdert at flere av husene i disse områdene har ugunstig tette skjørt rundt pelene som forhindrer god ventilasjon og påpekes som en av flere mulige årsaker til observerte setningsskader.



Figur 12: Refundamentert taubanebukk stående i en skråning (Foto: M. Haugan)

Det kan forventes mer utfordringer knyttet til håndtering av overflatevann og smeltevann i framtiden (Instanes og Rongved, 2017). Mer nedbør i form av regn gir økt avrenning (Vikhamar-Schuler, Førland og Hisdal, 2016) og sammen med smeltevann vil håndtering av overvann kunne bli viktigere i framtiden da vann kan bidra til oppvarming av permafrost.

Overvann har stor varmekapasitet og kan varme opp grunne. Gregersen (1986) gir et eksempel hvor et byggeprosjekt i Longyearbyen erfarte utfordringer med overvannshåndtering som resulterte i smelting av permafrosten under sålefundamentene og omfattende setnings-skader. Rongved, Eraker og Instanes (2017) påpeker at ved prosjektering av sålefundamenter forutsetter at det aktive laget ikke overgår dybden til fundamentet under levetiden.

Rongved, Eraker og Instanes (2017) har beregnet setningshastighet og bæreevne for pelefundamenter og sålefundamenter ved et varmere klima. Et grunt sålefundament fra 1986 er beregnet å bli utsatt for 5 cm setninger over 30 års levetid. Teoretiske beregninger for tilsvarende fundament i dag og 30 år fram (mot år 2045) vil kunne sette seg 26 cm, noe som i praktisk betydning vil bety bæreevnebrudd i fundament (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).

Teoretiske beregninger ble også gjort for et 20 meter dypt pelefundament installert i 1986 og utsettes for maksimalt 5 cm over levetiden. For at det samme skal gjelde for et tilsvarende fundament i dag må nyttelasten reduseres for hele byggets levetid (Rongved, Eraker og Instanes, 2017). Beregningen viser også en 20 meter lang pel kan bære mer enn tre ganger så mye vertikallast som en pel på 8 meter (Rongved, Eraker og Instanes, 2017) og samtidig ikke sette seg mer enn 5 cm over 30 år.

4.2.2 Råte

Økning av lufttemperatur og nedbør vil kunne føre til fundamentproblemer i form av økt råte på eksisterende trepeler (Instanes og Rongved, 2017; Mattsson, Flyen og Nunez, 2010). Som belyst i innledningen, på tross av Svalbards arktiske klima preget av ekstrem kulde og tørt klima har råtesopp-skader vist seg å være utbredt. Lengre perioder med varme og våte grunnforhold vil gi gunstigere forhold for råte (Flyen og Mattsson, 2010). Treverk i permafrost er ikke utsatt da temperaturen er for lav og vannet er fryst (Flyen, 2010). Ved reduksjon av permafrost vil nye deler av pelefundamenter bli eksponert for råtegunstige forhold. Figur 13 og 14 viser et eksempel på råteskadet pel i Longyearbyen.

I følge Mattsson, Flyen og Nunez (2010) er lav temperatur den begrensede faktoren for råteutbredelse på Svalbard. På bakgrunn av en forventet temperaturøkning antar en at det vil bli mer nedbrytning av trematerialer i framtiden. Mattsson (2017) har observert at utbredelsen av råte er avhengig av mikroklimaet, forholdene rundt treverket. Solutsatte deler av treverk som også er i kontakt med jord har tidvis svært gunstige forhold som kan gi store råtesopp-skader på relativt kort tid (Mattsson, 2017).



Figur 13: Eksempel på råteskadet pelefundament i Longyearbyen (ikke fra Spisshus) (Foto: M. Haugan)



Figur 14: Nærbilde av råteskadet trepel (Bildet er ikke fra Spisshus) (Foto: M. Haugan)

Soppskader utvikles hovedsakelig inne i treverket og det kreves ofte grundige undersøkelser for å vurdere omfanget. I sammenheng med historiske bygninger kan begrensede muligheter for å undersøke råteskader bli problematisk (Mattsson, 2017). Tiltak bør gjøres på bakgrunn av god forståelse av skaden slik at en får stoppet videreutvikling av skaden (Mattsson, 2017).

Det forventes at eldre bygninger lettere påvirkes av klimaendringer da de ofte er fundamentert med korte trepeler eller på grunn av at pelen er av uimpregnert tre (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Særlig er delen av pelene som ligger i det aktive laget er utsatt for råte. Dersom det aktive laget øker, vil omfanget av råte også kunne øke, og før til svekkelser i materialer (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). I framtiden kan råteproblemer unngås ved bruk av andre materialer enn tre (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).


Erfaringsmessig har peler i Longyearbyen en levetid på mellom 25-50 år (Nordhus og Martinsen, 2016), herunder rundt 30 år for uimpregnerte trepeler. Det er utarbeidet en enkel veiledning for innledende tilstandsvurdering av fundamenter av trepeler (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). For å forsinke råteprosessen og forlenge byggets levetid anbefales det å undersøke tilstand på eksisterende fundamenter og gjøre tiltak for å beskytte utsatte peler.

- Dersom trepelene er råteskadet anbefales det å få vurdert bæreevnen til det resterende fundamentet. Deretter erstatte råteskadet del, samt noe dypere for å kunne møte framtidig eksponering for råte.
- For nyere fundamenter av uimpregnert treverk anbefales det å impregnere delen i det aktive laget, samt her impregnere noe dypere av samme grunn som ovenfor.
- Peler som blir stående i vann er utsatt for råte For å holde grunnen rundt pelene tørr bør en sørge for god drenering av overvann og lede bort regnvann med taknedløp. I tillegg bør en unngå stor snøoppsamling rundt bygg da disse kan føre ugunstig smeltevann ned i grunnen.

4.2.3 Resultat av tidligere tilstandsanalyser

I 2016 utførte Sweco tilstandsvurdering av en andel av Longyearbyen lokalstyres boliger der fundamenter på 27 hus ble vurdert og kategorisert etter tilstandsgrad (se tabell 5). Nesten halvparten av fundamentene ble evaluert til å ha en alvorlig tilstand preget av råte og dårlig avstivning (Nordhus og Martinsen, 2016).

Tabell 5: Vurdering av trepeler, tilstandsgrader (Nordhus & Martinsen, 2018)

Tilstandsgrad TG	Beskrivelse	Tiltaksbehov	Vurdert nedsatt kapasitet	Fargekode
TG 1	- Ingen symptomer på avvik.	Ingen tiltak nødvendig. Det anbefales å lage en vedlikeholdsplan for framtidig behov. Ca. hvert 5 år for eldre bygninger.	0-10%	
TG 2	- Bygningsdelen har noe slitasje.	Det anbefales å lage en vedlikeholdsplan for framtidig behov. Peler i TG2 bør sjekkes igjen innen 3-5år	10-50%	
TG 3	- Bygningsdelen er sterkt nedslitt, har vesentlig skade eller vesentlig redusert kapasitet	Strakstiltak er nødvendig	50-100%	

Av de 27 undersøkte husene ble fundamentene til 13 av husene kategorisert i TG3, en tilstandsgrad der strakstiltak anbefales. Av disse var åtte av tilfellene på grunn av betydelige råteskader på peler og de resterende fem skader på avstivende konstruksjon. Av de undersøkte husene ble ytterligere 10 fundamenter kategorisert i TG2, der ettersyn innen 3-5 år anbefales. Fire av Spisshusene ble vurdert, hvor tilstanden på fundamenter ble vurdert til å variere fra TG1 til TG3.

4.3 Skredfare

4.3.1 Lovgivning og ansvar

Svalbard er et område som er utsatt område for ulike type skred. Snø- og sørpeskred er vanlig i regionen. Forekomst av jord- og flomskred er også vanlig, samt at det en generell steinsprangfare i bratte skrånninger (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Deler av bebyggelsen i Longyearbyen ligger i skredutsatt område (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Ansvarsforhold for skredsikring av eksisterende bebyggelse i Longyearbyen i dag er ikke avklart (Longyearbyen lokalstyre, 2017b).

Når det kommer til bygningsplanlegging og utbygging regulerer Plan- og bygningsloven i byggesakene og byggt teknisk forskrift (TEK10) spesifiserer fysiske krav til utforming. SINTEF Byggforsk (2013b) angir skjematisk ansvarsforhold når det kommer til skredforebygging. Ansvar strekker seg fra et nasjonalt nivå helt, til kommunalt planansvar og ned til tiltakshaver og eier av eksisterende bygg. I Longyearbyen har lokalstyret arealplanansvar og gjennom (Byggeforskrift for Longyearbyen, 2016) gjelder samme lovverk som på fastland om krav til sikkerhet mot skred (Longyearbyen lokalstyre, 2017b). Endringer i klima kan øke sannsynlighet for flom og skred og øke usikkerheten for tidligere vurderinger (SINTEF Byggforsk, 2013b).

TEK10 angir sikkerhetsklasser for byggverk som angir plassering (Tabell 6). Sikkerhetsklassene er avhengig av byggets bruksformål (konsekvens ved skade) og den største nominelle årlige sannsynlighet for skade (SINTEF Byggforsk, 2013b). Etter Direktoratet for byggkvalitet (2016) tillates byggverk med lite personopphold, som garasje eller lager innen S1. Innen S2 tillates bygg med inntil 25 personer og i S3 over 25 personer.

Tabell 6: Sikkerhetsklasser ved plassering av byggverk i skredfarlige områder (Direktoratet for byggkvalitet, 2016)

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

4.3.2 Jordskred og flomskred

Løsmasser i skråninger med helning over 25° grader kan skape jordskred. Det forekommer gjerne i sammenheng med perioder med mye nedbør og snøsmelting og hvis skråningens stabilitet reduseres som følge av høyt poretrykk i jorda (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). En risikerer også utløsning av jordskred som følge av dannelse et svakt lag mellom frossen og ufrossen grunn (Instanes *et al.*, 2005). Elveerosjon i slike områder kan videre forsterke faren, dersom nedre del av skråningen eroderer vekk (Instanes *et al.*, 2005).

Reduksjon av permafrost vil kunne føre til ustabil grunn i skråninger som videre kan gi økt skredfare (Vikhamar-Schuler, Førland og Hisdal, 2016). I tillegg vil økt nedbør og stormfrekvens gi økt fare for jordskred (Hansen *et al.*, 2014; Instanes, 2005). Ofte fører jordskred til flomskred i bratte skråning, gjerne mellom 25-45° (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Slike skred er flomlignende og hurtig som gjerne avsetter skredmassen i slakere terreng som en vifteformasjon.

Rapport av Isaksen *et al.* (2017) viser til hendelsen i august 1981 da det falt over 43 mm nedbør på et døgn og førte til flere store jordskred. Isaksen *et al.* (2017) angir at nedbørsmengder over 20 mm/døgn og 3 mm/time gir betydelig fare for jordskred og flomskred for Longyearbyen.

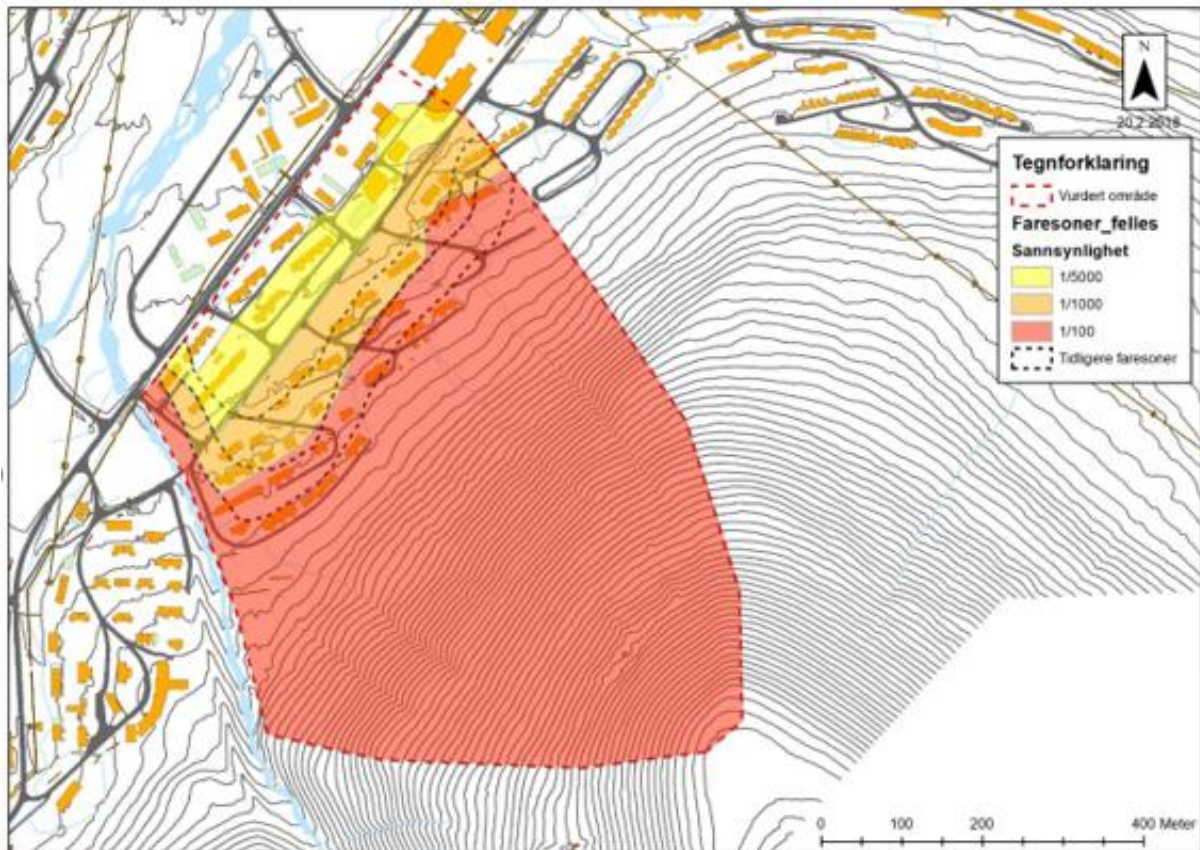
4.3.3 Snøskred

I skredutsatte fjellområder i Arktis er akkumulasjonen av snø avhengig av vindhastighet og intensiteten til snøfall (Instanes *et al.*, 2005; Thiis, 2005). Hyppigheten av skred kan i stor grad være avhengig av vindtransportert snø som akkumuleres i skredutsatt område (Instanes *et al.*, 2005; Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018b). Flaskskred er den snøskredtypen som dominerer området i og rundt Longyearbyen (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016) og løsner vanligvis i terreng brattere en 30°. Ved ugunstige forhold kan det løsne i helninger helt ned mot 25° (SINTEF Byggforsk, 2015b).

Historisk sett har det gått flere snøskred i Longyearbyen som har tatt menneskeliv og gjort store materielle ødeleggelser. Fra Sukkertoppen gikk det i desember 2015 et snøskred som traff bebyggelsen i Lia og tok livet av to mennesker. Senest i 2017 gikk et nytt skred over Lia og forårsaket materiell ødeleggelse og flere av husene ble skadet og senere fjernet.

På bakgrunn av skredet i 2015 kartla Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) skredfaren rundt Longyearbyen med en soneinndeling. Snøskredet i som traff bebyggelsen i Lia i 2017 viste seg å overgå utløpssonen for et skred med returperiode på 1000 år. En ny kartlegging av Norges vassdrags- og energidirektorat (2018b) har utvidet skredfaren under Sukkertoppen, der de blant annet har justert for et mer ekstremt klima enn tidligere. Utvidelsen av skredfaren framkommer av figur 15 og (Prop. 1 S, (2017-2018); Norges vassdrags- og energidirektorat,

2016) påpeker at deler av reservekraftverket ligger innen 100-årsfaresonen for skred. Det arbeides med å skredsikre området under Sukkertoppen. I dag er arbeidet med sikring av «Spisshusene» iverksatt (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018a).



Figur 15: Skredfaresoner fra Sukkertoppen. Utvidet utløpsoner (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018b)

4.3.4 Sørpeskred

Sørpeskred er et skred av vannmettet snø, og mest utsatt er snø med høy evne til å ta opp vann (Instanes *et al.*, 2005; Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016; SINTEF Byggforsk, 2015c). Løsneområder for sørpeskred kan være mellom 5° og 30° (Larsen, 2015) og gjerne i bekkedaler. Forekomst av sørpeskred rundt Longyearbyen har typisk skjedd sammen med snøsmelting om våren, men varme perioder med intenst nedbør på vinter har skapt et utvidet risikobilde (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016).

Historisk sett har også sørpeskred i Longyearbyen også forårsaket store materielle skader, samt tatt menneskeliv. I 1953 traff et sørpeskred fra *Vannledningsdalen* bebyggelsen på *Haugen* (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2016). Sørpeskredet forårsaket store materielle skader, herunder det tidligere sykehuset og flere andre bygg. Flere titalls personer ble skadet og tre omkom.

Det er bygd en ledevoll for å føre skredmasser forbi bebyggelse og i tillegg gjøres det årlig aktive tiltak for å forebygge sørpeskred. Vannledningsdalen blir «doset» av anleggsmaskiner før våren ved å transportere ut snø og sørge for en fri bane for eventuelle skred. Dette tiltaket reduserer faren, men vil ikke hindre fare for sørpeskred om vinterstid (Larsen, 2016; Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018a). På bakgrunn av dette anbefaler NVE ledevollen bygges høyere slik at bebyggelsen sikres mot sørpeskred med lengre returperiode.

4.4 Energisituasjon

4.4.1 Dagens løsning

Longyearbyen har siden 1983 blitt forsynt med elektrisitet og fjernvarme fra Energiverket. Fjernvarme er primær oppvarmingskilde men har begrenset kapasitet (Longyearbyen lokalstyre, 2016). Energiverket er kullfyrt og har høye CO₂-utslipp (Longyearbyen lokalstyre, 2012c; Innst. 88 S, (2016-2017)). Energifrisene settes etter selvkostprinsipp og skal dekke kostnader til vedlikehold (Longyearbyen lokalstyre, 2017a) men avhengig framtidig statlig støtte til driften kan energiprisene øke i årene framover der (Longyearbyen lokalstyre, 2017a). Energifrisene i tabell 7 er gjeldene for 2018 og framkommer av gebyrregulativet satt av Lokalstyret (Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017).

Tabell 7: Energifriser (Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017)

Energikilde	Pris 2018 [kr/kWh]
Elektrisitet	1,87
Fjernvarme	0,45

Etter Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) pålegges man å tilknytte seg til fjernvarme dersom fjernvarmeanlegg gjøres tilgjengelig. Forskriften krever at fjernvarme kan nyttes til romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann. Av Bygningsforskrift for Longyearbyens §6 så skal alle brukere som har fjernvarme tilgjengelig tilknyttes og betale fast årlig avgift uavhengig om fjernvarme nyttes eller ikke.

Etter Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) oppfordres det ved byggetiltak å gjøre energieffektive tiltak. Det stilles på bakgrunn av den lokale energisituasjonen, ekstra krav til dokumentasjon for at energikravene i TEK10 kapittel 14 er tilfredsstilt (Byggeforskrift for Longyearbyen, 2016). På bakgrunn av energisituasjonen i Longyearbyen oppfordres det i forskriften til enøk-vennlige bygg og god tetthet i bygg av hensyn til både energieffektivitet og inneklima.

Rongved, Eraker og Instanes (2017) anbefaler at framtidig bygningsforvaltning ses i sammenheng med de langsiktige planene for utvikling av infrastruktur i Longyearbyen. Usikkerhet knyttet til en framtidig energikilde gjør at energiøkonomisering kan bli viktig. Statsbygg sitt nyboligprosjekt som er ventet å starte i 2018 i Gruvedalen legger ambisjonsnivået til flere forskriftsmessige krav til passivhusstandard og dermed redusere belastning på fjernvarmeanlegget (Longyearbyen lokalstyre, 2018).

4.4.2 Energibruk

Bjørnsen og Johansen (2012) omtaler at kostnad knyttet til oppvarming i Longyearbyen tradisjonelt sett har vært lav for forbrukeren. Undersøkelser viser at energibruket i Longyearbyen er høyt. Fjernvarmesentralen anslår at husene i Longyearbyen bruker i gjennomsnitt 325 kilowattimer per kvadratmeter årlig til oppvarming (Engås, 2018). Longyearbyen lokalstyre (2012c) viser til stikkprøver der det er målt et forbruk til oppvarming på 658 kWh/m² i utvalgte boliger. Rapporten påpeker at klimatiske forskjeller fra fastland forklarer dels et høyt varmebruk til oppvarming men undersøkelsene viser at energiforbruket i byggene er høyere enn hva som kun kan forklares med klimaforskjeller. Rapporten fra Longyearbyen lokalstyre (2012c) finner tilfeller hvor høyt forbruk er registrert der byggene har teknisk utstyr som ikke er optimalisert eller ikke samkjørt. Det påpekes at frekvensstyrte vifter og radiatorer er lite brukt og skaper situasjoner der bygget oppvarmes selv om det ikke er behov og medfører unødvendig høy arbeidsbelastning for kjøleutstyr (Longyearbyen lokalstyre, 2012c).

I Longyearbyen har holdninger til å investere i tiltak som reduserer oppvarmingsbehov tradisjonelt sett vært lav. Longyearbyen lokalstyre (2012c) mener holdningene er skapt på bakgrunn av lave kostnader til oppvarming og et tankesett der fjernvarme anses som et biprodukt fra elektrisitetsproduksjon. Det faktiske fjernvarmeforbruket i boliger er vanskelig å dokumentere uten fjernvarmemålere og da en ikke har oversikt over varmetap i distribusjonsnettet og Bygg uten varmemålere faktureres etter estimert forbruk basert på areal. Det er vanskelig å fastslå oppvarmingsbehovet da få boliger benytter seg av energioppfølgningsystemer eller har kontroll på energibruken på et annet vis (Longyearbyen lokalstyre, 2012c). Strømforbruket til beboere går ofte til lys, husholdningsutstyr, hvitevarer, pumper, vifter og annet teknisk utstyr. I følge Longyearbyen lokalstyre (2012c) er ikke forbruk knyttet til ulike komponenter eller forbruksmønstre kartlagt.

SINTEF Byggforsk (2004a) har angitt beregnet oppvarmingsbehov for småhus i Norge, basert på alder og isolasjonsgrad. Disse er angitt i tabell 8 og viser energiforbruk angitt i [kWh/m²år] for noen plasser på fastland. For husene etter år 2000 er det antatt 60 % varmegjenvinning.

Tabell 8: Beregnet oppvarmingsbehov for småhus, (SINTEF Byggforsk, 2004a)

Sted	Ca. 1960	Ca. 1985	Ca. 2000	
			Uten gjen-vinning	Med gjen-vinning ²⁾
Kristiansand	174	136	85	65
Oslo	192	152	96	75
Lillehammer	234	187	120	95
Tromsø	245	195	125	98
Karasjok	318	257	171	137

4.5 Dynamisk energiberegning i SIMIEN

4.5.1 Formål og datagrunnlag

Formålet med energisimuleringene er å vurdere effekten av å utføre ulike energiltak på et referansehus, et av de ikoniske «spisshusene». Spisshusene ble oppført på 1970-tallet på en tid hvor hverken Svalbardmiljøloven eller Byggeforskrift for Longyearbyen var gjort gjeldende (Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap, 2016).

Ved beregning av energiforbruk i eksisterende bygg og ved planlegging av utbedringstiltak bør reelle opplysninger og registrerte data om bygget brukes (Standard Norge, 2016). Dersom det mangler datagrunnlag bør konservative verdier brukes. Fra standardene SN/TS 3031 og NS3031 framkommer verdier som baserer seg på erfaringstall fra ulike byggeår og typiske kvaliteter for konstruksjonstyper.

Energibehovet til referansehuset er beregnet gjennom å utføre en årssimulering i beregningsprogrammet SIMIEN. For referansehuset er U-verdier og varmetapstall på den ytre konstruksjonen gjort på bakgrunn av forhold som framkommer av en tilstandsanalyse. Programmet har beregnet U-verdi fra oppgitt tykkelser. Detaljerte inndata og antagelser for simulering av referansehuset er listet opp i vedlegg nr 4, 6 og 7 og er basert på følgende dokumentasjon:

- Objekt- og tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012b)
- Tilstandsvurdering trepeler av Sweco for LL (Nordhus og Martinsen, 2016)
- Vedlikeholdsplan 230-26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012a)
- Plantegning (Vedlegg 5) (Store Norske Spitsbergen Kulkompani AS, (ukjent); Longyearbyen lokalstyre, 2012b)
- Normerte verdier fra SN/TS 3031 og NS 3031 (Standard Norge, 2014a, 2016)
- Klimadata for Longyearbyen fra SIMIEN versjon 6 og lagt inn i versjon 5.502 (Vedlegg 3)

For å ha et sammenligningsgrunnlag for referansehuset er det i tillegg utført en årssimulering av samme hus der U-verdier er basert seg på inndata om eldre bygg som framkommer av SN/TS3031 og NS3031. Det omfatter typiske ytelser som U-verdier til konstruksjon og vinduer for bygg bygd på 1970-tallet. Detaljer om inndata framkommer av vedlegg 5.

Referansehuset er simulert som en sone. Ved energisimulering kan bygget inndeles i flere soner og er særlig relevant ved dimensjonering av ventilasjonsanlegg og vurdere inneklime. Hus kan regnes som en sone avhengig av bygningskategori, varmetilskudd og soltilskudd (Standard Norge, 2014a). Det aktuelle bygget er av samme bygningskategori (småhus) og det antas å ha ubetydelig varmetilskudd i ulike rom. I tillegg legges det til grunn å ha et jevnt soltilskudd, særlig da utstikkende yttervegger skjerner de store vindusflatene på veggen mot nordvest.

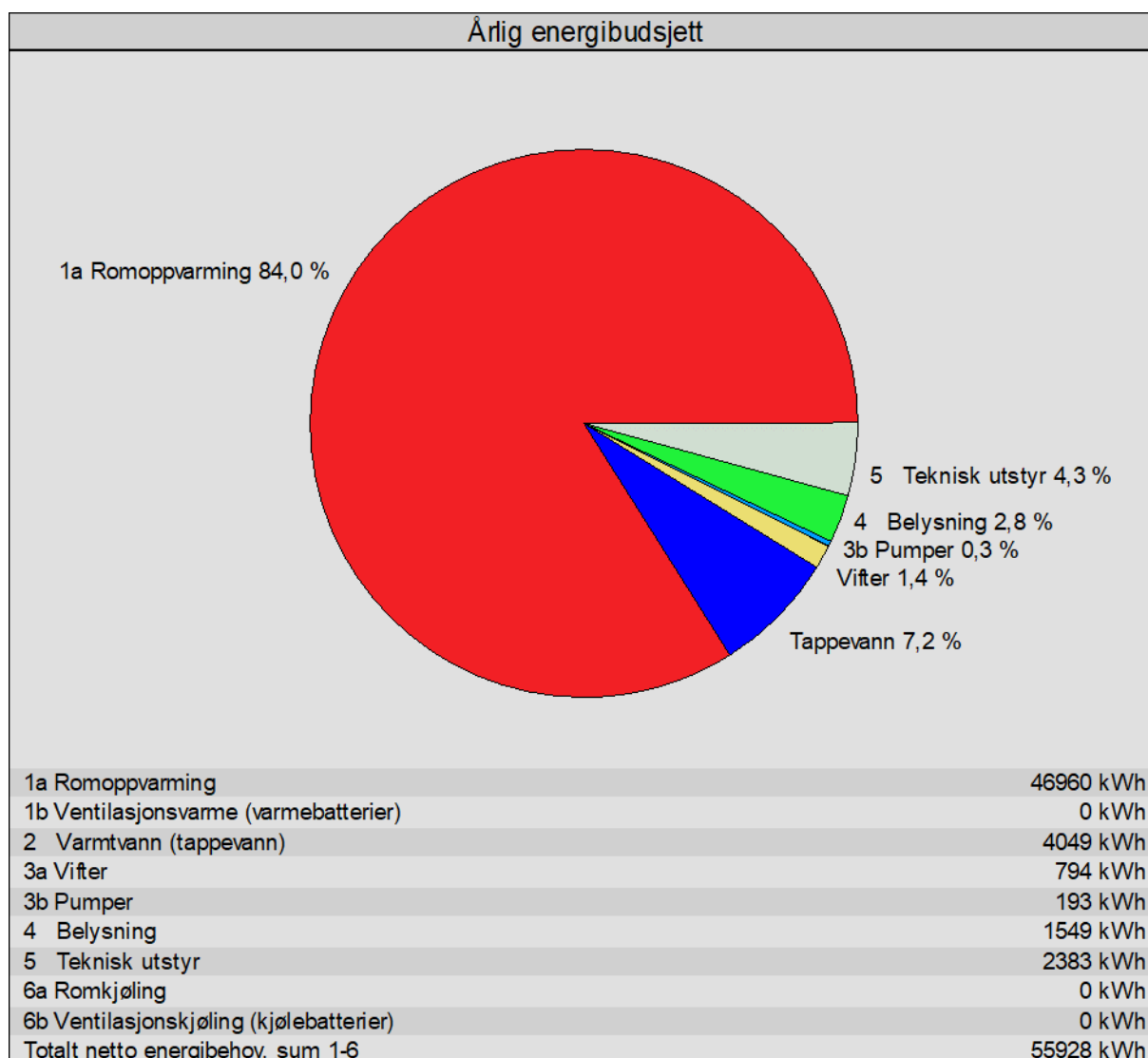
Som en forenkling er det også regnet som frittstående med beregnede arealer til bygningsdeler fra Objekt- og tilstandsrapport 230.26.

4.5.2 Beregning av energibehov for referansehuset

Det er beregnet et totalt netto energibehov på 55 928 kWh/år for referansehuset (Tabell 9). Ved å fordele det på 136 m² BRA får vi spesifikt energibehov på 411,2 kWh/m². Av dette er det beregnet at 345,3 kWh/m² trengs til romoppvarming. Energiforbruk til teknisk utstyr, belysning og varmtvann er etter satt etter veiledende verdier etter NS3031 da ikke informasjon om faktisk forbruk er tilgjengelig som nevnt i kapittel 4.4. Med forutsatt behov som ovenfor får vi at 84 % av energibehovet er til romoppvarming (Figur 16).

Tabell 9: Beregnet årlig energibehov for referansehuset

Energipost	Energibudsjett	
	Energiforbruk	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	46960 kWh	345,3 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4049 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	794 kWh	5,8 kWh/m ²
3b Pumper	193 kWh	1,4 kWh/m ²
4 Belysning	1549 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2383 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	55928 kWh	411,2 kWh/m ²

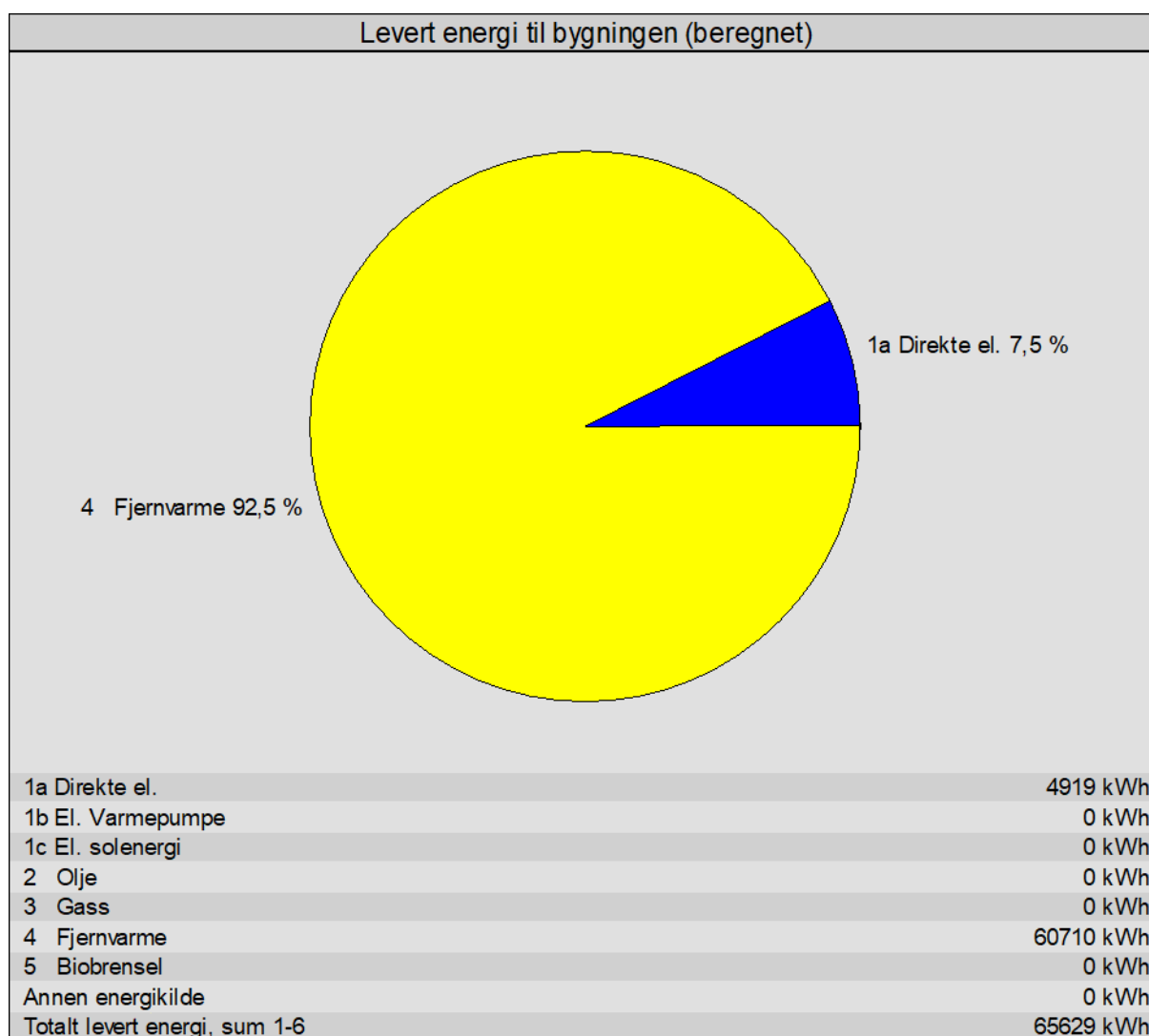


Figur 16: Fordeling av beregnet energibruk

Det er beregnet et behov for 65 629 kWh/år ved å ta hensyn til systemvirkningsgrader. Behovet for levert energi er høyere enn beregnet behov og framkommer av tabell 10. Fordelingen gir et beregnet behov for 92,5 % fjernvarme og 7,5 ren elektrisitet (figur 17). Systemvirkningsgradene på energiforsyning er satt til 0,83 i SIMIEN framkommer av vedlegg 6.

Tabell 10: Beregnet årlig behov for levert energi for referansehuset

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	4919 kWh	36,2 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	60710 kWh	446,4 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	65629 kWh	482,6 kWh/m²



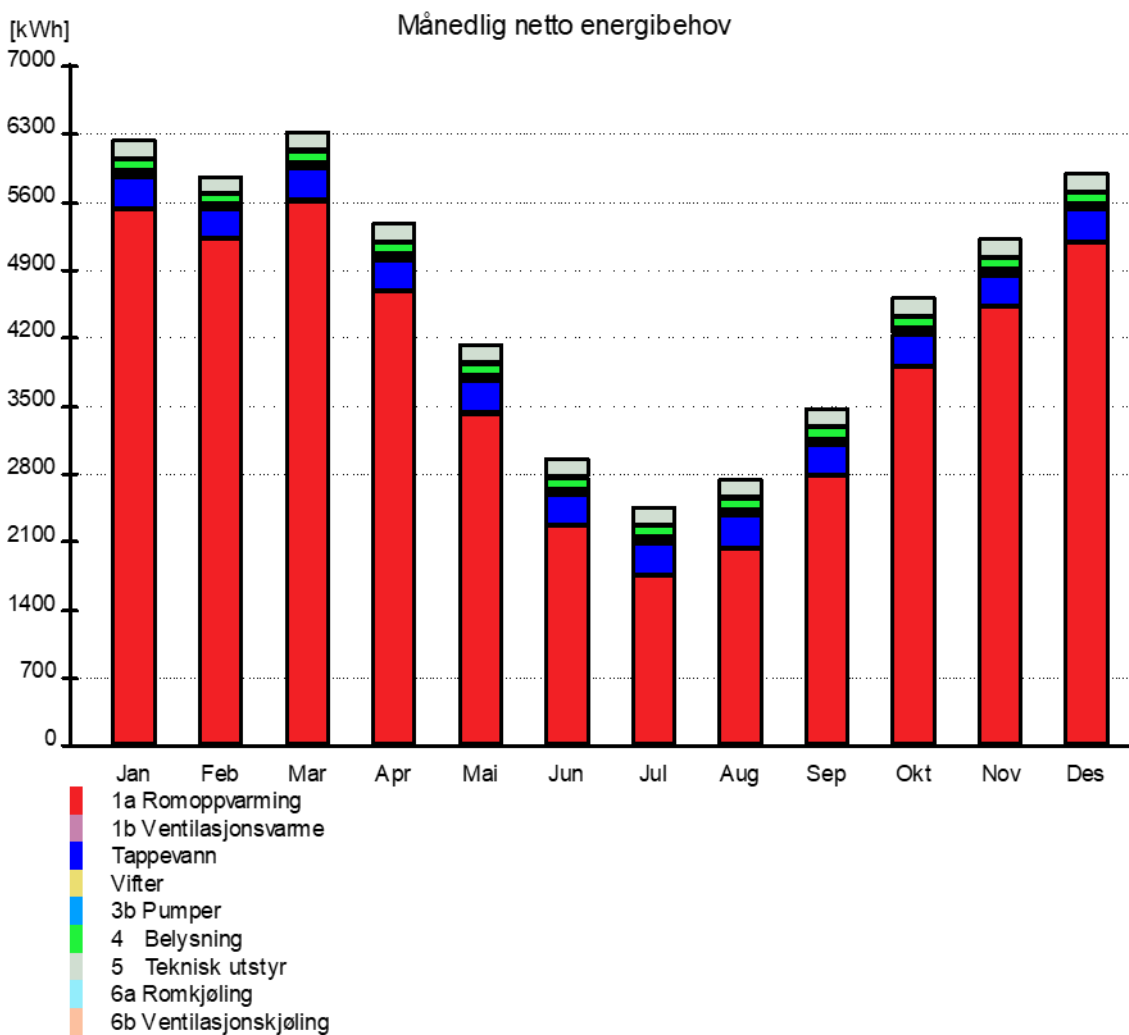
Figur 17: Fordeling av energitype for referansehuset

Energibehovet i simuleringen tar utgangspunkt i lokalt klima for Longyearbyen. Til sammenligning ved å utføre energisimulering for bygget i et normalisert klima (Oslo) reduseres behovet for levert energi med 224 kWh/m² (tabell 11).

Tabell 11: Beregnet behov for referansehus, lokalt og normalisert klima

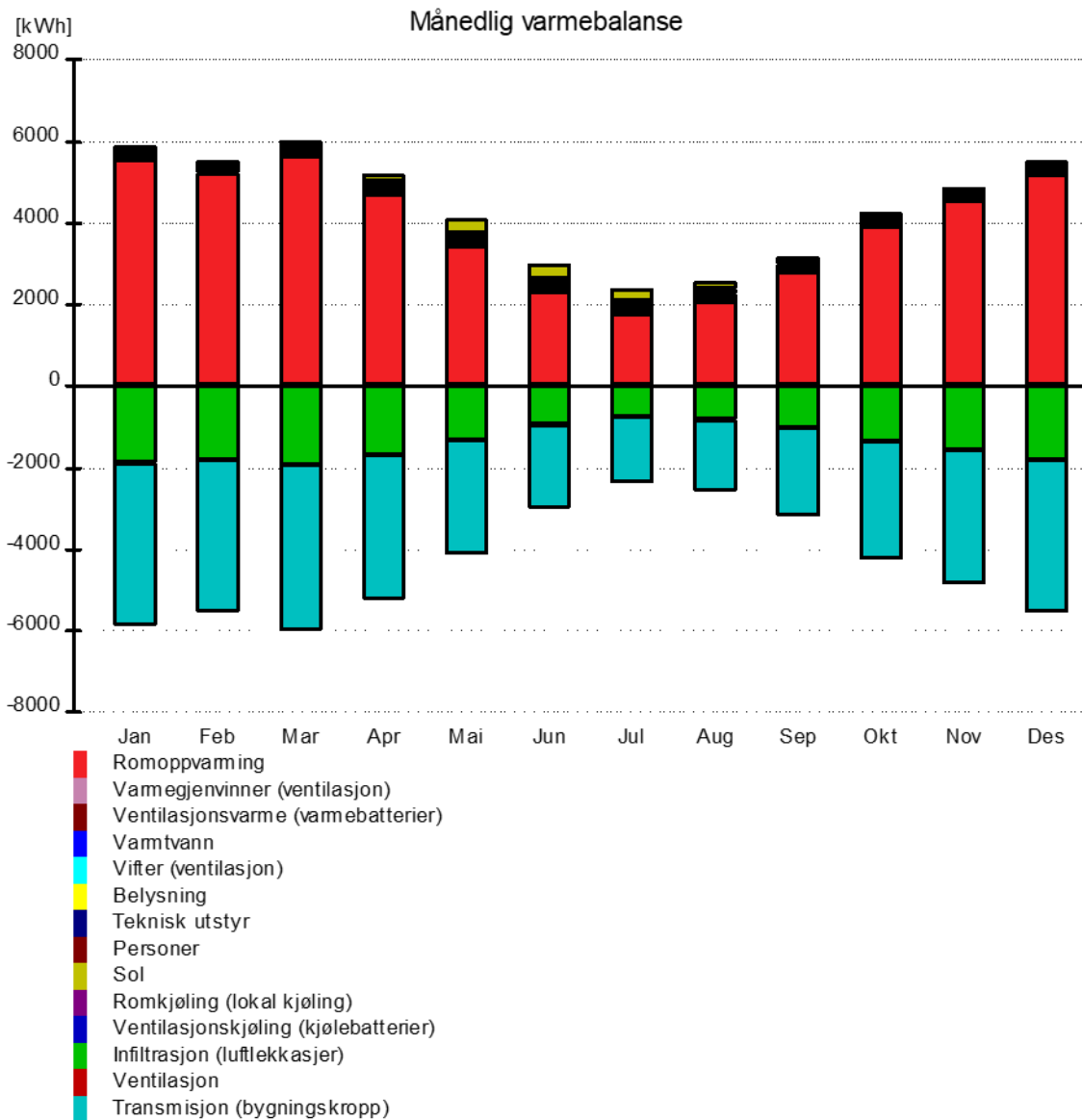
Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	259 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	483 kWh/m ²

En fordeling av månedlig energibehov for det lokale klimaet er framstilt i figur 18. Behovet for energi til romoppvarming gjelder for hele året med størst behov i vinterperioden. Øvrig energibehov forholder seg relativt stabilt gjennom alle månedene i året.



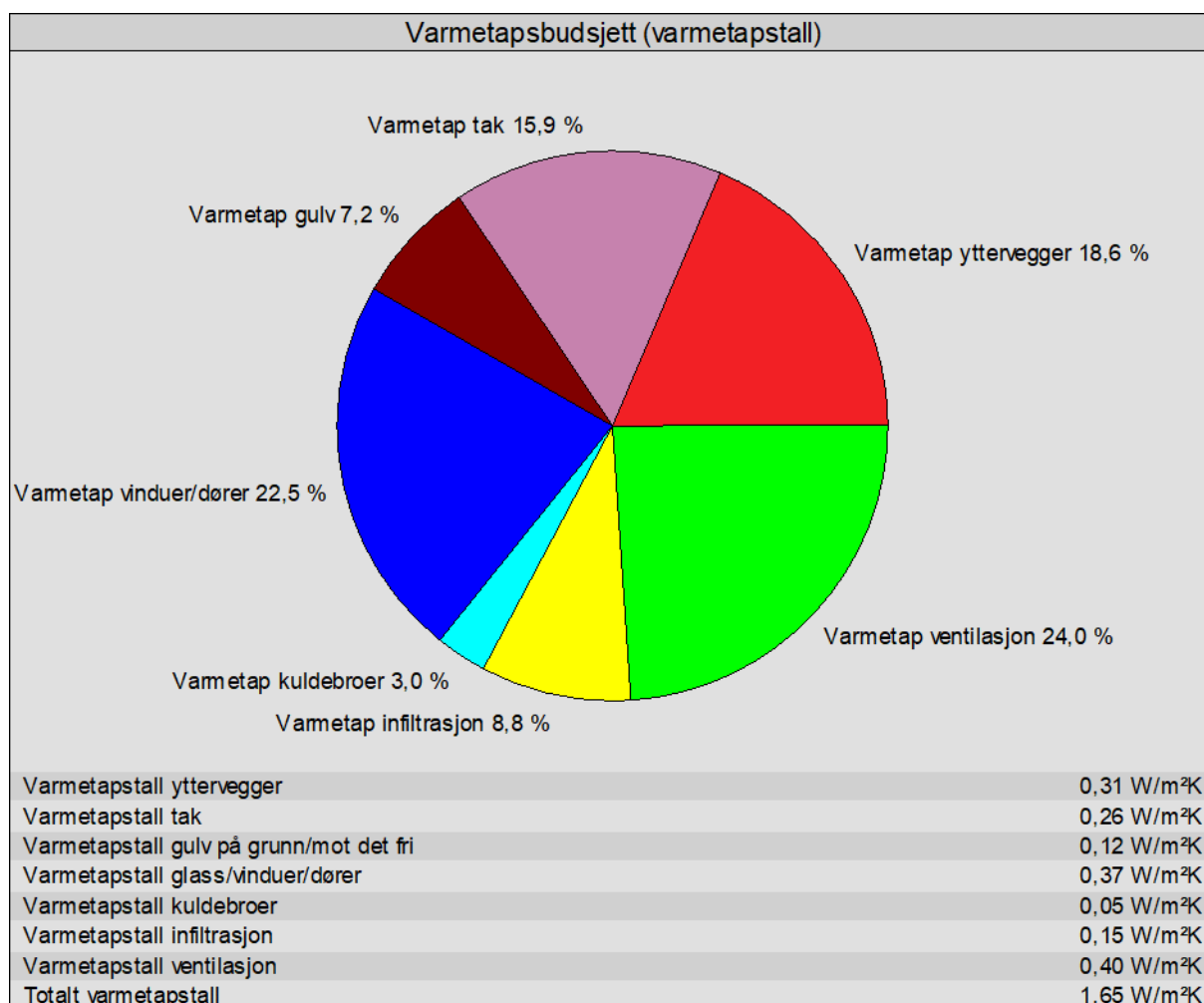
Figur 18: Månedlig energibehov for referansehus

En framstilling av varmebalansen for hver måned er vist i figur 19. Transmisjonstap fra bygningskropp sammen med infiltrasjonstap står for hoveddelen av varmetapet over året og har størst tap i vintermånedene. Varmebehovet er størst i månedene november til april. Bidraget fra teknisk utstyr, personer og lignende står for en liten andel av tilført varme.



Figur 19: Varmebalanse for referansehuset

Fordeling av varmetap og beregnet varmetapstall for ulike bygningsdeler er framstilt i figur 20. Ventilasjon er beregnet å stå for største varmetapet med 24,0 % andel av totalt tap og luftlekkasjer gjennom infiltrasjonstap 8,8 %. Av konstruksjonsdeler er varmetap fra vinduer og dører beregnet å ha størst del med 22,5 %. Tap fra gulv er beregnet å ha en lavere andel med 7,2 %. Varmetap fra kuldebroer er beregnet å ha minst bidrag med 3,0 %.



Figur 20: Varmetapstall for referansehuset

På bakgrunn av beregnet behov for levert energi og energipriser etter satser for året (Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017) gir det årlige energikostnader på 36 518 kr (tabell 12). Prisen per kWh ren elektrisitet er over fire ganger så høy per kWh fjernvarme levert. Dette bidrar til å utgjøre rundt 25 % av årlige kostnader selv om mengden elektrisitet er vesentlig lavere enn fjernvarmebehovet.

Tabell 12: Årlige energikostnader for referansehuset

Energivare	Kostnad kjøpt energi	
	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	9198 kr	67,6 kr/m²
1b El. Varmepumpe	0 kr	0,0 kr/m²
1c El. solenergi	0 kr	0,0 kr/m²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m²
4 Fjernvarme	27320 kr	200,9 kr/m²
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m²
Annen energikilde	0 kr	0,0 kr/m²
Årlige energikostnader, sum 1-6	36518 kr	268,5 kr/m²

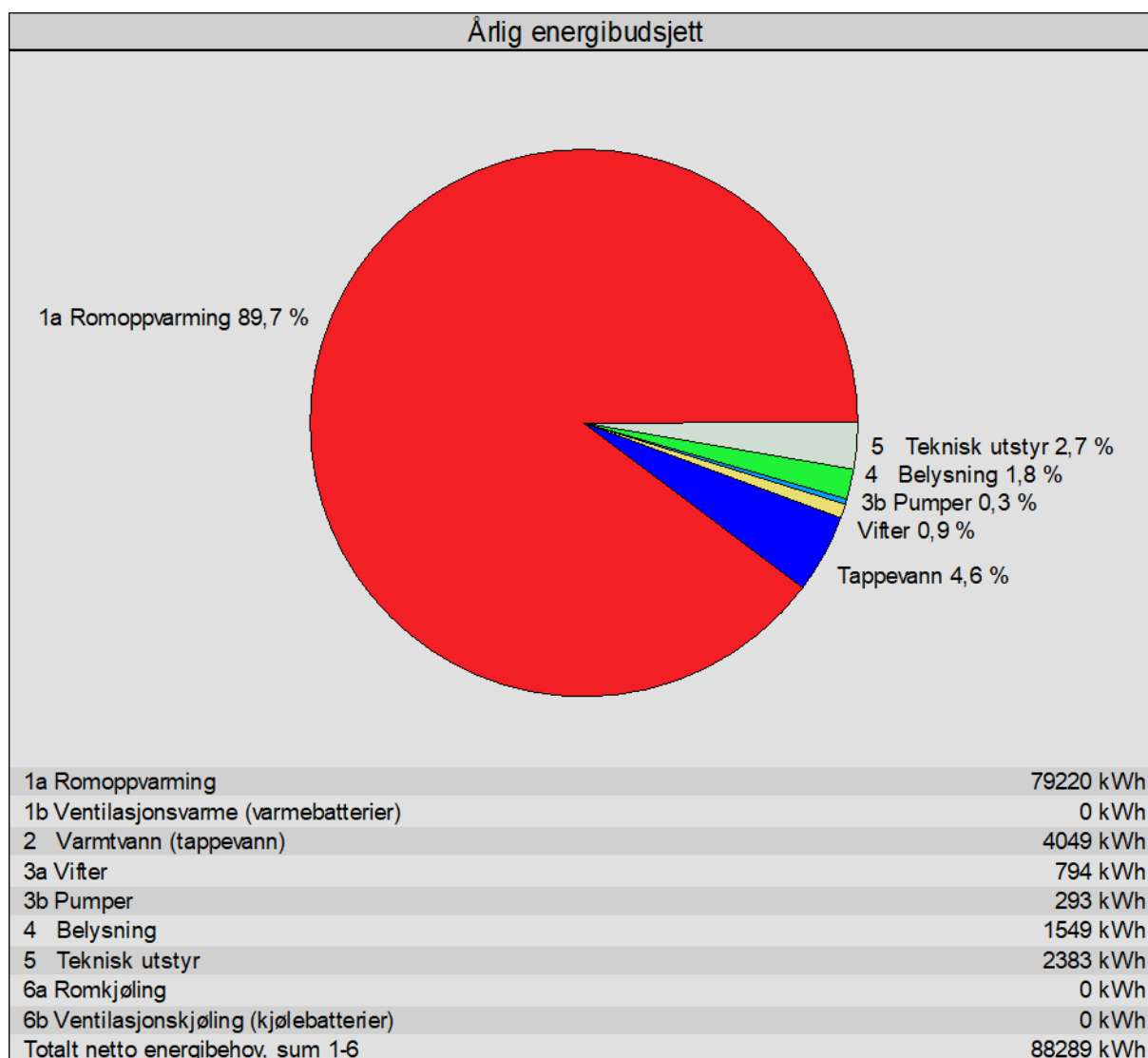
4.5.3 Årssimulering av referansehuset med U-verdier for et bygg fra 1970-tallet

Årssimulering av samme bygning med typiske U-verdier for hus fra 1970-tallet gir et årlig energibehov på 88 289 kWh (tabell 13). Fordelt på BRA gir det spesifikt energibehov på 649,2 kWh/m².

Tabell 13: Energibudsjett til et «typisk hus» fra 1970-tallet

Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	79220 kWh	582,5 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	4049 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter	794 kWh	5,8 kWh/m ²
3b Pumper	293 kWh	2,2 kWh/m ²
4 Belysning	1549 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	2383 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	88289 kWh	649,2 kWh/m ²

Av figur 21 ser vi at 89,7 % av det beregnede årlige energibehovet går til romoppvarming. Energi til varmtvann utgjør 4,6 % ved å legge til grunn normert vannbehov etter NS3031.

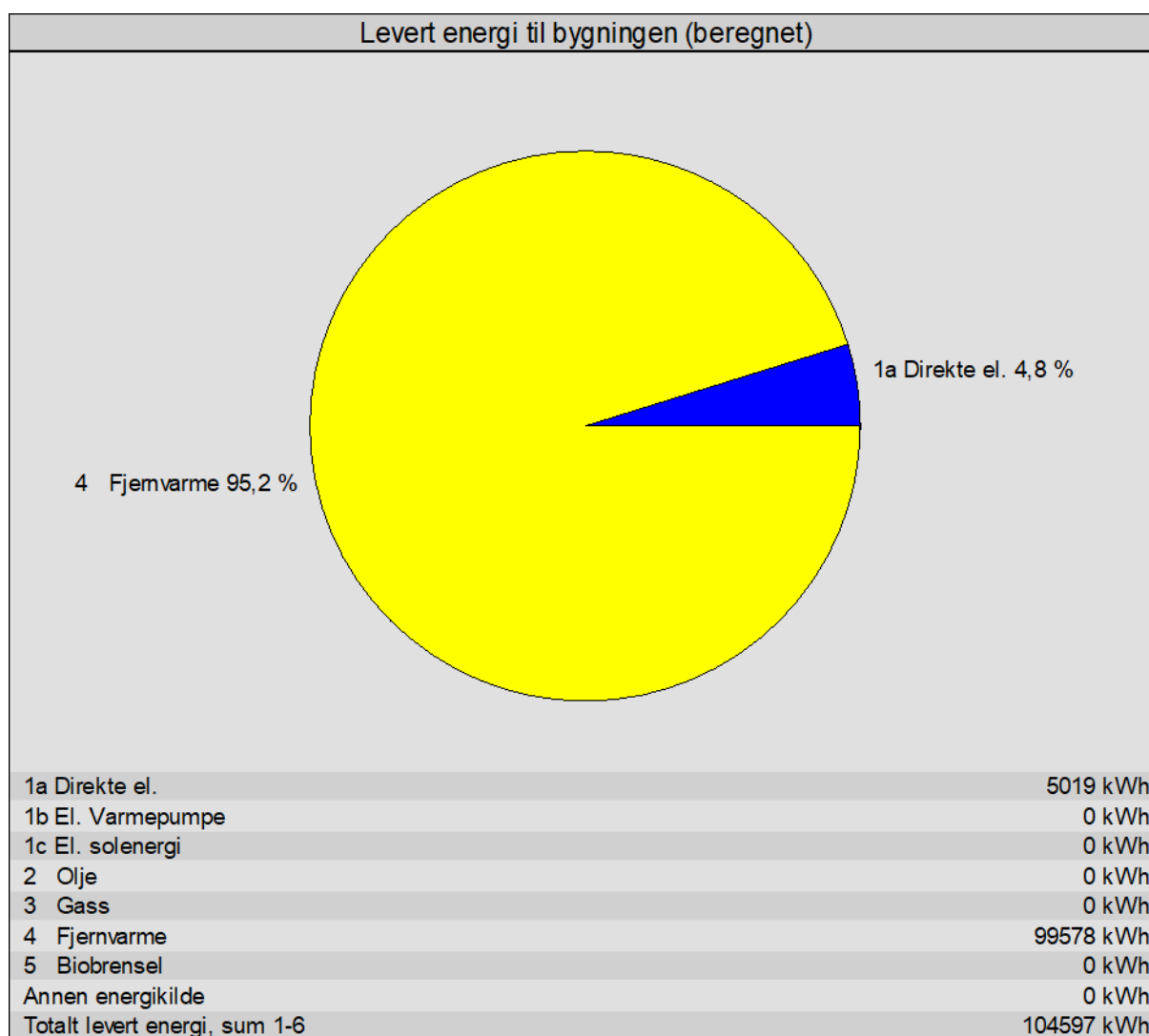


Figur 21: Fordeling av beregnet energibruk ved normerte U-verdier

Ved å legge til grunn samme systemvirkningsgrad som ved forrige årssimulering framkommer behovet for levert energi av tabell 14. Fjernvarme 104 597 kWh/år og gir 95,2 % andel av all levert energi (figur 22).

Tabell 14: Beregnet energibehov til et «typisk hus fra 1970-tallet»

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	5019 kWh	36,9 kWh/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m ²
1c El. solenergi	0 kWh	0,0 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	99578 kWh	732,2 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	104597 kWh	769,1 kWh/m²



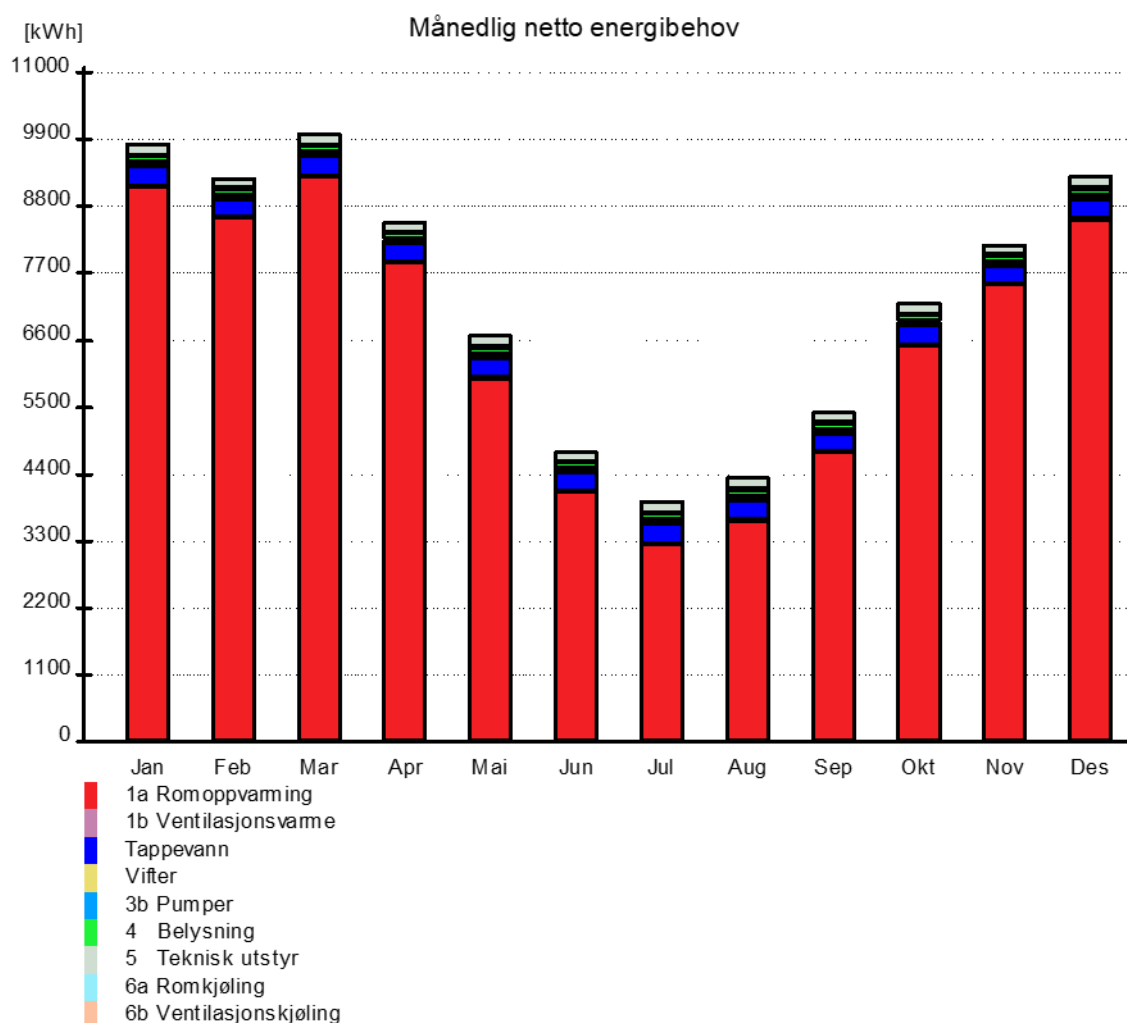
Figur 22: Fordeling av energitype ved normerte U-verdier

Tabell 15 angir energibehov i et normalisert klima (Oslo-området) og en ser at energibehovet er nesten doblet for et hus i Longyearbyen.

Tabell 15: Sammenligning av energibehov ved normerte U-verdier viser forskjeller på lokalt- og normalisert klima

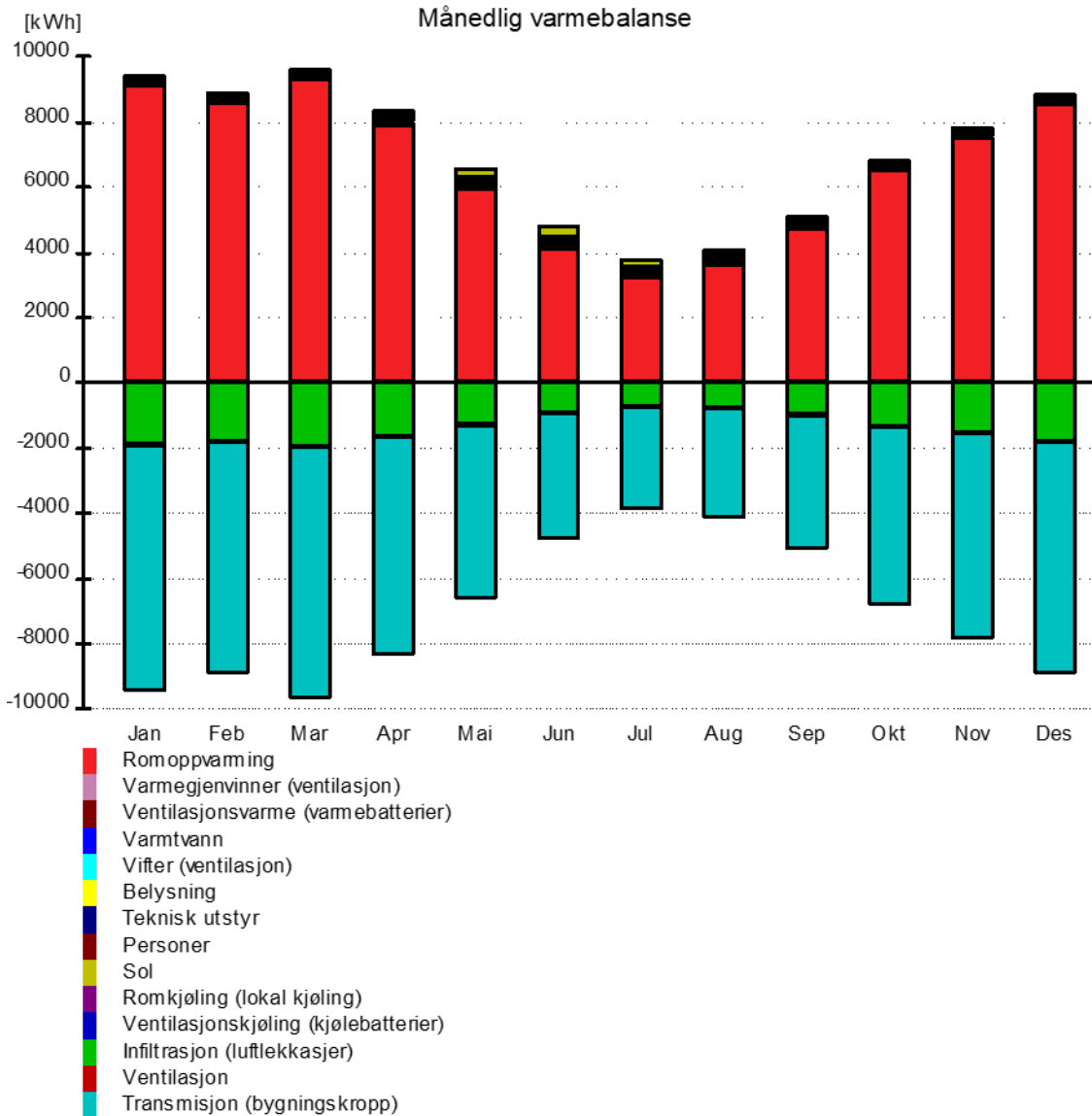
Beregnet levert energi	
Beskrivelse	Verdi
Energibruk normalisert klima	445 kWh/m ²
Energibruk lokalt klima	838 kWh/m ²

Fordelingen av netto energibehov over månedene vises i figur 23. Energi til romoppvarming er dominerende gjennom alle årets måneder og øvrig behov er beregnet å forholde seg relativt stabilt.



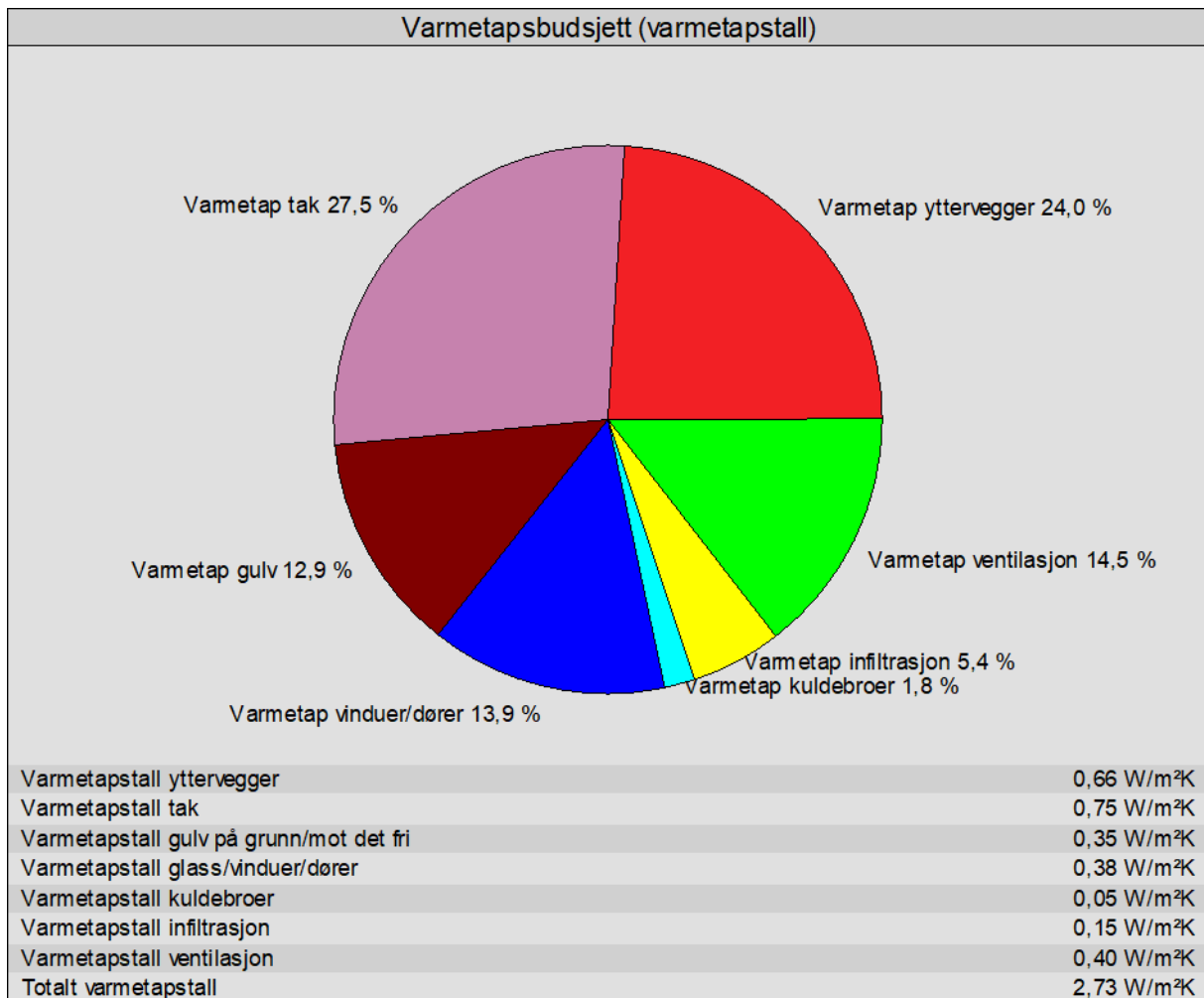
Figur 23: Årlig netto energibehov ved normerte U-verdier

Varmebalanse gjennom året framkommer av figur 24. Størst tap gjennom alle månedene er transmisjonstap gjennom bygningskropp, hvor det er aller størst tap i kalde vintermånedene. I tillegg utgjør infiltrasjonstap en andel av tapet. Det er størst infiltrasjonstap i vintermånedene men forholder seg mer stabilt gjennom året.



Figur 24: Varmebalanse ved normerte U-verdier

En fordeling av varmetapet og respektive varmetapstall til de forskjellige bygningsdelene er ført opp i figur 25. Varmetap fra konstruksjonens bygningskropp utgjør en betydelig andel. Blant annet er det beregnet et tap fra tak og vegger på henholdsvis 27,5 % og 24,0 % av det totale tapet. Varmetap fra gulv mot friluft 12,9 %. Ventilasjon og infiltrasjonstap er forventet å være henholdsvis 14,5 % og 5,4 %. Varmetap gjennom kuldebroer er forventet å ha mindre betydning med 1,8 %.



Figur 25: Varmetapstall for ved normerte U-verdier

Ved å legge til grunn energipriser for 2018 er det beregnet 54 196 kr i totale energikostnader (tabell 16). Av dette er det forventet 44 810 kr/år til fjernvarme og 9 386 kr/år i levert elektrisitet. Kostnaden til elektrisitet utgjør om lag 17 % av totale energikostnader.

Tabell 16: Årlige energikostnader ved normerte U-verdier

Energivare	Kostnad kjøpt energi	
	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	9386 kr	69,0 kr/m ²
1b El. Varmepumpe	0 kr	0,0 kr/m ²
1c El. solenergi	0 kr	0,0 kr/m ²
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m ²
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m ²
4 Fjernvarme	44810 kr	329,5 kr/m ²
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m ²
Annen energikilde	0 kr	0,0 kr/m ²
Årlige energikostnader, sum 1-6	54196 kr	398,5 kr/m²

4.6 Kontroll mot forskrift

4.6.1 Energikrav i Byggteknisk forskrift (TEK10)

Forskriftens krav til energi framkommer av kapittel 14. Av §14-1 (1) kreves det at «Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for forsvarlig energibruk». For tiltak på eksisterende bygg gjelder i utgangspunktet de sammen energikravene. Etter veiledning til første ledd kan det søkes om fritak dersom kraven er urimelige sett i forhold til energibesparelsen et tiltak vil kunne gi.

Det kan gis dispensasjon til kravene for verneverdige og fredete hus. Energikravene gjelder i den grad energikravene er forenelig med bevaring av kulturminner og bygninger av antikvarisk verdi (*Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010*). Etter veiledningen skal energikravene oppfylles i så stor utstrekning at det unngår å videreføre historiske kvaliteter.

Forskriftens krav til energieffektivitet kan oppnås etter energitiltaksmetoden (tabell 17) eller energirammene (tabell 18). For øvrig må også minstekravene i §14-3 samtidig være oppfylt (tabell 19.)

Tabell 17: Energitiltak (§14-2) (*Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010*)

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

Tabell 18: Utdrag av forskriftens krav ved energirammer (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010)

Bygningskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m ² oppvarmet BRA pr. år]
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA	100 + 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk	95

Tabell 19: Minimumskrav til energieffektivitet, §14-3 (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010)

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

4.6.2 Evaluering mot forskrift

Tabell 20 angir en evaluering av referansehuset opp mot energikravkrav i TEK10 (før 1.1.2016) i SIMIEN. Etter forskriften skal slik evaluering skje mot et normalisert klima (Oslo). Følgelig gir resultatene dimensjonerende verdier, som energibehov. Resultatet av evalueringen er gitt i tabell 20 og viser at kravene i §14-3 til 14-5 ikke er oppfylt. I følge evalueringen er kravet til luftmengder i ventilasjon oppfylt og energiforsyning. Luftmengden til ventilasjon er satt etter normerte verdier i NS3031 og behøver ikke å representere faktiske forhold. Kravet til energiforsyning er misvisende og kommenteres senere i kapittelet.

Tabell 20: Oversikt over kontrollen mot forskrift

Resultater av evalueringen	
Evaluering av	Beskrivelse
Energiltak	Bygningen tilfredsstillende ikke kravene til energiltak i paragraf §14-3 (1)
Varmetapsramme	Bygningen tilfredsstillende ikke omfordeling energiltak (varmetapstall) ihht. §14-3 (2)
Energiramme	Bygningen tilfredsstillende ikke energirammen ihht. §14-4
Minstekrav	Bygningen tilfredsstillende ikke minstekravene i §14-5
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstillende minstekrav gitt i NS3031:2010 (tabell A.6)
Energiforsyning	Bygningen tilfredsstillende krav til energiforsyning i §14-7
Samlet evaluering	Bygningen tilfredsstillende ikke byggeforskriftenes energikrav

Evaluering av referansehuset mot kravene i energiltaksmetoden framkommer av tabell 21. Varmegjennomgangskoeffisienten (U-verdien) for bygningskroppen (vegger, tak og gulv) er beregnet ut i fra oppgitte tykkelser og oppbygning. Resulterende U-verdier oppfyller ikke kravene til TEK10. U-verdi for vindu og dør er valgt fra veiledende verdier på bakgrunn av vindustype og alder. Disser oppfyller heller ikke kravet til U-verdi, men referansehuset oppfyller kravene til arealandel vindu og dør. Verdien til spesifikk vifteeffekt kan er satt etter NS3031 Tillegg B på grunn av manglende inndata og behøver ikke å representere faktiske forhold.

Lekkasjetallet og verdi for normalisert kuldebroverdi er basert på veiledende verdier og trenger ikke å representere faktiske forhold.

Tabell 21: Vurdering av referansehus mot energiltaksmetoden

Energiltak (§14-3 (1))			
Beskrivelse	Verdi	Krav	
Samlet glass-, vindus og dørareal delt på bruksarealet [%]	12,5	20,0	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,18	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,21	0,13	
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,17	0,15	
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	2,98	1,20	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,05	0,03	
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	6,00	2,50	
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	0	70	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	2,50	

Tabell 22 viser kravene ved omfordeling av energiltak. Med brukte inndata gir det ikke potensial for omfordeling. Ingen komponenter eller bygningsdeler har beregnede varmetapstall som er bedre enn hva forskriften krever.

Tabell 22: Evaluering av omfordeling for referansehus

Omfordeling energiltak (§14-3 (2), varmetapstall)			
Beskrivelse	Verdi	Krav	
Varmetapstall yttervegger	0,31	0,18	
Varmetapstall tak	0,26	0,16	
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,12	0,11	
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,37	0,24	
Varmetapstall kuldebroer	0,05	0,03	
Varmetapstall infiltrasjon	0,15	0,14	
Varmetapstall ventilasjon	0,40	0,12	
Totalt varmetapstall	1,65	0,98	

For å tilfredsstille kravene til energirammene må det beregnes netto energibehov og vise at de ikke overskrider fastsatt verdi for aktuell bygningskategori. Det er beregnet fra forskriften at netto energibehov ikke skal overskride 131,8 kWh/m² for referansehuset (tabell 23). Etter energirammemetoden beregnes energibehovet for referansehuset til å være 225,4 kWh/m² og overskrider kravet med over 100 kWh/m².

Tabell 23: Evaluering av energirammer for referansehus

Energiramme (§14-4, samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	159,6 kWh/m ²
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0,0 kWh/m ²
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m ²
3a Beregnet energibehov vifter	5,8 kWh/m ²
3b Beregnet energibehov pumper	1,2 kWh/m ²
4 Beregnet energibehov belysning	11,4 kWh/m ²
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	17,5 kWh/m ²
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m ²
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,0 kWh/m ²
Totalt beregnet energibehov, sum 1-6	225,4 kWh/m ²
Forskriftskrav netto energibehov	131,8 kWh/m ²

Med bakgrunn i oppgitt tykkelse av gulv mot friluft fra tilstandsrapport, tilfredsstiller beregnet U-verdi minstekravet etter TEK10 fra før 2016 (Tabell 24). Øvrige verdier er beregnet til å ikke oppfylle minstekravene.

Tabell 24: Evaluering av referansehus opp mot minstekrav

Minstekrav (§14-5)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,22
U-verdi tak [W/m ² K]	0,21	0,18
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m ² K]	0,17	0,18
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m ² K]	2,98	1,60
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	6,00	3,00

Programmet evaluerer referansehuset til å oppfylle kravet til energiforsyning da oppvarming skjer via fjernvarme (Tabell 25). Programmet antar at fjernvarmen ikke er fra fossile brensler noe som er tilfelle for fjernvarmeproduksjon i Longyearbyen.

Tabell 25: Krav til energiforsyning

Energiforsyning (§14-7)		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Andel av varmebehovet som dekkes av annet enn direkte el. og fossile brensler	100 %	40 %
Oljekjel som grunnlast	Nei	Nei

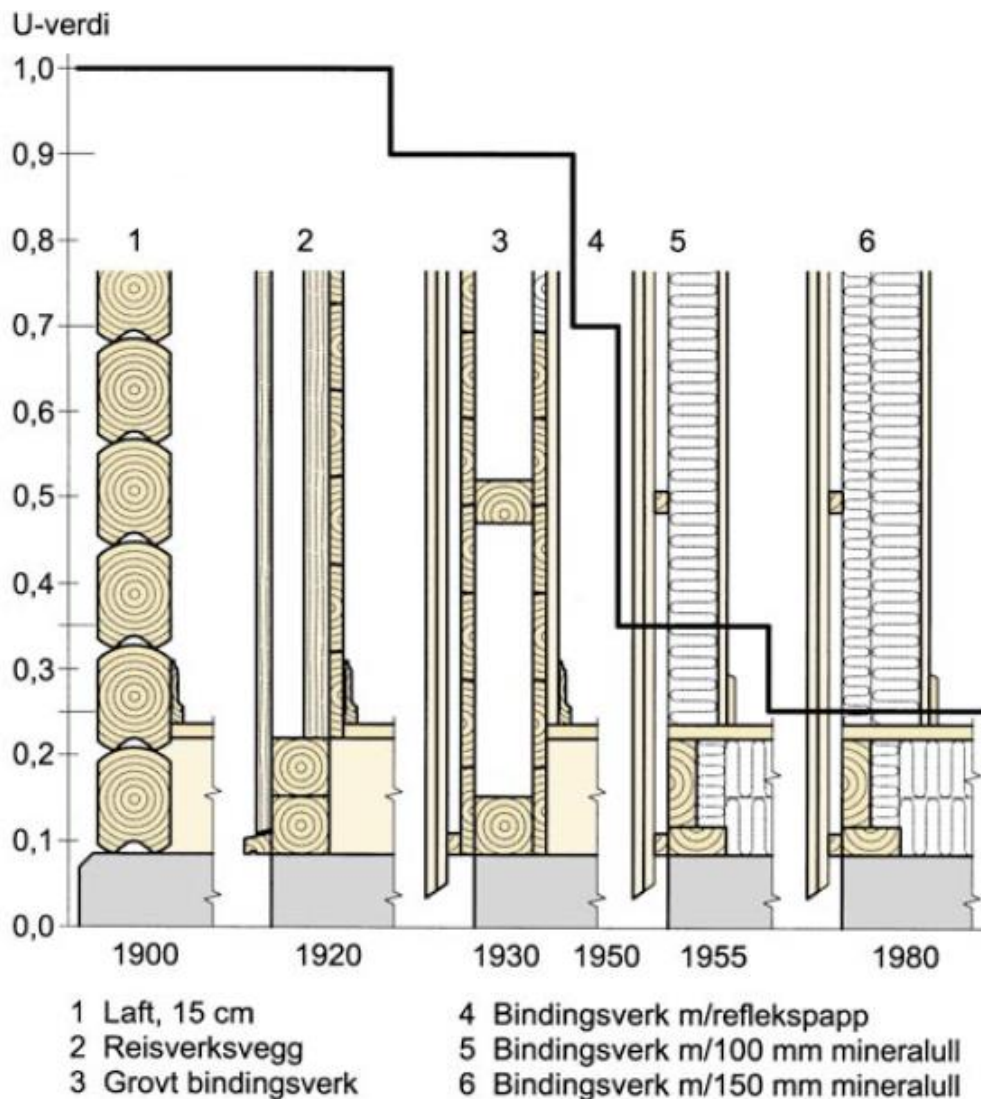
4.7 Energieffektivisering av eksisterende bygninger

4.7.1 Grunnlag for valg av energiltak

Det fins en rekke tiltak man kan gjøre for å redusere energibehovet til et eksisterende bygg. Avhengig av når bygget ble oppført vil effekten ved ulike tiltak kunne variere. For eksempel anbefaler Enova (2018a) en rekke spesifikke tiltak for hus bygd mellom 1960 og 1987. I dette kapittelet skal teori om ulike tiltak presenteres og valg av energiltak presenteres.

4.7.2 Etterisoleringstiltak og tetting

På bakgrunn av vanlig praksis i byggeperioden er gjerne varmetapet gjennom bygningskroppen stort. Figur 26 illustrerer typiske konstruksjonsoppbygning og utvikling fra 1900—1980. Hus fra 70- og 80-tallet har gjerne mellom 10-20 centimeter med isolasjon i ytterkonstruksjon. Egenskapene kan ligge langt unna dagens standard (Enova, 2018a) og potensiale for oppgradering av eldre bygninger kan derfor være stort.



Figur 26: Ytterveggkonstruksjoner av tre, utvikling 1900-1980 (SINTEF Byggforsk, 2004a)

Eldre bygg er ofte utett og har høyt lekkasjetall og for å få mest ut av disse tiltakene er god lufttetting også viktig. Nivået er gjerne under hva som anbefales i byggeforskrifter og tetting mellom bygningsdeler bør gjøres i sammenheng med etterisolering (SINTEF Byggforsk, 2004a). Generelt vil utette hus medføre unødvendig tap av varme og kan være energikrevende (SINTEF Byggforsk, 2004a, 2013a; Almås *et al.*, 2009). Ved å forbedre bygningens tetthet vil en kunne senke energibehovet og SINTEF Byggforsk (2013a) påpeker at det i flere tilfeller mer energieffektivt å redusere lekkasjetall enn å øke isolasjonstykkelse på bygget. SINTEF Byggforsk (2004a) påpeker at tiltak som etterisolering av bygningskroppen og utskiftning av dører og vindu som regel vil medføre bedre tetthet i konstruksjonen.

Før en etterisolerer et eldre bygg må en vurdere om bygget kan tilpasses ny situasjon (Bjørberg, 2017). Endring i bygningsfysikken i konstruksjonen kan føre til fare for blant annet fuktskader (SINTEF Byggforsk, 2004a). Faren for at fuktig inneluft kjøles ned og kondensere i konstruksjonen kan oppstå ved manglende fuktsikring og er særlig aktuelt ved innvendig etterisolering (SINTEF Byggforsk, 2004a). For yttervegger av tre vil man kunne oppnå redusert varmetapstall og oppnå god fuktsikkerhet ved utvendig isolering (SINTEF Byggforsk, 2004b). Etter Byggteknisk forskrift (TEK10) (2010) bør det gjøre en grundig vurdering før tiltak i bygg av kulturhistorisk verdi. Avhengig av byggeteknikk og konstruksjonsmetoder kan energitiltak som kan føre til bygningsfysiske følgeskader må også vurderes. Ved omfattende etterisolering og tetting av lette trehus må det sikres at bygget ventileres tilstrekkelig siden byggets naturlige ventilasjon reduseres (SINTEF Byggforsk, 2004b, 2004a). For ombygging av eldre bygg opp til passivhusstandard vil det i de fleste tilfeller medføre et behov for etterisolering på mellom 200-400 mm med tradisjonell isolasjonsmaterieell (Lassen *et al.*, 2009). Dette kan være utfordrende i praksis da bygninger kan i ulik grad være tilpasset slike endringer. En er i stor grad avhengig av å kunne isolere utvendig, men dette kan medføre at ytre mål på bygningen økes vesentlig (Lassen *et al.*, 2009). Bygninger som har bevaringsverdig, eller er vernet eller fredet kan begrense muligheten for etterisolering.

Etterisoleringstiltak kan ha begrenset lønnsomhet og bør gjøres i sammenheng med oppgradering av fasadene (Lassen *et al.*, 2009; SINTEF Byggforsk, 2004b). Kledning, vinduer og dører har begrenset levetid og dersom disse skal skiftes kan en vurdere om en skal etterisolere yttervegger også (Lavenergiprogrammet, 2015f; Valen *et al.*, 2011). Etterisolering av tak av taksperrer i tre kan med fordel gjøres samtidig som taktekkingen skal skiftes (SINTEF Byggforsk, 2005; Lavenergiprogrammet, 2015e).

4.7.3 Bytte vindu og dører

Vinduer utgjør tradisjonelt sett lite av totale flaten av klimaskallet i en bygning. Enova (2018a) påpeker at til tross for dette kan eldre vinduer utgjøre en stor del av bygningens totale varmetap. For eksempel kan isolerglass fra 70-tallet eller tidligere stå for rundt 40 % av varmetapet i konstruksjonen (Enova, 2018a; Lavenergiprogrammet, 2015d). Effekten av godt isolerte dører og vinduer er størst i områder som er kalde (Lavenergiprogrammet, 2015d) og per i dag er det 3-lags vindu som kan gi U-verdi på 0,8 eller lavere (Lavenergiprogrammet, 2015d).

4.7.4 Oppgradere ventilasjon

Ved oppgradering av eksisterende bygninger kan byggeforskriften kan kreve at bygningens krav til ventilasjon og energi skal oppfylles (Byggteknisk forskrift (TEK10), 2010). Dette kan gjelde dersom tiltakene har betydelig påvirker ventilasjons- eller energibehovet (SINTEF Byggforsk, 2015a). Som allerede presentert i 4.7.2 vil omfattende tetting av et bygg påvirke byggets tidligere ventilasjonsevne og en kan da få behov for å gjøre tiltak for å sørge for tilstrekkelig ventilasjon. Eldre boliger har ofte naturlig ventilasjon og gjerne i kombinasjon med mekanisk avtrekk på kjøkken og våtrom (SINTEF Byggforsk, 2004c). For å tilfredsstille kravene i henhold til TEK10 anbefaler SINTEF Byggforsk (2015a) bruken av balansert ventilasjon. Dersom bygget har store luftlekkasjer vil dette kunne reduserer mengden luft som blir varmegjenvunnet (SINTEF Byggforsk, 2013a). SINTEF Byggforsk (2004a) påpeker at ved installasjon av mekanisk ventilasjon med varmegjenvinning krever bør en forutsetning være at konstruksjonen er tilstrekkelig tett.

På Svalbard er snøen finkornet og kan trenge inn ventilasjonen (Byggforskrift for Longyearbyen, 2016). I områder med mye drivsnø kan åpninger til tekniske installasjoner skape problemer. Spesielt utfordrende er det å få ventilasjonsanlegg til å virke optimalt under slike forhold (Thiis, 2005). Snø kan trenge inn i kanaler og føre til fukt eller muggskader. I tillegg kan snø blokkerer og redusere effekten av ventilasjonssystemet (Thiis, 2005).

4.7.5 Systemstyring

Almás *et al.* (2009) påpeker også at rasjonell styring av tekniske systemer er viktig. Bruk av termostatstyring og automatstyring kan bidra til god energieffektivitet. I følge Standard Norge (2014b) er automatisk kontroll av fjernvarmeanlegget praktisk i et hus for å oppnå energibesparelser. Ved at radiatorer regulerer seg ved interne varmetilskudd og solstråling vil man redusere energiforbruket (Standard Norge, 2014b). I tillegg kan døgnregulering av temperatur og behovstyring av ventilasjon kunne redusere energibruket. Ved hjelp av sensorer og soneinndeling kan områder som ikke har behov få redusert luftmengde og varmetilskudd (Lavenergiprogrammet, 2015g; SINTEF Byggforsk, 2004a).

4.7.6 Valg av energiltak

På bakgrunn av det som er presentert i dette kapittelet viser tabell 26 hvilke tiltak som skal evalueres. Det er noe usikkerheter knyttet til hvilket utgangspunkt referansehuset har og vurderinger rundt omfang ved tiltakene diskuteres i kapittel 5.9 og tiltenkt utførelse i vedlegg 8. Det skal gjøres en evaluering av ved bytte av vindu og dører til krav i TEK10 og passivhusstandard (Tiltak 4 og 5). Det framkommer av 4.7.4 at byggets lekkasjetall kan ha stor innvirkning på varmegjenvinning. Det skal av den grunn sammenlignes energiytelse ved installasjon av balansert ventilasjon med varmegjenvinning med og uten forbedring av lekkasjetall (Tiltak 8 og 9).

Tabell 26: Valgte energiltak for referansehuset

	Tiltak	Beskrivelse	Antagelser/forbehold
1	Etterisolering av yttervegg	Utvendig isolering til 350 m	Fasaden skal allerede byttes
2	Etterisolering av tak	Utvendig isolering til 400 mm	Taktekking skal allerede byttes
3	Etterisolering av gulv mot fri	Utvendig isolering til 400 mm	Fasadematerialer under bygg skal byttes
4	Bytte vindu og dører	Til krav i TEK10 (U-verdi 1,2)	Riving av gamle vindu utført
5	Bytte vindu og dører	Til passivhusstandard (U-verdi 0,8)	Riving av gamle vindu utført
6	Forbedret kuldebroverdi	Til krav i TEK10 (0,03)	Antar kravet bli oppfylt ved etterisolering av bygg.
7	Forbedret lekkasjetall	Til krav i TEK (2,5)	Antar at kravet blir oppfylt etter etterisoleringstiltak, bytte av vindu og dører.
8	Balansert ventilasjon	Med varmegjenvinning, <u>uten</u> forbedret lekkasjetall	Klargjorte utsparinger og kanaler
9	Balansert ventilasjon	Med varmegjenvinning, <u>med</u> forbedret lekkasjetall	Klargjorte utsparinger og kanaler
-	Flere tiltak (1,2,3,4,6,7 og 8)	Etterisolering av yttervegg, tak og gulv. Bytte av vindu og dører til forskriftsnivå (U-verdi 1,2) Forbedret lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi til forskriftsnivå	Samme antagelser som ved enkelttiltakene.

4.8 Kostnadsoverslag for ulike energiltak

4.8.1 Formål og anvendelse

Formålet med kalkulasjonen er gi å kunne gi en indikasjon på tilbakebetalingstid for ulike energieffektiviserende tiltak for et småhus på Svalbard. Kostnadsoverslaget er avgrenset til å omfatte direkte kostnader knyttet til energieffektiviseringen og den er basert på en rekke antagelser og forutsetninger. For sammenligning og bruk opp mot eksisterende bygg må grunnlaget og forutsetningene leses nøye da beregnede forhold kan avvike fra faktiske forhold.

Det må presiseres at kostnader som framkommer gjerne forutsetter at en oppgradering (som ikke nødvendigvis er drevet av energieffektivisering) finner sted i utgangspunktet. For eksempel for energiltak som omhandler etterisolering forutsetter det at nåværende klimaskjerm skal oppgraderes. Kostnadsoverslaget er ment å inkludere ekstrakostnader for å gjøre et energiltak og kostnader knyttet til riving/demontering eller bortkjøring er ikke medregnet. Det er heller ikke medregnet kostnad for ny kledning/tak, vindsperre og lignende.

Ved bytte av vindu og dører og installasjon av balansert ventilasjon tas det heller ikke med rivekostnader. Det antas at bygningsdelene som byttes ut er fra slutten av 70-tallet og må rives/skiftes uansett.

4.8.2 Grunnlag for kalkulasjon

Kostnadsoverslaget er basert på enhetspriser fra *Holte Kalkulasjonsnøkkelen fra 2014, Delytelser – Utbedring/Ombygging*. Ut over enhetspriser er det lagt til noen justeringsfaktorer som framkommer av tabell 27. Merk at enhetsprisene er basert på tall for utbedrings-/ombyggingsarbeid av et bygg på 1000 m² på Østlands-rområdet (Holte, 2014) og ulemper ved dette diskuteres i videre i dette kapitlet.

Tabell 27: Grunnlag for kostnadsoverslag

Kostnader	Inkluderer	
Enhetspris (ekskl. mva) (Verdier hentet fra Holte Kalkulasjonsnøkkelen)	Materialkostnad	<ul style="list-style-type: none"> • Varekostnad • Levering • Nødvendige festemidler
	Arbeidskostnad (416 kr/time for tømrerarbeid)	<ul style="list-style-type: none"> • 260 kr i netto timelønn • Lønnsfaktor på 60 % (ment å dekke feriepenger, arbeidsgiveravgift og andre sosiale goder)
	Påslag (10 %)	<ul style="list-style-type: none"> • Tiltent å dekke entreprenørens fortjeneste og administrative utgifter og kan fravike fra Kalkulasjonsnøkkelens sats
Rigg og drift (Ikke medregnet i Kalkulasjonsnøkkelen)	Ikke medregnet.	«Rigg og drift» er ment å dekke utgifter knyttet til maskinleie, leie av brakkerigg, administrasjon og diverse kapitalkostnader.
Geografisk justeringsfaktor (0 %) (Faktorene er basert på justeringsfaktorer fra Holte Kalkulasjonsnøkkelen, verdien er et anslag)	Avstandsfaktor	<ul style="list-style-type: none"> • Høyere transportkostnad • Lav leveringsfleksibilitet (økt leveringstid)
	Klimatiske forhold	<ul style="list-style-type: none"> • Lave temperaturer kan gi lavere produktivitet og økte strømkostnader • Økte kostnader knyttet til fjerning av is og snø samt tildekking av materialer
	Statlige avgifter	<ul style="list-style-type: none"> • Fritak for arbeidsgiveravgift på Svalbard (Vedtak om avgifter til folketrygden, 2018)
Merverdiavgift (0%)	0 % mva.	Svalbard er fritatt for mva. (merverdiavgiftsloven, 2010)

4.8.3 Kostnadsoverslag for ulike energiltak

Etterisolering av yttervegg fra 150 mm til 350 mm er beregnet å koste 595,7 kr/m²yttervegg. Arbeid og kostnader som er lagt til grunn framkommer av tabell 28 og er nærmere beskrevet i vedlegg 8. Det er forutsatt at det er klargjort for påføring og gammel kledning og vindsperre er fjernet. I kostnadsberegningen er det lagt til grunn at det utlektes på kryss med to ganger 98 mm for å redusere kuldebroverdi.

Lavenergiprogrammet (2015f) anslår at kostnader ved etterisolering av et eget referansehus vil koste mellom 500-600 kr (Tabell 33).

Tabell 28: Kalkulert ekstrakostnad ved etterisolering av yttervegg

Etterisolere yttervegg fra 150 til 350 mm		-				
qk1.113	Utlekning på fasade cc 600 >250	48x98	m ²	127.7	264.2	33,738.3
qb2.8111	Åpning i bindingsverk 1-2m2	48x198	stk	485	6	2,910.0
qb2.8111	Åpning i bindingsverk < 1m2	48x198	stk	364.1	8	2,912.8
qb2.8111	Bindingsverk (6,0 lm/stk) dørutsparing	48x198	stk	718.1	2	1,436.2
SB1.11141	Mineralull A-plate - vegg >250	2x100	m ²	180.8	264.2	47,767.4
					Total	88,764.7
					Pris/m ² vegg	595.7

Etterisolering av tak fra 200 mm til 400 mm er anslått å koste 487,7 kr/m²tak. Arbeider lagt til grunn framkommer av tabell 29. Det er valgt to metoder for utlektning på grunn av ulik oppbygning på hovedhuset og mellomkonstruksjonen og er nærmere beskrevet i vedlegg 8.

Lavenergiprogrammet (2015e) anslår i sitt eksempel at etterisolering av tak koster mellom 350-450 kr/m²tak (Tabell 33).

Tabell 29: Kalkulerte ekstrakostnader ved etterisolering av tak

NS-kode	Beskrivesle av arbeid	Dim	enhet	enh.pris	mengde	pris
Etterisolere tak fra 200 til 400 mm						
qb3.21299	Sperretak av heltre, c/c 600	198x48	m ²	362.6	148.4	53,809.8
qb3.221299	Taksperre av heltre >250	198x48	lm	180.6	21.6	3,901.0
sb1.31241	Mineralull A-plate, m/papir	200	m ²	148.1	170	25,177.0
					Total	82,887.8
					Pris/m ² tak	487.6

Etterisolering av gulv (utvendig) er anslått å koste 512,4 kr/m²gulv fra tabell 30. Det er lagt til grunn at det er behov for et antall åpninger i bindingsverket til hver trepel huset er fundamentert på. Dette er nærmere beskrevet i vedlegg 8.

Lavenergiprogrammet (2015b) beregner at etterisolering av gulv mot grunn å koste mellom 500 og 600 kr/m²gulv (Tabell 33). Det er ikke et godt sammenligningsgrunnlag da dette er isolert innvendig.

Tabell 30: Kalkulerte ekstrakostnader ved etterisolering av gulv mot friluft

NS-kode	Beskrivesle av arbeid	Dim	enhet	enh.pris	mengde	pris
Etterisolere gulv fra 200 til 400 mm						
qk1.113	Utlekking på fasade cc 600 >250	48x98	m ²	127.7	191.2	24,416.2
qb2.8111	Åpning i bindingsverk < 1m2	48x198	stk	364.1	20	7,282.0
SB1.21161	Mineralull A-plate - vegg >250	2x100	m ²	180.8	95.6	17,284.5
					Total	48,982.7
					Pris/m ² gulv	512.4

Det er anslått at skifte av vinduer og dører i «spisshuset» vil koste 74 594 kr eller 4 662 kr i snitt (Tabell 31). Dette prisoverslaget innebefatter å sette inn nye vinduer og dører med U-verdi på 1,2.

I Lavenergiprogrammet (2015d) sitt eksempel (Tabell 34) vil oppgradering av vindu og dører til U-verdi 0,8 eller lavere koste i snitt 10 300-12 500 kr/stk. I det eksempelet er flere av vinduene større og har bedre isolasjonsytelse enn for referansehuset i denne oppgaven og prisene er svært ulik.

For å få et sammenligningsgrunnlag mellom U-verdi i henhold til forskrift (1,2) og passivhusstandard (0,8), er det også tatt med et ekstra energitiltak basert på Lavenergiprogrammet sitt estimat. Det er da sett på effekten av å bytte totalt 16 vindu og dører i referansehuset med U-verdi på 0,8. Enhetspris som legges til grunn er 10 300,- og utgjør totalt 164 800,-.

Tabell 31: Kalkulerte kostnader ved bytte til vindu og dører

NS-kode	Beskrivesle av arbeid	Dim	enhet	enh.pris	mengde	pris
Bytte til nye vindu og dører med U-verdi på 1,2						
rj1.11399228	Vindu, fast karm, hvit Lavenergi 1,2	1.5x1.6	stk	7684	1	7,684.0
rj1.11399218	Vindu, furu, fast karm, hvit 2E m/argon	0.5x0.5	stk	2348.1	1	2,348.1
rj1.11399218	Vindu av furu, fast karm, hvitm.2E m/argon	1.1x1.1	stk	3871.9	5	19,359.5
rj1.11399218	Vindu av furu, fast karm, hvitm.2E m/argon	1.1x0.6	stk	3712.1	7	25,984.7
rj2.1322220	Sikkerh.balk.dør, malt, 2 lag Lavenergi 1,2	1.0x2.1	stk	12190.8	1	12,190.8
rh1.12345430	Entredør, Lyd og br.dør, hvit EI30C/35db>5	1.0x2.1	stk	7026.6	1	7,026.6
						Total
						74,593.7
					Pris/dør og vindu	4,662.1

Installering av balansert ventilasjon for en bolig med BRA på 120 m² vil anslagsvis koste 64 241 kr totalt eller 472,4 kr/m²BRA (tabell 32). Oppgitt pris forutsetter at utsparinger er planlagt og at det er kanaler for å føre tilluft og avtrekk til ulike rom. Se vedlegg 8 for andre forutsetninger.

Lavenergiprogrammet (2015a) beregner at installasjon av balansert ventilasjon i sitt eksempel å koste 400-500 kr/m²BRA, totalt mellom 60-70 000 kr (Tabell 34). Det framkommer ikke av eksempelet hva tiltaket omfatter.

Tabell 32: Kalkulert kostnad ved installasjon av balansert ventilasjon

NS-kode	Beskrivesle av arbeid	Dim	enhet	enh.pris	mengde	pris
Installere balansert ventilasjon						
vh4.1210	Balansert vent. m varmegjenv. 120m ²	288m ³ /t	stk	64241.4	1	64,241.4
						Total
						64,241.4
					Pris/BRA	472.4

Tabell 33 og 34 angir estimerte priser for utførelse av energiltak for et eksempelhus (Lavenergiprogrammet, 2015c). Prisen er forventete ekstrakostnader ved ulike energiltak i en bolig fra 1980-tallet. Eksempelhuset har ikke samme geometri og utforming og har ulikt ambisjonsnivå fra eksempelet i denne oppgaven. Priser som er lagt til grunn i eksempelet er fra Holte prisbase per 28.04.2016 (Lavenergiprogrammet, 2015c).

Tabell 33: Kostnadsestimater for et annet eksempel (Lavenergiprogrammet, 2015c)

Tiltak	Kostnad dersom kledning skal skiftes og det er klargjort for etterisolering	Kostnad dersom kledning ikke er klargjort og fasadekledning og vindsperre må rives og byttes.	U-verdi [kWh/m ² k]	
			Fra	Til
Etterisolering av yttervegg	500-600 [kr/m ² vegg]	1400-1800 [kr/m ² vegg]	0,26	0,12
Etterisolering av tak	350-450 [kr/m ² tak]	900-1100 [kr/m ² tak]	0,21	0,09
Etterisolering av gulv mot grunn	500-600 [kr/m ² gulv]	1600-2000 [kr/m ² gulv]	0,28	0,08

Tabell 34: Kostnadsestimater for et annet eksempel (Lavenergiprogrammet, 2015c)

Tiltak	Kostnad	U-verdi [kWh/m ² k]	
		Fra	Til
Bytte til lavenergi vindu og dører	10 300-12 500 [kr/stk] Mellom 145 000 og 175 000 for sitt eksempelhus	2,4/2,0	0,8
Balansert ventilasjon 80 % temperaturvirkningsgrad. SFP 1,5 og luftmengde 2m ³ /hm ²	400-500 [kr/m ² BRA] Mellom 60 000 – 70 000 kr totalt for sitt eksempelhus.		

4.9 Beregning av lønnsomhet

4.9.1 Metode og grunnlag

Formålet bak å vurdere lønnsomheten ved energiltakene er for å se om investerte kroner vil betale seg tilbake i over tiltenkt levetid. Investeringskostnader som ligger til grunn er basert på kostnadsoverslag fra forrige kapittel. Disse sammen med eventuelle vedlikeholdskostnader er å betrakte som merkostnader for de enkelte energiltakene.

Lønnsomheten vurderes ved å beregne nåverdien til de ulike tiltakene etter formel 4.1. Nåverdien beregnes ved å summere årlige besparelser og energikostnader over tiltenkt levetid minus investeringskostnaden. Årlige besparelser i kroner er beregnet etter formel 4.3. Alle framtidige besparelser justeres etter formel 4.2 og diskonteres ved kalkulasjonsrente (r) etter beregnet tilbakebetalingstid (n).

$$\text{Nåverdi [kr]} = \text{Sparte energikostnader} - \text{Investeringskostnad} \quad (4.1)$$

Der verdien av framtidige besparelser diskonteres ved:

$$\text{Sparte energikostnader [kr]} = \text{Årlig besparelse [kr/år]} * \frac{1 - (1 + r)^{-n}}{r} \quad (4.2)$$

Årlig besparelse regnes ut ved å multiplisere spart energi med energiprisen:

$$\text{Årlig besparelse [kr/år]} = \text{årlig energibesparelse [kWh/år]} * \text{energipris [kr/kWh]} \quad (4.3)$$

Kalkulasjonsrenten som er lagt til grunn er 4%, teknisk levetid for tiltakene er satt til 30 år og ligger til grunn for beregning nåverdien. Beregnet (teoretisk) inntjeningstid kan være høyere enn 30 år. Det er ikke lagt til økte vedlikeholdskostnader, noe som begrunnes i kapittel 5.9 Energipris som er lagt til grunn er de som framkommer av tabell 35.

Tabell 35: Energipriser for 2018 (Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre, 2017)

Energikilde	Pris 2018 [kr/kWh]
Elektrisitet	1,87
Fjernvarme	0,45

Tabell 36 gir en oversikt over de ulike tiltakene som skal evalueres. Investeringskostnader tar utgangspunkt i enhetspriser fra forrige kapittel med unntak av et energitiltak på vindu og dører som baserer seg på Lavenergiprogrammet (2015d) kostnadsestimat. Det er for å kunne sammenligne lønnsomheten og energibesparende effekt ved å bytte ut til lavenergivindu med U-verdi 0,8.

Ved beregning av energibesparelse for enkelttiltak er det kun lagt til grunn en forbedring av verdiene til de respektive bygningskomponentene. I praksis vil tiltak som for eksempel etterisolering av vegg og bytte av vinduer vil også kunne påvirke byggets tetthet og kuldebroverdi. I beregningene er det vanskelig å anslå konkret effekt på byggets totale lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi ved enkelttiltak. Av den grunn er disse kun lagt til grunn ved effektiviseringstiltak av hele bygget.

Det er ikke gjort grundig lønnsomhetsvurdering i forhold til forbedret lekkasjetall og normalisert kuldebroverdi som enkeltstående tiltak. De er tatt med for å se på teoretisk energibesparelse ved en forbedring, men uten kostnadsbetraktninger. Ved effektivisering av hele bygget er det gjort en antagelse om at kostnaden knyttet til disse to er inkludert i øvrige tiltak.

Tabell 36: Inndata for lønnsomhetsberegning

Sammendrag inndata tiltak			
Tiltak	Investering	Levetid	Vedlikehold
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm) (under vurdering)	88765 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm) (under vurdering)	82888 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 3: Etterisolering av gulv (fra 200 til 400 mm) (under vurdering)	48983 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2) (under vurdering)	74594 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 5: Bytte vindu og dører (U-verdi 0,8) (under vurdering)	164800 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03) (under vurdering)	0 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10) (under vurdering)	0 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 8: Balansert ventilasjon (under vurdering)	64241 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak 9: Balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall (under vurdering)	64241 kr	30 år	0 kr/år
Tiltak: Flere tiltak (1,2,3,4,6,7,8) (under vurdering)	359470 kr	30 år	0 kr/år

4.9.2 Lønnsomhetsberegninger

Tabell 37 gir en oppstilling av beregnet årlig besparelse ved ulike tiltak og er basert på spart energi og energipris. Som begrunnet innledningsvis er det ikke beregnet CO₂-utslipp. En ser at balansert ventilasjon uten å forbedre byggets lekkasjetall ikke vil gi særlig stor energibesparelse, derimot om lekkasjetallet også forbedres øker beløp spart. En ser en besparelse på 6322 kWh å bytte ut vinduer og dører til U-verdi 1,2 og 7844 kWh ved U-verdier på 0,8. Tilsvarende en økning på rundt 1500 kWh.

Tabell 37: Beregnet årlige energibesparelser

Tiltak	Årlige besparelser		
	Energi	Beløp	CO ₂ -utslipp
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	6648 kWh	3016 kr	0 kg
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	4626 kWh	2099 kr	0 kg
Tiltak 3: Etterisolering av gulv (fra 200 til 400 mm)	1516 kWh	688 kr	0 kg
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	6323 kWh	2870 kr	0 kg
Tiltak 5: Bytte vindu og dører (U-verdi 0,8)	7844 kWh	3559 kr	0 kg
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	681 kWh	309 kr	0 kg
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	5116 kWh	2321 kr	0 kg
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	5527 kWh	46 kr	0 kg
Tiltak 9: Balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall	13486 kWh	3659 kr	0 kg
Tiltak: Flere tiltak (1,2,3,4,6,7,8)	33422 kWh	12716 kr	0 kg

Beregnet økonomisk lønnsomhet og tilbakebetalingstid for de ulike tiltakene framkommer av tabell 38. Framtidig besparelse er justert med kalkulasjonsrente på 4 % og besparelser etter tabell 37. Tiltak 6 og 7 er som tidligere nevnt ikke kostnadsberegnet. Tiltak 9 med installering av balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall gir heller ikke et korrekt kostnadsbilde med er medtatt for å se teoretisk energibesparelse sett i sammenheng.

Resultatene viser at lønnsomheten til tiltakene vil ikke tjene seg inn over tid. Selv med en lang tilbakebetalingstid korrigeres de framtidige besparelsene i kostnad såpass mye av en ikke regner med å tjene inn del investerte beløpet. Det er beregnet at ved installering av balansert ventilasjon sammen med forbedret lekkasjetall vil gi en høyere nåverdi enn uten. Inntjeningstiden er forbedret, men som nevnt tidligere er det ikke lagt med kostnader tilknyttet tetting.

Tabell 38: Beregning av lønnsomhet med dagens energipriser

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	-36610 kr	0.59	1000.0 år	0.1 %
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	-46597 kr	0.44	1000.0 år	-1.7 %
Tiltak 3: Etterisolering av gulv (fra 200 til 400 mm)	-37094 kr	0.24	1000.0 år	-4.9 %
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	-24974 kr	0.67	1000.0 år	0.9 %
Tiltak 5: Bytte vindu og dører (U-verdi 0,8)	-103250 kr	0.37	1000.0 år	-2.7 %
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	5342 kr	5341.95	0.0 år	100.0 %
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	40141 kr	40141.41	0.0 år	100.0 %
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	-63446 kr	0.01	1000.0 år	-16.6 %
Tiltak 9: Balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall	-978 kr	0.98	30.9 år	3.8 %
Tiltak: Flere tiltak (1,2,3,4,6,7,8)	-139587 kr	0.61	1000.0 år	0.3 %

4.9.3 Vurdering av lønnsomhet ved dobling av energipris

På bakgrunn av at resultatene viser dårlig lønnsomheten er det videre gjort beregninger der enkelte parametere er justert. Tabell 39 viser beregnet lønnsomhet ved en dobling av energipris for fjernvarme (fra 0,45 til 0.90 kr/kWh). Nåverdien ved etterisolering av yttervegg, bytte av dører og vindu (tiltak 4) gir positivt nåverdi. Etterisolering av gulv er ikke beregnet å kunne tjenes inn over tid og bytte til lavenergivindu (U-verdi 0,8) har en inntjeningstid på 68,2 år.

Nåverdi for tiltak 8, balansert ventilasjon uten forbedring av lekkasjetall er forbedret fra tidligere, men er beregnet å tjenes inn over 38,3 år. Til sammenligning vil tiltaket sammen med forbedret lekkasjetall være 7,2 år. Nåverdien ved å gjennomføre omfattende tiltak, deriblant forbedret lekkasjetall, er 133223 kr. Beregnet inntjeningstid er 17,9 år.

Tabell 39: Beregning av lønnsomhet med en dobling av fjernvarmepris (fra 0,45 til 090 kr/kWh)

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	14991 kr	1.17	22.8 år	5.3 %
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	-10691 kr	0.87	40.3 år	2.9 %
Tiltak 3: Etterisolering av gulv (fra 200 til 400 mm)	-25330 kr	0.48	1000.0 år	-1.2 %
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	24100 kr	1.32	18.9 år	6.5 %
Tiltak 5: Bytte vindu og dører (U-verdi 0,8)	-42377 kr	0.74	68.2 år	1.7 %
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	10627 kr	10627.10	0.0 år	100.0 %
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	79842 kr	79841.54	0.0 år	100.0 %
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	-7066 kr	0.89	38.3 år	3.0 %
Tiltak 9: Balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall	117169 kr	2.82	7.2 år	16.1 %
Tiltak: Flere tiltak (1,2,3,4,6,7,8)	133223 kr	1.37	17.9 år	6.8 %

4.9.4 Vurdering av lønnsomhet ved reduksjon av investeringskostnad

Ved å legge til grunn støtteordninger vil investeringskostnaden for tiltak reduseres. I Tabell 40 er det antatt 40 % (statlig) støtte og investeringskostnadene i denne beregningen utgjør 60 % av de som er lagt til grunn for øvrig. Energiprisen er satt etter dagens satser (0,45 kr/kWh). Etterisolering av gulv, bytte til vindu og dører med lavenerginivå (tiltak 5) og balansert ventilasjon uten forbedring av lekkasjetall er ikke beregnet å bli tilbakebetalt. Øvrige tiltak får en kortere inntjeningstid hvor bytte av vindu til U-verdi 1,2 er et enkelttiltak som er beregnet å tjenes inn på under 30 år.

Tabell 40: Beregning av lønnsomhet ved støtte (40 % av investeringskostnad)

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	-1104 kr	0.98	31.2 år	3.8 %
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	-13442 kr	0.73	75.3 år	1.6 %
Tiltak 3: Etterisolering av gulv (fra 200 til 400 mm)	-17501 kr	0.40	1000.0 år	-2.2 %
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	4864 kr	1.11	24.9 år	4.8 %
Tiltak 5: Bytte vindu og dører (U-verdi 0,8)	-37330 kr	0.62	1000.0 år	0.5 %
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	5342 kr	5341.95	0.0 år	100.0 %
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	40141 kr	40141.41	0.0 år	100.0 %
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	-37750 kr	0.02	1000.0 år	-14.9 %
Tiltak 9: Balansert ventilasjon og forbedret lekkasjetall	24718 kr	1.64	14.0 år	8.7 %
Tiltak: Flere tiltak (1,2,3,4,6,7,8)	4202 kr	1.02	28.9 år	4.1 %

4.9.5 Vurdering av lønnsomhet ved et utvalg av tiltak

På bakgrunn av allerede presenterte resultater er det enkelte tiltak som er forventet å ha bedre effekt enn andre. Tiltak med etterisolering av gulv er ikke beregnet å kunne tjenes inn, selv ved en dobling av energipriser eller ved 40 % reduksjon av investeringskostnader. Dette tiltaket er ikke tatt med i videre beregninger. Det er også valgt å ikke benytte lavenergiglass og – dører, da tiltaket så langt er beregnet å ha høy inntjeningstid sett i forhold til tiltak 4. Tabell 41 viser resultat for et utvalg tiltak og redusert investeringskostnad (40 % reduksjon). Nåverdien etter 30 år er beregnet til å bli 20 995 kr og ha inntjeningstid på 24,8 år.

Tabell 41: Beregning av lønnsomhet ved utvalgte tiltak og støtte

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	-1104 kr	0.98	31.2 år	3.8 %
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	-13442 kr	0.73	75.3 år	1.6 %
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	4864 kr	1.11	24.9 år	4.8 %
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	5342 kr	5341.95	0.0 år	100.0 %
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	40141 kr	40141.41	0.0 år	100.0 %
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	-37750 kr	0.02	1000.0 år	-14.9 %
Tiltak: Flere tiltak (1,2,4,6,7,8)	20995 kr	1.11	24.8 år	4.8 %

Beregningen i tabell 41 viser et utvalg energitiltak uten redusert investeringskostnad men med doblet fjernvarmepris. Nåverdien er beregnet til å bli 157 203 kr etter 30 år og investeringer er beregnet å være inntjent etter 15,7 år.

Tabell 42: Beregning av lønnsomhet ved et utvalg tiltak og dobling av energipris (fjernvarme)

Tiltak	Økonomiske verdier			
	Nåverdi	Nåverdikvote	Inntjeningstid	Internrente
Tiltak 1: Etterisolering av yttervegger (fra 150 til 350 mm)	14991 kr	1.17	22.8 år	5.3 %
Tiltak 2: Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	-10691 kr	0.87	40.3 år	2.9 %
Tiltak 4: Bytte vindu og dører (U-verdi 1,2)	24100 kr	1.32	18.9 år	6.5 %
Tiltak 6: Forbedret kuldebroverdi (fra 0,05 til 0,03)	10627 kr	10627.10	0.0 år	100.0 %
Tiltak 7: Forbedret lekkasjetall (2,5 - TEK10)	79842 kr	79841.54	0.0 år	100.0 %
Tiltak 8: Balansert ventilasjon	-7066 kr	0.89	38.3 år	3.0 %
Tiltak: Flere tiltak (1,2,4,6,7,8)	157203 kr	1.51	15.7 år	7.7 %

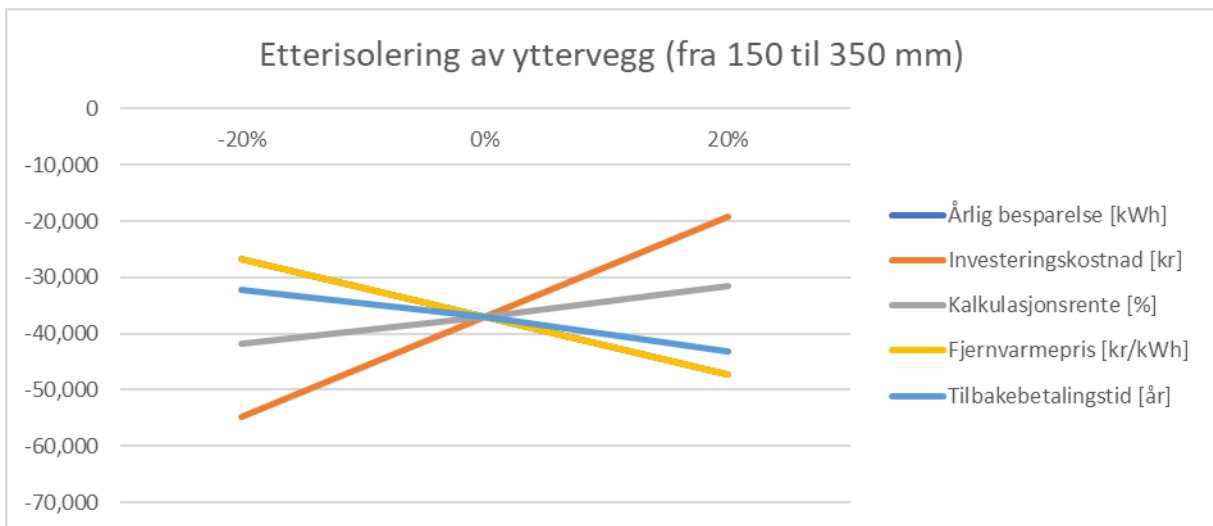
4.9.6 Sensitivitetsanalyser/følsomhetsanalyser

Det er knyttet usikkerhet til lønnsomhetsberegningen. Det er av den grunn utført følsomhetsanalyser for å vurdere sensitiviteten ved endring av ulike forhold. I dette kapittelet vurderes prosentvis endring i faktorer som inngår i nåverdiberegningene. Analysene tar for seg de enkelte energitiltak og deres beregnede lønnsomhet og utslag ved en endring i +/- 20 % av opprinnelige verdi. Sensitiviteten til følgende punkter er vurdert:

- Endring i årlig energibesparelse etter utført tiltak
- Endring i investeringskostnaden ved de ulike tiltak
- Endring i kalkulasjonsrente/diskonteringsrente
- Endring i energipris for fjernvarme.
- Endring i levetid/tilbakebetalingstid

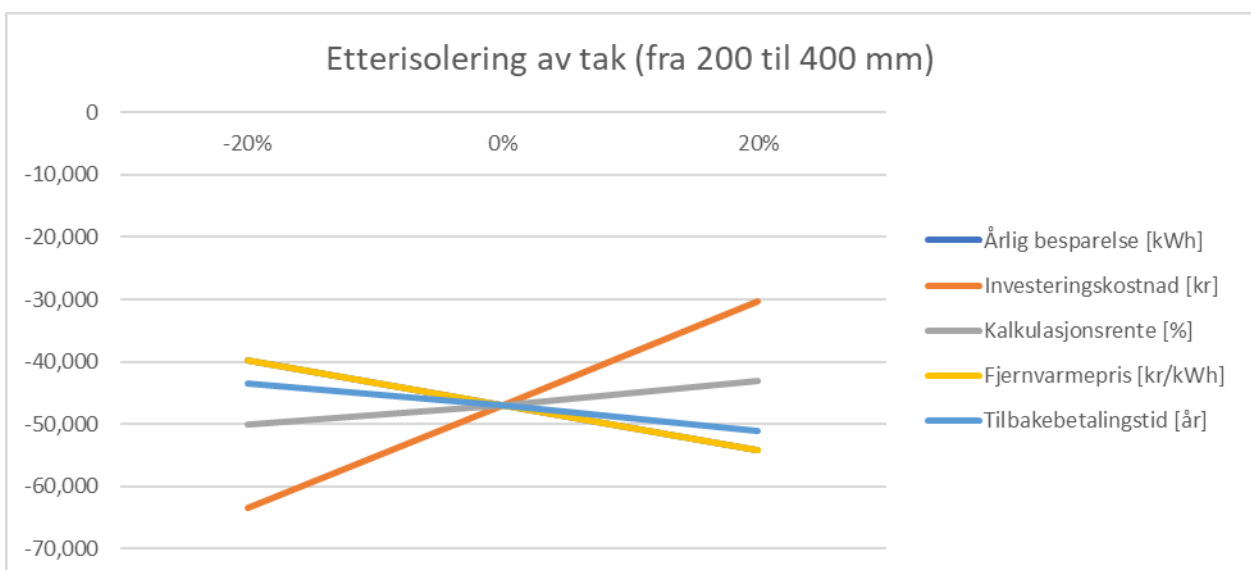
I dette kapittelet kommenteres følsomheten og utslagene for nåverdiene etter avlesning i grafene. Beregningene som ligger til grunn for grafene framkommer i vedlegg 9.

Ved etterisolering av vegger er lønnsomheten mest følsom ovenfor en endring i investeringskostnad. Ved avlesning varierer nåverdien ved tiltaket mellom ca. negativ 19 000 og negativ 55 000 kr. Sekundært er lønnsomheten følsom for endring i fjernvarmeprisen og spart energi. Disse er like mye utslagsgivende og kun fjernvarmeprisen er visualisert i figur 27. Minst utslagsgivende er endring i kalkulasjonsrente og fjernvarmeprisen. Av figur 27 ser vi at sensitiviteten er omtrent like stor for disse.



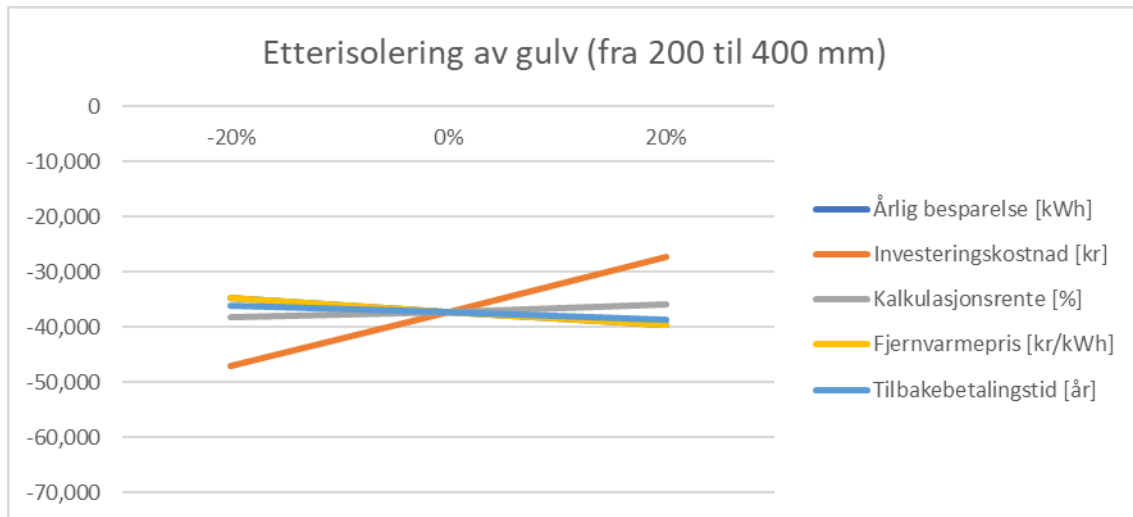
Figur 27: Sensitivitet ved etterisolering av yttervegger

Ved etterisolering av tak er nåverdien mest følsom for en endring i investeringskostnad. Ved avlesning spriker nåverdien fra mellom negativ 30 000 til negativ 63 000 kr (figur 28). Nest størst utslag er endring i fjernvarmepris og årlig redusert energibehov. Minst og omtrent like utslagsgivende er endring i tilbakebetalingstid og kalkulasjonsrente.



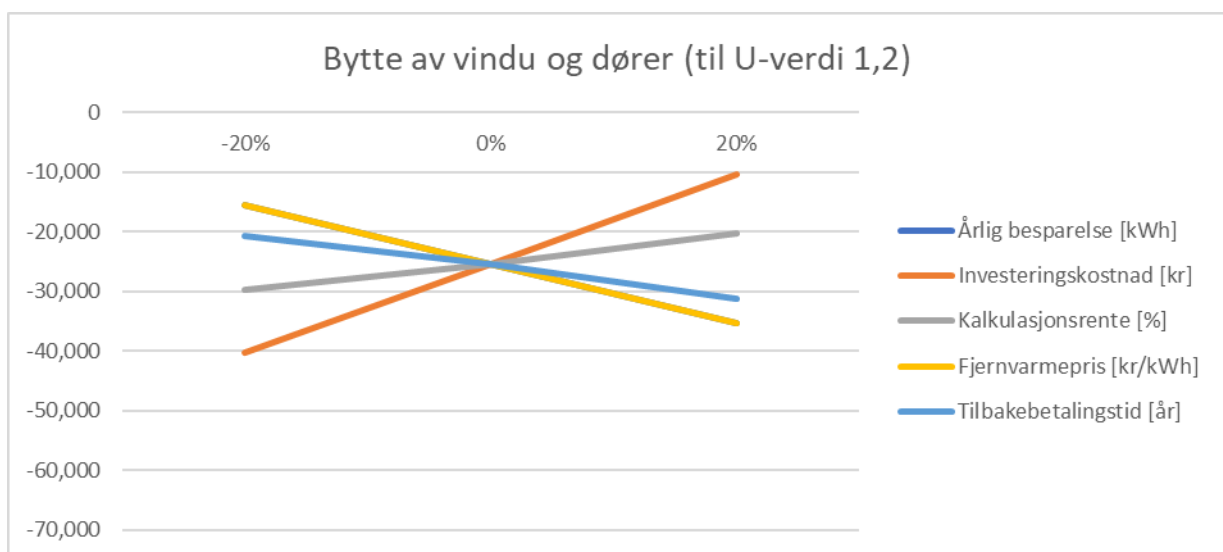
Figur 28: Sensitivitet ved etterisolering av tak

For tiltaket med etterisolering av gulv er nåverdien mest følsom ved endring i investeringskostnad. Ved avlesning er nåverdien fra negativ 27 000 til negativ 47 000 og gir en differanse på om lag 20 000 kr (figur 29). Endringer i fjernvarmepris, spart energi, kalkulasjonsrente og levetid er i mindre grad følsom. Endring for disse faktorene vil gir en differanse på under 5000 kr respektivt.



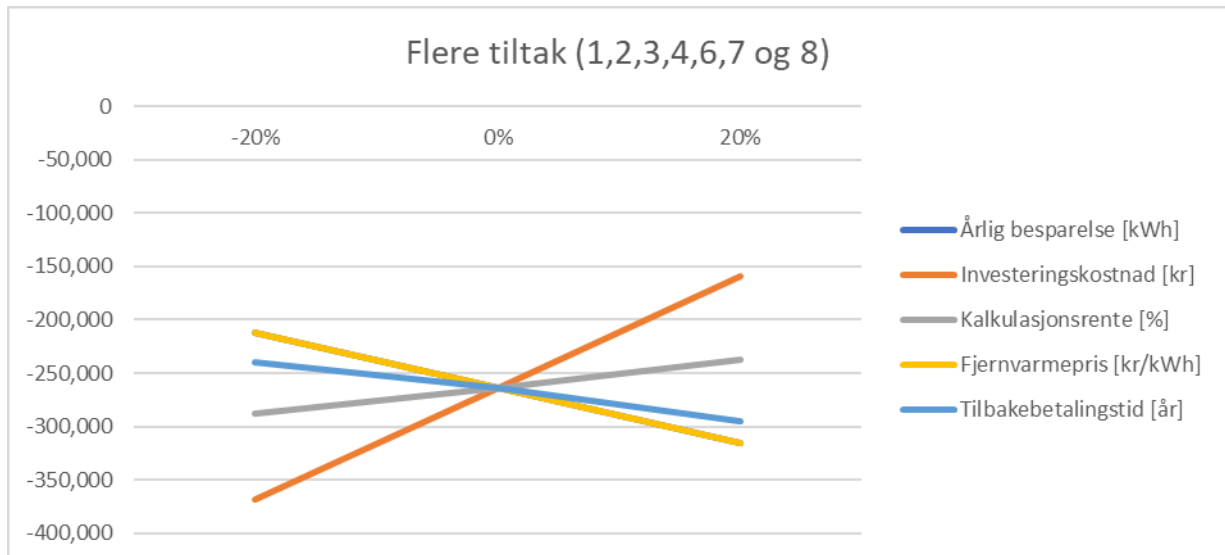
Figur 29: Sensitivitet ved etterisolering av gulv

Nåverdien for oppgradering av vindu og dører til U-verdi 1,2 er mest følsom for endringer i investeringskostnad. Ved avlesning strekker nåverdien seg fra rundt -10 000 til -40 000 kr og gir en differanse på 30 000 kr (figur 30). Sekundært gir endring i energipris og spart energi en differanse på omtrent 20 000 kr.



Figur 30: Sensitivitet ved bytte av vindu og dører

Ved å vurdere mot et utvalg av tiltak (1, 2, 3, 4, 6, 7 og 8) sammen er nåverdien mest følsom for endring i investeringskostnad (figur 31). Sekundært er nåverdien følsom for endring i spart energi og fjernvarmepris.



Figur 31: Sensitivitet ved flere tiltak samtidig

5 Diskusjon

5.1 Byggeskikken i Longyearbyen

Svalbard har historisk sett vært et samfunn preget av drift av gruvevirksomhet. Som beskrevet i kapittel 4.1.1 har arbeidsgiver hatt forpliktelser ovenfor sine arbeidere og ulike samfunnsoppgaver. Store Norske var som den største arbeidsgiveren i Longyearbyen ansvarlig for forvaltning og drift av ulik infrastruktur (Bjørnsen og Johansen, 2012). I 2002 ble Longyearbyen lokalstyre opprettet og en av hensiktene var å forvalte og utvikle lokalsamfunnet på en miljøforsvarlig og bærekraftig måte. Lokalstyret har overtatt mange av samfunnsoppgavene som tidligere tilfalt arbeidsgivere.

Som belyst i kapittel 4.1.2 har det lenge vært utfordrende å finne egnede områder for boligutbygging på grunn av skredfarlig terreng rundt Longyearbyen. Utbygging har tradisjonelt sett vært i nær tilknytning til gruvene men fra 60-tallet gjorde veier og kjøretøy det praktisk å etablere et sentrumsområde. I planområdet til Longyearbyen i dag er det begrenset med ledige områder regulert til boligformål. I følge Bjørnsen og Johansen (2012) setter den eksisterende bygningsmassen begrensinger for videre vekst. Dersom det ikke reguleres nye områder til boligformål vil man være avhengig av å utnytte de områdene som allerede brukes. I lys av dette vil forvaltning av eksisterende bygningsmasse kunne påvirke videre vekst og utvikling i Longyearbyen. Forhold som å rive eksisterende infrastruktur for å få bedre arealutnyttelse kan bli aktuelt. I overgangen fra gruvesamfunn til familiesamfunn ser man også at behovet for andre boligtyper er endret (Bjørnsen og Johansen, 2012). Som belyst i kapittel 4.1.2 var det vanlig med små hybler som en-to gruvearbeidere delte og funksjonærer hadde gjerne større boliger for seg og sin familie. I overgangen fra et gruvesamfunn til et familiesamfunn ser man i større grad behov for boenheter med flere soverom.

Bygge- og anleggsvirksomheten i Longyearbyen har historisk sett vært lite regulert. I 2003 ble Byggeforskriften for Longyearbyen innført for å sikre god byggeskikk. Forskriften er i dag basert på Byggeteknisk forskrift fra fastland (TEK10) med lokale tilpasninger. Som belyst i 4.1.3 tilsier erfaringer av Gregersen (1986) og Instanes og Rongved (2017) at geotekniske undersøkelser og prosjektering tradisjonelt sett har vært mangelfull rundt Longyearbyen. Det påpekes i veiledningen til Byggeforskriften for Longyearbyen at grunnlag for geoteknisk prosjektering i permafrost ikke er beskrevet (Byggeforskrift for Longyearbyen, 2016). På bakgrunn av store ødeleggelse under andre verdenskrig er det meste av bygningsmassen fra etter 1946. Etter krigen ble det gjort utbygging i områdene Nybyen og oppført og bolighus ved

Haugen. Fra tabell 4 i kapittel 4.1.1 ser vi at store deler av utbyggingen av dagens bebyggelse i Longyearbyen er oppført før forskriften trådte i kraft. I lys av dette er det få garantier for at tidligere utbygginger holdt datidens standarder og kvalitet. Typisk for levetid for bygninger på permafrost er ca. 30-50 år (Rongved, Eraker og Instanes, 2017) og deler av dagens bygningsmasse er aldrende. Det vurderes at normal levetid er overskredet og belyses i kapittel i 4.1.3. Det er også påpekt av Rongved, Eraker og Instanes (2017) at en del av bygningsmassen heller ikke var tiltenkt lang levetid på oppføringstidspunktet. Når man legger til at mye av bebyggelsen ble satt opp i forbindelse med gruvevirksomhet, så kan det forsvare at bygg ble satt opp med fokus på midlertidighet og ikke maksimal levetid. På bakgrunn av overnevnte faktorer som lite regulert byggevirksomhet, mangelfulle forundersøkelser og oppføring med fokus på midlertidighet kan dette tyde på at levetiden for eldre bygg i Longyearbyen ikke er beregnet for å ha lang levetid. Dette kan også være underliggende faktorer for fundamentproblematikken.

Deler av byggegrunnen på Svalbard er permanent frossen og skiller seg fra de fleste områder på fastland. Som beskrevet i teorikapittelet fører sesongvariasjoner i temperatur til at deler av det øverste laget av grunnen er utsatt for årlige tine- og frysesykluser. Egne byggemetoder og fundamenteringsteknikker er utviklet for å være mer tilpasset slike forhold. Tross dette er det som beskrevet i kapittel 4.2, er fundamentproblematikk utbredt i Longyearbyen. Resultatet etter tilstandsrapportene presentert i 4.2.3 finner at nært halvparten av de studerte boligene hadde alvorlig svekkelser. Det er funnet store råteskader og dårlig avstivning i fundamentene til flere av boligene i Longyearbyen. I kapittel 4.1.2 vurderes også mangelfull vedlikehold og menneskelig påvirkning som årsak for observerte setningsskader (Rongved, Eraker og Instanes, 2017). Det er i Longyearbyen utbredt å ha skjørt rundt peler i mellom grunn og ytterveggkledning. Som beskrevet i kapittel 4.1.3 vil bruk av skjørt kunne minske snøoppsamling under og rundt byggene. Fra kapittel 2.1.1 har vi at akkumulering av snø kan redusere nedkjøling av grunn ved å ha en isolerende effekt mot nedkjøling fra kald luft. Hensikten med å ha åpninger i skjørtet er å redusere oppvarming av grunnen ved å sørge for god ventilasjon. Da vil varme fra konstruksjonen luftes ut og en tillater samtidig god tilførsel av kald luft om vinteren. Fra kapittel 4.2.1 er funnet at deler av bebyggelsen kan ha ugunstig tett skjørt under husene. Dette påpekes som en av flere mulige årsaker til observerte setningsskader på bygg i Longyearbyen.

Bruk av pelefundamenter er den mest utbredte fundamenteringsmetoden i Longyearbyen. Tradisjonelt sett satt man trepeler typisk ned til 6 meter under bakken. Slike korte trepeler som belyst i kapittel 4.2.1 utsatt for frostjekking. Etter 1980 gjorde anleggsmaskiner det mulig å pelefundamentere ned til 10-12 meter og har vært mye brukt i Longyearbyen siden. I dag er de

fleste av boligbyggene i Longyearbyen satt på trepeler (Rongved, Eraker og Instanes, 2017). Som belyst i kapittel 4.1.3 er det i dag mulig å pele med lengder over 20 meter men løsningen er ikke veldig utbredt. Lange stålpeler kan ha lang bestillingstid og høyere kostnader relatert til frakt og fundamentering er påpekt som noen ugunstige forhold (Rongved *et al.*, 2018). Sålefundamentering har vært en relativ vanlig fundamenteringsmetode. Det er en metode som har vist seg å være sårbar spesielt ovenfor overvannshåndtering. Erfaring etter et byggeprosjekt som er presentert i kapittel 4.2.1 påpekte at manglende drenering og dårlig overvannshåndtering førte til omfattende setningsskader.

Gunstige forhold for soppvekst sammen med utstrakt bruk av trepeler har ført til omfattende råteproblematikk i Longyearbyen. Råte i trepeler kan føre til reduksjon av bæreevne og funn fra tilstandsanalyser er presentert i kapittel 4.2.3. der det funnet flere tilfeller av peler med svært dårlig tilstandsgrad.

5.2 Klimapåkjenning

Årsmiddeltemperaturen ved Svalbard Lufthavn for perioden 1971-2000 er målt til $-5,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ og som presentert i kapittel 2.1.2 kan temperaturen i neste århundre ventes å øke. Mot 2100 kan ekstreme klimascenario føre til at temperaturen i vintermånedene vil ligge i nærheten av 0 grader. Det er forventet en reduksjon av permafrost og tykkelsen på det aktive laget er forventet å øke det neste århundre. Beregninger som er presentert i kapittel 4.2.1 anslår at økningen kan være i størrelsesorden 1,5-2,5 meter fram mot år 2100. Permafrost med temperatur under eller nært null grader er utsatt for sterkt nedsatt bæreevne og større deformasjoner. 2.2.1 belyses det at styrkeegenskapene kan reduseres drastisk selv om temperaturen er under $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Som presentert i kapittel 2.2.1 er det funnet at deler av grunnen i Longyearbyen har høyt innhold av is og salinitet og er særlig utsatt ved oppvarming. Det er ventet at reduksjon av permafrost kan forårsake fundamentproblematikken. Særlig konstruksjoner fundamentert nært overflaten med sålefundamenter og korte trepeler kan være svært sårbar (Instanes og Rongved, 2017). I kapittel 4.2.1 er beregninger av setningshastigheter for fundamenter presentert. Setningen for et grunt fundament fra 1986 er beregnet å være utsatt for 5 cm setninger over 30 år. For et tilsvarende fundament fra 2017 er det beregnet å bli utsatt for 26 cm setninger fram mot 2045. Rapporten påpeker at det i praksis kan medføre til brudd i konstruksjon. Tilsvarende beregning for en 20 meter dyp pel fundamentert i 1986 viser maksimal deformasjon over 30 år. Rapporten beregner for at en tilsvarende pel fra 2017 ikke overskride 5 cm over 30 år må nyttelasten reduseres fra dagens lastsituasjon. Rapporten anslår at en 20 meter dyp pel vil kunne bære tre ganger så mye som en 8 meter dyp pel med samme betingelser. Resultatene illustrerer utfordringer knyttet til forlengelse av levetid til eksisterende bygg.

Som allerede påpekt framkommer det at praksisen rundt undersøkelser av grunnforhold ved byggeprosjekter har vært mangelfull før rundt 1980. På bakgrunn av dette kan eldre fundamenter som ikke har hatt setningsskader potensielt kunne få fundamentproblemer ved videre opptining av permafrost. Nye undersøkelser av grunnen kan si noe om hvilke fundamenteringsmetoder som er gunstig og eventuelle tiltak (Instanes og Rongved, 2017). Kartlegging av faktiske forhold som forekomst av is og saltinnhold vil si noe om hvordan grunnen vil komme til å oppføre seg i framtiden. Nye fundamenter må dimensjoneres for å stå ut levetiden (Larsen, 2016; Instanes og Rongved, 2017). Særlig konstruksjoner som er fundamentert grunt må stå i permanent frossen grunn igjennom hele levetiden (Instanes og Rongved, 2017). Med andre ord må det dimensjoneres for at det aktive laget ikke tiner under fundamentene.

I Longyearbyen er trepeler brukt i stor utstrekning og det er observert at eldre hus gjerne har brukt uimpregnerte trepeler (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Det er forventet at en økning av lufttemperatur og nedbør i framtiden og kan føre til økt omfang av råteskader på konstruksjonsdeler av tre. Som belyst i kapittel 4.2.2 gir perioder med varme- og våte grunnforhold gunstige forhold for råteangrep på konstruksjonsdeler. Siden trematerialer i det aktive laget er særlig utsatt (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017) vil økt tykkelse av aktiv lag kunne medføre større råteutbredelse. Ved undersøkelser av omfang og råteutbredelse er det funnet at mikroklimaet rundt fundament kan påvirke lokale omfang av råteskader. Fra kapittel 4.2.2 har vi at det er observert tilfeller med større råteutbredelse i tilknytning grunn som er mer eksponering av sollys. På bakgrunn av dette vil bruken av tette skjørt rundt peler bidra til mindre eksponering mot soloppvarming og kunne begrense omfanget av råteskader. Men det vil fortsatt være viktig å følge prinsippene om god ventilering under byggene sett i sammenheng med det som allerede er drøftet.

Typisk levetid for uimpregnerte trepeler er 30 år og som belyst tidligere er den forventede levetiden i mange tilfeller overskredet. På bakgrunn av dette kan behovet for oppfølging og jevnlig vurdering av tilsand kan bli mer aktuelt for deler av den eksisterende bygningsmassen. Veiledning av Sinitsyn, Ringheim og Martinsen (2017) gir grunnlag for innledende tilstandsvurdering av eksisterende trepeler. Videre kan det være aktuelt å få inn fagfolk for tilstandsvurdering etter NS3424 (Standard Norge, 2013), og samtidig vurdere bæreevne og lastsituasjon. Råteskader utvikles hovedsakelig inne i materialene og kan kreve grundig undersøkelse for å vurdere omfanget. Skadede konstruksjonsdeler kan ha behov for utskiftning og tiltak for å stoppe råteutbredelse (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Som beskrevet i kapittel 4.1.2 dette være utfordrende for bygninger med vernestatus og før en gjør omfattende tiltak bør en ha god forståelse av skadene (Mattsson, 2017). Tiltak kan være refundamentering

i form av forsterkning av eksisterende fundament eller nye fundamenter. Framtidig bruk av impregnerte trepeler framfor ubehandlet vil være gunstig da de er mer råtebestandig. Et tiltak som omtales er impregnering av ubehandlede konstruksjonsdeler (Sinitsyn, Ringheim og Martinsen, 2017). Det er funnet refundamenteringsteknikker, der deler av råteskadet pel byttes ut. Det er arbeidet med oppgaven ikke funnet nok grunnlag og erfaring om impregnering av ubehandlede peler i praksis. Dersom materialer ikke lett lar seg impregnere kan det tenkes å skape utfordringer. For eksempel dersom kun yteveden lar seg impregnere, vil sprekkdannelser kunne eksponere innsiden for sopp- og råtedannelse. Valg av stålpeler kan også bli mer utbredt i framtiden da de ikke er utsatt for råteskader. Det er funnet nok grunnlag for å si noe om praktiske utfordringer ved bruk av stålpeler. En prinsipiell ulempe med stålpeler er har bedre varmeledningsegenskaper enn mange andre materialer og kan bidra til oppvarming av grunnen. Stålpeler kan på en annen side tilpasses bruk av aktiv kjøling (Rongved, Eraker og Instanes, 2017).

5.3 Skredfare

Bebyggelsen i Longyearbyen har som allerede belyst i 4.1.1 og utdypet i 4.3 gjennom sin historie hatt store utfordringer med omliggende skredfarer. Etter en tidligere skredrapport av Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) ble det kartlagt at deler av bebyggelsen og kritisk infrastruktur lå innenfor skredsone med returperiode på 100 år. I 2017 gikk et skred fra Sukkertoppen og traff bebyggelsen i Lia og skredet gikk ut over det en forventet av et skred med returperiode på 1000 år. Den nyeste skredrapporten har utvidet utløpssonene for skred og omfanget av bebyggelse i skredfarlig område er større enn tidligere antatt (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2018b). I dag ser at faren for sørpeskred har endret seg på bakgrunn av perioder med store nedbørsmengder og plussgrader. Som det framkommer i kapittel 4.3.4 har risikoen vanligvis vært størst under snøsmelting om våren men kan i større grad forekomme om vinteren ved plutselige værslag. Bebyggelsen ved Haugen er sikret av aktive- og passive sikringstiltak som er beskrevet i 4.3.4. På bakgrunn av endret situasjonsbildet er det vurdert av Norges vassdrags- og energidirektorat (2018a) å ikke være optimal. Det anbefales ytterligere tiltak for å sikre bebyggelsen mot sørpeskred med høyere returperiode og som kan utløses på vinteren.

Forskriften stiller krav til plassering av nye byggverk i forhold til skredfare som framkommer fra tabell 6. Sikkerhetsklassene angir største årlige nominelle sannsynlighet for skred. Tillate byggverk i hver sone er avhengig av personopphold og eneboliger tillates normalt innen soner for 1000 års returperiode, hvor bygg med over 25 personer skal plasseres innen returperiode på maksimalt 5000 år. Oversikt fra Statistisk sentralbyrå (2017) som presentert i 4.3.3 angir at

småhus, rekkehus og hybelhus utgjør en stor andel av den totale bebyggelsen i Longyearbyen. Bygging i rekker framkommer også av figur 8 kapittel 4.1.2 og figur 15 i kapittel 4.3.3. I denne oppgaven er ikke antall beboere i husene kartlagt, men hus bygd i kjede og hybelhus har gjerne flere beboere enn eneboliger og skal etter forskriften plasseres i soner med lav skredfare. Endringer i skredfaren har ført til at boliger som tidligere lå innen forskriftens krav nå ligger innen sonen. Utredning av sikringstiltak Longyearbyen er utført, men det er i dag ikke nok grunnlag for å si hvilke tiltak som vil bli utført og ansvarsforholdene er ikke helt avklart (4.3.1). En løsning for å sikre infrastruktur er relokalisering til områder som er mindre utsatt for skred. Et slikt tiltak kan også by på utfordring ettersom det vil kunne oppstå behov for midlertidige boliger for berørte innbyggere. Ettersom flere boligenheter er fjernet etter skredhendelser har også tilbud av tilgjengelige boliger blitt redusert. I tillegg som allerede drøftet i kapittelet er mye av dagens områder regulert til boligformål bebygd og krever frigjøring av areal.

5.4 utfordringer rundt klimatilpasning

Tilpasning av både nye- og eksisterende bygninger kan redusere behovet for vedlikehold og utbedringer igjennom levetiden (Hauge *et al.*, 2017b). utfordringer rundt tilpasning til klimaendringer i Norge er belyst i kapittel 2.5.1. For en organisasjon kan det være ressurskrevende å drive klimatilpasning kan nedprioriteres til fordel for andre fokusområder. Det kan oppleves som tidkrevende å tilegne seg ny kunnskap, kartlegge og potensielt kostbart å iverksette tiltak. Hauge *et al.* (2017b) beskriver også psykologiske barrierer mot klimatilpasning. Der en kan se tendenser til at mennesker undervurderer problemer som ligger langt fram i tid. Som påpekt i kapittel 2.5.1 er det først etter en inntruffet ulykke eller hendelser at vi reagerer og tiltak iverksettes. En kan trekke likheter med denne tankegangen når en ser på håndtering av skredsikkerheten i Longyearbyen. Sørpeskredet som er omtalt i kapittel 4.3.3 traff på 50-tallet deler av bebyggelsen ved Haugen resulterte blant annet i etablering av en sikringsvoll. I senere tid har snøskred rammet Lia og er omtalt i 4.3.2 ført til at ulike tiltak iverksettes.

For nybygging i Norge etableres stadig retningslinjer for klimatilpasning men for tilpasning av eksisterende infrastruktur etterspørres det egne retningslinjer. Som belyst i kapittel 4.3.1 kan det oppstå kompliserende ansvarsforhold i områder med eksisterende bebyggelse dersom skredfaren endres. Som beskrevet i kapittel 2.5.1 er det utgitt en stor andel veiledninger for klimatilpasning i Norge. Funn fra studiet peker på at mange av disse er generaliserte og for brukere oppleves som overveldende å sette seg inn i. For praktiske tilpasning bør veiledninger være tilpasset spesifikke brukergrupper slik at de gjøres lett tilgjengelig. Det legges fram i 4.1.4 at fundamentering i permafrost i liten grad er omtalt i forskriften eller Norsk Standard (Instanes

og Rongved, 2017; Byggeforskrift for Longyearbyen, 2016). Til grunn for geoteknisk prosjektering i Norge brukes Eurokoden men den beskriver ikke forhold med permanent frossen grunn. Veileder til Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) henviser blant annet til lærebok av på flere hundre sider. Det er ikke nok grunnlag for å si noe om hvordan prosjektering i dag bærer preg av dette, men resultatene antyder at det er behov for en veiledning tilpasset forholdene i Longyearbyen. Som introdusert i kapittel 4.2.2 er det utarbeidet en egen veiledning på bakgrunn av fundamentproblematikken i Longyearbyen. Det er en veiledning for innledende tilstandsvurdering av fundamenter av trepeler. Veiledningen er publisert på internett og i tillegg er formål og målgruppe spesifisert innledningsvis. Dette bidrar til å gjøre veiledningen lett tilgjengelig for ønsket målgruppe og legger til rette for enklere klimatilpasning.

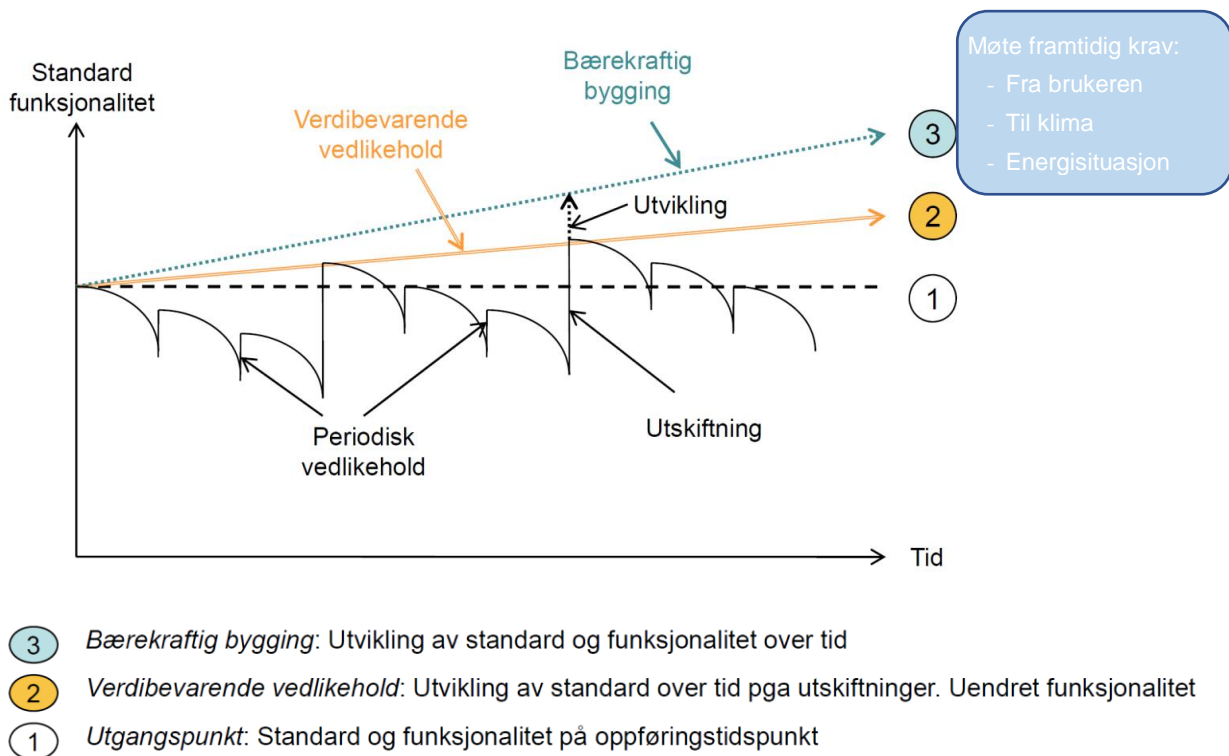
5.5 Vedlikehold og utvikling av bygg

Som allerede påpekt ser en nye krav i tråd med samfunnsutviklingen. I Longyearbyen bor det flere familier enn tidligere og etterspørselen for boliger tilpasset dette har økt. Det bør derfor vurderes om hybler tilpasset færre personer vil møte et framtidig brukerbehov. Som allerede drøftet tidligere i kapitlet er dagens fundamentproblematikk og utfordringer rundt skredfare forespeilet å bli påvirket av klima. Det medfører blant annet et behov for å tilpasse (skredsikre) boligfeltene for å møte dagens og framtidens skredfare. Fundamenter må også være tilpasset klima gjennom levetiden. Som påpekt i 2.4.1 er fundamenter normalt sett dimensjonert for å vare ut levetiden, og for bygninger på Svalbard må det vurderes om kostnader for eventuelle tiltak vil være overkommelig.

Som beskrevet i kapittel 4.4.1 er energiproduksjonen basert på kullforbrenning fører til klimautslipp. Som nevnt innledningsvis i denne oppgaven er et overordnet mål med energieffektivisering å redusere klimagassutslipp og politiske føringer kan stille nye krav til tilpasning av bygningsmassen. I tillegg er også energisituasjon utfordrende siden dagens fjernvarmedistribusjon har begrenset kapasitet og det er usikkerhet knyttet til om dagens løsning vil møte et framtidig behov (Innst. 88 S, (2016-2017)). Bygninger med stort energibehov kan risikere å ikke få tilstrekkelig mengde energi levert. Dette gjør at energisituasjonen gir et aspekt rundt energieffektivisering som ikke bare er rent privatøkonomisk. Framtidig energikilde er ikke avklart (Innst. 88 S, (2016-2017); Prop. 129 S, (2016–2017)) og framtidens løsninger kan være basert på andre metoder. Et av hovedvirkemidlene for å styrke forsyningssikkerheten er diversifisering av energikildene og kan innebære å gjøre seg mindre sårbar ved å gjøre seg mindre avhengig av en kilde. Dersom framtidig oppvarmingskilde ikke basert på fjernvarme bør eksisterende bygg og infrastruktur kunne tilpasse seg endringer.

Forvaltningsstrategier for eksisterende bygg bør gjøres i lys av byggets egnethet og evne til å tilpasse seg, som vist i figur 7. En bør legge vurderinger av byggets egnethet og tilpasningsdyktighet til grunn for vedlikeholdsinnnsatsen og utviklingstiltak (Valen *et al.*, 2011). Et bygg med god tilpasningsdyktighet kan ved hjelp av forholdsvis enkle tiltak kunne tilpasse seg nye krav (Bjørberg, 2017). Der en ser at bygget ikke er i stand til å tilpasse seg brukerbehov, klima eller energisituasjon kan det vurderes om innsatsen skal reduseres eller minimeres. Det framkommer av resultatet at en andel av bygningene i Longyearbyen er fredet og kan redusere tilpasningsdyktigheten for bygget.

Som også beskrevet i kapittel 2.4 bør vedlikeholds- og utviklingstiltak ses i sammenheng (Valen *et al.*, 2011; Bjørberg, 2017). Dersom en ser at bygget ikke er egnet til framtidig bruk, men kan tilpasses, bør vedlikehold og ombygging planlegges og utføres sammen. Et godt eksempel når utførelsen bør gjøres sammen framkommer i kapittel 4.7, der påpekes det at energitiltak blir mer lønnsom i sammenheng med andre planlagte utskiftninger. Figur 32 illustrerer utvikling av standarden av et bygg igjennom byggets levetid. Sett i lys av tilpasningsbehovet som allerede er drøftet i dette kapittelet kan avstanden fra utgangspunktet (1) opp til dagens byggestandard (2) bli større. I tillegg kan nye krav fra for eksempel brukeren, klima og energisituasjon bidra til å øke avstanden opp til bærekraftig bygging (3).



Figur 32: Utvikling av standarden til et bygg over tid sett i sammenheng med vedlikehold og utvikling (Bjørberg, 2017)

5.6 Energiltak

5.6.1 Energiforbruk

Av kapittel 4.4.2 framkommer det at energibruket til oppvarming er relativt høyt i Longyearbyen og fjernvarmesentralen anslår at husholdninger i snitt bruker 325 kWh/m². Fra kapittel 4.4.2 er det funnet tilfeller i Longyearbyen der bolig har forbruk til oppvarming på opptil 658 kWh/m². Målingen viser nesten det dobbelte av gjennomsnittet og kan indikerer store lokale forskjeller energiforbruk. Longyearbyen lokalstyre (2012c) forklarer at en andel av det generelt høye forbruket skyldes et kaldere klima og legger til grunn at andre forhold også spiller inn. Lavenergiutvalget (2009) påpeker og beskrevet i kapittel 2.5.2, vil effektive løsninger ofte krever at tekniske systemer kjører samkjørt. Men fra kapittel 5.3 viser undersøkelser fra Longyearbyen viser til observasjoner av det motsatte. Det legges til grunn at en av årsakene bak tilfeller av høyt energibruk i Longyearbyen skyldes at oppvarming – og kjølesystemer jobber mot hverandre og medfører et unødvendig høyt forbruk til oppvarming og kjøling. Dette indikerer potensial for energieffektivisering som går på forbedring av systemkjøring.

Fra kapittel 2.5.2 viser studier av energiforbruk (utenlands) til store forskjeller i energibruk til oppvarming hos brukergrupper. Det er sammenlignet brukere som bor i ulike boliger men som har nærliggende teoretisk energibehov. I følge Klinski *et al.* (2012) var det prosentvis størst forskjell mellom brukere i hus med passivhusnivå, men utgjorde liten differanse på det faktiske forbruket. Hus med lavere energistandard hadde prosentvis lavere forskjell mellom brukere men i absolutt forbruk var differansen stor. Studiet indikerer at hus med høyere energistandard er mer robust mot brukersforskjeller. Det er lite grunnlag for å si noe om bruksvaner og forbruksmønsteret til husholdninger i Longyearbyen da disse ikke er kartlagt (Longyearbyen lokalstyre, 2012c). For eldre boliger i Longyearbyen vil store målte forskjeller i forbruk til dels kunne forklares med ulike bruksvaner. Lavenergiutvalget (2009) påpeker at Norge generelt ligger bak mange andre europeiske land når det gjelder bevissthet rundt energibesparelser. En av årsakene som legges til grunn er generelt lave energikostnader i Norge målt opp mot mange andre land. Som påpekt i forrige kapittel har kostnader knyttet til fjernvarme tradisjonelt sett vært lav. Produksjonsprosessen har også ført til at fjernvarme anses som et biprodukt av elektrisitetsproduksjon (Longyearbyen lokalstyre, 2012c). Følgelig kan det skape holdninger om at energibesparelse i husholdningene ikke reduserer utslipp. Bevissthet rundt energibesparelse kan være utfordrende på grunn at energikostnader i mange tilfeller er lite synlig for brukeren, enten ved at energikostnader kan være inkludert i leieprisen, men ifølge (Longyearbyen lokalstyre, 2012c) er det også få som har installert fjernvarmemålere. For fjernvarmeabonnementer uten målere har energiprisene vært fakturert basert på bruksareal og ikke faktisk forbruk. Denne ordningen gir i praksis ikke redusert energikostnad ved en reell

besparelse i forbruk. Dagens gebyrregulativ gjør det mulig å betale for fjernvarme etter faktisk forbruk dersom en har installert måler og skape et insentiv for energieffektive løsninger.

5.6.2 Energibehov for referansehuset

Resultater fra 4.5.2 viser årlig energibehov for referansehuset på 411,2 kWh/m² (55 928 kWh/år). Av dette utgjør behovet for romoppvarming 345,3 kWh/m² (46960 kWh/år) og er beregnet å utgjøre 84 % av det totale energibehovet (figur 16). Sammen med en antagelse om en systemvirkningsgrad på energidistributionsnettet på 0,83 vil behov for levert energi være på 483kWh/m² (65631 kWh/år), hvorav 92,5 % av dette er i form av fjernvarme (figur 17). Resultatet viser at energibehovet er i nærheten av det gjennomsnittlige forbruket som anslås av fjernvarmesentralen fra 4.4.2 på 325 kWh/m². Dette indikerer at beregnet behov kan stemme overens med hva som er gjennomsnittlig forbruk. Fra figur 18 er energi til teknisk utstyr og varmtvann er antatt å være fordelt jevnt over året, men behovet for oppvarming er størst i de kalde månedene ettersom da er varmetapet størst (figur 19). Fra figur 20 har vi at varmetap fra yttervegg, vindu/dører og avtrekksventilasjon er ventet å utgjøre mellom 19-24 % av det totale tapet hver. Varmetap fra infiltrasjon og gjennom gulv er ventet å utgjøre rundt 7 % hver.

Resultatene fra kapittel 4.5.3 viser beregnet energibehov for et bygg av samme geometri men med byggeskikk fra på 1970-tallet. De er basert på normerte U-verdier fra Norsk Standard og er høyere enn hva som ligger til grunn for referansehuset. Det resulterer i et beregnet årlig oppvarmingsbehov på 582,5 kWh/m² (79 220 kWh) (tabell 13). Ved å sammenligne dette resultatet med referansehuset ser vi en økning i varmebehov på 237,2 kWh/m² og 257,5 kWh/m² høyere enn gjennomsnittlig forbruk i husholdningene (kapittel 4.4.2). Resultatene i 4.5.3 sammenlignet med stikkprøven som allerede er presentert (658 kWh/m²) av Longyearbyen lokalstyre (2012c), viser 75,5 kWh/m² lavere behov. Dette gir indikasjoner på høyt forbruk kan skyldes bygninger med høyt varmetap.

Forventet behov for levert energi for referansehuset i et normalisert klima framkommer av tabell 11 i kapittel 4.5.2 og utgjør 259 kWh/m² mot det som er presentert for lokalt klima (483 kWh/m²). Fra tabell 8 i kapittel 4.4.2 angir SINTEF Byggforsk (2004a) et beregnet energibehov for småhus med ulik plassering i Norge mellom 1960 og ca. år 2000. Av utvalget er det høyeste oppvarmingsbehovet på 318 kWh/m² og beregnet for et hus fra 1960 i Karasjok. Hus i Karasjok oppført etter 2000 er behovet mellom 137-171 kWh/m². For et småhus i Oslo fra 1960 har i snitt et behov på 192 kWh/m² og mellom 75-96 kWh/m² dersom det er oppført rundt år 2000. Basert på dette ser vi at det grovt sett er forventet halvering av energibehov av nyere hus sammenlignet med hus fra 1960 tallet for disse områdene. Vi ser også at behovet til referansehuset i Longyearbyen (345 kWh/m²), noe som er litt over behovet til et eldre småhus lokalisert Karasjok (318 kWh/m²). I tillegg ligger beregnet behov til referansehuset i Oslo-

klimateklima (259 kWh/m²), litt i overkant av hva som forventes for eldre hus i Oslo-området (192 kWh/m²). Referansehuset har som allerede nevnt et beregnet energibehov på 55 928 kWh/år (411,2 per kvadratmeter) og ulike energiltak skal drøftes videre i kapittelet. Fra tabell 37 i kapittel 4.9.2 er det beregnet å kunne oppnå en årlig (total) energibesparelse på 33 422 kWh/år etter å ha utført oppgitte energiltak. Det gir et årlig energibehov på 22 506 kWh og fordelt på bruksareal (136 m²) gir det 165 kWh/m², uten spesifisering oppvarmingsbehov. Vi vet fra figur 16 at fjernvarmebehovet generelt utgjør en stor andel. Basert på en forventning om halvering av energibehov kan resultatene indikere at dette også er oppnåelig for et småhus i Longyearbyen.

5.6.3 Vurdering av energiltak

Lavenergiutvalget (2009) påpeker at for mange i Norge utgjør energiutgifter en liten andel av totale kostnader. Det framkommer av kapittel 2.5.2 at lave energipriser påvirker tilbakebetalingstiden og begrenser lønnsomheten ved energieffektiviseringstiltak (Dokka *et al.*, 2009; Lavenergiutvalget, 2009). Fra kapittel 4.1.1 og 4.4.2 påpeker både Longyearbyen lokalstyre (2012c) og Bjørnsen og Johansen (2012) at energikostnader tradisjonelt sett har vært lav i Longyearbyen. Dette kan være en årsak til bruk av mindre energieffektive løsninger. Som allerede drøftet har byggevirksomheten på Longyearbyen tradisjonelt sett vært lite regulert og det kan ha medført at byggene er oppført med lavere standard og lite energieffektive løsninger. Dette kan, i tillegg til målinger av høyt forbruk, gi indikasjoner på at det generelt sett er stort potensial for energieffektivisering i Longyearbyen.

Det framkommer av kapittel 4.7 at ulike tiltak kan redusere energibehovet i eldre hus. Det er valgt å evaluere referansehuset etter tiltak vist i tabell 26 i kapittel 4.7.6 og med beskrivelse av utførelse som framkommer av vedlegg 8. Omfanget av etterisoleringstiltakene er valgt basert på dagens oppbygning (Longyearbyen lokalstyre, 2012b), forskriftens krav og praktisk utførelse. Tykkelsen på opprinnelig vegg er oppgitt å være 150 mm og er benyttet i beregningene, selv om det er usikkerhet knyttet til om det er opprinnelig veggtykkelse. Ulike oppbygninger for ny vegg ble lagt inn i SIMIEN og U-verdiene er vurdert opp mot forskriften. Det ble valgt å evaluere etterisolering av ytterkonstruksjon med 200 mm. Oppbygning av konstruksjonsvirke med to ganger 98 mm ble valgt for å redusere kuldebroer og det er erfaringstall tilgjengelig.

Som nevnt vil kravene til god ventilasjon øke i et veldig tett bygg. Simuleringer i denne oppgaven tar i stor grad utgangspunkt i normerte verdier og vil ikke egne seg for dimensjonering av ventilasjonsbehov. På bakgrunn av lite datagrunnlag om forbruksvaner og bruksmønster for beboere i Longyearbyen er det heller ikke sett på systemstyring av teknisk utstyr.

5.6.4 Vurdering av kostnadsestimater

Den totale kostnaden for de utvalgte tiltakene for referansehuset framkommer av tabell 36 og utgjør 359 470 kr. Fordelt på 136 m² BRA utgjør det 2643 kr/m². Fra kapittel 2.5.2 gir Dokka *et al.* (2009) et grovt anslag for kostnader for energitiltak i boliger som allerede rehabiliteres, på mellom 750-1 800 kr/m² avhengig av ambisjonsnivå. Sammenlignet med estimater for referansehuset ser vi at kostnadene er ventet å være en del høyere. Dette kan skyldes at ulike energitiltak som ligger til grunn, men gir også indikasjoner på større feil i estimatene. Estimerte kostnader for referansehuset er basert på 2014-utgaven av Kalkulasjonsnøkkelen og kan på grunn av alder avvike fra dagens priser. Lavenergiprogrammet (2015c) sine kostnadsestimater i kapittel 4.8.3 er basert på 2016-utgaven. Ved å sammenligne enkelttiltakene for de to ulike referansehusene viser de å være godt samstemte på flere områder. Kvadratmeterpris estimert for etterisoleringstiltakene viser seg å være forholdsvis like samt installeringskostnad for balansert ventilasjon. Sammenligning av bytte av vindu og dører viser seg å ha stor forskjell og skyldes ulikt ambisjonsnivå på tiltaket og dermed stor forskjell i enhetspriser. Etter å ha sammenlignet kostnader til enkelttiltak samt sett på årsaker til avvik, vurderes estimatene for referansehuset å være realistiske. Dette til tross for at større avvik ved sammenligning av totalkostnad per kvadratmeter.

Fra 2014-utgaven til Holte er oppgitte enhetspriser basert på kostnader til et bygg på 1000m² og ikke et småhus. I praksis betyr det at prisene vil være mer nøyaktig og anvendbar for prosjekter i cirka samme størrelse, som for eksempel der flere boliger oppgraderes samtidig. I Kalkulasjonsnøkkelen er det medregnet en rabatt mellom 5 – 35 % avhengig av varetypen og materialkostnadene som er innbakt i enhetsprisene forutsetter gjerne et prosjekt av en viss størrelse for å oppnå normale rabatter. Påslag bestemmes av entreprenør og kan være høyere enn 10 % som er medregnet. Rigg og drift er ikke inkludert i enhetspris og er kostnader som vil kunne variere avhengig av entreprenør og prosjektets omfang. For tiltakene i referansehuset regnes arbeidet gjerne som tillegg og forutsetter andre arbeidere. Det regnes da som at rigg og drift-kostnader blir relativt lave for energitiltakene.

Det er vurdert ulike geografiske forhold som skiller Svalbard fra et byggeprosjekt på Østlandet og er justert med en geografisk justeringsfaktor. Geografisk justeringsfaktor er satt til 1, som i praksis betyr at den ikke justerer prisene. Holte (2014) påpeker at forhold som lav utetemperatur kan redusere produktivitet og øke strømkostnader. Materialkostnader fra Kalkulasjonsnøkkelen er basert for leveranser av materialer på byggeplass for et byggeprosjekt på Østlands-området. For Svalbard vil kostnader knyttet til leveranse ventes å være høyere grunnet behov for båttransport og troligvis lengre leveringstid. For Svalbard er sats for arbeidsgiveravgift 0 %, men i enhetsprisen fra Holte er det i lønnsfaktor medtatt arbeidsgiveravgift på 14,1 %. Det antas

at økte kostnader og redusert avgift går opp i opp og justeringsfaktoren har ikke noe utslag på beregnede priser. For å oppnå høyere nøyaktighet kan også andre justeringsfaktorer legges til grunn. For eksempel en lokal faktor som omfatter spesielle riggforhold, grunnforhold og tilgjengelighet til byggeplass. Faktiske priser kan også påvirkes av ordretilgang i markedet og antall konkurrerende entreprenører og kan justeres med en markedsfaktor (Holte, 2014).

Det er knyttet usikkerhet rundt investeringskostnader til ventilasjon. Det er i liten grad beskrevet hvilke spesifikasjoner ventilasjonssystemene i Holte Kalkulasjonsnøkkelen har. Etter byggeforskriften skal fjernvarme nyttes til ventilasjonsvarme og det er ikke tatt høyde for eventuelle ekstrakostnader dette i praksis vil kunne medføre. I lønnsomhetsbetraktningen er det ikke lagt til grunn noen ekstra vedlikeholdskostnader. Dette er i stor grad valgt på bakgrunn av at tiltak som etterisolering av bygget og skifte av dører og vindu ikke nødvendigvis behøver å bidra til økte vedlikeholdskostnader. Det kan tenkes at valg av nyere og bedre egnede materialer kan føre til reduserte vedlikeholdskostnader. Installasjon av tekniske anlegg som balansert ventilasjon vil kunne medføre økt behov for service og spesifikt vedlikehold men er ikke tatt med på grunn av lite datagrunnlag.

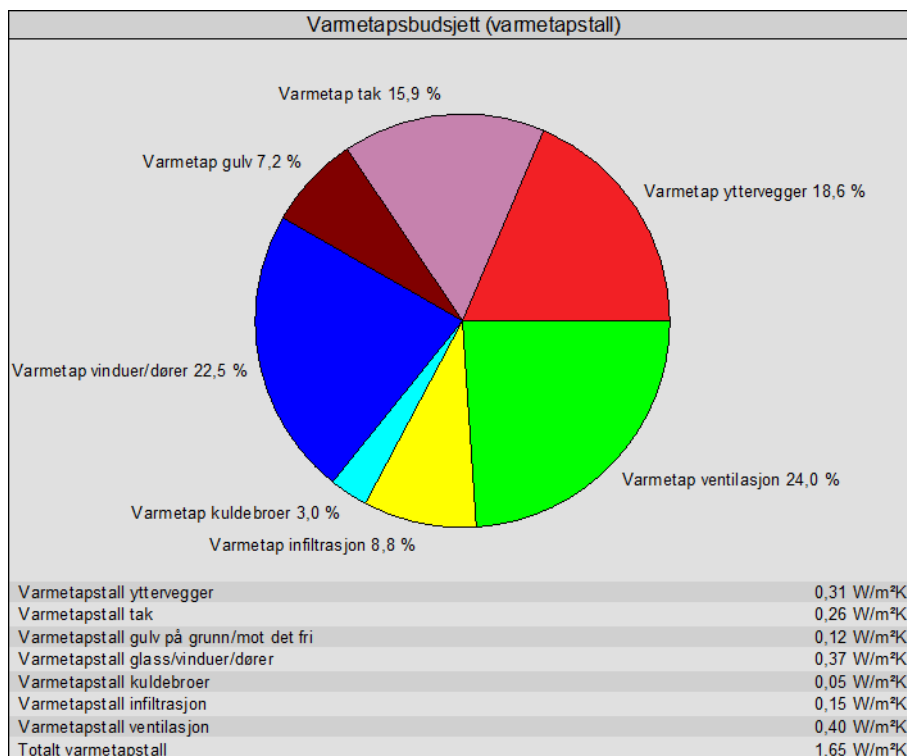
5.6.5 Vurdering av energiberegningene

Nøyaktighetene til energiberegningene vil øke dersom man legger flere av faktiske forhold til grunn. I denne oppgaven er det på flere områder brukt normerte verdier (NS 3031:2014 og SN/TS 3031:2016 vedlegg A og B) herunder lekkasjetall og verdier for ventilasjon. Dette er data som ikke er tilgjengelig for Spisshusene. Lekkasjetall kan finnes ved hjelp av målinger. Teknisk ytelse på avtrekksventilasjon kan også legges til grunn. For øvrig vil målinger av faktisk forbruk også være til god hjelp ved verifisere simuleringene Lavenergiutvalget (2009).

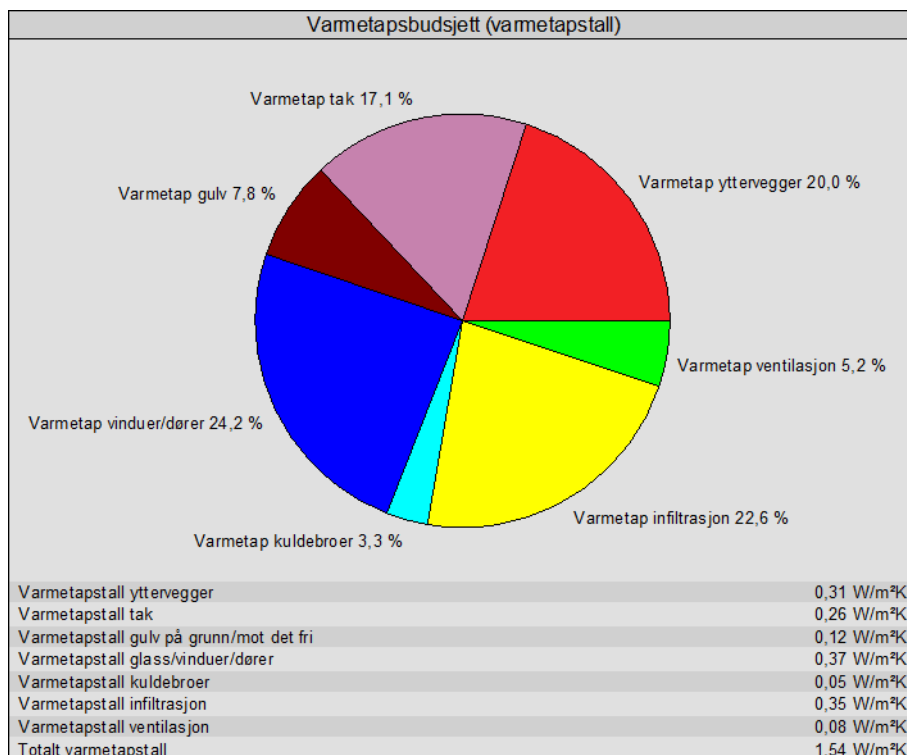
Fra tabell 37 i kapittel 4.9.2 oppgis beregnet årlige besparelser i energi (i kWh). Disse viser at med utvalgte tiltak er mulig å spare opptil 33422 kWh årlig og 246 kWh/m². Enkelttiltakene viser at balansert ventilasjon vil kunne bespare 5527 kWh/år og forbedring av lekkasjetall 5116 kWh/år. Sammen er de to tiltakene beregnet å bespare 13486 kWh årlig når summen av tiltakene skulle tilsi litt i overkant av 10 500 kWh og dette diskuteres i neste avsnitt. Isolering av yttervegger er beregnet å ha størst effekt av etterisoleringstiltakene med 6648 kWh/år. Lavest effekt er beregnet for etterisolering av gulv med 1516 kWh/år. Bytte av vindu til forskriften og passivhus viser henholdsvis 6323 kWh og 7844 kWh, en differanse på drøyt 1500 kWh.

Ved energiberegning av enkelttiltak som for eksempel etterisolering av yttervegg, tak og gulv er det ikke tatt hensyn til forbedret luftlekkasjer og kuldebroverdi i bygget. De enkelte tiltak vil i praksis forbedre disse parameterne men det er vanskelig å si effekten de ulike tiltakene har isolert sett. Ved simulering av energitiltak på hele bygget samtidig er det tatt hensyn til forbedret

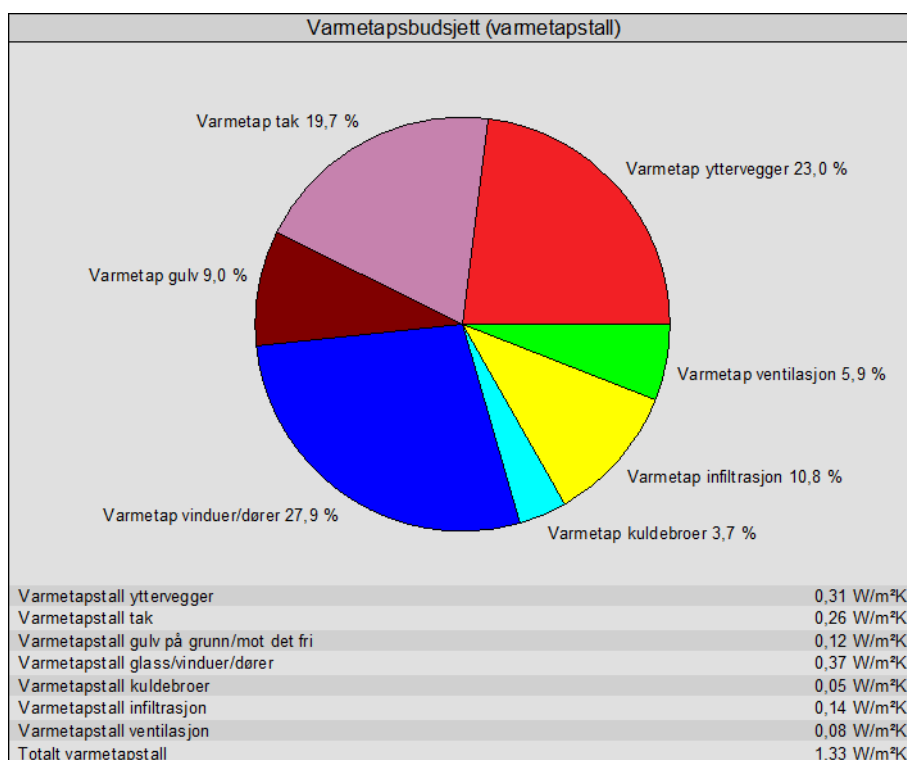
luftlekkasjetall og kuldebroverdi, slik at de er i henhold til kravene i TEK10. Dersom man summerer resultatet av to enkelttiltak (som vist i forrige avsnitt) kan det gi et ukorrekt bilde av situasjonen da andre tiltak kan endre forholdene i bygget (Programbyggerne, 2018). Som påpekt av SINTEF Byggforsk (2013a) SINTEF Byggforsk (2004a) er balansert ventilasjon påvirket av byggets tetthet. Av resultatene i kapittel 4.6 ser en stor variasjon i av balansert ventilasjon og illustreres ved å se hvordan varmetap gjennom infiltrasjon endrer effekten ved installasjon seg. Figurene under viser varmetapstall etter tre separate årssimuleringer av referansehuset. Figur 33 viser beregnet varmetapstall uten noen tiltak, gul del viser infiltrasjonstap og grønn del viser tap til ventilasjon. I figur 34 og 35 er det lagt inn balansert ventilasjon men bygget har ulikt luftlekkasjetall. Figur 34 viser et tiltak der kun balansert ventilasjon er installert uten endring av byggets lufttetthet. En ser i forhold til utgangspunktet at varmetapet fra ventilasjon (grønt) er redusert men at varmetapet fra infiltrasjon er over doblet (gult). Den siste situasjonen (figur 35) er luftlekkasjetallet forbedret fra 6,0 til 2,5. En ser en lik reduksjon av ventilasjonstap men en betydelig mindre økning av infiltrasjonstap enn for et utett bygg.



Figur 33: Varmetap for referansehus, uten noen energitiltak (Luftlekkasjetall 6,0 l/h)



Figur 34: Varmetap etter installering av balansert ventilasjon (opprinnelig luftlekkasjetall (6,0 l/h))



Figur 35: Varmetap ved balansert ventilasjon samt forbedret luftlekkasjetall (2,5 l/h)

I følge SINTEF Byggforsk (2013a) har tetting av bygg i noen tilfeller bedre effekt enn økning av isolasjonstykkelsen. For referansehuset har vi som fra tabell 37 at teoretisk energibesparelse for enkelttiltak. Resultatene viser at tetting alene vil kunne spare 5116 kWh/år og mer enn etterisolering av tak (4626 kWh/år) og gulv (1516 kWh/år). Etterisolering av vegger er beregnet å ha bedre effekt med 6648 kWh/år. Nå vil gjerne tetttiltak være en del av økning av isolasjonstykkelse og bytte av kledning, men potensiale i tetting vurderes til å være betydelig. I tillegg som nevnt i forrige avsnitt har tetting en stor effekt på luftmengden som varmegjennvinnes.

5.6.6 Vurdering av lønnsomhet

Dynamiske beregninger i kapittel 4.6 viser at ulike energitiltak vil kunne redusere oppvarmingsbehovet og følgelig redusere årlige energikostnader. Lønnsomhetsberegningene i kapittel 4.9 ser investeringskostnaden i sammenheng med det en forventer å spare på redusert energiforbruk over en tiltenkt levetid. For en byggeier kan lønnsomhetsvurderinger være et verktøy slik at en kan prioritere tiltak som er mest effektiv og lønnsomt. Slike lønnsomhetsbetraktninger er preget av usikkerhet og følsomhet for endringer som vurdert i kapittel 4.9. Følsomheten til spart energi, investeringskostnad, kalkulasjonsrente, energipris og levetid er vurdert. Resultatene viser entydig at lønnsomheten ved alle tiltak er mest følsom ved endring i investeringskostnad. En prosentvis endring i energipris og spart energi vil ha like stort utslag for nåverdien.

Lønnsomhetsberegning fra kapittel 4.9.2 viser at med dagens situasjon (og antagelser) vil flere energitiltak være ulønnsom for byggeiere å gjennomføre. Av tabell 37 framkommer det at balansert ventilasjon (med forbedret lekkasjetall) vil ha en tilbakebetalingstid på 31 år. Det må poengteres at kostnader vedrørende forbedring av lekkasjetall, som nevnt tidligere, er ikke medtatt. Lønnsomheten ved tiltaket er da misvisende fordi det ikke gjenspeiler reelle kostnader. Øvrige tiltak er beregnet å ikke kunne tjenes inn. Beregningene viser at mengden energi spart energi ikke vil bli høyere enn investeringen, selv med å ta hensyn til kunstig lange tilbakebetalingstider. Dette skyldes at årlige besparelser gradvis reduseres ved å bli diskontert ved å beregne nåverdi av framtidige besparelser. Det er medregnet en kalkulasjonsrente på 4 % men bør vurderes avhengig av prosjekt og alternativkostnader.

Som nevnt i kapittel 2.5.2 er tilbakebetalingstiden for tiltakene sensitiv ovenfor endringer i energipris (Dokka *et al.*, 2009; Lavenergiutvalget, 2009) og som også vises gjennom sensitivitetsanalyser i kapittel 4.9. I tillegg vil svingninger i energipriser skape usikkerhet når en vurderer lønnsomhet i prosjekter (Lavenergiutvalget, 2009). Det er ikke gitt at energiprisene ligger på dette nivået i framtiden og det er signalisert at en økning for el.-kraft kan øke i framtiden (Longyearbyen lokalstyre, 2017a). Det er derfor også gjort lønnsomhetsvurderinger

med en økt energipris (tabell 38). På bakgrunn av de innledende resultatene som viste veldig lav lønnsomhet er det lagt inn et eksempel med en dobling av fjernvarmeprisen og framkommer av kapittel 4.9.3. Tiltak som er ventet å betale seg selv tilbake igjen innen 30 år er etterisolering av yttervegg (23 år), balansert ventilasjon med forbehold om 2,5 i lekkasjetall (7,2 år) samt omfattende energieffektiviseringstiltak (18 år). Også her viser resultatene at balansert ventilasjon i et forholdsvis tett bygg kan redusere energibehov. Det eneste tiltaket som ikke har en merkbar forbedring av lønnsomhet er etterisolering av gulv. Slik som beregningene med ordinær fjernvarmepris er tiltaket heller ikke nå ventet å tjene seg inn.

Selv om sensitiviteten viser hvilke faktorer som påvirker lønnsomheten, sier de ikke noe om hvor nøyaktig faktorene i beregningene er. Investeringskostnader kan i mange tilfeller, ved hjelp av erfaringstall (som for eksempel fra Holte Kalkulasjonsnøkkelen og tilsvarende tjenester) kunne få en god oversikt over hvor mye utbedringstiltak vil omtrentlig koste. Også ved erfaring fra lignende prosjekter vil også kunne redusere usikkerhet knyttet til utgiftspostene. Således vil investeringskostnader kunne anslås med relativt god nøyaktighet. Som nevnt er det ikke sikkert at energiprisene i Longyearbyen vil være på dagens nivå, så kan endringer i energipris skape større usikkerhet i lønnsomhetsberegningene.

I kapittel 2.5.2 framkommer det at energieffektive løsninger vrakes siden det gjerne medfører en ekstrakostnad for utbygger (Lavenergiutvalget, 2009). I tillegg at få boligeiere setter av ressurser til energieffektivisering, både når det gjelder i økt kunnskap og kapital til energieffektivisering (Lavenergiutvalget, 2009). I Norge eksisterer tilskuddsordninger fra for eksempel Enova som skal bidra til å redusere kostnader tilknyttet valg av energieffektive løsninger. Som beskrevet i 2.5.2 gis det tilskudd til energirådgivning men også støtte til enkelte tiltak for å redusere investeringskostnader for nye men også eksisterende bygg. Det er i kapittel 4.9.4 også gjennomført lønnsomhetsberegninger ved reduksjon av investeringskostnad. De tar utgangspunkt i 40 % reduserte investeringskostnader, som rapport av Dokka *et al.* (2009) også tar utgangspunkt i. Resultatet i kapittel 4.9.4 beregner at bytte av vindu/dører til U-verdi 1.2 gir en tilbakebetalingstid på 25 år og balansert ventilasjon med forbedret lekkasjetall gir 14 år. I motsetning når det ikke forbedrer tetthet, da er oppgradering av ventilasjon ikke ventet å tjenes inn. Energiltak for hele bygget er beregnet å tjenes inn på 29 år. Etterisolering av gulv, bytte av vinduer/dører til U-verdi 0,8 er heller ikke ventet å tjenes inn. Etterisolering av tak har en teoretisk tilbakebetalingstid på 75 år og er i praksis ikke realistisk å tjene inn igjen. På bakgrunn av overnevnte resultater ser vi at bytte til lavenergi glass/dører (med gitte investeringskostnader) og etterisolering av gulv har lav lønnsomhet. Det er på bakgrunn av dette vurdert et utvalg energiltak på referansehuset som ikke inkluderer disse (tabell 40). Vindu og dører byttes til

kravene i forskriften. Vi ser da at tilbakebetalingstiden for disse energiltakene med 40 % støtte er 25 år og gir en reduksjon på 5 år fra 29 år som beregnet tidligere.

På samme grunnlag er nevnte energiltak også evaluert med en økt fjernvarmepris men uten støtte. Lønnsomheten er økt for alle tiltak og etterisolering av vegg og bytte til vindu/dører med U-verdi 1,2 vil kunne tjenes inn alene på henholdsvis 23 og 19 år. Dersom en utfører alle de utvalgte tiltakene er det beregnet at det vil tjenes inn på under 16 år. Disse målingene gjenspeiler ikke dagens situasjon men kan danne grunnlag for videre vurdering av politiske tiltak som kan gjøre energieffektiviseringstiltak mer privatøkonomisk lønnsom.

6 Konklusjon

Spørsmål 1: Hvordan har byggeskikken i Longyearbyen utviklet seg frem mot i dag?

Bygg- og anleggsvirksomheten i Longyearbyen har historisk sett vært lite regulert og energipriser har historisk sett vært lav for og kan ha medført bruk av lite energieffektive løsninger. I dagens byggeforskrift oppfordres det til å bruke energieffektive løsninger på bakgrunn av en endret energisituasjon. Resultater indikerer at eldre hus har blitt oppført uten geoteknisk prosjektering og at prosjektering i dag ikke er godt tilpasset Longyearbyen. Det er funnet at eldre bygg kan ha overskredet normal levetid for bygninger på permanent frossen grunn og dette kan forklare at bygninger er i dårlig forfatning. Deler av Longyearbyens bebyggelse blitt oppført i forbindelse med gruvevirksomheten kan indikere det at det kan være oppført uten å ha hensikt om lang levetid. Resultatet viser også at det historisk sett har vært utfordrende å finne gunstige områder for bebyggelse på grunn av skredfare. Det er funnet eksempler på et reaktivt handlingsmønster hvor tiltak er iverksatt etter hendelser har inntruffet. Deler av bebyggelsen er også oppført med formål om å gi husrom til arbeidere og i liten grad planlagt for større familier og kan medføre at enkelte hustyper er mindre egnet for familier.

Spørsmål 2: Hvilken innvirkning har fundamentproblematikken og skredfaren?

Det er forventet at klima blir varmere og våtere mot slutten av dette århundret og kan påvirke bygningsmassen i Longyearbyen. Det er funnet behov for å tilpasse eksisterende fundamenter som står på frossen grunn som er ventet å tine. I tillegg behov for å håndtere råteutbredelse i konstruksjonsdeler av tre. Det er påpekt at dagens byggeforskrifter på noen få områder ikke er godt tilpasset og resultatet indikerer at dette kan gjøre klimatilpasning av Longyearbyen mer utfordrende. I dag ligger også deler av bebyggelse og infrastruktur i skredfarlige områder. Det er iverksatt skredsikringstiltak over i Lia for å sikre Spisshusene men andre deler av bebyggelsen er ikke avklart. Områder kan risikere å ikke bli skredsikret på bakgrunn av høye kostnader eller at en heller benytter andre områder til bebyggelse.

Spørsmål 3: Hvor stor lønnsomhet har energiltak på et «Spisshus»?

Oppvarmingsbehovet til referansehuset er beregnet til 345 kWh/m^2 og er nært opp mot anslått gjennomsnittlig for husholdninger i Longyearbyen. Ved å gjøre tiltak utvalgte tiltak ser man en potensiell besparelse på opp mot 245 kWh/m^2 og mer en halverer energibehovet til oppvarming. Med dagens energipriser er ingen av de undersøkte tiltakene ventet å være lønnsom, i den forstand at man sparer mindre energikostnader i levetiden enn det tiltakene er beregnet å koste. Resultatet viser at tiltak kan være lønnsom ved høyere i energipris, lavere investeringskostnad eller forlenget inntjeningsperiode. Resultatene viser at flere av tiltakene vil være mer lønnsom om de utføres sammen. Tiltak med oppgradering til ventilasjon med varmegjenvinning har stor

effekt i et forholdsvis tett bygg men sterkt redusert lønnsomhet i en utett konstruksjon. Bytte av vindu og dører til forskriftsnivå er beregnet å være mer lønnsomt enn lavenergiglass på bakgrunn av stor forskjell i investeringskostnad. Isolering av yttervegg er antydning å ha best lønnsomhet og kortest tilbakebetalingstid av etterisoleringstiltakene. Etterisolering av gulv er beregnet å ha relativ liten innvirkning på energibesparelsene og regnet som lite lønnsom.

Bør en gjøre energieffektiviseringstiltak på eksisterende boliger i Longyearbyen?

På bakgrunn av energisituasjonen i Longyearbyen bør bygningsmassen energieffektiviseres. Tiltak som gjør bygninger i Longyearbyen avhengig av mindre energi vil være bedre rustet til å møte mulige kapasitetsproblemer i framtiden. Samfunnsutviklingen i Longyearbyen har medført andre brukerkrav enn tidligere og vedlikeholds- og oppgraderingsinnsats bør ses i sammenheng med byggets evne til å møte nye krav. Bygg som skal energieffektiviseres bør også være klimatilpasset ettersom temperaturene er ventet å stige mot slutten av dette århundret og fundamenter kan få omfattende setninger og redusert bæreevne. På bakgrunn av dette anbefales det å vurdere at levetiden til fundamentene er minst like lang som beregnet tilbakebetalingstid som energitiltakene. I dag ligger deler av bebyggelsen i skredfarlig områder og det er i dag lite grunnlag for å si hvor mye som vil bli skredsikret. Energieffektiviseringstiltak bør også ses i sammenheng om skredutsatte områder vil være bebodd i framtiden.

Simulering av ulike energitiltak viser et betydelig potensial for besparelse av energi til oppvarming. Installering av balansert ventilasjonssystem har potensial for å redusere oppvarmingsbehovet men krever et forholdsvis tett hus. Simuleringer viser liten energibesparende effekt dersom lekkasjetallet i bygget er høyt og disse tiltakene anbefales å ses i sammenheng. Nåverdiberegningene viser at de utvalgte energitiltakene ikke vil tjenes inn med dagens energipriser. Beregninger med økt fjernvarmepris viser at flere av tiltakene være lønnsom innen antatt levetid.

7 Videre arbeid

Nøyaktigheten av resultatene kan vurderes ved å sammenligne beregnet oppvarmingsbehov med målt forbruk i Spisshusene. I tillegg kan andre energiltak være interessant å evaluere, som for eksempel systemstyring og soneinndeling av kjøle- og varmeanlegg. I tillegg kan det gjøres nye energiberegninger som tar høyde for en økning av temperatur i framtiden ved å legge inn korrigerte klimadata i simuleringsprogrammet.

For å arbeide videre med energieffektivisering av bygningsmassen kan det gjøres evaluering av energiltak på andre hustyper i Longyearbyen. En kan også vurdere miljømessig effekt ved energieffektivisering ved å inkludere CO₂-utslipp.

Det kan også være relevant å se på tiltak som kan gjøre energieffektivisering mer lønnsom for byggeiere. Det kan da være aktuelt å vurdere energipris, slik at en kan spare mer energikostnader, samt se på støtteordninger som reduserer investeringskostnadene.

8 Referanseliste

- Almås, A.-J. *et al.* (2009) *Veiledning til energieffektiv, miljøvennlig og robust oppgradering av bygninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/veileder-emrob---byggemilj-28-mai-20091.pdf> (Hentet: 30.04 2018).
- Andersland, O. B. og Ladanyi, B. (2004) *Frozen ground engineering*. 2nd ed. utg. Hoboken, N.J: Wiley.
- Bergverksordningen (1925) *Bergverksordning for Svalbard*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1925-08-07> (Hentet: 12.05 2018).
- Bjørberg, S. (2017) Forelesning i kurs TBA4170 Ombyggingsteknikk og forvaltning, NTNU.
- Bjørnsen, H. M. og Johansen, S. (2012) *Samfunns- og næringsanalyse for Svalbard 2012*. Norsk institutt for by- og regionsforskning. Tilgjengelig fra: <http://www.hioa.no/extension/hioa/design/hioa/images/nibr/files/filer/2012-24.pdf> (Hentet: 08.05.2018).
- Byggeforskrift for Longyearbyen (2016) *Byggeforskrift for Longyearbyen (Bfl.)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2016-11-15-1329> (Hentet: 22.03 2018).
- Byggesaksforskrift for Longyearbyen (2003) *Byggesaksforskrift for Longyearbyen*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2003-02-24-274> (Hentet: 26.02 2018).
- Byggteknisk forskrift (TEK10) (2010) *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SFO/forskrift/2010-03-26-489> (Hentet: 26.02 2018).
- Deleg. til Longyearbyen lokalstyre etter svalbl (2002) *Delegering av myndighet til Longyearbyen lokalstyre etter lov om Svalbard § 4*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/DEL/forskrift/2002-10-07-1145> (Hentet: 26.02 2018).
- Direktoratet for byggkvalitet (2016) *Sikkerhet mot naturpåkjenninger § 7-3. Sikkerhet mot skred*. Tilgjengelig fra: <https://dibk.no/byggeregler/tek/2/7/7-3/> (Hentet: 01.06 2018).
- Direktoratet for samfunnstryggleik og beredskap (2016) *Skredulykka i Longyearbyen 19. desember 2015*. (DSB Rapport). Tilgjengelig fra: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/svalbard_skredulykka_nynorsk.pdf.
- Dokka, T. H. *et al.* (2009) *Energieffektivisering i bygninger : - mye miljø for pengene*. SINTEF Byggforsk.
- Dolnicki, P. *et al.* (2013) Variability of temperature and thickness of permafrost active layer at coastal sites of Svalbard, *Polish Polar Research*, 34(4), s. 353-374. doi: 10.2478/popore-2013-0026.
- Engås, C. (2018) *Energiverket har ikke god nok kapasitet*. Tilgjengelig fra: <http://svalbardposten.no/nyheter/energiverket-har-ikke-god-nok-kapasitet/19.9532> (Hentet: 2018 12.05).

- Enova (2018a) *Anbefalte energiltak for ditt hus - Hus bygd mellom 1960 og 1987*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/privat/anbefalte-energitiltak-for-ditt-hus/hus-bygd-mellom-1960-og-1987/> (Hentet: 10.05 2018).
- Enova (2018b) *Om Enova*. Tilgjengelig fra: <https://www.enova.no/om-enova/> (Hentet: 27.05 2018).
- Fellows, R. F. og Liu, A. M. (2015) *Research methods for construction*. John Wiley & Sons.
- Flyen, A.-C. (2010) Håndtering av råteskader i kulturminner på Svalbard-skadeårsaker og løsningsmetoder, *KULTURARV, KULTURMINNER OG KULTURMILJØER*, s. 16-21.
- Flyen, A.-C. og Mattsson, J. (2010) *Håndtering av råteskader i kulturminner på Svalbard - Skadeårsaker og løsningsmetoder*. Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU)
- Mycoteam.
- Flyen, A.-C. og Mattsson, J. (2013) *Gruveminner i Longyearbyen og Hiorthhamn : fredete taubanebukker: tilstand og bevaring*. Oslo: Norsk institutt for kulturminneforskning (NIKU).
- Flyen, C. et al. (2010) Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge: Utredning som grunnlag for NOU om klimatilpassing, *SINTEF Rapport (SINTEF Byggforsk)*.
- Flyen, C. et al. (2014) *Bygninger og infrastruktur – sårbarhet og tilpasningsevne til klimaendringer*.
- Førland, E. J. et al. (2010) *Klimautvikling i Nord-Norge og på Svalbard i perioden 1900–2100: klimaendringer i norsk Arktis: NorACIA delutredning 1*. Tromsø.
- Førland, E. J. et al. (2011) Temperature and Precipitation Development at Svalbard 1900-2100, *Advances in Meteorology*, 2011(2011), s. 247-260. doi: 10.1155/2011/893790.
- Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre (2017) *Gebyr- og fakturasatser 2018 for Longyearbyen lokalstyre*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2017-12-11-2371> (Hentet: 22.03 2018).
- Gregersen, O. (1986) Praktisk Fundamentering på permafrost, i Heltzen, A. M., et al. (red.) *Fjellsprengningsteknikk - Bergmekanikk - Geoteknikk*.
- Hansen, B. B. et al. (2014) Warmer and wetter winters: characteristics and implications of an extreme weather event in the High Arctic, *Environmental Research Letters*, 9(11). doi: 10.1088/1748-9326/9/11/114021.
- Hauge, Å. L. et al. (2017a) User guides for the climate adaptation of buildings and infrastructure in Norway—Characteristics and impact, *Climate Services*.
- Hauge, Å. L. et al. (2017b) Klimatilpassing av bygninger og infrastruktur – samfunnsmessige barrierer og drivere: SINTEF akademisk forlag.
- Holte (2014) *Holte Kalkulasjonsnøkkelen* Holte Byggsafe.
- Humlum, O., Instanes, A. og Sollid, J. L. (2003) Permafrost in Svalbard: a review of research history, climatic background and engineering challenges, *Polar research*, 22(2), s. 191-215. doi: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v22i2.6455>.
- Ingerø, K. O. (2017) Presentasjon: Fra Company town til moderne lokalsamfunn. Klimaendringer og beredskap, i lokalstyre, L. (red.) (s. 68).

- Innst. 88 S ((2016-2017)) *Innstilling fra utenriks- og forsvarskomiteen om Svalbard*. Tilgjengelig fra: <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2016-2017/inns-201617-088s.pdf> (Hentet: 26.02 2018).
- Instanes, A. (2003) Climate change and possible impact on Arctic infrastructure, i *Permafrost: Proceedings of the Eighth International Conference on Permafrost*. s. 461-466.
- Instanes, A. (2005) Klimaendringer og konsekvenser for fundamentering og infrastruktur i kalde strøk, *Frost i Jord*, (108), s. 80.
- Instanes, A. et al. (2005) *Arctic Climate Impact Assessment (ACIA)*. (Chapter 16 - Infrastructure: Buildings, Support Systems, and Industrial Facilities). www.amap.no: Arctic Monitoring and Assessment Programme.
- Instanes, A. (2010) The development of infrastructure on permafrost in Svalbard, *Frost i Jord*, (Nr. 111), s. 13-15.
- Instanes, A. og Rongved, J. L. (2017) *Forventede klimaendringers påvirkning på byggegrunn i Longyearbyen-området (Delrapport 2)*. (Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv IAS2171-1). Tilgjengelig fra: <http://www.statsbygg.no/Files/samfunnsansvar/fou/klimaendringersPaavirkningLongyearbyen-201710.pdf> (Hentet: 22.01.2018).
- Isaksen, K. et al. (2007) Recent extreme near-surface permafrost temperatures on Svalbard in relation to future climate scenarios, *Geophysical Research Letters*, 34(17), s. n/a-n/a. doi: 10.1029/2007GL031002.
- Isaksen, K. et al. (2017) *Klimascenarier for Longyearbyen-området, Svalbard (Delrapport 1)*. (Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv No. 15/2017). Tilgjengelig fra: file:///C:/Users/bruker/Downloads/2017-10-METreport_Statsbygg-Svalbard_final.pdf (Hentet: 22.01.2018).
- Klinski, M. et al. (2012) *Systematisering av erfaringer med passivhus - oppfølging : nærmere analyse med fokus på innemiljø, energibruk og kostnader*. Sintef Byggforsk.
- Kverndal, A.-I., Jaworowski, Z. og Hansson, R. (1990) *Virkinger av klimaendringer i polarområdene: bidrag til den interdepartementale klimautredningen*. Oslo: Norsk Polarinstitut.
- Larsen, J. O. (red.) (2015) *Sørpeskred. Skredfare og sikring*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- Larsen, J. O. (2016) *Skredsikring og fundamentering i permafrost*. Tilgjengelig fra: https://www.nve.no/Media/5369/201607038-2-mulighetsstudie-skredsikring-svalbard-pdf-1956251_1_1.pdf (Hentet: 11.11 2017).
- Lassen, N. et al. (2009) *Passivbygg som forskriftskrav i 2020*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/miljo/publikasjoner/passivbygg_som_forskriftskrav_i_2020.pdf (Hentet: 23.05.2018).

- Lavenergiprogrammet (2015a) *Balansert ventilasjon med varmegjenvinning*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/balansert-ventilasjon-med-varmegjenvinning/?category=ventilasjon> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015b) *Etterisolering av gulv*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/etterisolering-av-gulv/?category=gulv> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015c) *Eksempelhus*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/prosjekt/eksempelhus/> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015d) *Smart oppussing - Dører og vinduer*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/superisolerte-dorer-og-vindu-u-verdi-08-eller-bedre/?category=dorer-og-vinduer> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015e) *Etterisolering av tak*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/?opplaeringskategori=tak> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015f) *Etterisolering av yttervegger*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/etterisolere-vegg-eller-sokkel/?category=kledning-yttervegger> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015g) *Behovsturt ventilasjon (VAV)*. Tilgjengelig fra:
<http://lavenergiprogrammet.no/artikkel/behovsturt-ventilasjon-vav-sonedeling/?category=ventilasjon> (Hentet: 01.05 2018).
- Lavenergiprogrammet (2015h) *Dette trenger du for å gjøre en energiberegning*. Tilgjengelig fra:
<http://www.lavenergiprogrammet.no/prosjektering-av-passivhus/slik-gjor-du-en-energiberegning/> (Hentet: 02.03 2018).
- Lavenergiutvalget (2009) *Energieffektivisering - Hovedrapport*. Tilgjengelig fra:
https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/oed/rapporter/oed_energieffektivisering_lavopp.pdf (Hentet: 07.05).
- Liestøl, O. (1986) Permafrost på Svalbard og på fastlandet. Klimatiske forutsetninger, utbredelse og tykkelse., In A. M. Hletzen et al. (eds.): *Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk og geoteknikk.*, s. Pp. 20.21–20.28.
- Longyearbyen lokalstyre (2012a) Vedlikeholdsplan 230-26 (s. 7). Longyearbyen.
- Longyearbyen lokalstyre (2012b) Objekt-og tilstandsbeskrivelse 230-26 (s. 17).
- Longyearbyen lokalstyre (2012c) *Varme og Energiplan for Longyearbyen 2012-2021*. Tilgjengelig fra:
<https://www.lokalstyre.no/getfile.php/3533016.2046.aursratpw/Varme+og+Energiplan+for+Longyearbyen.pdf> (Hentet: 18.03 2018).
- Longyearbyen lokalstyre (2016) *Arealplan for Longyearbyen planområde 2016-2026. Planbeskrivelse (rev. 20.02.2017)*. Tilgjengelig fra:

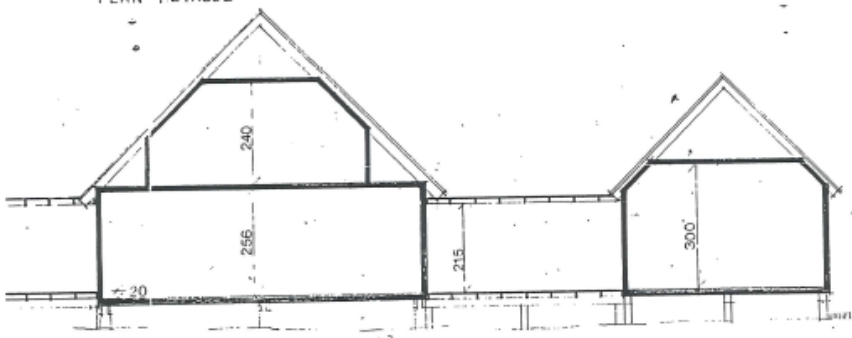
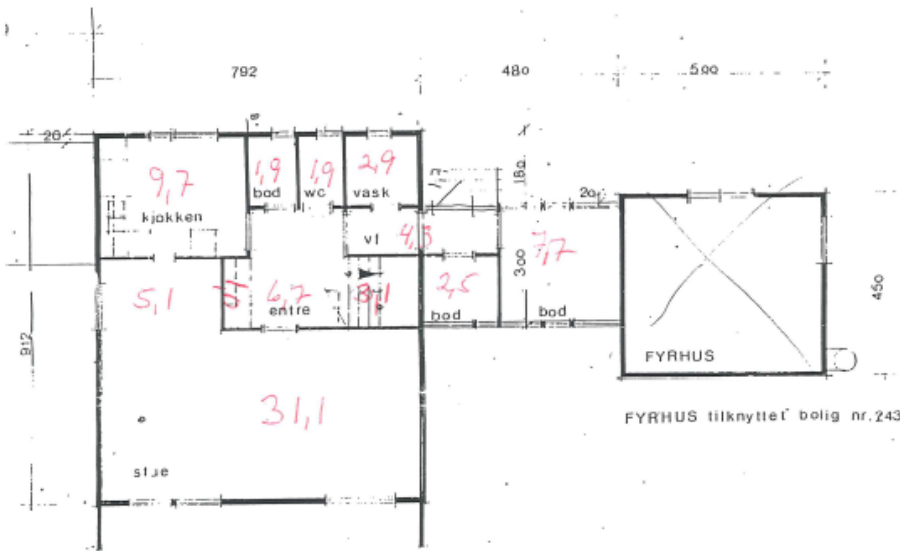
- <https://www.lokalstyre.no/getfile.php/3760925.2046.xsryawweqf/Planbeskrivelse%2C+datert+20.02.17+rev.+20.02.17.pdf> (Hentet: 28.04 2018).
- Longyearbyen lokalstyre (2017a) *Handlingsprogram og økonomiplan 2018-2021. Budsjett 2018*.
Tilgjengelig fra:
<https://www.lokalstyre.no/getfile.php/4025103.2046.atujqslbpsjss7/%C3%98P++HP++BU+2018-2021+etter+LS+sin+behandling+11.12.17.pdf> (Hentet: 24.02 2018).
- Longyearbyen lokalstyre (2017b) *Overordna plan for skredsikring av Longyearbyen, 2018-2020*.
Tilgjengelig fra:
<https://www.lokalstyre.no/getfile.php/3919287.2046.nnqb7qnkiiizqn/Overordna+plan+for+skredsikring+av+Longyearbyen+2018++2020.pdf> (Hentet: 22.03 2018).
- Longyearbyen lokalstyre (2018) *Delplan D49 Gruvedalen. Vedtak av plan*. Tilgjengelig fra:
<https://www.lokalstyre.no/getfile.php/4117496.2046.p7zintwsqzpk7n/TU-sak+18-20+og+LS-sak+18-22++Delplan+D49+Gruvedalen.+Vedtak+av+plan.pdf> (Hentet: 28.04 2018).
- Mattsson, J., Flyen, A.-C. og Nunez, M. (2010) Wood-decaying fungi in protected buildings and structures on Svalbard, *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 29, s. 5-14.
- Mattsson, J. (2017) *The impact of microclimate on biodeterioration of wood in historic buildings*, Norwegian University of Science and Technology.
- merverdiavgiftsloven (2010) *Lov om merverdiavgift*,. Tilgjengelig fra:
<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2009-06-19-58> (Hentet: 14.05 2018).
- Naturskadeforsikringsloven (1990) *Lov om naturskadeforsikring*. Tilgjengelig fra:
<https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1989-06-16-70> (Hentet: 17.04 2018).
- Nordhus, Ø. S. og Martinsen, K. G. (2016) *Tilstandsvurdering trepeler*. Tilgjengelig fra:
<https://www.lokalstyre.no/getfile.php/3849641.2046.qkawjimktalqmp/Tilstandsvurdering+av+peler+p%C3%A5+27+boliger+2016.pdf> (Hentet: 23.03 2018).
- Nordli, Ø. *et al.* (2014) Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard Airport temperature series, 1898–2012, *Polar research*, 33(1), s. 21349.
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2016) *Skredfarekartlegging i utvalgte områder på Svalbard*.
Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_91.pdf (Hentet: 18.03 2018).
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2018a) *Konseptstudie - Sikringstiltak Sukkertoppen og Vannledningsdalen*. Tilgjengelig fra:
<http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201706702/2344280> (Hentet: 09.04 2018).
- Norges vassdrags- og energidirektorat (2018b) *Skredrapport Sukkertoppen*. Tilgjengelig fra:
<http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201708556/2344281> (Hentet: 23.03 2018).

- Norsk Polarinstitutt (2017) *TopoSvalbard - Kart over Svalbard*. Tilgjengelig fra: <http://toposvalbard.npolar.no/> (Hentet: 15.04 2018).
- NTNU Universitetsbiblioteket (2017a) *Finne kilder*. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Hjelp+til+litteratur%C3%B8k> (Hentet: 10. oktober 2017).
- NTNU Universitetsbiblioteket (2017b) *Avanserte litteratursøk*. Tilgjengelig fra: <https://innsida.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Avanserte+litteratur%C3%B8k> (Hentet: 10. oktober 2017).
- Olsson, N. (2011) *Praktisk rapportskrivning*. Trondheim: Tapir akademisk.
- Programbyggerne (2018) *SIMIEN*. Tilgjengelig fra: <http://www.programbyggerne.no/SIMIEN/tiltak> (Hentet: 14.05 2018).
- Prop. 1 S ((2017-2018)) *FOR BUDSJETTÅRET 2018 — Svalbardbudsjettet*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-1-s-sva-20172018/id2574190/> (Hentet: 26.02 2018).
- Prop. 129 S ((2016–2017)) *Tilleggsbevilgninger og omprioriteringer i statsbudsjettet 2017*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/prop.-129-s-20162017/id2553020/> (Hentet: 26.02 2018).
- Rongved, J. L. (2010) Foundation reconstruction for the Governor's residence in Longyearbyen, *Frost i Jord*, 111, s. 4.
- Rongved, J. L., Eraker, T. og Instanes, A. (2017) *Forventede klimaendringers langsiktige konsekvenser for bygging og forvaltning på Svalbard (Delrapport 3)*. (Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv IAS2171-2). Tilgjengelig fra: <http://www.statsbygg.no/Files/samfunnsansvar/fou/IAS2171ByggingogForvaltningSvalbarddelrapport3A01.pdf> (Hentet: 22.01.2018).
- Rongved, J. L. et al. (2018) *Forventede klimaendringers langsiktige konsekvenser for bygging og forvaltning på Svalbard (Samlerapport)*. (Bygging og forvaltning på Svalbard i et langsiktig klimaperspektiv IAS2171-3). Tilgjengelig fra: http://statsbygg.no/Files/samfunnsansvar/fou/IAS2171ByggingogForvaltningSvalbard_samlerapportA02.pdf (Hentet: 22.01.2018).
- Sinitsyn, A., Ringheim, A. og Martinsen, K. G. (2017) *Fundamentering med trepeler i Longyearbyen - en veiledning for enkelt og innledende tilstandsvurdering*. Tilgjengelig fra: <https://www.sysselmannen.no/globalassets/svalbards-miljovernfond-dokument/prosjekter/rapporter/2017/14-119-fundamentering-med-trepeler-i-longyearbyen.pdf> (Hentet: 23.03 2018).
- SINTEF Byggforsk (1993) *Planlegging 321.010: Byggeskikk. Definisjoner og virkemidler*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/75/byggeskikk_definisjoner_og_virkemidler (Hentet: 06.05 2018).

- SINTEF Byggforsk (2004a) *Byggdetaljer 701.266: Energisparende tiltak i boliger*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/647/energisparende_tiltak_i_boliger (Hentet: 02.04 2018).
- SINTEF Byggforsk (2004b) *Byggdetaljer 723.511: Etterisolering av yttervegger av tre*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/679/etterisolering_av_yttervegger_av_tre (Hentet: 01.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2004c) *Byggdetaljer 722.506: Etterisolering av etasjeskillere over kjeller og kryperom*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/669/etterisolering_av_etasjeskillere_over_kjeller_og_kryperom#i4 (Hentet: 01.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2005) *Byggdetaljer 725.403: Etterisolering av tretak*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/690/etterisolering_av_tretak#i6 (Hentet: 01.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2013a) *Byggdetaljer 520.401: Lufttetting av bygninger. Framgangsmåte for å oppnå lavt lekkasjetall*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/4110/lufttetting_av_bygninger_framgangsmaate_for_aa_oppn_aa_lavt_lekkasjetall (Hentet: 01.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2013b) *Planlegging 311.200: Forebygging av flom- og skredskader. Lovgivning og ansvar*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/4095/forebygging_av_flom_og_skredskader_lovgivning_og_ansvar (Hentet: 06.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2015a) *Byggdetaljer 752.601: Forbedring av ventilasjon i boliger*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/725/forbedring_av_ventilasjon_i_boliger (Hentet: 01.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2015b) *Planlegging 311.125: Snøskred. Skredfare og sikring*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/50/snoeskred_skredfare_og_sikring (Hentet: 06.05 2018).
- SINTEF Byggforsk (2015c) *Planlegging 311.126: Sørpeskred. Skredfare og sikring*. Tilgjengelig fra: https://byggforsk.no/dokument/51/soerpeskred_skredfare_og_sikring (Hentet: 06.05 2018).
- Standard Norge (2012) *Tilstandsanalyse av byggverk*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=587800> (Hentet: 29.09 2016).
- Standard Norge (2013) *Livssyklus kostnader for byggverk. Prinsipper og klassifisering (NS 3454:2013)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=626300> (Hentet: 28.04 2018).
- Standard Norge (2014a) *Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data (NS 3031:2014)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702386> (Hentet: 18.03 2018).

- Standard Norge (2014b) *Varmesystemer i bygninger - Utforming av vannbaserte varmesystemer (NS-EN 128128:2012+A1:2014)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=702304> (Hentet: 18.03 2018).
- Standard Norge (2016) *Bygningers energiytelse - Beregning av energibehov og energiforsyning (SN/TS 3031:2016)*. Tilgjengelig fra: <http://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=859500> (Hentet: 18. mars 2018).
- Statistisk sentralbyrå (2017) *Nøkkeltall for Svalbard (Sist oppdatert: 6. oktober 2017)*,. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/svalbard/nokkeltall> (Hentet: 27. oktober 2017).
- Store Norske Spitsbergen Kulkompani AS ((ukjent)) Plan-, snitt- og fasadetegning. 230-26 (s. 1). Longyearbyen.
- Svalbardloven (1925) *Lov om Svalbard*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/1925-07-17-11> (Hentet: 26.02 2018).
- Svalbardmiljøloven (2001) *Lov om miljøvern på Svalbard*. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2001-06-15-79> (Hentet: 26.02 2018).
- Thagaard, T. (2003) *Systematikk og innlevelse : en innføring i kvalitativ metode*. 2. utg. utg. Bergen: Fagbokforl.
- Thiis, T. (2005) *Bygg i snørike områder—en veileder i klimatilpassing*. (Prosjektrapport (Norges Byggeforskningsinstitutt);389 8253608810).
- Tom Backe og Hallvard Holm (2017) *Videodokumentasjon av Longyearbyens historie*. Tilgjengelig fra: <https://www.sysselmannen.no/Svalbards-miljovernfond/Rapportar/videodokumentasjon-av-longyearbyens-historie/> (Hentet: 28.05 2018).
- Valen, M. S. *et al.* (2011) *Bygningsvedlikehold : bedre planlegging - en nøkkel til bedre vedlikehold*. Trondheim: Tapir.
- Vedtak om avgifter til folketrygden (2018) *Stortingsvedtak om fastsetting av avgifter mv. til folketrygden for 2018*. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/STV/forskrift/2017-12-12-2185/KAPITTEL_1#%C2%A72 (Hentet: 14.05 2018).
- Vikhamar-Schuler, D., Førland, E. J. og Hisdal, H. (2016) *Kort oversikt over klimaendringer og konsekvenser på Svalbard*. Tilgjengelig fra: https://www.lokalstyre.no/getfile.php/3562465.2046.qftqybraf/Klimautfordringer+p%C3%A5+Svalbard++konsekvenser+for+natur+og+samfunn_rapport+Norsk+klimaservicesenter.pdf (Hentet: 05.03 2018).
- Vikhamar-Schuler, D. *et al.* (2016) Changes in Winter Warming Events in the Nordic Arctic Region, *J. Clim.*, 29(17), s. 6223-6244. doi: 10.1175/JCLI-D-15-0763.1.

Vedlegg 1 – Plan- og snittegning for Spisshus



23.11.2006
23.6
2006/11/6

STORE NORSKE SPITSBERGEN KULKOMPANI A

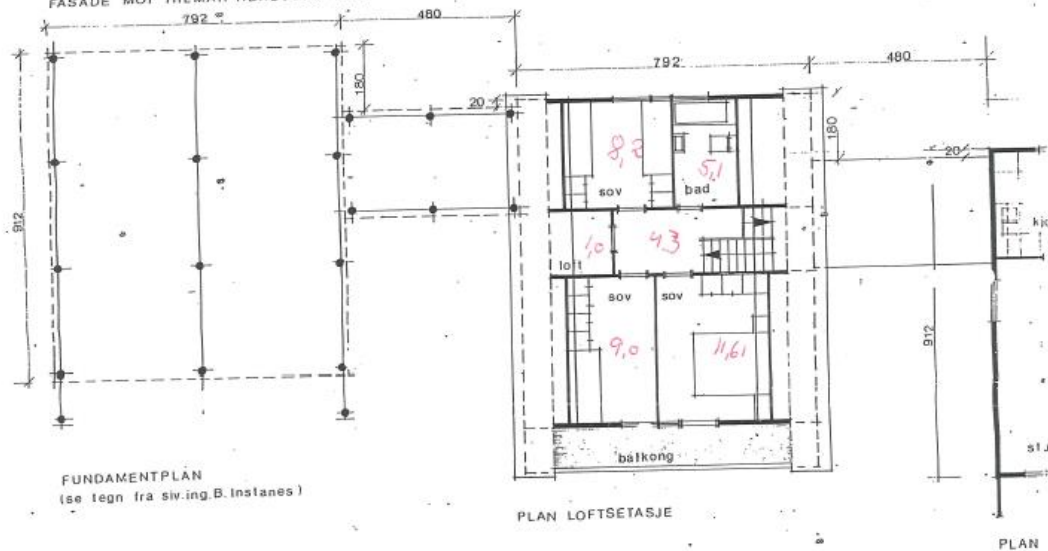
REVIDERT	DATO	BOLIG nr. 243-44-45 og nr. 254-55-56	MÅL	DA
		PLANER - SNITT - FASADER	1:100	PLAN
				IC
				M
nr. 33357				

ARK. MNAL MARTIN HENRIKSEN, HR. MICHELSENSVEI 62, 5040 PARADIS, TLF. 051.73.385

230.26



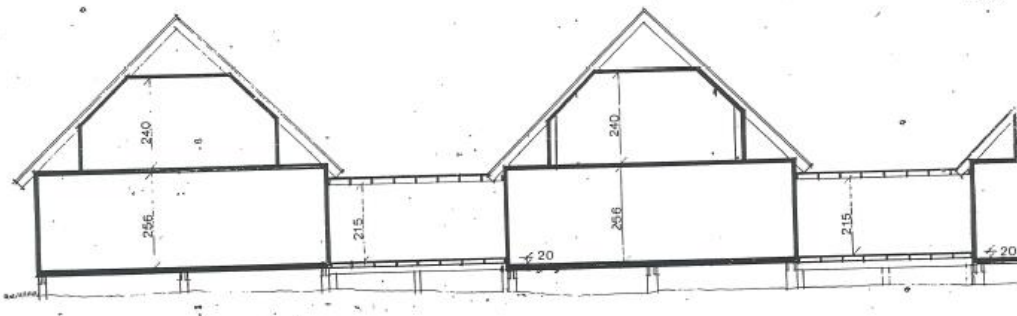
FASADE MOT HILMAR REKSTENS VEI



FUNDAMENTPLAN
(se tegn fra siv.ing.B. Instanes)

PLAN LOFTSETASJE

PLAN



SNITT

Vedlegg 2 – Inndata, bygning, sone

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Småhus
Simuleringsansvarlig	MBH
Kommentar	

Inndata rom/sone	
Beskrivelse	Verdi
Oppvarmet gulvareal	136,0 m ²
Oppvarmet luftvolum	340,0 m ³
Normalisert kuldebroverdi	0,05 W/(m ² K)
Varmekapasitet møbler/interiør	4,0 Wh/m ² (Middels møblert rom)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)	6,00 ach
Skjerming i terrenget	Moderat skjerming
Fasadesituasjon	Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar	31
Driftsdager i Februar	28
Driftsdager i Mars	31
Driftsdager i April	30
Driftsdager i Mai	31
Driftsdager i Juni	30
Driftsdager i Juli	31
Driftsdager i August	31
Driftsdager i September	30
Driftsdager i Oktober	31
Driftsdager i November	30
Driftsdager i Desember	31

Vedlegg 3 – Klimadata for Longyearbyen

Inndata klima		Verdi
Beskrivelse		
Klimasted	Longyearbyen (Svalbard)	
Breddegrad		78° 15'
Lengdegrad		15° 26'
Tidssone		GMT + 1
Årsmiddeltemperatur		-6,6 °C
Midlere solstråling horisontal flate		51 W/m ²
Midlere vindhastighet		4,4 m/s

Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)						
Måned	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-15,1 °C	1,3 °C	-31,3 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Februar	-16,6 °C	-1,3 °C	-32,2 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Mars	-15,9 °C	0,0 °C	-30,1 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
April	-12,1 °C	1,0 °C	-26,1 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Mai	-4,4 °C	2,9 °C	-18,2 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Juni	1,8 °C	7,5 °C	-3,9 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Juli	5,8 °C	12,8 °C	-0,1 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
August	4,8 °C	10,8 °C	-1,4 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
September	0,4 °C	9,4 °C	-6,8 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Oktober	-5,4 °C	5,0 °C	-15,8 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
November	-10,0 °C	1,2 °C	-21,6 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C
Desember	-13,0 °C	1,3 °C	-26,9 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C

Vedlegg 4– Inndata, referansehus (spisshus)



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering U-verdier fra tilstandsanalyse
Tid/dato simulering: 12:49 8/5-2018
Programversjon: 5.502
Simuleringsansvarlig: MBH
Firma: Undervisningslisens
Inndatafil: \\s...\Longyearbyen referansehus fra tilstandsanalyse.smi
Prosjekt: Spisshus
Sone: Sone 1

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	149	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012) Huset er regnet som et frittstående hus og ikke i rekke.
Areal tak [m ²]:	170	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Areal gulv [m ²]:	96	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	17	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	136	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	340	Romhøyde regnet som 2,5 meter, multiplisert med BRA.
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	148 mm, isolert med mineralull. Basert på Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
U-verdi tak [W/m ² K]	0,21	198 mm, isolert med mineralull. Basert på Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,17	198 mm, isolert med mineralull. Basert på Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,98	U-verdi ytterdør fra SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 U-verdi vinduer fra SN/TS 3031:2016 Tabell B.1. Antar over 30 år gamle, se merknad 1.
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	12,5	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Bygning med bæresystem i tre)
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	22	SN/TS 3031:2016 Tabell B.8 Angir verdier mellom 17 og 34 for lette bygninger. 25,48 fra standardiserte verdier basert på input i SIMIEN.
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	6,00	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Småhus før 1985)
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	-

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	0,0	-
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	SN/TS 3031:2016 Tabell B.7 (Avtrekkventilasjon)
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,20	NS 3031:2014 Tabell B.1 (Småhus, BRA over 110 m ²)
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	0,00	NS 3031:2014 Tabell B.1 (Småhus, BRA over 110 m ²)
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	10000	Setter kunstig høy verdi for å se energibehov
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	NS 3031:2014 Tabell A.2 (21 i driftstid, 19 utenfor driftstid)
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	-
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	-
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	-
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	NS3031:2014 Tabell I.1
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	-
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	-
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	-
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	-
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Driftstid belysning (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Driftstid utstyr (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Oppholdstid personer (timer)	24,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	NS 3031:2014 Tabell A.2
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,00	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,80	NS 3031:2014 Tabell A.2
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,40	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	NS 3031:2014 Tabell A.2
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,50	NS 3031:2014 Tabell A.2
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,60	SN/TS 3031:2016 Tabell B.2
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,30	Karmbredde fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,95/1,00/1,00/1,00	Veggutspring mot NV

Vedlegg 5 – Inndata, med U-verdier for et typisk bygg fra 1970-tallet



SIMIEN

Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering
 Tid/dato simulering: 14:19 8/5-2018
 Programversjon: 5.502
 Simuleringsansvarlig: MBH
 Firma: Undervisningslisens
 Inndatafil: \\s...\Longyearbyen typisk hus 70 tallet.smi
 Prosjekt: Spisshus
 Sone: Sone 1

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	149	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012) Huset er regnet som et frittstående hus og ikke i rekke.
Areal tak [m ²]:	170	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Areal gulv [m ²]:	166	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	17	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	136	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	340	Romhøyde regnet som 2,5 meter, multiplisert med BRA.
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,60	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1
U-verdi tak [W/m ² K]	0,60	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Hus mellom 1969-1985)
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,50	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Hus mellom 1969-1985)
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,98	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 og B2 (Vindu 2,8 (over 30 år) og ytterdør 3,0)
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	12,8	Areal fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,05	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Bygning med bæresystem i tre)
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	25	SN/TS 3031:2016 Tabell B.8 Angir verdier mellom 17 og 34 for lette bygninger. 25,48 fra standardiserte verdier basert på input i SIMIEN.
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	6,00	SN/TS 3031:2016 Tabell B.1 (Småhus før 1985)
Temperaturvirkningsqgr. varmegjenvinner [%]:	0	-

Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	0,0	-
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,00	SN/TS 3031:2016 Tabell B.7 (Avtrekkventilasjon)
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1,20	NS 3031:2014 Tabell B.1 (Småhus, BRA over 110 m ²)
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	0,00	NS 3031:2014 Tabell B.1 (Småhus, BRA over 110 m ²)
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,84	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	10000	Setter kunstig høy verdi for å se energibehov
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	NS 3031:2014 Tabell A.2 (21 i driftstid, 19 utenfor driftstid)
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	-
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	-
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0	-
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	NS3031:2014 Tabell I.1
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	-
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	-
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	-
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	-
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Driftstid belysning (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Driftstid utstyr (timer)	16,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Oppholdstid personer (timer)	24,0	NS 3031:2014 Tabell A.3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1,95	NS 3031:2014 Tabell A.2
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	3,00	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1,80	NS 3031:2014 Tabell A.2
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3,40	NS 3031:2014 Tabell A.1
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	NS 3031:2014 Tabell A.2
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1,50	NS 3031:2014 Tabell A.2
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,60	SN/TS 3031:2016 Tabell B.2
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,30	Karmbredde fra Tilstandsrapport 230.26 (Longyearbyen lokalstyre, 2012)
Solskjermingsfaktor horisont/utspring (N/Ø/S/V):	0,95/1,00/1,00/1,00	Veggutspring mot NV

Vedlegg 6 – Inndata: Bygningsdeler referansehus

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Nord-øst (fasade)
Totalt areal	26,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	45°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	36mm bindingsverk, 150mm isolasjon Uverdi: 0,28 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 49 (Stue) (Vindu(er) på Fasade Nord-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,49 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Syd-øst (fasade)
Totalt areal	57,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	135°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	36mm bindingsverk, 150mm isolasjon Uverdi: 0,28 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (bod mellombygg) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Ytterdør (209x209) (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,1 m ²
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 3,00 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 109 x 109 (vaskerom) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	1,09 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (WC) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (bod) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 109 x 109 (kjøkken) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	1,09 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (kjøkken) (Vindu(er) på Fasade Syd-øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Sør-vest (fasade)
Totalt areal	26,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	225°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	36mm bindingsverk, 150mm isolasjon Uverdi: 0,28 W/m ² K

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade NV (fasade)
Totalt areal	57,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	315°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	36mm bindingsverk, 150mm isolasjon Uverdi: 0,28 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 109 x 109 (Soverom) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	1,09 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Balkongdør (209x209) (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,1 m ²
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 3,00 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (Soverom) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 109 x 109 (Stue) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	1,09 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60
Vertikalt utspring til venstre	Dybde : 0,50 m Avstand fra vindu: 0,50 m

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 109 x 109 (Stue) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	1,09 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 169 x 169 (Stue) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,69 m
Bredde vindu(er)	1,69 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60
Vertikalt utspring til høyre	Dybde : 0,50 m Avstand fra vindu: 0,50 m

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (bod mellombygg) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu 49 x 109 (bod mellombygg) (Vindu(er) på Fasade NV)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,09 m
Bredde vindu(er)	0,49 m
Bredde karm/ramme	0,08 m
Karm/rammekonstruksjon	U-verdi: 1,10 W/m ² K Kuldebroverdi: 0,20 W/mK
Vindustype	Egendefinert Uverdi: 2,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,60

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak mot nord-øst (yttertak)
Totalt areal	72,5 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	45°
Takvinkel	45,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	Skråtak m, 48 mm sperrer, 200 mm isolasjon Uverdi: 0,21 W/m ² K

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak mot syd-vest (yttertak)
Totalt areal	97,5 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	225°
Takvinkel	45,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Trepanel/treplate 15 mm Varmekapasitet 4,6 Wh/m ² K
Konstruksjon	Skråtak m, 48 mm sperrer, 200 mm isolasjon Uverdi: 0,21 W/m ² K

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv - Kryprom-1 etg (gulv)
Oppvarmet gulvareal	95,6 m ²
Gulvtype	Gulv mot friluft
Innv. akk. sjikt gulv	Gulvbelegg (4 mm) + 22 mm sponplate Varmekapasitet 7,5 Wh/m ² K
Gulvkonstruksjon	Trebjelkelag (48 mm bjelke), 200 mm isolasjon Uverdi: 0,17 W/m ² K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Etasjeskiller (skillekonstruksjon)
Totalt areal	70,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Lett himling Varmekapasitet 3,0 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Vedlegg 7 – Inndata: ventilasjon, teknisk, internlast o.l.

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,91 Systemvirkningsgrad varmtvann: 1,00 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,88 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 1,87 kr/kWh CO2-utslipp: 0 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
4 Fjernvarme	Systemvirkningsgrad romoppv.: 0,83 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,98 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,90 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,45 kr/kWh CO2-utslipp: 0 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Inndata oppvarming	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Oppvarming (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid	21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden	19,0 °C
Maks. kapasitet	10000 W/m ²
Konvektiv andel oppvarming	0,80
Driftstid	16:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg	Ja
Turtemperatur	80,0 °C
Returtemperatur	60,0 °C
Spesifikk pumpeeffekt	0,50 kW/(l/s)

Inndata CAV	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Avtrekkventilasjon (2 bad, vaskerom, kjøkken) (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Avtrekkventilasjon
Driftstid	24:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	Driftstid: 1.2 m ³ /hm ² Utenfor driftstid: 1.2 m ³ /hm ² Helg/feriedag: 1.2 m ³ /hm ²
SFP-faktor vifter	2.00 kW/m ³ /s

Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 2,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 3,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 3,4 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m ² Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m ²

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlast (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 1,5 W/m ² Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m ² Ferie/helgedager: 0,0 W/m ² Antall arbeidstimer: 24:00

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilsikudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilsikudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m ² K]:	20,00

Vedlegg 8 – Kostnadsoverslag for energiltak med forklaring

NS-kode	Beskrivelse av arbeid	Dim	enhet	enh.pris	mengde	pris	Forklaring/merknad
Etterisolere yttervegg fra 150 til 350 mm							
qk1.113	Utlekking på fasade cc 600>250	48x98	m ²	127.7	264.2	33,738.3	Utlekking 2x98 for redusere kuldebro. Mengde lik som post om mineralull. Ikke tatt hensyn til balkong
qb2.8111	Åpning i bindingsverk 1-2m2	48x198	stk	485	6	2,910.0	5 vindu mellom 1-2m ² + Ett vindu er over 2m ² .
qb2.8111	Åpning i bindingsverk < 1m2	48x198	stk	364.1	8	2,912.8	Regnet som om det var mellom 1-2m ²
qb2.8111	Bindingsverk (6,0lm/stk) dørutsparing	48x198	stk	718.1	2	1,436.2	8 vindu under 1m ²
SB1.11141	Mineralull A-plate - vegg >250	2x100	m ²	180.8	264.2	47,767.4	Ytterdør + balkongdør
						Total	Mengde er basert på 149 m ² med fratrukk for 16,9m ² vindu. Deretter multiplisert med 2
						88,764.7	
						Pris/m ² vegg	Totalsum dividert på ytterveggareal (149 m ²) basert på tilstandsrapport
						595.7	
Etterisolere tak fra 200 til 400 mm							
qb3.21299	Sperretak av heltre, c/c 600	198x48	m ²	362.6	148.4	53,809.8	Denne posten gjelder hovedbygning. Fratrukk for 21,6m ² tilbygg
qb3.221299	Takspeire av heltre >250	198x48	lm	180.6	21.6	3,901.0	Tilbygg, anslår areal til 21,6 m ² basert på plantegning
sb1.31241	Mineralull A-plate, m/papir	200	m ²	148.1	170	25,177.0	Mengde basert på totalt takareal
						Total	
						82,887.8	
						Pris/m ² tak	Totalsum dividert på takareal (170 m ²) basert på tilstandsrapport
						487.6	
Etterisolere gulv fra 200 til 400 mm							
qk1.113	Utlekking på fasade cc 600>250	48x98	m ²	127.7	191.2	24,416.2	Utlekking på 2x98 for redusere kuldebro. Mengde lik som post om mineralull. Ikke tatt hensyn til balkong
qb2.8111	Åpning i bindingsverk < 1m2	48x198	stk	364.1	20	7,282.0	Av hensyn til peler. Antall peler basert på tilstandsrapport av fundamenter for spisshus eid av Lokalstyre. Varier mellom 18-21 stk per hus
SB1.21161	Mineralull A-plate - vegg >250	2x100	m ²	180.8	95.6	17,284.5	Regnet som yttervegg. Areal basert på tilstandsrapport
						Total	
						48,982.7	
						Pris/m ² gulv	Totalsum dividert på gulv over friluft (95.6 m ²) basert på tilstandsrapport
						512.4	
Bytte til nye vindu og dører med U-verdi på 1,2							
rj1.11399228	Vindu, fast karm, hvit Lavenergi 1,2	1.5x1.6	stk	7684	1	7,684.0	Kalkulasjonsnøgkelen (2014) tar utgangspunkt i glass med U-verdi på 1,2 W/m ² K.
rj1.11399218	Vindu, furu, fast karm, hvit 2E m/argon	0.5x0.5	stk	2348.1	1	2,348.1	Kalkulasjonsnøgkelen (2014) tar utgangspunkt i glass med U-verdi på 1,2 W/m ² K.
rj1.11399218	Vindu av furu, fast karm, hvitm. 2E m/argon	1.1x1.1	stk	3871.9	5	19,359.5	Kalkulasjonsnøgkelen (2014) tar utgangspunkt i glass med U-verdi på 1,2 W/m ² K.
rj1.11399218	Vindu av furu, fast karm, hvitm. 2E m/argon	1.1x0.6	stk	3712.1	7	25,984.7	Kalkulasjonsnøgkelen (2014) tar utgangspunkt i glass med U-verdi på 1,2 W/m ² K.
rj2.1322220	Sikkerh.balk.dør, malt, 2 lag Lavenergi 1,2	1.0x2.1	stk	12190.8	1	12,190.8	Kalkulasjonsnøgkelen (2014) tar utgangspunkt i glass med U-verdi på 1,2 W/m ² K.
rh1.12345430	Entre dør, lyd og br.dør, hvit EI30C/35db>5	1.0x2.1	stk	7026.6	1	7,026.6	Enhetspris basert på byggeprosjekt der minst 5 dører monteres. Lås og beslag ikke medregnet
						Total	
						74,593.7	
						Pris/dør og vindu	
						4,662.1	
Installere balansert ventilasjon							
vh4.1210	Balansert vent. m varmegjenv. 120m ²	288m ³ /t	stk	64241.4	1	64,241.4	Enhetspris er basert på byggeprosjekt der minst 10 enheter installeres. Utsparinger må være detaljplanlagt
						Total	
						64,241.4	
						Pris/BRA	Totalsum dividert på 136 m ²
						472.4	

Vedlegg 9 – Følsomhetsanalyse, beregning

Grunnlag

Tiltak	Investeringskostnad [kr]	Årlig besparelse [kWh/år]
1 Etterisolering av yttervegg (fra 150 til 350 mm)	88764.7	6648
2 Etterisolering av tak (fra 200 til 400 mm)	82887.8	4626
3 Etterisolering av gulv (til U-verdi 0,11)	48982.72	1517
4 Skifte av vindu og dør (til U-verdi 1,2)	74593.7	6323
5 (Skifte av vindu (Til U-verdi 0,8))	164800	7844
6 Forbedre lekkasjetall (til 2,5)	-	5115
7 Installere balansert ventilasjon med varmegjenvinning	64241.4	5527
8 (Installere balansert ventilasjon med varmegjenvinning og forbedret lekkasjetall)	-	13486
9 Flere tiltak (Tiltak 1,2,3,4,6,7)	359470.32	33424

Kalkulasjonsrente	4%
El.pris [kr/kWh]	1.87
Fjernvarme [kr/kWh]	0.45
Teknisk levetid / tilbakebetalingsperiode [år]	30

Prosentvis endring

Investeringskostnad [kr]			Årlig besparelse [kWh/år]					
-20%	0%	20%	-20%	0%	20%	-20%	0%	20%
71,012	88,765	106,518	5318.4	6648.0	7977.6	Kalkulasjonsrente [%]		
66,310	82,888	99,465	3700.8	4626.0	5551.2	3.2%	4.0%	4.8%
39,186	48,983	58,779	1213.6	1517.0	1820.4	Fjernvarmepris		
59,675	74,594	89,512	5058.4	6323.0	7587.6	0.36	0.45	0.54
131,840	164,800	197,760	6275.2	7844.0	9412.8	Tilbakebetalingstid		
-	-	-	4092.0	5115.0	6138.0	24.0	30.0	36.0
51,393	64,241	77,090	4421.6	5527.0	6632.4			
-	-	-	10788.8	13486.0	16183.2			
419,416	524,270	629,124	26739.2	33424.0	40108.8			

Etterisolering av yttervegg (Fra 150 til 350 mm)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	62,077		-26,688
Årlig besparelse [kWh]	0%	51,731	88,765	-37,034
	-20	41,385		-47,380
	20%		106,518	-54,787
Investeringskostnad [kr]	0%	51,731	88,765	-37,034
	-20		71,012	-19,281
	20%	47,056		-41,709
Kalkulasjonsrente [%]	0%	51,731	88,765	-37,034
	-20	57,149		-31,615
	20%	62,077		-26,688
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	51,731	88,765	-37,034
	-20	41,385		-47,380
	20%	56,566		-32,199
Tilbakebetalingstid [år]	0%	51,731	88,765	-37,034
	-20	45,613		-43,152

Etterisolering av tak (Fra 200 til 400 mm)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	43,196		-39,692
Årlig besparelse [kWh]	0%	35,997	82,888	-46,891
	-20	28,797		-54,090
	20%		99,465	-63,469
Investeringskostnad [kr]	0%	35,997	82,888	-46,891
	-20		66,310	-30,313
	20%	32,744		-50,144
Kalkulasjonsrente [%]	0%	35,997	82,888	-46,891
	-20	39,767		-43,121
	20%	43,196		-39,692
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	35,997	82,888	-46,891
	-20	28,797		-54,090
	20%	39,361		-43,526
Tilbakebetalingstid [år]	0%	35,997	82,888	-46,891
	-20	31,740		-51,148

Etterisolering av gulv (Fra 200 til 400 mm)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	14,165		-34,817
Årlig besparelse [kWh]	0%	11,804	48,983	-37,178
	-20	9,444		-39,539
	20%		58,779	-46,975
Investeringskostnad [kr]	0%	11,804	48,983	-37,178
	-20		39,186	-27,382
	20%	10,738		-38,245
Kalkulasjonsrente [%]	0%	11,804	48,983	-37,178
	-20	13,041		-35,942
	20%	14,165		-34,817
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	11,804	48,983	-37,178
	-20	9,444		-39,539
	20%	12,908		-36,075
Tilbakebetalingstid [år]	0%	11,804	48,983	-37,178
	-20	10,408		-38,574

Bytte vinduer (til U-verdi 1,2)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	59,042		-15,551
Årlig besparelse [kWh]	0%	49,202	74,594	-25,392
	-20	39,362		-35,232
	20%		89,512	-40,311
Investeringskostnad [kr]	0%	49,202	74,594	-25,392
	-20		59,675	-10,473
	20%	44,755		-29,839
Kalkulasjonsrente [%]	0%	49,202	74,594	-25,392
	-20	54,356		-20,238
	20%	59,042		-15,551
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	49,202	74,594	-25,392
	-20	39,362		-35,232
	20%	53,801		-20,793
Tilbakebetalingstid [år]	0%	49,202	74,594	-25,392
	-20	43,383		-31,211

Bytte vinduer (til U-verdi 0,8)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	73,245		-91,555
Årlig besparelse [kWh]	0%	61,037	164,800	-103,763
	-20	48,830		-115,970
	20%		197,760	-136,723
Investeringskostnad [kr]	0%	61,037	164,800	-103,763
	-20		131,840	-70,803
	20%	55,521		-109,279
Kalkulasjonsrente [%]	0%	61,037	164,800	-103,763
	-20	67,431		-97,369
	20%	73,245		-91,555
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	61,037	164,800	-103,763
	-20	48,830		-115,970
	20%	66,742		-98,058
Tilbakebetalingstid [år]	0%	61,037	164,800	-103,763
	-20	53,819		-110,981

Installering av balansert ventilasjon

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	51,609		-12,632
Årlig besparelse [kWh]	0%	43,008	64,241	-21,234
	-20	34,406		-29,835
	20%		77,090	-34,082
Investeringskostnad [kr]	0%	43,008	64,241	-21,234
	-20		51,393	-8,385
	20%	39,121		-25,120
Kalkulasjonsrente [%]	0%	43,008	64,241	-21,234
	-20	47,513		-16,729
	20%	51,609		-12,632
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	43,008	64,241	-21,234
	-20	34,406		-29,835
	20%	47,028		-17,214
Tilbakebetalingstid [år]	0%	43,008	64,241	-21,234
	-20	37,921		-26,320

Flere energiltak (Etterisolering av tak, vegg, bytte vindu og dør (U-verdi 1,2), balansert ventilasjon, forbedret lekkasjetall (2,5)

		Besparelse [kr]	Investeringskostnad	Nåverdi
	20%	312,103		-212,167
Årlig besparelse [kWh]	0%	260,086	524,270	-264,184
	-20	208,069		-316,202
	20%		629,124	-369,038
Investeringskostnad [kr]	0%	260,086	524,270	-264,184
	-20		419,416	-159,330
	20%	236,580		-287,690
Kalkulasjonsrente [%]	0%	260,086	524,270	-264,184
	-20	287,329		-236,942
	20%	312,103		-212,167
Fjernvarmepris [kr/kWh]	0%	260,086	524,270	-264,184
	-20	208,069		-316,202
	20%	284,396		-239,875
Tilbakebetalingstid [år]	0%	260,086	524,270	-264,184
	-20	229,327		-294,944