

Energimodellering - Sørhellinga

Energy modeling - Sørhellinga

Andreas Lien Klovholt

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
Institutt for Matematiske realfag og teknologi (imt)
Masteroppgave 30 stp. 2012



I Forord

Denne oppgaven markerer slutten på min mastergrad innen Byggeteknikk og arkitektur ved Universitetet for miljø- og biovitenskap. Oppgaven tilsvarer et semesters arbeid på 30 studiepoeng. Utarbeidelsen har foregått gjennom deler av høsten 2011 og halve vårsemesteret 2012.

Valg av oppgave er tatt ut ifra en egeninteresse for energibruk i bygninger. Oppgaven har latt meg benytte mye opparbeidet kunnskap fra studieårene, og samtidig bydd på utfordringer innenfor nye, ukjente fagfelt. Arbeidet i oppgaven ses på som relevant for en ønsket arbeidssituasjon noe som er en av hovedgrunnen for valg av oppgave.

Tormod Aurlien ble valgt som veileder og takkes for sin bistand gjennom prosessen. Jeg vil også rette en stor takk til Pål Kristiansen ved DSA for møter under oppstarten med oppgaven og tilgang til nødvendig data og dokumentasjon om bygget. Asgeir Hynne ved COWI og Tom Fjelstad ved L.S.Solland takkes for deling av kunnskap og erfaringer knyttet til ventilasjonen. Annie Aasen ved UMB takkes for omvisning og beskrivelse av laboratoriene. Eivind Selvig takkes for tilgang til klimagassregnskap.no og tilhørende beregninger gjort av Sørhellinga.

Til slutt takkes også samboer og medstudenter på lesesalene for konsultasjoner og hyggelige stunder under oppgavearbeidet.

Ås, 2012-05-14

Andreas Klovholt

II Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler energibruken ved undervisningsbygget Sørhellinga som opprinnelig stod ferdig desember 1979. Sørhellinga fikk tidlig problemer med store energikostnader og et rykte på seg for å ha et dårlig inneklima. Problemene ble forverret grunnet en stadig økende brukergruppe og overbelastning av underdimensjonerte ventilasjonsaggregater. I 2004 startet derfor rehabiliteringsarbeidet og juni 2008 stod Sørhellinga ferdig rehabilitert og delvis ombygget. Tross et hovedfokus på energibruk og inneklima bruker Sørhellinga store mengder energi og folk klager på inneklima ved flere av byggets arealer. Våren 2011 ble bygget utgangspunkt for masteroppgaven "Energiledelse og energieffektivisering i bygg". Oppgaven fokuserer på byggets drift og styring som hovedgrunnen til det store energibehovet. Det ble konkludert med at deler av byggets høye energibruk skyldes drift og styring, men at det må være andre forhold som også ligger til grunn for energibruken.

Denne oppgaven bygger videre på oppgaven fra våren 2011, og søker å finne flere grunner til byggets høye energibruk. Studier av byggets bygningsfysikk og tekniske installasjoner har vært utgangspunkt for oppgavens fire hypoteser. Oppgavens teoridel består av informasjon om bygget, samtaler og intervjuer med aktuelle aktører og teori som bygger opp under hypotesene. For å modellere bygget og svare på hypotesene har programvaren Simien blitt benyttet for energisimuleringer. For å simulere bygningsdetaljer har programvaren Therm blitt brukt.

Resultatene viser at byggets bygningsfysikk, ventilasjonsaggregatenes soneinndelinger og valg av laboratoriearealer bidrar nødvendigvis til det store energibehovet. Drift og styring av bygget har også behov for effektivisering før bygget er energi-optimalisert. For å oppnå et forbedret inneklima må det gjøres endringer med ventilasjonsaggregatenes soneinndelinger. I løpet av perioden denne oppgaven er skrevet har DSA besluttet å gjøre om på soneinndelingen.

Studiet konkluderer med at bygningsdetaljer og valgte løsninger bidrar til byggets høye energibruk og dårlige inneklima. Alternative løsninger burde i flere tilfeller vært valgt. Samtidig må DSA fortsette å jobbe for ytterligere forbedret drift og styring.

III Abstract

This master thesis deals with the energy use of the university building Sørhellinga, which was originally built in 1979. The building soon was associated with a poor indoor climate, and had big costs regarding its energy use. The extent of the problems increased over the years due to an inadequate dimensioning of the ventilation units, as more and more people were visiting on a daily basis. Because of this, rehabilitation of the building was commenced in 2004, and the building as it appears today, both rehabilitated and partly converted, was finished in June 2008.

Despite a focus on use of energy and indoor climate, Sørhellinga still uses a lot of energy, and some people are still complaining about the climate in several of the building areas. In 2011 the energy use of Sørhellinga was the background for a master thesis about energy efficiency. The thesis concluded that the main reason for the big energy demand of the building is the way it is managed and operated. It also concluded that in addition to these factors, there must be other reasons for the energy demand.

This thesis is a continuation of the mentioned thesis from last year, and seek to find the additional reasons for the big energy use of Sørhellinga. Four hypotheses are presented in this paper, based on studies of the building physics and technical installations of Sørhellinga. In the theory part, information regarding the building itself, information about relevant theory for the hypotheses and rendering of interviews with people associated with engineering and managing of the building, are presented. The softwares Simien and Therm have been used to simulate different physical and technical conditions.

The results show that the building physics, the design of ventilation units and the space used for laboratories in Sørhellinga are contributing unnecessarily to the energy demand. Also the managing and operation of the building need some improvement in order to reach a sufficient energy use. Since my work with this thesis started, the service unit of the university has decided to rearrange the design of the ventilation units.

The final conclusions are that building physics and operational design contribute to the big energy use and poor indoor climate of Sørhellinga. Different solutions might give improved conditions in several cases. In addition, the service unit need to focus on more efficient operation.

IV Innholdsfortegnelse

I Forord	I
II Sammendrag	III
III Abstract	V
IV Innholdsfortegnelse	VII
V Lister	XI
Figurliste:	XI
Tabelliste:.....	XI
Formelliste:.....	XII
VI Definisjoner og begreper	XIII
1 Innledning og problemstilling	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
1.3 Avgrensning	3
1.4 Sørhellinga	3
<i>Historie - UMB og Sørhellinga</i>	3
1.5 Sørhellinga etter juni 2008.....	4
<i>Byggeteknikk</i>	5
<i>VVS-tekniske anlegg</i>	5
<i>Elektroniske anlegg</i>	6
2 Metode	7
2.1 Energimodellering ved bruk av SIMIEN	7
2.2 Therm v5.2	9
2.3 Litteraturstudiet	9
2.4 Intervjuer og samtaler	9
2.5 Feltmålinger	10
2.6 Termografering	10
3 Litteratur, teori, samtaler og intervjuer	11
3.1 Energibruk ved Sørhellinga	11
3.2 Problemer knyttet til inneklima ved Sørhellinga.....	12
3.3 Ventilasjonsaggregatene ved Sørhellinga	12
3.3.1 Ventilasjonsaggregatenes soneinndeling	14
3.4 Energimerking	14
3.5 NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse; Metode og Data	16
3.6 Ønske om strenge krav	17
3.7 Feilprosjektering	17

3.8 Klimaregnskapet.....	19
3.8.1 Klimagassregnskap.no	21
3.9 Hovedombygging og problemer knyttet til energikravene.....	22
3.10 Døgnkontinuerlige ventilasjonssoner.....	23
3.10.1 Arbeidstilsynet	23
3.10.2 Teknisk Forskrift	23
3.10.3 Forskrift om vern mot eksponering for kjemikalier på arbeidsplassen	24
3.11 Prosjekteringsrutiner.....	24
3.11.1 SFP-faktor	25
3.12 Kuldebroverdier	26
3.12.1 Varmetap vinduer.....	28
3.13 Termografering og beregning av bygningers U-verdier	30
3.12 Fordeling energibruk Sørhellinga	31
3.13 Intervjuer og samtaler	32
3.13.1 Utfordringer ventilasjonssoner.....	32
3.13.2 Døgnkontinuerling ventilasjon	33
4 Presentasjon av hypotesene.....	35
4.1 Hypotese 1 – Drift.....	35
Bakgrunn.....	35
Gjennomføring.....	35
4.2 Hypotese 2 – Soneinndeling ventilasjonsaggregater.....	35
Bakgrunn.....	36
Gjennomføring.....	36
4.3 Hypotese 3 – Ventilasjon Laboratorier	36
Bakgrunn.....	37
Gjennomføring.....	37
4.4 Hypotese 4 – Varmetap.....	37
Bakgrunn.....	37
Gjennomføring.....	38
5 Resultater	39
5.1 Klimagassregnskap.no	39
5.2 Laboratoriernes ventilasjonssystemer.....	40
5.3 Problemer på byggets ulike plan knyttet til ventilasjonen	41
5.4 Bygningsdetaljer Sørhellinga	45
5.4.1 Termografering.....	45
5.4.2 Beregninger detaljer.....	46
5.4.3 Beregning alternative detaljer	49
5.5 Simien.....	50
5.5.1 Modell 1: Hele bygget, som bygget.....	50
5.5.2 Modell 2: Hele bygget, untatt undervisningslaboratorier	51
5.5.3 Modell 3: Hele bygget, med alternative løsninger massivtre og vinduer, uten undervisningslaboratorier.....	52
5.5.4 Modell 4: Ventilasjonssone 5 og 6, som bygget.....	52
5.5.5 Modell 5: Ventilasjonssone 5 og 6, alternativ inndeling	53
6 Diskusjon	55
6.1 Hypotese 1 – Drift.....	55
6.2 Hypotese 2 – Soneinndeling ventilasjonsaggregater.....	56

6.3 Hypotese 3 – Ventilasjon Laboratorier	57
6.4 Hypotese 4 – Varmetap.....	57
7 Konklusjon.....	59
8 Videre arbeid	61
9 Referanser	63
11 Vedlegg	67
Vedlegg 1: Simuleringer Therm.	67
Vedlegg 2: Simulering SIMIEN.....	73

V Lister

Figurliste:

Figur 1 : Karakterskala energimerking (NVE 2010)	15
Figur 2 : Soneinndeling (NS 3031)	16
Figur 3 : Oppdeling byggskader (SINTEF 2008)	18
Figur 4 : Oppdeling byggskader II, (SINTEF 2008)	18
Figur 5 : Klamagassutslipp byggeprosjekter (Statsbygg 2008)	20
Figur 6 : Snitt vindusinnsetting (Selnæs 2011)	29
Figur 7 : Energiforbruk Sørhellinga (Langset 2010)	32
Figur 8 : Bygningers klimapåvirkning inkludert endringer Sørhellinga (Statsbygg 2008)	40
Figur 9 : Plantegning kjeller (FDV 2011)	41
Figur 10 : Plantegning underetasje (FDV 2011)	42
Figur 11 : Plantegning 1. etasje (FDV 2011)	43
Figur 12 : Plantegning 2. etasje (FDV 2011)	44
Figur 13 : Plantegning 3. etasje (FDV 2011)	44
Figur 14 : Termografering Sørhellinga sin nord-fasade	45
Figur 15 : Termografering Sørhellinga sin syd-fasade	45

Tabelliste:

Tabell 1 : Luftmengder ventilasjonsaggregater (FDV 2011)	13
Tabell 2 : Historisk oversikt, krav til normalisert kuldebroverdi	27
Tabell 3 : Variasjon kuldebroverdi etter innsetting av vindu.	29
Tabell 4 : Emisjonsfaktorer for typiske bygningsmaterialer.	30
Tabell 5 : Energifordeling Sørhellinga 2010 (Langset, 2010)	32
Tabell 6 : Klimagassutslipp i tonn CO ₂ -ekv/år	39
Tabell 7 : Beregning U-verdi Holtz100 massivtreelement	46
Tabell 8 : Beregning kuldebroverdi dekkeforkant	47
Tabell 9 : Beregning kuldebroverdi vinduskarm	47
Tabell 10 : Beregning bidrag NKV	48
Tabell 11 : Vindusskjema Holtz100-vegg	48
Tabell 12 : Beregning kuldebroverdi alternativ dekkeforkant.	49
Tabell 13 : Beregning kuldebroverdi alternativ vinduskarm	49

Tabell 14 : Beregning bidrag NKV, med alternative endringer	50
Tabell 15 : Resultater Simien Modell 1.	51
Tabell 16 : Resultater Simien Modell 2	51
Tabell 17 : Resultater Simien Modell 3	52
Tabell 18 : Resultater Simien Modell 4.	52
Tabell 19 : Resultater Simien Modell 4.	53
Tabell 20 : Resultater Simien Modell 5.	53
Tabell 21 : Resultater Simien Modell 5.	53

Formelliste:

ligning 1: SFP faktor (Norsk VVS 2001)	25
ligning 2: Normalisert kuldebroverdi.	26
ligning 3: Total u-verdi vindu.	28
ligning 4: U-verdi vinduskarm (SINTEF Byggforsk 2008)	29
ligning 5: Emmisjonsfaktor.	31
ligning 6: Omskrevet Stephan Boltzmanns lov.	31

VI Definisjoner og begreper

Følgende begreper og definisjoner er benyttet i denne oppgaven:

BRA: Bruksarealet for en bygning ekskludert åpent overbygd areal, etter NS 3940. BRA er summen av alle målverdige plan uavhengig av bruken dvs. bruttoarealet minus arealet som opptas av yttervegger.

DSA: Drift og serviceavdelingen ved UMB, som har ansvar for drift, vedlikehold og oppfølging av bygningsmassen på campus Ås.

Emissivitet: Forholdet mellom stråling emittert fra en flate og stråling emittert fra en sort legeme med samme temperatur.

FDV-dokumentasjon: Teknisk dokumentasjon om forvaltning, drift og vedlikehold.

FEM-analyse: Finite element metode for beregninger.

Kuldebroverdi: Lineær varmegjennomgangskoeffisient for felter med lavere isolasjonsevne enn omkringliggende konstruksjon/bygningsdel.

Leverert energi: Summen av energi, uttrykt per energivare, levert over bygningens systemgrenser for å dekke bygningens samlede energibehov. Inkluderer systemtap som ikke gjenvinnes.

Lux: SI-enhet for måling av belysningsstyrke.

Netto energibehov: Bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden.

NKV: Normalisert kuldebroverdi.

Sone: Bygget blir i SIMIEN delt inn i soner etter bruk. Dette gjør at hver sone har like

Energimodellering - Sørhellinga

forutsetninger ved simulering.

Spesifikt energibehov: Energibehov per kvadratmeter oppvarmet del av BRA.

TEK10: Teknisk forskrift som gjelder fra år 2010, omhandlende krav til byggverk i henhold til Plan- og bygningsloven.

U-verdi: En verdi for mengde varme som passerer en kvadratmeter av konstruksjonen pr. tidsenhet ved en temperaturforskjell på én Kelvin mellom konstruksjonens to sider, W/m^2K .

UMB: Universitetet for miljø- og biovitenskap

VAV-spjeld: Et spjeld som varierer luftmengden. VAV = Variable Air Volume. Dette gjør det mulig å styre luftmengde i forhold til CO_2 -nivå og temperatur.

1 Innledning og problemstilling

1.1 Bakgrunn

Det legges stadig større vekt på energieffektivisering av bygninger og prosjektering av energieffektive bygg. Kravene i de tekniske forskriftene blir stadig strengere og 1. juli 2010 trådte TEK10 i kraft, et viktig skritt på veien mot en passivhusstandard. De tekniske forskriftene gir eksakte og detaljerte krav til byggets energibehov og bygningsfysiske detaljer. Etter endt byggeprosess stilles det derimot ingen krav til byggets reelle energibruk. Bygningsmassen står i dag for nærmere 40% av Norges totale energiforbruk (Kommunal og regionaldepartementet, 2012). Drift og styring av bygninger har stor innvirkning på denne andelen. Innføringen av energimerkeordningen gir leietakere og kjøpere en mulighet til å se hva bygget virkelig vil forbruke av energi da merkeordninger bygger på faktisk energibruk.

Undervisningsbygget Sørhellinga ble gjenåpnet i juni 2008 etter en omfattende renovering. Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB) har en rekke gamle bygg og mange av disse har behov for renovering. Grunnen til at Sørhellinga ble prioritert var blant annet byggets dårlige inneklime og høye energiforbruk. Disse problemene hadde fulgt bygget fra kort tid etter at det stod ferdig i 1979. Dette ble derfor svært viktige punkter ved rehabiliteringen av bygget. Til tross for at energibruk og inneklime ble sterkt vektlagt under prosjekteringen viste det seg at heller ikke dette nybygget var problemfritt.

Bygget bruker langt mer energi enn hva som var forventet og hva de prosjekterende ingeniørene hadde beregnet. Gjennom masteroppgaven "Energiledelse og energieffektivisering i bygg" av Ola Kvale og Sindre Gaustad (2011) blir byggets drift og styring undersøkt. Oppgaven påpeker at bygget bruker unødvendig mye energi, og konkluderer med at byggets drift og UMB sin manglende energiledelse har en del av ansvaret. Oppgaven påpeker også at selv med fokus på driftsrutiner og bedre energistyring vil Sørhellinga bruke mye energi. Gjennom oppgavens tre hypoteser legges det frem noen konkrete tiltak for å redusere byggets energibehov, videre fremlegges enkle beregninger over forventede energibesparelser (Statsbygg 2008).

Feilprosjektering er et stort problem i norsk byggencæring og står for rundt 10% av de totale investeringskostnadene hvert år (SINTEF, 2008). Hva så med de feilprosjekteringer som ikke

er åpenbare eller ikke medfører store bygningsfysiske skader? Kan deler av Sørhellinga sitt høye energibruk spores tilbake til dårlig løsninger og utforminger valgt under prosjekteringen? Skyldes disse eventuelle feilene mangelfull prosjektering eller utfordringer rundt forholdet til den eksisterende bygningen? En av hovedgrunnene til at Sørhellinga ikke ble revet var å spare miljøet. Kan det likevel tenkes at det faktisk gjorde vondt verre ?

Energi koster penger og på et universitet som både fronter miljø og tekniske fag burde energibruk og energibesparelse være et høyaktuelt fokus og en prioritet i alle ledd av utdanningsinstitusjonen.

UMB er med i prosjektet "en klimanøytral stat". Gjennom prosjektet skal ti statlige virksomheter arbeide for å oppnå status som klimanøytrale. UMB skal gjennom et år undersøke hvordan skolen kan blir klimanøytral. Gjennom denne kartleggingsperioden skal UMB beregne sine utslipp og finne fremgangsmåter for å nå dette målet. Hovedfokuset til prosjektet skal være energibesparelse, samt økt andel av fornybar energi til bruk i bygningsmassen. Også en mer klimavennlig bilpark og smart bruk av IKT fremheves som viktige punkter (Norum 2011, Næss 2011).

1.2 Problemstilling

I samråd med DSA og gjennom egne undersøkelser vil det bli vurdert hvilke forhold som vil bli studert i prosjektet. Undersøkelsene vil omfatte Sørhellingas bygningsfysikk, ventilasjonssystem og eventuell feilprosjektering.

Det søkes å finne en forklaring på Sørhellinga sitt høye energibruk. Hvilke forhold spiller inn, og i hvilken grad? Hvordan ville situasjonen vært om andre detaljer og løsninger hadde blitt valgt i utgangspunktet?

Forholdene som blir studert vil gjennom simuleringer og modelleringer gi svar på hvilke forhold som forårsaker Sørhellinga sitt unormalt høye energibruk. Oppgaven vil bygge videre på arbeidet som ble gjort i oppgaven "Energiledelse og energieffektivisering av bygg"(2011). Oppgaven skal belyse de begrensninger som ligger i bygget, og finne aktuelle bidrag til energiforbruket.

1.3 Avgrensning

Studiet vil fokusere på Sørhellinga sin bygningsfysikk, samt tekniske installasjoner og konstruksjoner. Da byggets drift var hovedfokus i oppgaven "Energiledelse og energieffektivisering av bygg" (2011) vil dette ikke være hovedfokus her. Kun et utvalg detaljer og problemer vil bli undersøkt og simulert. Prosjektet vil ikke omfatte innhenting av verdier og tallmateriale utover det grunnlag som finnes ved DSA. Der tilgjengelig dokumentasjon ikke er tilstrekkelig vil det benyttes normtall og tilnærminger.

1.4 Sørhellinga

Historie - UMB og Sørhellinga

Den Høiere Landbrugskole i Aas ble stiftet i 1859 og er med det Norges nest eldste utdanningsinstitusjon. I 1879 ble navnet endret til Norges Landbrukshøgskole og da høgskolen i 2005 fikk universitetsstatus ble navnet Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB). Universitetet har nå rundt 3800 studenter fordelt på åtte institutter. På universitetets nettsider er skolens faglige nedslagsfelt beskrevet på følgende måte: "*Det moderne universitetet UMB skal være en sentral aktør innen miljø- og biovitenskap med vekt på kjerneområdene; biologi, mat, miljø, areal- og naturressursforvaltning med tilhørende estetiske og teknologiske fag*" (UMB 2011, Mikkelsen 2011).

UMB sin bygningsmasse er stor og variert, og bærer preg av å tilhøre en institusjon med over 150 års historie. De første bygningene stod ferdig i 1859 og står den dag i dag. Skolen vokser og trenger etter hvert en utvidet bygningsmasse. Arkitekt Ole Andreas Sverre (1865-1952) ble ansatt på begynnelsen av 1900-tallet og tegnet en rekke bygninger til Landbrukshøgskolen. Totalt ble det tegnet og bygget 28 bygninger under Ole Andreas Sverre, hvorav 21 fremdeles står (Steigan 2005).

Arbeidet med Sørhellinga startet i 1970 og i 1976 var bygget ferdig detaljprosjektert. Bygget skulle fungere som undervisnings- og administrasjonsbygg for ti institutter og romme lesesalsplasser, undervisningslokaler, laboratorier, auditorium, kantine, tegnesaler og bibliotek. I desember 1979 stod bygget ferdig.

Utover på 80-tallet ekspanderte bruken av bygget, og det hendte at mer enn 400 personer benyttet bygget samtidig. Med et ventilasjonssystem som opprinnelig var underdimensjonert fikk Sørhellinga rykte på seg for dårlig luftkvalitet og inneklima. Som et resultat av dette ble brukerne tvunget til å lufte med åpne vinduer året rundt, og energibruken til bygget ble svært høy som følge av dette.

På begynnelsen av 2000-tallet forverret situasjonen seg da en rekke lekkasjer fra tak og fasadeelementer medførte vannskader, mugg og sopp som bidro til å forringe inneklimaet ytterligere. Skolen bestemte seg derfor i 2002 for at Sørhellinga skulle prioriteres hvis det ble bevilget penger til rehabilitering.

I 2004 startet dermed arbeidet med rehabiliteringen av Sørhellinga. Underveis i arbeidet ble det avdekket at de faktiske forholdene var verre enn antatt, og det ble derfor bestemt at bygget skulle totalrenoveres. Kun de bærende konstruksjonene ble stående, og dette medførte stort spillerom og muligheter ved utformingen av bygget. Det ble bestemt at ventilasjonsanlegget og de dårlige lysforholdene i byggets indre deler skulle vektlegges ved prosjektering (Statsbygg 2008).

1.5 Sørhellinga etter juni 2008

Juni 2008 stod Sørhellinga ferdig og ved semesterstart i august flyttet ansatte og studenter inn. Bygningen fremstod som ny og innehar idag følgende funksjoner:

- Forsknings- og undervisningslaboratorier
- Kontorer for forskere, administrasjon og teknikere
- Undervisningsarealer, inklusive biologiske samlinger
- Studiearealer, lesesalsplasser og grupperom
- Bibliotek og bokmagasin
- Kantine
- Rom for bygningsdrift
- Teknisk etasje for ventilasjon

Da Sørhellinga stod ferdig i 1979 hadde bygget et areal på ca. 9400m². Etter totalrenoveringen er arealet økt til 10 170m². Denne økningen i areal skyldes at det er blitt anlagt en etasje for ventilasjonsteknisk utstyr på toppen av bygget (Statsbygg, 2008).

Byggeteknikk

Yttervegger

Langveggene i klinkerbelagte betongelementer ble under forprosjektet funnet i for dårlig stand til at rehabilitering av disse var aktuelt. Det ble derfor bestemt å benytte elementer av massivtre. Kortfasadene som tidligere var rehabilitert ble beholdt i sin opprinnelige utførelse i tegl.

Åpne lysgårder

Som følge av det opprinnelige byggets dårlige lysforhold sentralt i bygningen ble det anlagt to 7x7 meter store lysgårder her.

Bæring

Byggets opprinnelige bæresystem med betongsøyler og bjelker i et 6x9 meter rutenett er beholdt. Det er kun gjort enkelte endringer ved lysgårdene. Disse endringene har berørt deler av byggets avstivning og kontrollberegninger har blitt utført (Statsbygg, 2008).

VVS-tekniske anlegg

Varmeanlegg

Bioenergisentralen ved UMB forsyner fortsatt bygningen med varme gjennom det opprinnelige fjernvarmeanlegget. Varmeanlegget med radiatorer er byttet ut og består nå av et torørs varmeanlegg hvor radiatorene reguleres enten direkte ved radiatoren eller sentralt for flere rom. Uteluften forvarmes først i luftbehandlingsaggregatets varmegjenvinner for deretter å ettervarmes ved hjelp av et varmtvannsbatteri. Bygget har montert to vekslere; en for romoppvarming og en for ventilasjonsluft, varmt tappevann og snøsmelteanlegg.

Kuldeanlegg

Kuldeteknisk utstyr er montert til byggets avfallsrom, to kjølerom og et fryserom. Kuldeaggregatene benytter et splittsystem med adskilt fordampner og kuldemaskin

forbundet med isolerte rør. En egen lukket kjølekrets med vannkjølt kondensater er koblet til byggets isvannanlegg.

Luftbehandlingsanlegg

Det er montert syv ventilasjonsaggregater med en samlet luftmengde på 111 000m³/h. Seks av ventilasjonsaggregatene har roterende kryssvarmegjenvinnere påmontert, det siste aggregatet har en væskekoblet batterivarmegjenvinner. Ventilasjonsaggregatene blir regulert slik at det opprettholdes et konstant trykk i hovedkanalene. De rom som har varierende kjøle- og ventilasjonsbehov har påmontert VAV-spjeld. Det er også montert VAV-spjeld i laboratorienes avtrekksskap.

Luftkjøleanlegg

Det er montert utvendig automatisk solavskjerming for å redusere soloppvarmingen. To kjølemaskiner på til sammen 560 kW produserer isvann til kjølebatteriene i ventilasjonsaggregatene, i tillegg er det montert lokale kjølemaskiner i rom med særskilte kjølebehov (Statsbygg, 2008).

Elektroniske anlegg

Anlegg for sentral driftskontroll (SD-anlegg)

Sørhellinga har montert et iFix SD-anlegg for styring av byggets tekniske anlegg. Systemet iFix kjøres via Sørhellinga sitt kontrollrom og gjør det mulig å endre bygget automasjonsinnstillinger. Gjennom iFix kan følgende funksjoner styres: ferie- og helgeinnstillinger, slukkepulser, driftstider og settpunkter for LUX og CO₂-verdier.

Energioppfølgingssystem (EOS)

UMB benytter et felles energioppfølgingssystem for hele sin bygningsmasse. Systemet gir mulighet til å innhente informasjon om energibruken til de forskjellige byggene. Systemet er ment å gi en oversikt over byggenes energiforbruk, og endringer må gjøres gjennom byggenes respektive SD-anlegg (Statsbygg 2008, Teksal Øst 2009).

2 Metode

I dette kapitlet presenteres og beskrives metodene benyttet i denne oppgaven. Dataprogrammene SIMIEN og Therm har blitt brukt for å gjennomføre energi- og bygningsfysiske simuleringer. SIMIEN er benyttet til å simulere energibruk, effektbehov og inneklime i flere av oppgavens case. Therm er brukt til simuleringer av varmeoverføring i ulike bygningskonstruksjoner. Et litteraturstudium har blitt gjennomført for å finne relevant informasjon fra liknende oppgaver som er skrevet tidligere. I litteraturstudiet har også forskrifter og lovverk blitt studert for å få innblikk i det juridiske grunnlaget for prosjekteringen. Intervjuer og samtaler har blitt avholdt for å få et inntrykk av hva folk som har jobbet/jobber med bygget mener. Det er interessant å få en forklaring på hvorfor bygget endte opp som det gjorde, og hvilke utfordringer det ble tatt høyde for under prosjekteringen. Feltnmålinger har blitt gjennomført for å innhente og kontrollere data til bruk i simuleringene. En stor del av arbeidet med oppgaven har gått ut på innsamling av informasjon og opparbeidelse av kompetanse for å kunne gjennomføre simuleringer og foreta faglige vurderinger.

Det er viktig å presisere at modellene, til tross for at de bygger på reelle data, ikke kan defineres som virkelighet. Gjennom stadig å forfine modellene og inngangsdata vil målenøyaktigheten øke, og modellene tilnærmes virkeligheten. Å kontrollere både spesifikke og generelle data der utslaget er av stor betydning vil være avgjørende for resultatenes nøyaktighet.

2.1 Energimodellering ved bruk av SIMIEN

SIMIEN (Simulering av inneklime og energibruk i bygninger) er et beregningsprogram bygget opp rundt NS 3031: 2007 (Beregninger av bygningers energiytelse: Metode og data), og brukes til simuleringer av energibruk, effektbehov og inneklime i bygninger. Programmet er utviklet av "Programbyggerne", som utvikler teknisk programvare. Selskapet ble startet i 1993 og deres hovedområde ligger innenfor energibruk og inneklime i bygninger. Programmet er spesielt egnet for norske forhold da det innehar verdier vedrørende bygningskonstruksjoner hentet fra NS 3031. Videre inneholder databasen en rekke norske klimadata. Det er også mulig å legge inn spesifikke data ved å overstyre

programmets forhåndsdefinerte verdier. SIMIEN brukes i dag til energisimuleringer og energimerking av bygninger av en rekke selskaper innen bygg og energi (Programbyggerne, 2011).

Simuleringen tar hensyn til bygningskropp og alle bygningsfysiske detaljer så vel som tilskuddsvarme fra sol og brukere. SIMIEN tar også hensyn til brukstider og selve bruken. Dette gjør programmet godt egnet til å simulere et komplekst bygg som Sørhellinga. Som bruker kan man også velge å benytte NS 3700:2010 eller TEK 10 fremfor NS 3031.

Kapittel 4 i NS 3031: *Fellesbestemmelser*, gir en trinnvis oversikt over stegene i energiberegningen:

1. Innhenting av data
2. Inndeling i soner
3. Valg av beregningsmetode

Soneinndelingen gjøres med bakgrunn i byggets bruk og utforming. Inndelingen gjør at man kan studere spesifikke deler av bygget etter simuleringen. Under inndata legges det inn hvor mange soner bygget består av, hele bygget kan være en sone, eller enkeltrom kan legges inn som egne soner.

NS 3031 omfatter tre beregningsalternativer: Månedsberegninger (stasjonær metode), forenklet timeberegning (dynamisk metode) og detaljerte beregningsprogrammer (dynamisk metode). SIMIEN utfører en detaljert dynamisk beregning og tillater bruk av seks forskjellige beregningstyper:

- Årssimulering
- Sommersimulering
- Vintersimulering
- Evaluering mot forskrifter (TEK10/TEK07)
- Evaluering mot passivhusstandard (NS3700/3701)
- Energimerking

SIMIEN skal i denne oppgaven i hovedsak brukes til årssimuleringer. Simuleringene vil bli brukt til sammenligning med Sørhellingas faktiske energiforbruk. Ulike modeller i oppgavens forskjellige case vil bli satt opp mot hverandre for å se på konsekvensene av forskjellige løsninger (Programbyggerne 2011).

2.2 Therm v5.2

Therm er et todimensjonalt FEM-analyseprogram, utviklet av det amerikanske selskapet Design Builder Software. Programmet brukes for beregninger og simuleringer av varmeoverføring og strålingsvarme i forskjellige bygningskonstruksjoner. Therm regner med konveksjonsvarmen i hulrom i konstruksjonen. I denne oppgaven er Therme v5.2 blitt benyttet til simuleringer av forskjellige bygningsdetaljer. Dataene fra simuleringer har blitt brukt til utregninger av U-verdier og kuldebroverdier. Resultatene hentet ut fra simuleringer har blitt brukt i videre simuleringer og som kontroll av eksisterende data og tallmateriale (Fenestration 2011).

2.3 Litteraturstudiet

Gjennom litteraturstudiet har det blitt samlet inn relevante data og informasjon for oppgaven. Opparbeidelse om kunnskap knyttet til liknende oppgaver/rapporter har vært en viktig del av studiet. Det er også brukt tid på å sette seg inn i relevante forskrifter og lover. Hele litteraturstudiet har blitt gjort for å heve kompetansen og opparbeide seg nødvendig kunnskap for å kunne gjøre vurderinger og ta fornuftige valg i oppgaven. Gjennom UMB sin FDV-dokumentasjon har spesifikke data om Sørhellinga blitt samlet inn. Det er denne informasjonen som har dannet grunnlaget for simulering og utregninger av energiaspekter ved bygget. Alle tall og mål knyttet til bygget er hentet fra denne databasen.

2.4 Intervjuer og samtaler

Intervjuer og samtaler med aktuelle personer fra rehabiliteringen av Sørhellinga har blitt gjennomført for å innhente informasjon om forutsetninger og bakgrunn for valg tatt under rehabiliteringen. For best mulig sikkerhet knyttet til informasjon fra disse personkildene har flere parter blitt kontaktet, og uttalelser har blitt dobbelkontrollert. Videre er det holdt en løpende dialog med DSA.

2.5 Feltnmålinger

For å kontrollere innhentede data og tegningsgrunnlag har det blitt gjennomført feltnmålinger. Enkle stikkprøver har også blitt gjort for å kontrollere "som bygget"-tegninger.

2.6 Termografering

Termografering har blitt benyttet som metode for å kartlegge mulige kuldebroer ved Sørhellinga sine fasader. Termografering og dertil temperaturmålinger har ikke blitt benyttet for å beregne U-verdier og kuldebroverdier. Dette har gjort at termograferingene ikke har fulgt TEK og resultatene kan ikke benyttes til å trekke slutninger og konklusjoner, da måle-unøyaktigheten er for stor.

3 Litteratur, teori, samtaler og intervjuer

I dette kapitlet presenteres resultatene av litteraturstudiet. Kapitlet gir en innføring i litteraturen som er brukt og den teori som er hentet inn for å trekke konklusjoner og tolke resultater senere i oppgaven. Kapitlet danner grunnlaget for de vurderinger som har blitt gjort og den konklusjonen som har blitt trukket. Sørhellinga og tekniske forhold knyttet til bygget presenteres for å bedre forståelsen av oppgaven.

3.1 Energibruk ved Sørhellinga

I Statsbygg sitt forprosjekt ble det lagt frem tall for det totale energiforbruket på 1,319 MWh/år (termisk og elektrisk). Dette tilsvarer 133 kWh/m². Sørhellinga er prosjektert etter TEK97 hvor rammekravet for energiforbruk i universitets- og høgskolebygg er 180kWh/m². Forprosjektet lå altså langt under rammekravene i TEK97 (gjeldende teknisk forskrift).

Forskjellen mellom tallene i dette forprosjektet og dagens virkelighet er langt fra marginal. I 2009 var energibruken 243 kWh/m² og i 2010 hadde Sørhellinga et energiforbruk på 238,5 kWh/m² (Trond Langseth 2011). Dette er omkring 80% høyere enn hva forprosjektet indikerte.

Selv om tallene fra forprosjektet senere ble oppjustert er det snakk om betydelige forskjeller. Det virker fullstendig urealistisk for drift- og serviceavdelingen til UMB (DSA) å ha dette som et realistisk mål for byggets energiforbruk. I det endelige prosjektet ble det beregnet et forbruk mellom 180 og 200 kWh/m², altså noe i overkant av rammekravet (Trond Langseth, 2011). Bygget ble prosjektert i henhold til TEK97 som ikke hadde spesifikke krav til projektering av energiforbruk. Det foreligger derfor ingen spesifikasjoner på dette fra Statsbygg sin side (Statsbygg 2008).

Kun få år etter at bygget stod ferdig skal det nå gjøres endringer for å redusere energiforbruket. Det gjøres forandringer i byggets kjølesystem og det vurderes å gjøre flere endringer for å redusere energibruken ytterligere.

I masteroppgaven "Energiledelse og energieffektivisering i bygg" (2011) ble det gjort klart at selv om energiforbruket i Sørhellinga er betydelig høyere enn hva forprosjektet til Statsbygg indikerte kan man ikke legge all skyld på den daglige driften av bygget.

Dette er hva Kvale og Gaustad skriver: "Ved oppstart av arbeidet med denne oppgaven regnet vi med å tidlig klarlegge at Sørhellinga er et bygg som bruker langt mer energi enn det burde. Etter kartlegging av energiforbruket og sammenligning med andre bygg er ikke bildet like tydelig."

UMB er med andre ord ikke dårligere enn en rekke andre institusjoner når det gjelder energiledelse og energieffektivisering. Og selv om deler av skylden blir lagt på DSA er det tydelig at det også finnes andre grunner til det høye energibruket (Gaustad&Kvale 2011).

3.2 Problemer knyttet til inn klima ved Sørhellinga.

Til tross for at Sørhellinga stod ferdig så sent som juni 2008 har det rukket å komme en rekke klager på byggets inn klima. DSA har problemer med å regulere ventilasjonsaggregatene for å oppnå et godt inn klima i deler av bygningen. Det har vist seg at enkelte av ventilasjonsaggregatenes soneinndelinger gjør det svært vanskelig å opprettholde lik innetemperatur i ulike deler av bygget. Dette fører til at rom som betjenes av samme aggregat oppleves som for varme på sørsiden av bygget og for kalde på byggets nordside (Kristiansen 2011).

Sørhellinga er orientert med "hoved-fasaden" pekende mot sør. Både underetasje og 1. etasje har store sørvendte glassfasader. De store glassflatene medfører store mengder strålingsvarme fra solen. Dette fører til at det på solfylte dager blir en betydelig oppvarming av de sørlige arealene i bygget. Den nordlige fasaden har mindre vinduer og får et langt lavere energitilskudd. Enkelte av ventilasjonsaggregatenes soner ligger med rom på både nord- og sørside. Dette har ført til store variasjoner i inn klimaet da lufttemperaturen inn i de ulike rommene er like høy, noe som medfører for høye temperaturer langs lesesalene på sørsiden og for lave temperaturer på nordsiden. (Kristiansen 2011)

3.3 Ventilasjonsaggregatene ved Sørhellinga

Det finnes totalt syv ventilasjonsaggregater ved Sørhellinga. Ventilasjonsaggregat fire har væskekoblet varmegjenvinner, mens de seks andre er inststallert med roterende varmegjenvinner. Ventilasjonsaggregatene kan levere en samlet luftmengde på 111 000 m³/h. Aggregatene er plassert i byggets tekniske etasje, 4. etasje.

Under følger en oversikt over Sørhellingas ventilasjonsaggregater:

Tabell 1 : Luftmengder ventilasjonsaggregater (FDV 2011)

Nr:	Luftmengde:	Plan tilknyttet
1	14 520 m ³ /h	3 + 2
2	14 460 m ³ /h	3 + 2 + 1 + U
3	13 640 m ³ /h	3 + 2 + U + K
4	23 800 m ³ /h	3 + 2 + U
5	16 470 m ³ /h	1 + U
6	14 570 m ³ /h	3 + 2 + 1 + U
7	14 210 m ³ /h	3 + 2
sum	111 490 m ³ /h	3 + 2 + 1 + U + K

Det er installert VAV-spjeld i de rommene som har varierende kjøle- og ventilasjonsbehov. VAV-spjeld er også installert i avtrekksskapene på laboratoriene, disse har svært kort reaksjonstid og er spesielt gunstig for avtrekksskapene her. Det er også installert alarmer i avtrekksskapene som slår ut ved for lave luftmengder.

I tillegg til laboratoriene er det installert VAV-spjeld i auditoriet i underetasjen samt i enkelte undervisningsrom (FDV 2011).

Dette er i hovedsak rom som låses av etter byggets ordinære brukstid og er utilgjengelige for brukerne etter denne perioden (Statsbygg 2008).

Ventilasjonsaggregat fire er tilknyttet laboratoriene ved Sørhellinga. Grunnen til at dette aggregatet ikke har påmontert roterende varmeveksler er at avtrekksluften fra avtrekksskapene på laboratorier kan inneholde giftige gasser og stoffer. Avtrekksluften må derfor ikke komme i direkte kontakt med tilluften. Ventilasjonsaggregat fire går under årlig døgnekstrem drift.

3.3.1 Ventilasjonsaggregatenes soneinndeling

De syv ventilasjonsaggregatene som er plassert i 4.etasje betjener ulike deler av bygget. Foruten ventilasjonsaggregat fire som leverer betydelig større luftmengde enn de seks andre (jf. tabell 1), leverer ventilasjonsaggregatene forholdsvis like luftmengder.

Ventilasjonsaggregat 1: Betjener vestlige kontorer i 2. og 3. etasje.

Ventilasjonsaggregat 2: Betjener i underetasjen kantine og gangarealer samt noen få enkeltrom. I 1. etasjen betjener aggregatet den vestlige delen av lesesalsplassene.

Ventilasjonsaggregat 3: Betjener byggets kjellerareal, auditoriet i underetasjen samt diverse småarealer i 1., 2. og 3. etasje.

Ventilasjonsaggregat 4: Betjener byggets laboratoriearealer. Disse befinner seg i underetasje, 2. og 3.etasje

Ventilasjonsaggregat 5: Betjener biblioteket, trapper og toaletter i underetasjen. I 1. etasje betjenes den midtre lesesalsdelen og de tre store undervisningsrommene på nordlig side av bygget.

Ventilasjonsaggregat 6: Betjener lesesalsplassene i underetasjen og den østlige delen av lesesalsplassene i 1. etasje. I tillegg betjenes 3 klasserom i østlig del av 1. etasje.

Ventilasjonsaggregat 7: Betjener østlige kontorer i 2. og 3. etasje (FDV 2011).

3.4 Energimerking

Bakgrunnen for innføringen av energimerkeordningen er EUs bygningsenergidirektiv fra 2002. Energimerkeordningen trådte i kraft 1. juli 2010 og gjorde energimerking obligatorisk, gjeldende fra 1.juli 2011 for alle som skal selge eller leie ut bygg og boliger. I tillegg skal alle næringsbygg over 1000m² ha en gyldig energiattest. Merkeordningen gir eieren av bygget en attest som forteller hvor energieffektiv bygget er. Denne attesten skal henges opp og være synlig for byggets brukere. Gjennom energiattesteringen blir bygget energimerket og mottar en energikarakter og en oppvarmingskarakter.

Energikarakterskalaen går fra A til G hvor A er best. Karakteren er ment å gi en samlet vurdering av bygningens energibehov og tar hensyn til antall kWh/m² og type bygning.

Karakteren for boligbygg er kun basert på beregnet levert energi og tar ikke hensyn til faktisk energibruk. Oppvarmingskarakteren baserer seg på hvordan energibehovet til romoppvarming og tappevann dekkes. Oppvarmingskarakteren gis etter valgt energiforsyning og ikke etter behovet for energi. For yrkesbygg er det obligatorisk å oppgi målt energibruk, og denne verdien baserer seg på gjennomsnittet av de tre siste årenes målte energibruk (NVE 2010).

Karakterskala

Bygningskategori	Levert Energi						
	A	B	C	D	E	F	G
	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn	Lavere enn
Bygningskategori	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²
Småhus	79	118	158	231	305	458	Ingen grense
Boligblokker	67	100	134	184	235	353	Ingen grense
Barnehager	90	135	180	228	276	414	Ingen grense
Kontorbygg	84	126	168	215	263	395	Ingen grense
Skolebygg	79	118	158	208	259	389	Ingen grense
Universitets- og høyskolebygg	95	143	191	240	289	434	Ingen grense
Sykehus	179	268	358	416	475	713	Ingen grense
Sykehjem	136	203	271	328	384	576	Ingen grense
Hoteller	135	202	269	321	373	560	Ingen grense
Idrettsbygg	109	164	218	272	325	488	Ingen grense
Forretningsbygg	129	194	258	309	360	540	Ingen grense
Kulturbygg	105	158	210	256	302	453	Ingen grense
Lett industri, verksteder	106	159	212	270	329	494	Ingen grense

Nivå for TEK 2007

Figur 1 : Karakterskala energimerking (NVE 2010)

Energimerkeordningen er hjemlet i Energiloven. Allerede ett år etter innføringen av ordningen var det registrert mer enn 100.000 attester for boliger og 4.400 attester for næringsbygg. Merkeordningen bygger på en normal bruk av bygget og det vil forekomme avvik fra den faktiske energibruken (NVE 2011).

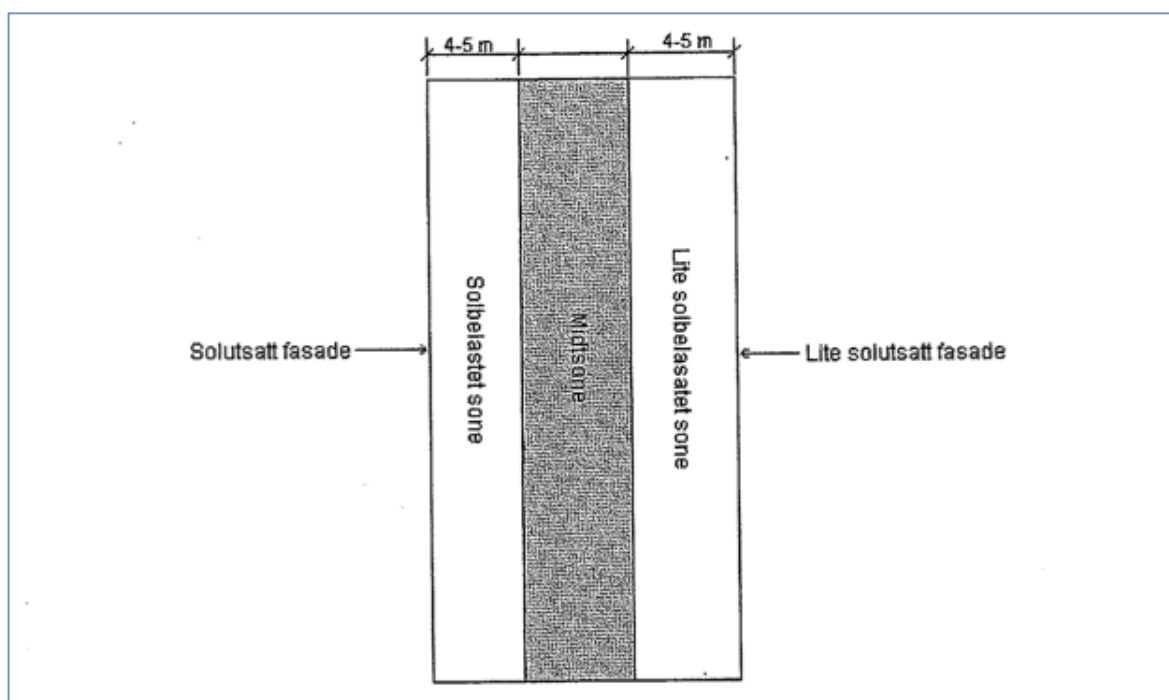
Energimerkeordningen er innført for å øke fokus på energibruk. NVE tror merkeordningen vil stimulere til energieffektivisering ikke bare i eksisterende bygningsmasse, men i alle ledd i industrien fra prosjektering til drift. Ved å innføre merkeordningen har man satt energi på dagsorden også i eiendomsmarkedet (NVE 2007).

3.5 NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse; Metode og Data

Energimerkeordningen bygger på NS 3031, og metode for beregning og måling av bygningens energitilstand skal fremkomme av denne standarden. Standarden er fornyet og tilpasset merkeordningen. Standarden er laget med tanke på energiberegning og energimerking, men også med tanke på kontroll av teknisk standard. I tillegg til å beskrive metode inneholder standarden en rekke parametere og standardverdier til bruk i energimerkingen. Innhenting av data er også beskrevet. Det er derfor vesentlig at personell som gjennomfører energimerking har god kjennskap til standarden (NVE 2009).

I kapittel 4: *Fellesbestemmelser* finnes en trinnvis oversikt over stegene i energiberegningen:

1. Innhenting av data. Her deles nødvendig data inn i 3 kategorier; dokumenterte verdier, veiledende verdier og standardverdier.



Figur 2 : Soneinndeling (NS 3031)

2. Inndeling i soner. Bygget blir delt inn i soner ut i fra bygningsfunksjoner, tekniske installasjoner (ventilasjon), soltilskudd (himmelretning) og ulikt internt varmetilskudd. Det er også mulig å legge inn enkelte rom som egne soner.

3. Valg av beregningsmetode. NS 3031 omfatter tre beregningsalternativer;

Månedsberegninger (stasjonær metode), forenklet timeberegning (dynamisk metode) og detaljert beregningsprogrammer (dynamisk metode) (Standard Norge 2007, Programbyggerne 2011).

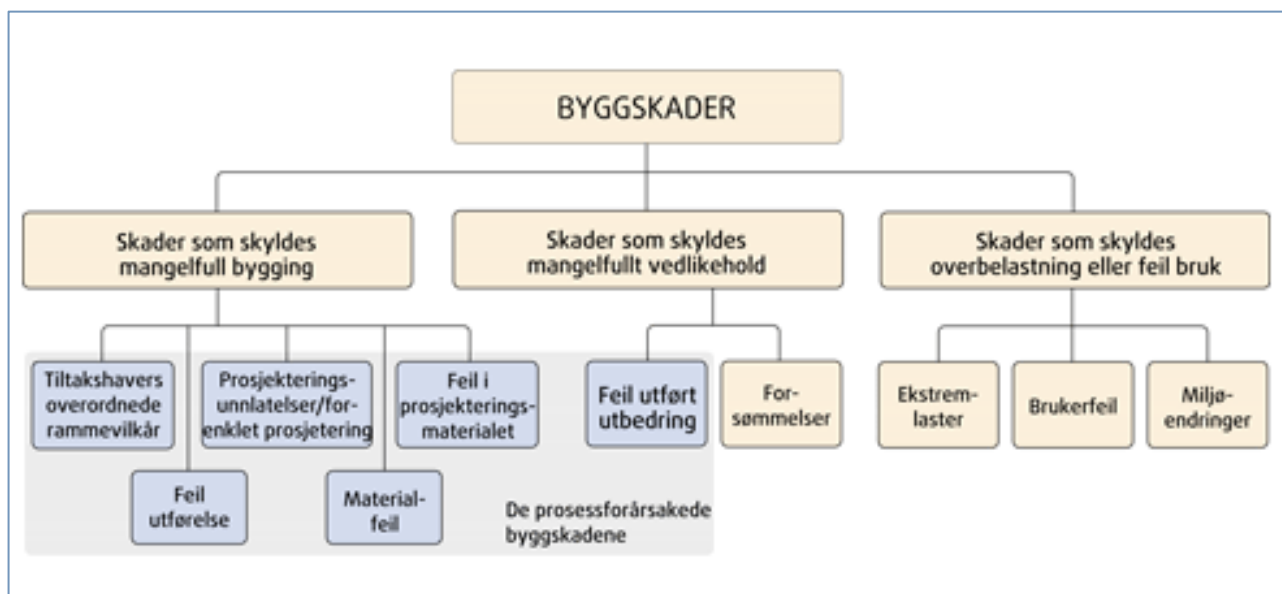
3.6 Ønske om strenge krav

Nesten alle norske virksomheter jobber med energieffektivisering. Tross dette mener tre av fire ledere at mer bør og kan gjøres. Det er en tydelig trend at norske ledere etterspør strengere krav fra myndighetene. Det er den offentlige sektoren som er lengst fremme på energieffektivisering. Ønskene og kravene lederne stiller til myndighetene er blant annet strengere lover (Lie 2011).

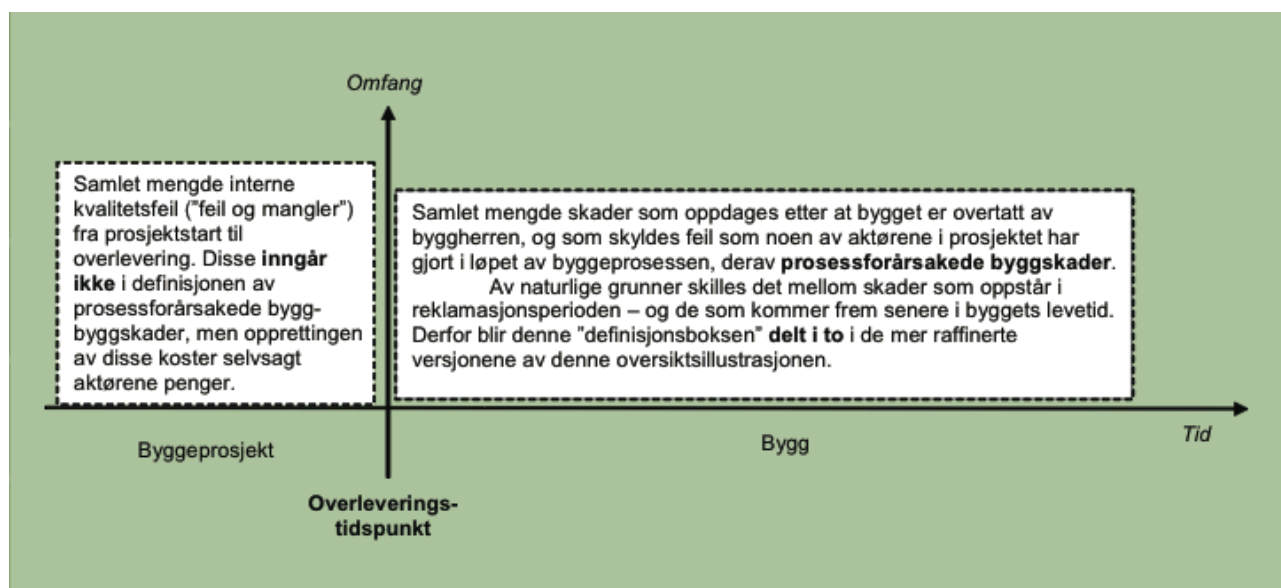
Gjennom spørreundersøkelsen "Energiindikatoren 2011" kommer det frem at både offentlige og private aktører etterlyser strengere krav til energieffektivisering av bygningsmasse. Aktørene mener det er mye å spare, men påpeker at det krever investeringer og at offentlige støtteordninger er helt avgjørende. 60 % av de private bedriftene har konkrete mål for energieffektivisering mot 75 % i offentlig sektor. Bedriftene ønsker seg strengere lover i tillegg til en mer forutsigbar støtteordning. De spurte lederne mener det er et innsparingspotensial på 10-20 % i energiforbruket (Schneider electric 2011).

3.7 Feilprosjektering

Skader som oppstår grunnet feilprosjektering, manglende prosjektering og valg av dårlige løsninger koster årlig byggencæringen enorme summer. Prinsipielt kan vi dele disse skadene inn i to kategorier. Den ene er interne kvalitetsfeil, feil og mangler som oppstår og blir oppdaget og utbedret før overlevering av bygget. Den andre gruppen kalles prosessforårsakede skader. Dette er den totale mengde skader som oppstår etter at bygget er overtatt av byggherre og som skyldes feil gjort av noen av prosjektets involverte aktører. Det er vanlig å skille mellom de feilene som oppstår før og de som oppstår etter reklamasjonstiden.



Figur 3 : Oppdeling byggskader (SINTEF 2008)



Figur 4 : Oppdeling byggskader II, (SINTEF 2008)

Skadene grunnet prosjekteringsfeil utgjør årlig 5-13 % av investeringskostnadene ved nybygging. De prosessforårsakede står for 2-6 % mens de interne kvalitetsfeilene utgjør 3-7 %. Nettokostnaden for byggproduksjon var i 2006 132 mrd NOK. Det betyr at de prosessforårsakede skadene årlig koster byggene mellom 2,6 og 7,9 mrd kroner.

Dette er penger som kunne vært spart hadde man eliminert alle feilprosjekteringsfeil og feil i utførelsen.

Det er flere grunner til at slike feil og mangler oppstår, men tidspress og sterkt fokus på effektivitet og økonomi er to av grunnene. Omkring halvparten av feilene oppstår på grunn av unnlatt prosjektering eller feilprosjektering. Det store tidsmessige og økonomiske presset kan føre til ugunstige materialvalg og uheldige løsninger.

For å kunne redusere omfanget av disse skadene er det viktig å ha fokus på forebyggende arbeid. Det er vanskelig å tenke seg en helt feilfri byggencæring, men et økt fokus på planlegging og et bedre samarbeid mellom de ulike aktørene kan være utslagsgivende for å oppnå en lavere prosentandel av feil. De fleste typer feil blir gjort flere ganger og ofte av samme aktør. Det er viktig at aktørene innser at feilene skyldes menneskelig svikt og ser sin egen begrensning.

Kun 3 % av de prosessforårsakede skadene opptrer i de tekniske installasjonene som ventilasjonsanlegg, kjøleanlegg og elektrisk anlegg (SINTEF 2008, Ingvaldsen 2008)

3.8 Klimaregnskapet

Byggebransjen står ovenfor store miljøutfordringer og fokus på klima og utslipp blir stadig større. Statsbygg går selv i bresjen for å få ned utslipp og redusere byggebransjens negative klimapåvirkning. Gjennom sin miljøstrategi tar de standpunkt til klimavennlig energibruk, materialbruk, lokalisering og internt bruk.

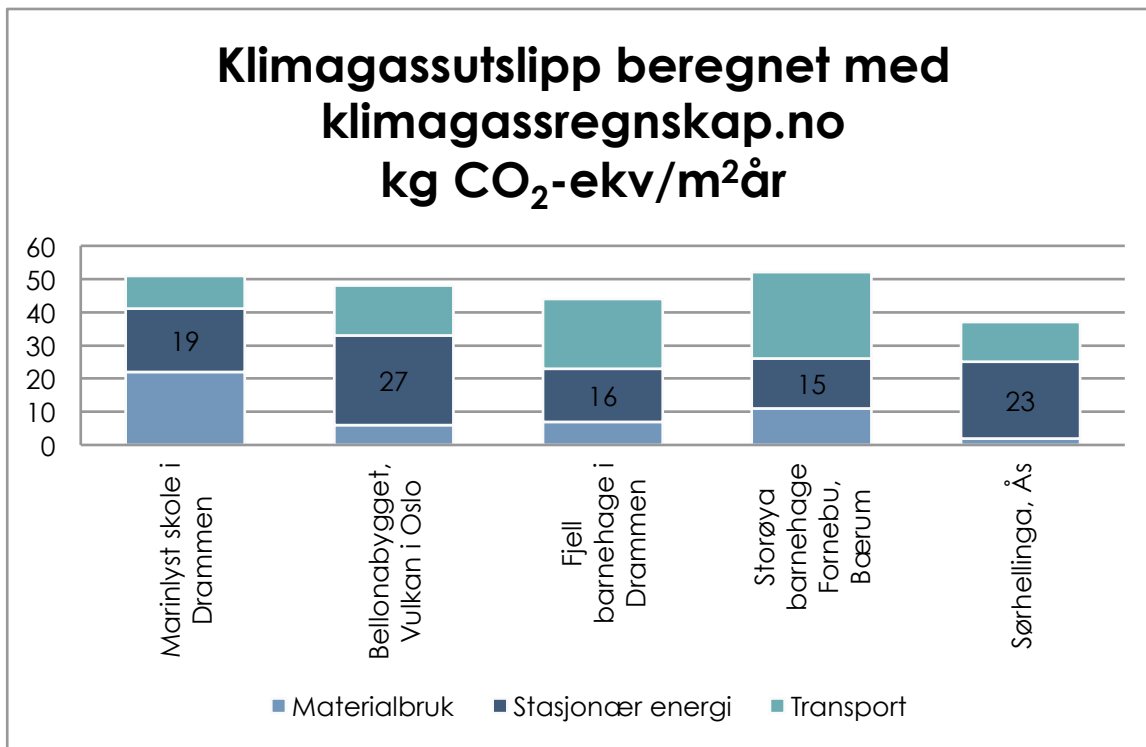
“Statsbygg har som overordna ambisjon å vere leiande på å planleggje, byggje og forvalte miljøriktige bygg og uteområde. Miljøstrategien skal gjere Statsbygg i stand til å møte framtidige miljøkrav i byggjencæringa”.

For å nå disse målene har Statsbygg blant annet utviklet et eget verktøy for beregning av de totale klimaeffektene knyttet til byggeprosjekter; klimagassregnskap.no. Hovedfokuset på klima har i stor grad vært energibruk i bruksfasen. Det er viktig å få med de andre faktorene i beregningen, blant annet er valg av materialer og lokalisering av bygget faktorer som har stor betydning for den totale klimaeffekten (Statsbygg 2010).

Ved totalrehabilitering av eksisterende bygningsmasse er en problemstilling som ofte dukker opp om man skal rive og bygge nytt eller rehabilitere eksisterende bygningsmasse. Valget har stor betydning for både lønnsomhet og klimapåvirkninger.

Dette var en av problemstillingene Statsbygg stod ovenfor ved prosjektering av nye Sørhellinga. Det ble som kjent valgt å rehabilitere Sørhellinga og Statsbygg mener dette bidro til en stor reduksjon av klimagassutslipp:

“Våre nyeste resultater fra blant annet rehabilitering av Sørhellinga på Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) i Ås viser at utslippene av klimagasser kan reduseres med mellom 60 og 70 prosent ved å rehabilitere bygninger framfor å bygge nytt” (Statsbygg 2009).



Figur 5 : Klimagassutslipp byggeprosjekter (Statsbygg 2008)

Det ble lagt stor vekt på bruk av miljøvennlig teknologi og materialer ved rehabiliteringen av Sørhellinga. Dette gav et stort utslag i beregnet klimagassutslipp fra byggeprosjektet. Blant annet ble det ved Sørhellinga montert vakuumtoaletter, separate avløpsledninger for spillvann, henholdsvis gråvann (vaskevann) og svartvann (kloakk), og separat vanntilførsel til toalettene. Gråvannet ledes til biologisk rensing i et utvendig biofilter, for å kunne gjenbrukes. Det ble benyttet massivtre på byggets langvegger. (Statsbygg 2008)

3.8.1 Klimagassregnskap.no

Klimagassregnskap.no er et verktøy for beregning av prosjekterte eller eksisterende bygningers totale klimapåvirkning. Verktøyet skal hjelpe byggherrer, utviklere og planleggere med å se konsekvensen av forskjellige valgalternativer. Verktøyet tar for seg både direkte og indirekte utslipp knyttet til et bygg. Direkte utslipp defineres som de utslippene som fysisk skjer der bygget er lokalisert. De indirekte utslippene skjer andre steder utenfor dette området, og er typisk knyttet til produksjon av materialer og transport av varer og personer, både under konstruksjon og i driftsfase.

Beregninger av de totale utslippene skjer gjennom fire moduler:

- Materialbruk i bygget
- Anleggsfasen
- Transport under drift av bygget
- Stasjonær energi under drift av bygget

Verktøyet inkluderer byggets levetid. Ved hjelp av programmet kan man sette seg klimamål og aktivt jobbe for å nå dem. Moduloppdelingen gjør det mulig å vurdere hvilke bygningsdeler og stadier som forårsaker størst utslipp. Man kan enkelt se effekten av forskjellige tiltak og valg.

Klimagassregnskap.no er utviklet av Civitas AS på oppdrag fra Statsbygg. Civitas er en konsulentgruppe lokalisert i Oslo, som jobber med utredninger, planer og rådgivning blant annet innenfor områdene utbygging og miljø. Verktøyet er gratis og kan benyttes av alle gjennom en web-basert løsning. Beregningen krever nøyaktig inndata og verdier for alt av størrelser, beliggenhet, materialer mv.

Klimaregnskapet.no har vært under stadig utvikling. Sørhellinga var et av byggene den første versjonen ble testet på, og bygget har nå også vært gjennom de to siste versjonene (Civitas 2009).

Sørhellinga har blitt kjørt gjennom alle tre versjonene av klimagassregnskap.no. Den totale klimagasspåvirkningen har endret seg i de forskjellige versjonene. Kriterier har blitt endret og spesifikke utslippstall for materialer har blitt lagt til. Endringene har ført til at den totale klimagasspåvirkningen til bygget har steget (Selvig 2011).

3.9 Hovedombygging og problemer knyttet til energikravene

Ved større ombygginger og endringer av bygninger skal gjeldende lovverk (TEK) følges. Hvis ombyggingen eller endringen klassifiseres som hovedombygging jf. Plan- og Bygningsloven (PBL) skal ombyggingen følge samme lover og forskrifter som ved oppføring av nybygg. En hovedombygging er definert som:

- Tilbygg
- Bruksendringer
- Endringer av tekniske installasjoner
- Endringer/reparasjoner som fører til vesentlige fornyelser
- En 50 % ombygging

Det er kun ved de deler av bygget som blir forbedret at gjeldende lovverk må følges. Kommunene har mulighet til å gi dispensasjon fra kravene såfremt de finner det forsvarlig ut i fra helsemessige, brann- og byggetekniske forhold.

Det har vist seg at det i en rekke prosjekter definert som hovedombygginger er vanskelig å nå de gjeldende krav. Det har spesielt vist seg vanskelig både økonomisk og teknisk å nå mål knyttet til fasader og tekniske installasjoner. Etter hvert som kravene i TEK har blitt skjerpet (TEK07 og TEK10) har disse problemene økt i omfang.

Rehabiliteringen av Sørhellinga må utvilsomt defineres som en hovedombygging, men da det ble valgt at deler av de bærende konstruksjonene skulle beholdes ga dette prosjektet en del utfordringer. Bygget ble oppført med TEK97 som gjeldende forskrift med tilhørende krav til energi og ventilasjon.

TEK97 stilte verken krav til varmegjenvinning av ventilasjonsluft eller krav til SFP-faktor (se kapittel 3.11.1). Det er derfor vanskelig å definere konsekvensen av utfordringer i tilknytning til bevaring av de bærende konstruksjonene. Det kan ikke utelukkes at prosjektering uten begrensinger knyttet til eksisterende bærende konstruksjoner kunne gjort det enklere å oppnå bedre SFP-faktor og mindre varmetap i systemet (Plan og bygningsloven 2008, Multiconsult 2009).

3.10 Døgkontinuerlige ventilasjonssoner

3.10.1 Arbeidstilsynet

Mange arbeidstakere er daglig i kontakt med skadelige stoffer og kjemikalier. For å sørge for gode arbeidsforhold finnes det en rekke regler og forskrifter som arbeidsgiver plikter å følge. Arbeidstilsynet setter blant annet øvre grenser for hvor stor eksponering av enkelte stoffer en arbeidstaker kan utsettes for i løpet av en arbeidsdag. I de tilfeller hvor enkelte prosesser kan utvikle farlige gasser, avdampinger og lignende kreves det innføring av avtrekksskap.

Virksomheter plikter å kartlegge bruken av kjemikalier og vurdere enhver risiko for arbeidstakeres helse og sikkerhet. Det er arbeidsgivers ansvar å ha full oversikt over bruken av kjemikalier og sørge for at håndteringen av disse ikke forringer et fullt forsvarlig arbeidsmiljø. Det stilles en rekke detaljerte krav som arbeidsgiveren plikter å følge, og et aktuelt vernetiltak som nevnt er ventilasjon (Arbeidstilsynet 2011, Arbeidstilsynet 2009).

3.10.2 Teknisk Forskrift

TEK10 omfatter blant annet kapittel 13: *Miljø. Generelle krav og beskrivelse av ventilasjon og luftkvalitet*. Paragraf 13-1 er spesielt aktuell i denne sammenheng:

"§ 13-1. Generelle krav til ventilasjon

Bygning skal ha ventilasjon tilpasset rommenes forurensnings- og fuktbelastning slik at tilfredsstillende luftkvalitet sikres. Luftkvalitet i bygning skal være tilfredsstillende med hensyn til lukt og forurensning. Inneluft skal ikke inneholde forurensning i skadelige konsentrasjoner med hensyn til helsefare og irritasjon. Det skal tas hensyn til romtype, innredning, utstyr og forurensningsbelastning fra materialer, prosesser, personer og husdyr."

Aktiviteter og prosesser som kan være forurensende skal så godt det lar seg gjøre tilkobles eget avtrekk og ventilasjon. Det er verdt å merke seg at Teknisk Forskrift ikke definerer hva som menes med forurensning eller tilfredsstillende luftkvalitet.

3.10.3 Forskrift om vern mot eksponering for kjemikalier på arbeidsplassen

Kjemikalieforskriften har som formål å sikre arbeidstakeres sikkerhet mot kjemikalier på arbeidsplassen. Grunnet bruk av farlige kjemikalier omfattes Sørhellinga av kjemikalieforskriften. Arbeidsgivere plikter å sørge for at bestemmelsen i denne forskriften følges.

Paragraf 10 i forskriften belyser kravene til ventilasjon:

"§ 10. Ventilasjon

Ventilasjonsystem skal utformes og dimensjoneres slik at konsentrasjonen av kjemikalier i arbeidsatmosfæren holdes på et fullt forsvarlig nivå. Resirkulering av luft er bare tillatt dersom arbeidsgiver kan dokumentere at det ikke kan medføre helserisiko for arbeidstakerne. Ventilasjon som innebærer resirkulering av luft som inneholder kreftfremkallende kjemikalier, er ikke tillatt."

Det kommer tydelig frem av Kjemikalieforskriften at enkelte laboratorier fint kan kjøres uten døgkontinuerlig ventilasjon og med resirkulering av luften. I et slikt laboratorium kan man da ikke oppbevare farlige kjemikalier eller foreta forsøk som krever avtrekksskap eller kan være til fare for arbeidsatmosfæren (Arbeidsdepartementet 2001).

3.11 Prosjekteringsrutiner

Sørhellinga er prosjektert i henhold til TEK97, og denne tekniske forskriften har ingen spesielle krav til SFP-faktorer. Dette ble først innført i TEK07, og senere videreført i TEK10.

Selv om TEK97 ikke hadde noen krav til SFP-faktor kan vi ut i fra Statsbygg sin håndbok om energieffektiv viftedrift fra 2000 lese hvilke normtall Statsbygg anbefaler for forskjellige typer bygninger. For nyinstallasjoner i eksisterende bygg anbefaler håndboken en SFP-faktor under 2,5. Denne anbefalingen har i stor grad blitt overholdt og 5 av Sørhellingas 7 ventilasjonsaggregater har målte SFP-faktorer under 2,5. I Statsbygg sin håndbok "Energieffektiv Viftedrift Prosjekteringsveileder" fra 2000 finnes en rekke krav og rutiner omhandlende prosjektering av ventilasjon. I kapittel to: *Krav til prosjekteringsprosess og oppfølging av utførelse* finnes en detaljert oversikt over prosjekteringsprosessen. Gjennom

denne prosjekteringsprosessen er det satt opp en rekke punkter rundt de forskjellige fasene av prosjekteringen.

I håndboken er det beskrevet at det bør avtales konsekvenser for entreprenøren hvis ikke anlegget etter bygging opprettholder de kravene som stilles til SFP-faktor. I tilfellet med Sørhellinga ble det ingen konsekvenser da anlegget innfridde kravene til denne faktoren.

Under detaljprosjektering, fase 1 i prosjekteringsrutinene står det blant annet skrevet at det skal beregnes et energibudsjett ut i fra verdien bestemt under detaljprosjekteringen. Fase 2 av detaljprosjekteringen tar for seg optimalisering og revidering av valgte løsninger som for eksempel aggregater og kanaltraseer (Mads Mysen 2000).

3.11.1 SFP-faktor

SFP-faktoren angir forholdet mellom nødvendig elektrisitet for drift av vifter i et ventilasjonsanlegg, og den luftmengden som viftene bidrar til å skifte ut.

SFP (Specific Fan Power)

ligning 1: SFP faktor (Norsk VVS 2001)

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} * [kW/m^3/s]$$

$\sum P$ - summen av alle vifteeffekter, kW

\dot{V} - total sirkulert luftmengde netto, [m^3/s]

SFP-faktoren er det eneste konkrete kravet til ventilasjon i TEK .

Krav til SFP-faktor ble først innført i TEK07. Kravene ble videre beholdt i TEK10 uten endringer. Kravene som stilles er til boligbygg $SFP \leq 2,5 [kW/m^3/s]$, og øvrige bygg $\leq 2,0 [kW/m^3/s]$.

Det er viktig å påpeke at SFP faktor ikke alltid det beste målet ventilasjonsanleggets effektiviteten (Norsk VVS, 2001).

3.12 Kuldebroverdier

Kuldebroer er områder med betydelig lavere varmemotstand enn den omsluttende homogene konstruksjonen. Kuldebroer fører til økt varmetap, temperaturspenninger og lave overflatetemperaturer. Dette kan igjen føre til overflatekondens og redusert komfort. Kuldebroer kan opptre av forskjellige grunner og noen steder er det helt unngåelig. Det skilles mellom kuldebroer som opptrer ved tilslutning mellom bygningsdeler og geometriske kuldebroer.

- Tilslutningskuldebroer: Opptrer ved tilslutning av forskjellige bygningsdeler, dette kan være så banale ting som stender i en bindingsverksvegg eller overgangen mellom vegg og vindu.
- Geometriske kuldebroer: Opptrer ved endrede tykkelser, for eksempel en vegg som smalner inn. Beregningsmessige kuldebroer opptrer ved hjørner grunnet lengre utvendige mål enn innvendige.

Kuldebroverdien, også kalt varmegjennomgangskoeffisienten, viser hvor stort varmetapet gjennom konstruksjonen er. Kuldebroverdien har symbolet Ψ . Kuldebroverdien angir varmetapet per løpemeter og har enheten W/m K. Normalisert kuldebroverdi (NKV) har benevnningen W/m²K og regnes ut i fra bygningens BRA. Den normaliserte kuldebroverdien regnes ut for hele bygget.

Formelen for NKV er:

ligning 2: Normalisert kuldebroverdi.

$$NKV = \frac{\sum_l \Psi_l \cdot l + \sum_i X_i}{A_{BRA}}$$

Kuldebroene kan beregnes på ulike måter, enten ved bruk av tabeller og forhåndstall eller ved spesifikke manuelle beregninger av de enkelte verdiene.

- Tabeller: Sintef har tabeller med typiske detaljer og tilhørende kuldebroer, dette er verdier som ofte kommer med en usikkerhetsprosent. Disse kan brukes i tilfeller med tilsvarende detaljer.

- Grovestimater/normalverdier: NS-EN 14683 inneholder en rekke normalverdier for lineære varmegjennomgangskoeffisienter. Dette er verdier som ikke alltid er like relevante for norske forhold. Verdiene fungerer likevel godt ved grove beregninger.
- Manuelle beregninger: Denne metoden er beskrevet i Sintef Byggforskblad 471.016 "Kuldebroer – Metoder for å bestemme kuldebroverdi"
- Numerisk beregning av kuldebroverdier: NS-EN ISO 10211 omhandler metode for beregning av kuldebroverdier. Ved benyttelse av denne standarden bør man ha god kunnskap om beregning av U-verdier og transmisjonstap.

Teknisk forskrift stiller krav til den normaliserte kuldebroverdien. Her står det at kuldebroer som opptrer som følge av konstruksjonen ikke skal legges til den normaliserte kuldebroverdien, men til konstruksjonens U-verdi. Et eksempel på dette er at kuldebroene til stender i en bindingsverksvegg ikke skal regnes under NKV, men som et tilskudd til veggens U-verdi. Derimot skal kuldebroene tilknyttet vinduer, etasjeskillere osv. legges til den normaliserte kuldebroverdien (Aurlien 2011).

Tabell 2 : Historisk oversikt, krav til normalisert kuldebroverdi

Normalisert kuldebroverdi W/m ² K	TEK97	TEK07	TEK10
Småhus	Ink. i U-verdi	0,03	0,03
Øvrige bygg	Ink. i U-verdi	0,06	0,06

Kuldebroverdier for vindusinnsetting

Kravene til NKV har blitt skjerpet i de siste utgaver av teknisk forskrift. Dette har ført til endringer i flere bygningsdetaljer. Utforming av vinduskarm, samt innsetting og plassering har stor innvirkning på vinduets kuldebroverdi. Dette gjør det aktuelt å beregne verdien for aktuell innsetting.

Ved en numerisk beregning av kuldebroverdi i Therm opererer man med en feilmargin på pluss/minus 5 %. Dette er langt lavere enn hva man får ved å benytte andre beregningsmetoder/normtall (Gustavsen 2007).

3.12.1 Varmetap vinduer

En betydelig del av bygningers varmetap skjer gjennom vinduene i bygget. Dette er en av grunnene til at myndighetene har skjerpet kravet til vinduers U-verdi. Varmetapet til et vindu skjer gjennom varmeledning, konveksjon og stråling. Vinduets oppbygning og materialer har stor betydning for U-verdien. Hulromstykkelser mellom glasslagene har også innvirkning, men ved hulromstykkelser over 15mm stabiliserer U-verdien seg og en økning utover dette er ikke nødvendig. Man regner med en standard gasskonsentrasjon på 90% i hulrommet, men det er mulig å oppnå en noe høyere konsentrasjon. Moderne vinduer har også lavemisjonsbelegg med en emissivitet på 0,05. Den totale U-verdien er avhengig av selve glassruten, ramme- og karmkonstruksjonen:

ligning 3: Total u-verdi vindu.

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g}{A_t}$$

hvor:

U_w = U-verdien til hele vinduet [W/(m²K)]

U_g = U-verdien til senter rute [W/(m²K)]

U_f = U-verdien til karm-/rammeprofilene [W/(m²K)]

A_g = Vinduets glassareal (synlig del) [m²]

A_f = Vinduets karm- og rammeareal [m²]

A_t = Vinduets totale areal ($A_g + A_f$) [m²]

ψ_g = Lineært kanttillegg (varmetap per løpemeter rutekant) [W/K*m]

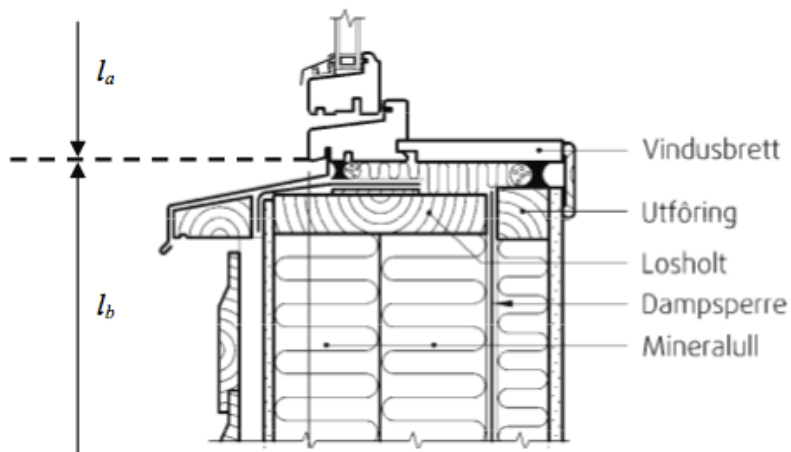
l_g = Løpemeter rutekant [m]

Vindusinnsettingen spiller en stor rolle for vinduets kuldebroverdi. Eksempelet under gjelder kun ett vindu, men gir en god indikasjon på at innsettingen kan være vesentlig for kuldebroen (SINTEF Byggforsk 2009).

Tabell 3 : Variasjon kuldebroverdi etter innsetting av vindu.

Avstand utvendig vindsperre til utvendig kant vinduskarm (mm)	Kuldebroverdi ψ (W/mK)
-42	0,05
-20	0,03
0	0,02
35	0,01
85	0,02
140	0,03

Vinduene er av stor betydning for byggets totale varmetap. Enova opplyser at varmetapet fra vinduer i Norge kan være så stort som 40 % av en bygning's totale varmetap (Selncæs 2011).



Figur 6 : Snitt vindusinnsetting (Selncæs 2011)

Ved beregning av kuldebroverdi for vinduskarm følger egen metode. Det er fullt mulig å benytte standardverdier, men da verdiene i realiteten varierer fra karm til karm vil standardverdier medføre liten grad av nøyaktighet.

Følgende formel benyttes for beregning av karmens U-verdi.

ligning 4: U-verdi vinduskarm (SINTEF Byggforsk 2008)

$$\psi_K = U_{tot} * L - (U_{vindu} * L_a + U_{vegg} * L_b)$$

hvor:

ψ_K = karmens kuldebroverdi [W/K*m]

U_{tot} = gjennomsnittlig U-verdi for hele konstruksjonsutsnittet

L = lenden den gjennomsnittlige U-verdien er beregnet over

U_{vindu} = U-verdi til vinduet

L_a = se figur 6

U_{vegg} = veggens U-verdi

L_b = se figur 6

(SINTEF Byggforsk, 2008)

3.13 Termografering og beregning av bygningers U-verdier

Ved termografering benyttes et termografikamera til å ta varmebilder av bygningers overflater innvendig og utvendig. Varmebildene viser temperaturfordelingene til overflaten som blir termografert. Analysering av bildene gir mulighet for vurdering av kuldebrovirkninger og U-verdier. Varmebildene har ingen faste fargereferanser for temperaturfordelingen, men gir brukeren muligheten til å stille inn skalaen. Fargeskalaen er plassert på hvert enkelt bilde.

Tabell 4 : Emisjonsfaktorer for typiske bygningsmaterialer.

Material-overflate	Emisjonsfaktor, termisk stråling
Aluminium, polert	0,05
Glass, 4mm	0,84
Tapet, lys grå	0,85
Tegl	0,90
Grå Puss	0,92
Betong	0,95
Tre	0,90
Oljemaling	0,90

Emisjonsfaktor er viktig ved termografering og benyttes av termografikameraet til å regne ut overflatetemperaturen. Emissivitet er forholdet mellom stråling emittert fra en flate og stråling emittert fra et sort legeme med samme temperatur. Ved termograferingen angis emisjonsfaktoren på materialene man termograferer. Ved en typisk termografering tar man bilde av mer enn ett materiale, og en midlere faktor benyttes.

Ved en typisk termografering av en vegg, gjerne med et eller flere vinduer, har man en rekke materialer i et og samme varmebilde. Kameraet skiller ikke mellom materialer og kun en emisjonsfaktor settes per bilde. Emisjonsfaktoren varierer stort sett fra 0,85 til 0,92 og settes ofte til 0,90. Usikkerheten og unøyaktigheten rundt emisjonsfaktoren fører til en usikkerhet i temperaturmålingene. Betong har en emissivitet på 0,95 og ved å sette overflatetemperaturen til betong til 273K i ligning 2 finner vi av likning 3 at maksimal forskjell i overflatetemperatur vil være 4 grader. Dette er en teoretisk beregnet verdi og praktiske forsøk viser at den reelle målte differansen er langt lavere (Sintef 2007).

ligning 5: Emmisjonsfaktor.

$$Q_{emmitert} = \varepsilon \sigma T_s^4$$

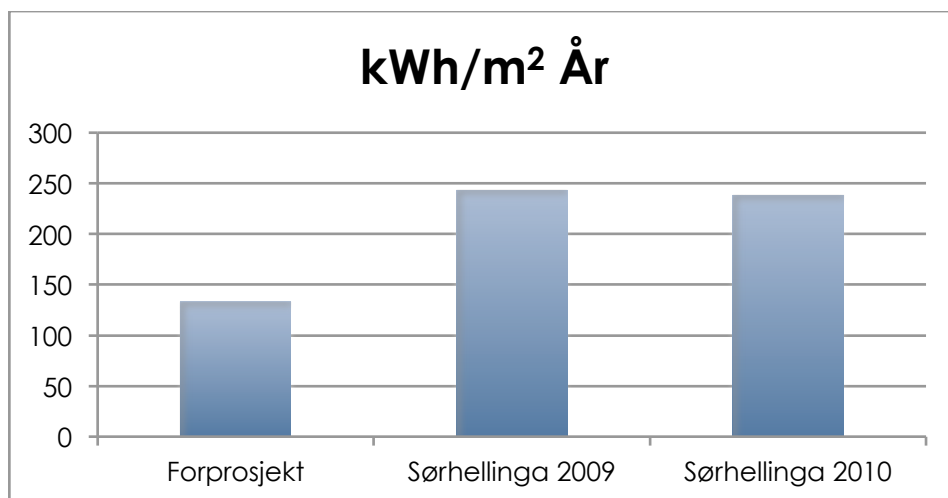
ligning 6: Omskrevet Stephan Boltzmanns lov.

$$T_s = \sqrt[4]{\frac{Q_{emmitert}}{\varepsilon \sigma}}$$

$$T_s(\varepsilon = 0,95) = \frac{T_s(\varepsilon=0,90)^{\sqrt[4]{0,9}}}{\sqrt[4]{0,95}} = \frac{273K \sqrt[4]{0,9}}{\sqrt[4]{0,95}} = 269K$$

I denne oppgaven termograferes fasader med vinduer. Unøyaktigheten knyttet til emisjonsfaktorene forsterkes av vinduenes aluminiumskarmer. Den usikkerhet og den generelt dårlige målenøyaktigheten knyttet til termografi-kameraets temperaturmålinger gjør at termografering som metode i denne oppgaven kun benyttes til kartlegging av kuldebroer og ikke beregning av kuldebroverdien

3.12 Fordeling energibruk Sørhellinga



Figur 7 : Energiforbruk Sørhellinga (Langset 2010)

Energifordeling fastkraft/fjernvarme. Sørhellinga får levert 54% av sitt totale energiforbruk fra skolens bioenergianlegg, gjennom fjernvarme. Fjernvarmen står for hoveddelen av oppvarmingen og oppvarming av ventilasjonsluften.

Tabell 5 : Energifordeling Sørhellinga 2010 (Langset, 2010)

År	Fastkraft kWh	Fjernvarme kWh	Sum kWh	Temperaturkorr. kWh/m ²
2010	1 087 457	1 273 439	2 360 896	238,5

3.13 Intervjuer og samtaler

3.13.1 Uffordringer ventilasjonssoner

Drift- og serviceavdelingen

Soneinndelingen ved Sørhellinga er et omstridt tema og etter samtaler med Tom Kristiansen, VVS-ansvarlig ved DSA, kommer det frem at de ønsker å forandre soneinndelingen.

Soneinndelingen fører til et unødvendig høyt energiforbruk. Variabelt soltilskudd i samme sone fører til at deler av sonen blir for varm mens andre deler av sonen ofte blir for kald. DSA mistenker at dette fører til at de samtidig med nedkjøling via ventilasjonen foretar

oppvarming med radiatorene. Dette har de ikke undersøkt nærmere. De kunne ønske en omfordeling av enkelte soner, og deres egne undersøkelser indikerer at dette fint lar seg gjennomføre uten unødvendig store inngrep (Kristiansen, 2011).

COWI

COWI har vært rådgivende ingeniør ventilasjon (RIV) ved prosjektet og stått for prosjektering av byggets ventilasjon. På spørsmål om hvorfor soneinndelingen er som den er og om det kunne vært aktuelt å prosjektert den annerledes gis følgende svar:

"På grunn av byggets begrensede høyder og derav reduserte føringsveier, samt de utsprede funksjonsrommene i bygningen, kunne en ikke oppnå optimal soneinndeling."

"Det ble tatt hensyn til de begrensede føringssonene i bygget. Det var premissene for etableringen av ventilasjonssystemene". Asgeir Hynne, prosjektleder COWI (Hynne, 2011).

L.S. Solland AS

L.S. Solland AS var ansvarlig entreprenør for bygget ventilasjon. Før å få et uavhengig syn på soneinndelingen har Tom Fjeldstad (prosjektleder L.S. Solland) blitt kontaktet. På spørsmål om det hadde vært mulig å gjennomført en annen soneinndeling får jeg følgende svar.

"Etter min mening er det mulig å endre dagens soneinndeling. Det vil imidlertid da være behov for endringer av kanaler i sjakter og i teknisk rom. Det er relativt mange aggregater og en annen oppdeling av bygget burde være mulig uten nye investeringer i nye aggregater" (Fjeldstad, 2011).

3.13.2 Døgnkontinuerling ventilasjon

Annie Aasen er avdelingsingeniør ved Institutt for naturforvaltning. Hun jobber blant annet med laboratoriearbeid og kjemiske analyser, og er ansvarlig for instituttets botaniske laboratorier. Samtale og omvisning på Sørhellinga med Annie Aasen ble gjennomført den 18/11-2011. Hensikten med dette var å få en klarhet rundt bruken av laboratoriene i bygget.

Laboratoriene i andre og tredje etasje benyttes til en rekke formål og er i stadig bruk. Siden avtrekkskapene ved disse laboratoriene er i sporadisk drift har instituttet i samråd

med DSA besluttet å montere brytere for å kunne skru ned avtrekk og dermed spare energi. Hun påpeker også at undervisningslaboratoriene i underetasjen kun benyttes til mikroskopering og at det aldri er farlige kjemikalier eller andre skadelige stoffer i disse rommene (Aasen 2011).

4 Presentasjon av hypotesene

I dette kapitlet presenteres oppgavens hypoteser, samt bakgrunnen for og gjennomføringen av disse. Kapitlet har som mål å sette leseren inn i valg av hypoteser og forklare bakgrunnen for at de ble valgt og hvordan de skal etterprøves/testes.

4.1 Hypotese 1 – Drift

En simulering av Sørhellinga i sin helhet vil vise at det er mulig å spare store mengder energi kun gjennom endringer i daglig drift og bruk av bygget. Det vil si uten noen former for investeringer. Simuleringen vil også vise at det blir vanskelig å nå de prosjekterte energibehovene uten å gjøre investeringer og endringer.

Bakgrunn

Dette er en videreføring av masteroppgaven "Energiledelse og energieffektivisering av bygg" skrevet av Gaustad og Kvale våren 2011. Gjennom oppgaven kom de frem til at en store del av Sørhellingas høye energibruk skyldes dårlig drift av Sørhellinga og manglende energiledelse på UMB. Denne hypotesen testes for å etterprøve deres konklusjon.

Gjennomføring

Hypotesen vil gjennomføres ved å simulere Sørhellinga i sin helhet i SIMIEN. For å kvalitetssikre resultatene skal inndata for simuleringen kontrolleres gjennom rådføring med DSA. Eventuelle problemer og utfordringer med SIMIEN vil avklares med Programvarebyggerne.

4.2 Hypotese 2 – Soneinndeling ventilasjonsaggregater

Gjennom en endring av ventilasjonsaggregatenes soneinndeling vil man i enkelte soner kunne spare energi og få et forbedret inn klima. Nåværende soneinndeling er ikke optimal og med enkle grep vil man kunne forbedre situasjonen.

Bakgrunn

Etter å ha studert ventilasjonsaggregatenes soneinndeling og snakket med Pål Kristiansen (VVS-ansvarlig i DSA), har jeg kommet frem til at det kunne være interessant å undersøke en alternativ soneinndeling for å se hvilken effekt dette kan ha både på byggets inneklima og energibehov.

Det er kun få år siden Sørhellinga stod ferdig, men allerede ønsker drift- og serviceavdelingen ved UMB å gjøre om på tekniske installasjoner i bygget. Omgjøring av kjøleanlegget er under arbeid og endring av soneinndelingene er ønskelig.

Jeg ønsker å sette opp en alternativ soneinndeling, simulere endringene og undersøke om denne praktisk lar seg bygge. Dette for å se på hvilke effekter en slik ombygging eventuelt vil kunne ha på inneklima og energibehov.

Gjennomføring

Hypotesen skal etterprøves i dialog med RIV og entreprenør. Det skal i tillegg gjøres et forsøk på å regne på energisparingspotensialet ved hjelp av simuleringer i SIMIEN. Det vil for simuleringene kun bli tatt utgangspunkt i de soner som viser seg mest hensiktsmessige.

4.3 Hypotese 3 – Ventilasjon Laboratorier

Institutt for naturforvaltning holder til på Sørhellinga. Ved instituttet foregår det forskning på en rekke fagfelt og bygget er utstyrt med en rekke forskjellige laboratorier. Laboratoriene befinner seg i andre og tredje etasje. I tillegg finnes det to undervisningslaboratorier i underetasjen. Alle laboratoriene er tilknyttet ventilasjonsaggregat 4. På laboratoriene finnes det blant annet avtrekkskap, kjemikalieskap og punktavtrekk som alle er koblet opp mot ventilasjonsaggregat 4.

Som nevnt benytter ventilasjonsaggregat 4 en væskekoblet varmegjenvinner, i motsetning til byggets øvrige aggregater som benytter roterende varmevekslere. Dette er et tiltak for å unngå at den forurensede avtrekksluften skal komme i kontakt med frisk tilluft. Denne type varmegjenvinnere har en langt lavere virkningsgrad og brukes derfor kun der det er nødvendig.

Gjennom en undersøkelse av laboratoriene og tilhørende lovverk vil jeg komme frem til at ventilasjonsaggregat 4 omfatter unødvendig mye. Et aggregat av denne typen er langt fra energilønnsomt og det kunne vært spart relativt store mengder elektrisitet dersom prosjekteringen hadde vært grundigere.

Bakgrunn

Bakgrunnen for hypotesen er enkelte av laboratorienes bruk. Etter å ha vært i kontakt med DSA kom det frem at dette var et punkt de ikke var fornøyde med etter rehabiliteringen. Det stilles også spørsmålsteget ved kravet til ventilasjon med dagens bruk.

Gjennomføring

Hypotesen skal etterprøves ved hjelp av relevant lovverk og forskrifter. Det vil avholdes intervjuer med instituttets laboratorieansvarlige for å få klarhet i arealenes bruk. For å se på energisparingspotensialet skal de valgte løsninger simuleres i SIMIEN.

4.4 Hypotese 4 – Varmetap

Sørhellinga er et bygg med store glassarealer og spesielle vindusløsninger i forbindelse med langfasadene massivtrevegger. Byggets store energibehov kan ses i sammenheng med løsninger valgt til nettopp disse fasadene. Valg av massivtrelementer i kombinasjon med vindusprofiler i aluminium har gjort de rehabiliterte fasadene til varmesluk som representerer et stort oppvarmingsbehov.

Bakgrunn

Bakgrunnen for hypotesen er enkle studier av detaljtegninger av bygget. Etter å ha studert detaljtegningene til de to rehabiliterte fasadene settes det spørsmålsteget ved oppgitte U-verdier og kuldebroverdier.

Gjennomføring

For å kartlegge eventuelle uheldig valgte løsninger og gale kuldebroverdier skal fasadene termograferes. Denne termograferingen danner grunnlaget for hvilke detaljer som vil bli studert mer inngående. Disse vil videre bli simulert i Therm og utregninger vil bli foretatt. Resultatene fra utregninger og simulering vil bli lagt inn i SIMIEN-modellen for å finne fasadenes bidrag til det totale energiforbruket.

5 Resultater

5.1 Klimagassregnskap.no

Klimagassregnskap.no kan brukes til beregninger for både eksisterende og prosjekterte bygg. Når verktøyet benyttes på prosjekterte bygg legges det inn data hentet fra forprosjekt, prosjektering osv. Det er derfor helt naturlig at en rekke tall må endres etter byggets ferdigstillelse for å oppnå et mest mulig reelt resultat. I tilfellet med Sørhellinga har dette i liten grad blitt gjort. Selv om Sørhellinga har blitt kjørt gjennom alle tre versjonene av klimagassregnskap.no er det flere parametere som ikke har blitt endret. I regnskapet ligger det inne tall for energibruken på 150kWh/m², hvorav kun 40% er knyttet til elektrisitet. Dette ser lovende ut og Sørhellinga fremstår som et miljøbygg for fremtiden, men da er det viktig å få med seg nettopp hva som har skjedd i fremtiden. Den planlagte rensingen av gråvannet er enda ikke kommet i gang og vakuumpolettene er til stadighet ute av drift. Faktisk var UMB så misfornøyd med vakuumpolettene at det ble valgt å ikke benytte systemet ved senere rehabiliteringer på campus. Miljøanalysen ble laget med bakgrunn i tall og data som kom frem under forprosjektet. Er dette representativt, er det riktig av Statsbygg å bruke Sørhellinga som et godt eksempel på et godt miljøbygg uten å justere tallene og lage en ny rapport som viser det endelige resultatet.

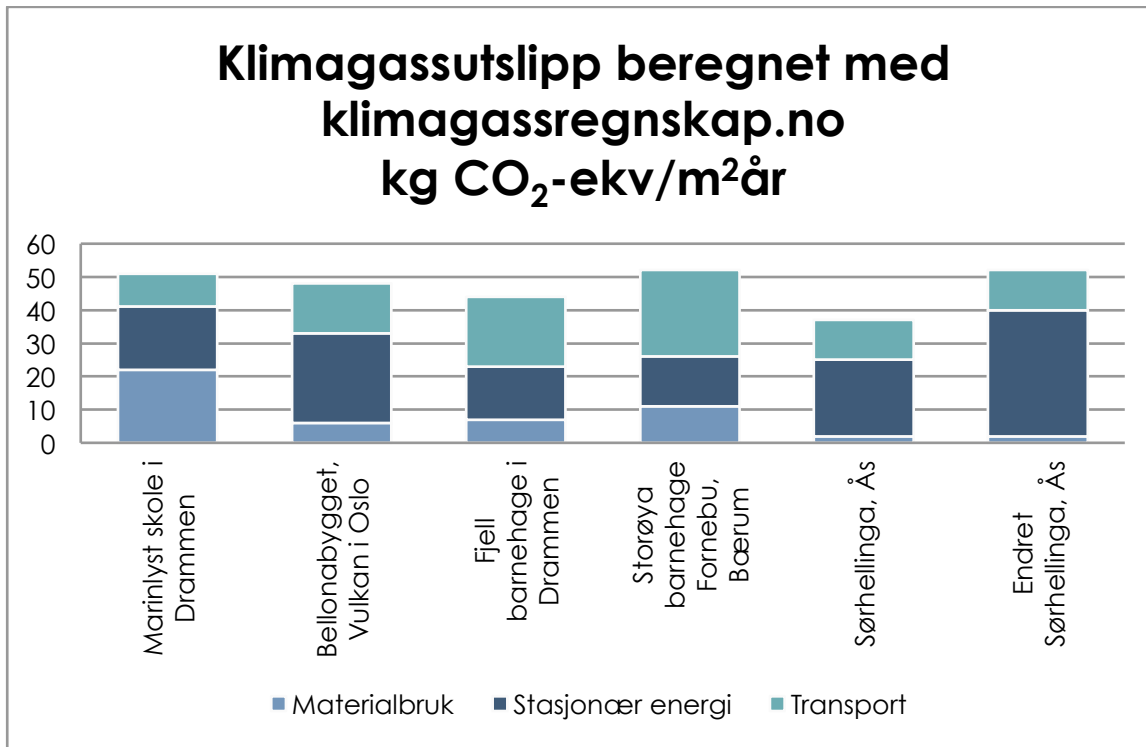
De reelle tallene viser at Sørhellinga har et energiforbruk på 238,5 kWh/m² og en fornybarandel på 54%. Ved kun å gjøre endringer på modulen for stasjonærenergi i klimagassregnskapet endrer hele byggets klimagassutslipp seg dramatisk.

Tabell 6 : Klimagassutslipp i tonn CO₂-ekv/år

	Tot	Stasjonær energi
2010	293	156,4
Reelle tall 2010	412	275,9
Endring (%)	40%	76%

Hadde de senere simuleringen tatt hensyn til byggets faktiske energibruk ville dette alene ført til en økning i de totale klimagassutslippene på 40%. Sammenligner man det nye resultatet på 412 tonn CO₂-ekv/år eller 52 kg CO₂-ekv/m²år med byggene Statsbygg har

valgt å sammenligne seg med, er det tydelig at Sørhellinga ikke lenger ligger langt under de andre byggene. Endringen i Sørhellinga sine klimagassutslipp gjør at bygget nå ligger på linje med de andre byggene.



Figur 8 : Bygningers klimapåvirkning inkludert endringer Sørhellinga (Statsbygg 2008)

5.2 Laboratoriens ventilasjonssystemer

Undervisningslaboratoriene ved Sørhellinga benyttes ikke til laboratorieforsøk med verken kjemikalier eller andre stoffer som kan medføre forringelse av arbeidsatmosfæren. Undervisningslaboratoriene brukes først og fremst til mikroskopering av biologisk materiale. Mesteparten av tiden benyttes undervisningslaboratoriene til ordinær undervisning. De ansatte og ansvarlig for laboratoriene ved Institutt for Naturforvaltning var delaktige i utforminger av laboratoriene og kom med klare innspill på hva de ønsket av type laboratorier. De var derimot ikke i kontakt med rådgivende ingeniør ventilasjon for å forklare hvilke bruk de forskjellige laboratoriene skulle få. De oppga ingen informasjon om hvorvidt undervisningslaboratoriene skulle benyttes til bruk av kjemikalier eller ikke. Med dagens bruk er det ingen grunn til at undervisningslaboratoriene på nærmere 300 m² ikke kunne vært koblet til et ordinært ventilasjonsaggregat med roterende kryssvarmeveksler.

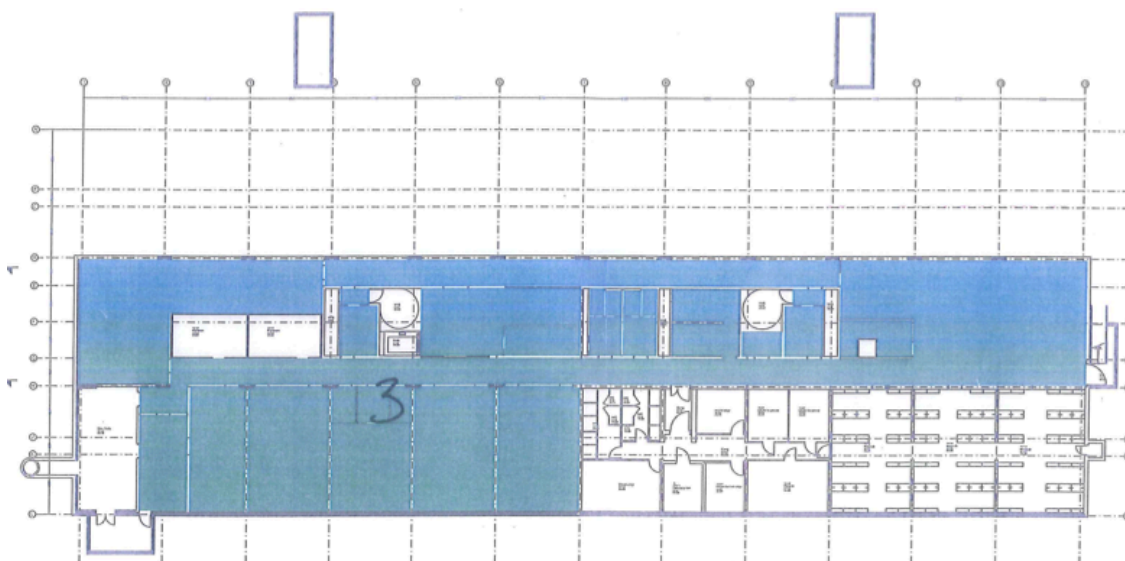
Dette ville gitt en betydelig energibesparelse både på grunn av økt temperaturvirkningsgrad i varmegjenvinneren, og også grunnet muligheten til å redusere aggregatets driftstid.

5.3 Problemer på byggets ulike plan knyttet til ventilasjonen

Kjeller

Romfordeling: Kjelleren på Sørhellinga blir i hovedsak benyttet som lagerlokaler. I tillegg til en rekke lagerrom finnes også bibliotekets magasiner i denne etasjen.

Problemer og utfordringer: Deler av sonen til ventilasjonsaggregat 3 benyttes som bokmagasin. Bokmagasin burde ha en nærmest mulig konstant relativ luftfuktighet i nærheten av 50%. Dette er ikke mulig da ventilasjonsaggregatet bruker friskluft med varierende fuktighet til oppvarming av lokalet. Ventilasjonsaggregat 3 er også koblet til auditoriet i underetasjen, et rom med en helt annen brukeratferd enn kjellerlokalene.

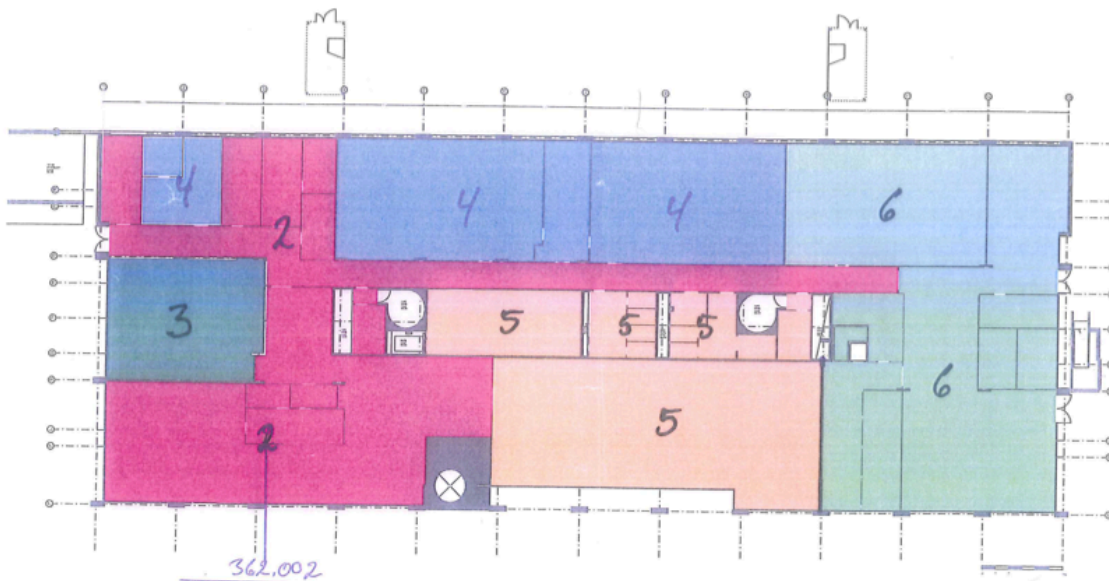


Figur 9 : Plantegning kjeller (FDV 2011)

Underetasje

Romfordeling: Underetasjen rommer kantine med kjøkken, bibliotek, lesesalsplasser, to undervisningslaboratorier, kontorer, kjølerom og auditorium. Toaletter, trapper og heis ligger i etasjens midtre del.

Problemer og utfordringer: Ventilasjonsaggregat 3 benyttes i arealer med vidt forskjellig brukeratferd og personbelastning. I underetasjen benyttes kun ventilasjonsaggregat 3 til auditoriet. Dette byr på driftsutfordringer og unødvendig energi blir brukt til å ventilere lagerlokalene i byggets kjeller. Ventilasjonsaggregat 4 går døgkontinuerlig grunnet krav til laboratorier. Flere av laboratoriene ved Sørhellinga blir ikke brukt til farlige kjemiske stoffer og det kan diskuteres hvorvidt en døgkontinuerlig drift er nødvendig.



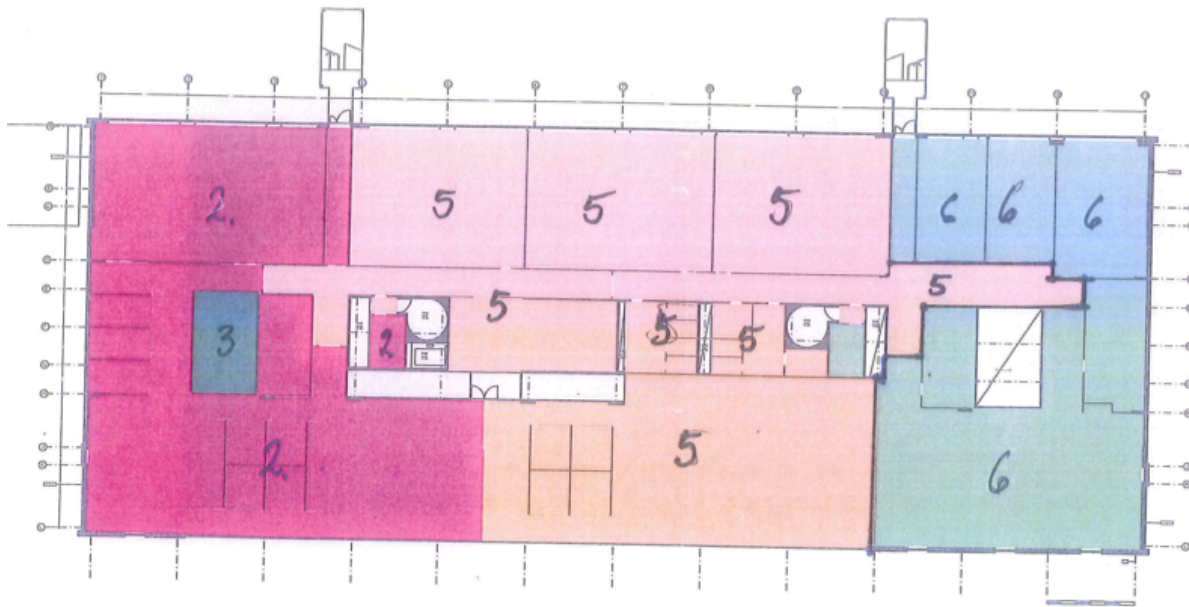
Figur 10 : Plantegning underetasje (FDV 2011)

1. etasje

Romfordeling: Denne etasjen består av lesesalsplasser og grupperom mot den sørvendte fasaden. Langs byggets nordvendte fasade ligger hovedsaklig undervisningsrom og datasal. Etasjens midtre del benyttes til toaletter, trapper og heis.

Problemer og utfordringer: Ventilasjonsaggregatenes soneinndeling er orientert nord/sør og det er i hovedsak ventilasjonsaggregat 2, 5 og 6 som betjener 1. etasje. Rommene langs nordlig fasade får et langt lavere tilskudd fra solens strålingsvarme enn arealene som vender ut mot den sørlige fasaden. Rommene langs nordlig fasade har også en brukeratferd som er forskjellig fra arealene langs sørsiden av bygget. Områdene til ventilasjonsaggregat 2 skiller seg litt ut med at det her er åpen løsning over hele sonen. Den sørlige fasaden har store glassfasader og rommene mottar store mengder strålingsvarme. Selv om bygget har montert automatisk solavskjerming oppfattes sonen for varm på enkelte dager. Samtidig har man problemer med å oppnå høy nok temperatur i

de nordlige delene av sonene. Soneinndelingen er ikke optimal og fører til unødvendig høyt energiforbruk og forringelse av innneklima.

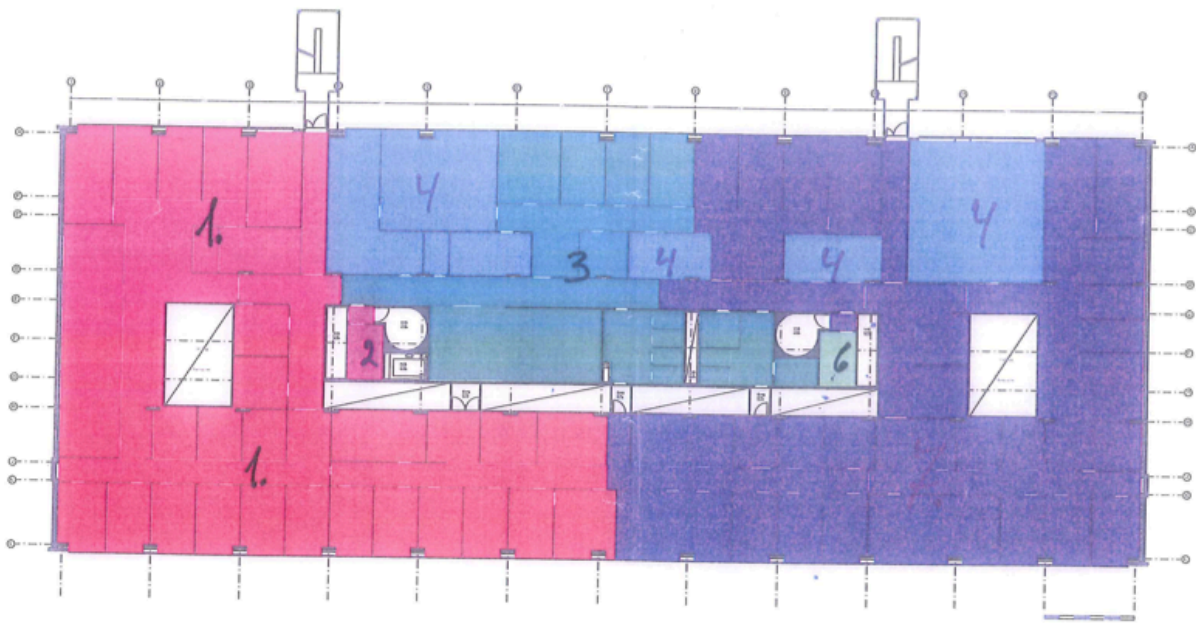


Figur 11 : Plantegning 1. etasje (FDV 2011)

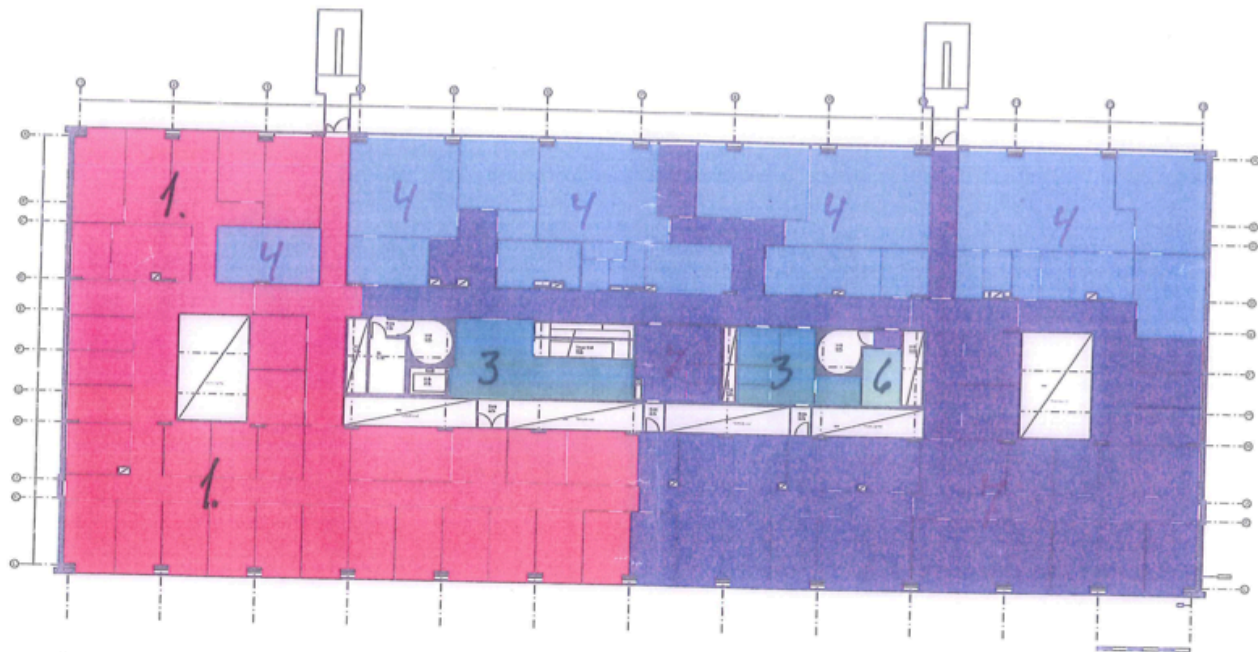
2. og 3. etasje

Romfordeling: Etasjene inneholder primært kontorer og laboratorier men også gangarealer og toaletter.

Problemer og utfordringer: Ventilasjonsaggregat 1 og 7 benyttes i kontordelene av bygget. Laboratoriene er tilknyttet ventilasjonsaggregat 4. Gangarealene og toalettene betjenes av ventilasjonsaggregat 3. Det rapporteres om enkelte klager på ujevne innetemperaturen ved kontorene. De to etasjene har samme orientering på ventilasjonens soneinndeling og følgelig ulikt soltilskudd. Selv om den sørlige fasaden her ikke har store glassflater er det en ulempe at samme ventilasjonsaggregat betjener både nordlig og sørlig side.



Figur 12 : Plantegning 2. etasje (FDV 2011)



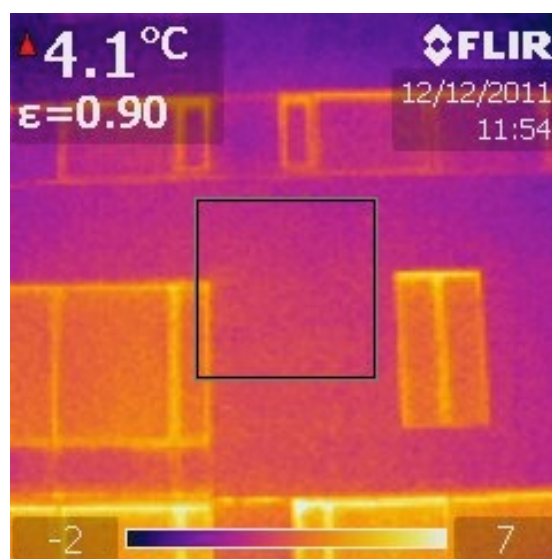
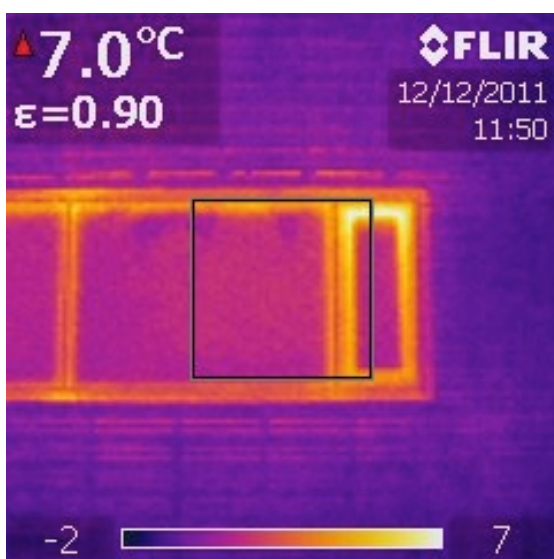
Figur 13 : Plantegning 3. etasje (FDV 2011)

5.4 Bygningsdetaljer Sørhellinga

5.4.1 Termografering

For å avdekke svakheter i bygningsfysikken har Sørhellinga sine fasader blitt termografert ved bruk av varmekamera. Hensikten med termograferingen har vært å finne svake punkter for videre å simulere disse i Therm. Resultatene fra termograferingen brukes ikke direkte i beregningene av U-verdier og kuldebroverdier. Riktige prosedyrer og nøyaktighet ved termograferingen har derfor ikke blitt vektlagt. Varmebildene er kun blitt brukt til å avdekke svake konstruksjoner.

Termograferingen av den nordvendte fasaden viser tydelige tegn til en sterk kuldebrovirkning rundt vinduene. Massivtreelementene ser også ut til å ha svake U-verdier. Termograferingen av den sørvendte fasaden indikerer det samme. Figur 14 og 15 nedenfor viser temperaturfordelingen på nordlig og sydlig fasade (henholdsvis venstre og høyre). Temperaturskalaen går fra -2 °C (lilla) til 7 °C (gul).



Figur 14 : Termografering Sørhellinga sin nord-fasade

Figur 15 : Termografering Sørhellinga sin syd-fasade

5.4.2 Beregninger detaljer

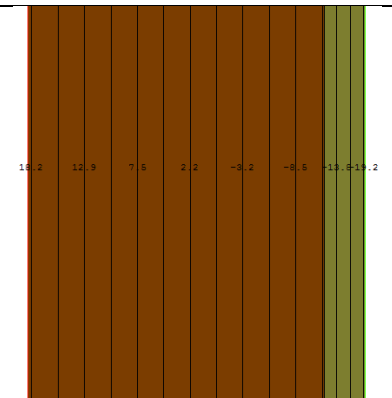
Utfyllende modeller og figurer finnes i vedlegg 1. Massivtreelementene

Beregning av U-verdier massivtrefasader (Holtz100, fasade Nord/Syd).

Tall og mål brukt i denne utregningen er hentet fra "som bygget"-tegningene og Holtz100 produktblader. Som en kontroll av Therm har massivtreelementets U-verdi også blitt regnet ut.

Tabell 7 : Beregning U-verdi Holtz100 massivtreelement

Lag	D(m)	λ W/mK	R (m ² K/W)
Re			0,130
trefiberplate	0,035	0,046	0,761
massivtre	0,250	0,090	2,778
Ri			0,040
			3,709 m ² K/W
		U-verdi	0,269 W/m ² K
		U-verdi (Therm)	0,269 W/m ² K



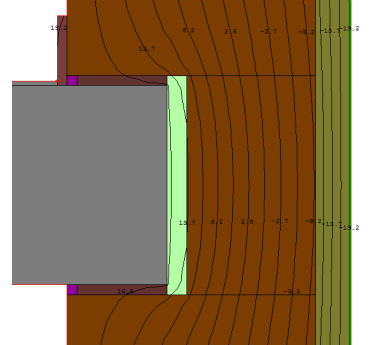
Massivtreelementene i byggets to langfasader har en U-verdi på 0,269 W/m²K. Dette tilfredsstillers ikke kravet til ytterveggers U-verdi fra TEK97 som er på 0,22 W/m²K. Den betydelige forskjellen virker uforklarlig da Holtz100 har andre produkter på markedet som tilfredsstillers TEK97 sine krav til yttervegger. Å ikke følge alle tiltakskravene til teknisk standard åpner for å prosjektere bygget etter rammekravene for tilhørende bygningskategori. Rammekravet for undervisningsbygg ligger på 180 kWh/m². Det er da nødvendig å foreta en omfordeling ved å gå over kravene i teknisk standard på andre punkter.

Simulering av betong dekkeforkant nordlig og sydlig fasade

Massivtreelementenes dårlige U-verdi gjør det interessant å undersøke langfasadenes dekkeforkanter. Den dårlige veggkonstruksjonen fører til en unødvendig stor kuldebro, som også blir påvirket av veggens svake U-verdi, da kuldebroverdien tar utgangspunkt i denne. En annen ytterveggeløsning ville mest sannsynlig vært utformet med en tykkere

trefiberplate utenpå massivtreelementet. Denne ville fungert som en kuldebrobryter og redusert dagens kuldebroverdi.

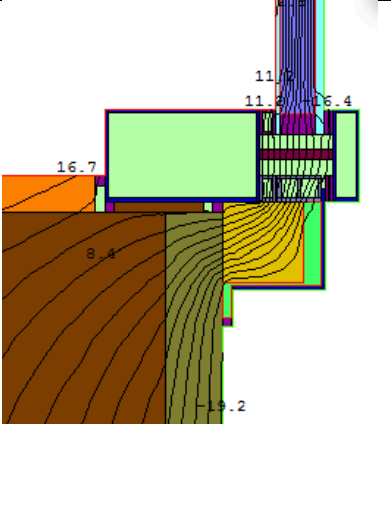
Tabell 8 : Beregning kuldebroverdi dekkeforkant

Kuldebroverdi dekkeforkant:			
U_o	0,2696 W/m^2K	$\psi = (U_{tot} - U_o) * H$	
U_{tot}	0,3153 W/m^2K	Løpemeteter = 288m	
H	0,82m		
Kuldebroverdi $\psi = 0,0381 W/m K$			
Bidrag til normalisert kuldebroverdi $\frac{\psi * Løpemeteter}{BRA}$			
$\frac{0,0381 W/mK * 288m}{9000m^2} = 0,00122 \frac{W}{K} / m^2$			

Simulering vinduskarm nordlig og sydlig fasade

Vindusinsetningen er trukket utenfor veggelementet, noe som medfører en høyere kuldebroverdi enn hva som ville vært tilfellet hvis vinduet var trukket inn og fluktet med elementet.

Tabell 9 : Beregning kuldebroverdi vinduskarm

Kuldebroverdi vinduskarm:				
U_{vindu}	1.101 W/m^2K	$\psi_K = U_{tot} * L - (U_{vindu} * L_{vindu} + U_{vegg} * L_{vegg})$		
U_{vegg}	0,269 W/m^2K	Løpemeteter = 619,6m		
U_{tot}	0,95 W/m^2K			
L_{tot}	1,224m	$L_{vindu} = 0,7195m$	$L_{vegg} = 0,5044m$	
Kuldebroverdi $\psi_K = 0,236 W/m K$				
Bidrag til normalisert kuldebroverdi $\frac{\psi * Løpemeteter}{BRA}$				
$\frac{0,236 W/mK * 619,6m}{9000m^2} = 0,0163 \frac{W}{K} / m^2$				

De tre valgte detaljene utgjør bare en andel av alle detaljer som er med i en komplett beregning av den normaliserte kuldebroverdien NKV. Disse detaljene er valgt da de anses som dårlig prosjertede løsninger som ved enkle grep kunne vært utført på en langt mer tilfredsstillende måte.

Tabell 10 : Beregning bidrag NKV

Bidrag til normalisert kuldebroverdi (NKV)		
ψ_K	0,236 W/m K	$NKV = \frac{\sum_l \psi_l \cdot l + \sum_i X_i}{A_{BRA}}$
ψ	0,0381 W/m K	
L_{karm}	619,6m	
$L_{dekkforkant}$	288m (72m*4)	
A_{BRA}	9000 m ²	
$NKV = 0,01747 \frac{W}{K} / m^2$		

Tabell 11 : Vindusskjema Holtz100-vegg

Vindu	Antall	Omkrets	Sum
Fasade nord			
GF11	1	27,7m	-
GF12	1	62,38m	-
GF13	1	27,68m	-
GF14	1	12,82m	-
GF15	1	16,18m	-
GF16	1	63,38m	-
GF17	1	27,68m	-
GF18	1	27,28m	-
GF19	1	60,74m	-
SUM			325,84m
Fasade-sør			
GF20	1	146,88	-
GF21	1	146,88	-
Sum			293,76m
SUM totalt			
			619,6m

Bidraget til NKV fra de to detaljene er på hele $0,017 \frac{W}{K} / m^2$. Dette utgjør nesten 1/3 av hva som er tillatt for den totale NKV.

5.4.3 Beregning alternative detaljer

For å oppnå kravet i TEK97 til yttervegger på $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ må tykkelsen på trefiberplaten endres fra 35mm til 74mm. Dette fører videre til endringer i kuldebroverdier. Beregningene nedenfor er medtatt for å vise hvilken effekt en endring av fiberplatens tykkelse ville hatt på den normaliserte kuldebroverdien.

Tabell 12 : Beregning kuldebroverdi alternativ dekkeforkant.

Kuldebroverdi dekkeforkant massivtrevegg u-verdi $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$:			
U_o	0,22 $\text{W/m}^2\text{K}$	$\psi = (U_{tot} - U_o) * H$	
U_{tot}	0,2486 $\text{W/m}^2\text{K}$	Løpemeteter = xxx	
H	0,82m		
Kuldebroverdi $\psi = 0,0235 \text{ W/m K}$			
Bidrag til normalisert kuldebroverdi $\frac{\psi * \text{Løpemeteter}}{BRA}$			

Endring av tykkelse på veggens trefiberplate fører til en tykkere kuldebrobryter og dermed en lavere kuldebroverdi. Detaljens kuldebroverdi synker fra 0,0381 til $0,0235 \frac{\text{W}}{\text{m K}}$.

Med utgangspunkt i endringen av massivtreveggen og kan detaljen for vindusinnsettingen endres. Simuleringer i Therm viser at den mest hensiktsmessige plasseringen av vinduet er når vindsperre flukter med utvendig karm.

Tabell 13 : Beregning kuldebroverdi alternativ vinduskarm

Kuldebroverdi vinduskarm alternativ løsning:				
U_{vindu}	1.101 $\text{W/m}^2\text{K}$	$\psi_K = U_{tot} * L - (U_{vindu} * L_{vindu} + U_{vegg} * L_{vegg})$		
U_{vegg}	0,22 $\text{W/m}^2\text{K}$	Løpemeteter = xxx		
U_{tot}	0,905 $\text{W/m}^2\text{K}$			
L_{tot}	1,226m	$L_{vindu} =$ 0,7195m	$L_{vegg} =$ 0,5046m	
Kuldebroverdi $\psi_K = 0,206 \text{ W/m K}$				
Bidrag til normalisert kuldebroverdi $\frac{\psi * \text{Løpemeteter}}{BRA}$				

Endring av denne detaljen fører til en redusert kuldebroverdi fra $\psi_K = 0,236 \text{ W/m K}$ til $\psi_K = 0,206 \text{ W/m K}$.

Tabell 14 : Beregning bidrag NKV, med alternative endringer

Bidrag til normalisert kuldebroverdi (NKV) etter endringer	
ψ_K	0,206 W/m K
ψ	0,0235 W/m K
L_{karm}	619,6m
$L_{dekkeforkant}$	288m (72m*4)
A_{BRA}	9000 m ²
$NKV = \frac{\sum_l \psi_l \cdot l + \sum_i X_i}{A_{BRA}}$	
$NKV = 0,01493 \frac{W}{K} / m^2$	

Endringen av detaljene fører til en reduksjon i bidraget til NKV fra $NKV = 0,01747 \frac{W}{K} / m^2$ til $0,01493 \frac{W}{K} / m^2$.

5.5 Simien

Her blir de relevante resultatene fra Simien-modellene presentert. Utfyllende resultater (grafer, tabeller mv.) ligger i vedlegg 2.1-2.5 . Alle modellene baserer seg på samme inndata og tegningsgrunnlag.

5.5.1 Modell 1: Hele bygget, som bygget

Modell 1 er en modell av hele Sørhellinga og blir brukt som en referansemodell for å sammenligne effekten av endringer og tiltak i de andre modellene. Modellen er basert på data innhentet om bygget. Modellen er bygget opp med spesifikke driftstider, type ventilasjon, luftmengder osv. Modellen inneholder også resultatene fra de spesifikke beregningene av bygningsdetaljer. Resultatene fra modelleringen stemmer ikke overens med Sørhellinga sitt reelle energibehov/-forbruk. På grunn av denne forskjellen blir alle modellene sammenlignet med denne, og ikke byggets reelle forbruk. Modellen er delt inn i fire soner; byggets sørlige del, midtre del, nordlige del, og laboratoriene. Laboratoriene har fått egen sone grunnet egne parametere for ventilasjonen her.

Tabell 15 : Resultater Simien Modell 1.

Energibehov	Vifter	20,2 kWh/m ²
	Ventilasjonsvarme (batterier)	42,6 kWh/m ²
	Tot	159,2 kWh/m ²
Leverert energi	Tot	166,4 kWh/m ²
Varmetap	Kuldebroer	5 %
	Vinduer, dører	21,2 %
	Yttervegger	4,1 %
	Gulv	3,4 %
	Tak	1,2 %
Energibudsjett	Vent	26,8 %
	Romoppvarming	12,3 %

Modell 1 viser også at Sørhellinga har en prosentvis dør/vindus andel av BRA på 16,6%

5.5.2 Modell 2: Hele bygget, untatt undervisningslaboratorier

denne modellen er valgt med tanke på å finne ut hvilken effekt en utkobling av undervisningslaboratoriene i byggets underetasje vil kunne ha på byggets energibehov. De 279 m² med undervisningslaboratorier har derfor blitt fjernet fra sonen med øvrige laboratorier, og lagt til den nordlige sonen i modellen.

Tabell 16 : Resultater Simien Modell 2

Energibehov	Vifter	19,7 kWh/m ²
	Ventilasjonsvarme (batterier)	36,3 kWh/m ²
	Tot	151,7 kWh/m ²
Leverert energi	Tot	157,7 kWh/m ²
Varmetap	Kuldebroer	5,3 %
	Vinduer, dører	22,4 %
	Yttervegger	4,3 %
Energibudsjett	Vent	23,9 %
	Romoppvarming	12,5 %

5.5.3 Modell 3: Hele bygget, med alternative løsninger massivtre og vinduer, uten undervisningslaboratorier

Modellen har i tillegg til å utelate undervisningslaboratoriene fra ventilasjonsaggregat 4 tatt hensyn til de alternative løsninger simulert i Therm. Både forbedrede kuldebroer rundt vinduer i massivtreelementer og forbedret U-verdi i elementene er medtatt i modellen.

Tabell 17 : Resultater Simien Modell 3

Energibehov	Vifter	19,7 kWh/m ²
	Ventilasjonsvarme (batterier)	36,0 kWh/m ²
	Tot	150,5 kWh/m ²
Lvert energi	Tot	156,3 kWh/m ²
Varmetap	Kuldebroer	5,4 %
	Vinduer, dører	21,8 %
	Yttervegger	4,0 %
Energibudsjett	Vent	23,9 %
	Romoppvarming	12,0 %

5.5.4 Modell 4: Ventilasjonssone 5 og 6, som bygget

Modellen simulerer ventilasjonssone 5 og 6 i byggets under- og 1. etasje.

Ventilasjonssonene er orientert langs byggets kortsida. Sone 6 går i nord-sør retning, langs med den østlige fasaden. Sone 5 ligger innenfor, orientert nord-sør.

Tabell 18 : Resultater Simien Modell 4.

Energibehov	Sone 5	172,5 kWh/m ²
	Sone 6	176,5 kWh/m ²
	Samlet	174,0 kWh/m ²
Lvert energi	Tot	172,5 kWh/m ²

Tabellen nedenfor viser temperaturvarigheten over arbeidstiden i Modell 4:

Tabell 19 : Resultater Simien Modell 4.

Timer	Temperatur Sone 5	Sone 6
1000	23,9	23,5
1500	23,6	23,3
2000	23,3	23
3000	21,9	21,8

5.5.5 Modell 5: Ventilasjonssone 5 og 6, alternativ inndeling

Soneinndelingen til ventilasjonsaggregat 5 og 6 har blitt forandret fra modell 4. Sonene opptar det samme arealet, men er orientert øst-vest. Sone 5 ligger langs byggets nordlige fasade, og sone 6 ligger langs byggets sørvendte fasade.

Tabell 20 : Resultater Simien Modell 5.

Energibehov	Sone 5	170,4 kWh/m ²
	Sone 6	182,4 kWh/m ²
	Samlet	175,5 kWh/m ²
Levert energi	Tot	173,9 kWh/m ²

Tabellen nedenfor viser temperaturvarigheten over arbeidstiden i Modell 5:

Tabell 21 : Resultater Simien Modell 5.

Timer	Temperatur Sone 5	Sone 6
1000	23,6	23,7
1500	23,3	23,5
2000	22,8	23,3
3000	21,8	21,9

6 Diskusjon

6.1 Hypotese 1 – Drift

Driften av Sørhellinga har vært et omstridt emne og tema i masteroppgaven "Energiledelse og energieffektivisering av bygg" (2011). Resultatene fra oppgaven tyder på at mye kan gjøres for å effektivisere driften av bygget og at DSA må ta på seg en god del av ansvaret for byggets unaturlig høye energibruk. Det blir likevel påpekt at mye tyder på at det høye energibruket ikke bare er et resultat av mangelfulle rutiner og utilstrekkelig drift. Blant annet nevnes ventilasjonsaggregatene og deres soneinndelinger som en mulig bidragende faktor til forbruket.

Modell 1 av bygget, simulert i Simien er en kopi av bygget og tar hensyn til massivtreveggenes U-verdier og tilhørende vinduers kuldebrovirkning. Beregnet levert energi til bygget er $166,4 \text{ kWh/m}^2$. Den beregnede verdien ligger noe under tallene som fremkommer i Statsbygg sitt prosjekt ($180\text{-}200 \text{ kWh/m}^2$), men en godt stykke over de beregnede verdiene fra forprosjektet (133 kWh/m^2). Det foreligger ingen dokumentasjon på hvordan Statsbygg har fått gjennomført sine energiberegninger og usikkerheten til resultatene er derfor uviss.

Det er en stor grad av usikkerhet knyttet til resultatene fra Simien. Det er viktig å huske på at dette er en teoretisk verdi som sjeldent lar seg oppnå. Når det er sagt finnes det flere naturlige årsaker til at resultatene ligger under det reelle forbruket. Blant annet har bygget et snøsmelteanlegg utenfor inngangene, dette er ikke inkludert i modellen. Problemene med ventilasjonsaggregatenes soneinndeling får også konsekvenser for denne modellen. Bygget har orientert soneinndelingen nord-syd, noe som strider mot prinsippene i NS 3031, kapittel 4, modellen har derfor orientert sonene øst-vest for å ta hensyn til fasader med stort soltilskudd. Dette er en mer ideell soneinndeling, trolig med et lavere energibehov.

Det er vanskelig å bedømme hvilket forbruk som er mulig å nå, og hva som kan anses som et oppnåelig mål for DSA. I likhet med "Energiledelse og energieffektivisering av bygg" (2011) finner også dette studiet at det er et stort potensiale for energibesparelser. Simuleringene fra Simien tyder på at tallene som fremkom i Statsbygg sitt prosjekt kanskje ikke er helt uoppnåelige. Tidligere studier og erfaringer viser at drift av bygget har stor betydning på byggets totale energibehov og at hvis man satser på styring av bygget

gjennom SD-anlegget og EOS vil man oppnå besparelse i flere av byggets første leveår. Denne tendensen ses ikke ved Sørhellinga. Dette gir grunn til å tro at en videre innjustering av byggets tekniske systemer må til skal optimal drift oppnås. Et aktuelt tiltak kan være å leie inn fagpersonell knyttet til leverandør av SD-anlegget, for å finjustere innstillingene et par ganger i året.

6.2 Hypotese 2 – Soneinndeling ventilasjonsaggregater

Ventilasjonsaggregatenes soneinndeling har stor betydning både for energibruk og komfort i bygget. Det har fra DSA sin side vært ønskelig å undersøke hvilken effekt en alternativ soneinndeling vil kunne ha på byggets energiforbruk. Den nåværende soneinndelingen har skapt problemer med stor temperaturvariasjon internt i sonen, grunnet variabelt soltilskudd. Problemene har vært størst i perioder med stort soltilskudd via syd-fasadens glassarealer. Det har i tillegg vært spekulert i om det til tider har foregått oppvarming og kjøling samtidig, som en følge av uhensiktsmessig soneinndeling.

Resultatene fra simuleringene av modell 4 og 5 viser nærmest identiske tall for totalt levert energi (henholdsvis 174 og 175,5 kWh/m²). Forskjellene fremkommer i de to sonene. Modell 4 gir for sone 5 og 6 et beregnet energiforbruk på 172,5 kWh/m² og 176,5 kWh/m². Energiforbruket er nærmest likt og den lille variasjonen skyldes at sone 6 har en ekstra vindusfasade (øst). I modell 5 varierer imidlertid energiforbruket betraktelig med 170,4 kWh/m² i sone 5 og 182,4 kWh/m² i sone 6. Denne forskjellen skyldes at sone 6 nå er lagt til den sydlige fasaden og får et større varmetap gjennom byggets store sydvendte glassfasade.

Tallene tar ikke hensyn til en forbedring av innemiljø eller en eliminering av risikoen for parallell nedkjøling/oppvarming. Temperaturvarighetskurvene viser små forandringer i innetemperaturen i arbeidstiden. Eftersom temperaturvariasjonene i modell 4 foregår internt i sonene fremkommer ikke dette av resultatene. Heller ikke i modell 5 er det veldig store variasjoner i temperaturvarighetskurven. Derimot får sone 6 en noe høyere temperatur grunnet et stort soltilskudd.

Den alternative soneinndelingen vil kunne fjerne problemene knyttet til temperaturvariasjonene. Det er fullt mulig å utføre endringer av soneinndelingen, det hadde også vært mulig å prosjektere soneinndelingen annerledes i utgangspunktet. En

eventuell reduksjon i energibehovet vil komme som følge av eliminering av en potensiell situasjon med parallell oppvarming og avkjøling. Radiatorer kompensert for utetemperatur er ikke ideelt i en sone med tidvis stort og variabelt soltilskudd.

6.3 Hypotese 3 – Ventilasjon Laboratorier

Å kjøre nødvendige arealer på et døgkontinuerlig og mindre effektivt ventilasjonsaggregat vil føre til en unødvendig bruk av energi. Sørhellinga består av rundt 900 m² med rom og soner som er koblet opp mot det døgkontinuerlige ventilasjonsaggregat 4. Hovedandelen av dette arealet er laboratorier med bruk av kjemikalier og stoffer som krever høy grad av luftutskiftning og dermed døgkontinuerlig ventilasjon. Undervisningslaboratoriene i byggets underetasje har en bruk som gjør at de kunne vært tilkoblet et annet aggregat med en høyere virkningsgrad. Simuleringen av modell 2 viser hvilken effekt en slik alternativ løsning ville fått på byggets energibehov. I modellen har de 279 m² med slike undervisningslaboratorier blitt fordelt mellom nordlig og midtre sone, og tilkoblet ventilasjonen her i stedet.

Modell 2 har en beregnet levert energi på totalt 157,7 kWh/m². Dette er hele 5,3 % lavere enn modell 1 som har en tilsvarende beregnet levert energi på totalt 166,4 kWh/m². Reduksjonen i Modell 2 skyldes både høyere virkningsgrad og kortere driftstid. Med dagens bruk er det vanskelig å forstå hvorfor undervisningslaboratoriene ikke er tilkoblet et tradisjonelt ventilasjonsaggregat. Det er bare noen av laboratoriene som er avhengig av døgkontinuerlig ventilasjon, og en alternativ løsning kan være å installere et langt mindre aggregat for å betjene disse sonene.

6.4 Hypotese 4 – Varmetap

Hvilket bidrag har endring av bygningsdetaljer på Sørhellinga sitt varmetap? I hvilken grad skyldes et høyt energiforbruk varmetapet gjennom bygningens konstruksjoner? Modell 1 viser at 34,9% av byggets totale varmetap går gjennom konstruksjonene. Varmetap gjennom veggene endres fra 4,3% i modell 1 til 4,0% i Modell 3, noe som er en prosentvis reduksjon på 7%. Når man tar hensyn til at nedgangen i varmetap kun skyldes endringer ved to av byggets fasader og over tre etasjer med store vindusflater, er nedgangen stor.

Nedgangen skyldes en forandring av U-verdien i massivtreelementene fra $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$ til $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Det har blitt spekulert i om byggets store glassarealer er en av grunnene til det høye energibehovet. Bygget har en prosentandel vinduer og dører på 16,6%, noe som ikke er uvanlig høyt. Derimot kan uhensiktsmessige detaljer og høye kuldebroverdier gjøre vinduene unødvendig energiforbrukende.

Byggets totalt beregnet levert energi synker fra $157,7 \text{ kWh/m}^2$ til $156,3 \text{ kWh/m}^2$, en reduksjon på 1%. Endringene etter omgjøringen er svært små i forhold til byggets totale energiforbruk, dette gjør tallene svært usikre og det er vanskelig å komme til et nøyaktig svar på hvilken effekt disse endringene i realiteten har. Endringen av U-verdi og kuldebroverdi har derimot stor innvirkning på byggets nordlige og sydlige fasade. Brukerne av bygget har klaget på tidvis lave temperaturer ved kontorene i 2. og 3. etasje. Det er naturlig å tenke seg at en forbedret vegg/vindusløsning kunne redusert disse problemene. En ombygging kan ikke ses på som en løsning for å redusere energiforbruket, derimot stilles det spørsmål ved hvorfor et produkt med en langt dårligere U-verdi enn kravet i TEK97 er valgt. Energi og miljø ble vektlagt ved prosjekteringen av Sørhellinga, og det synes derfor uforståelig at valget falt på de løsningene som det gjorde.

7 Konklusjon

Energimodelleringen av Sørhellinga sitt energibehov viser at det er et stort potensiale for sparing og energieffektivisering. Gjennom drift, rutiner og energistyring kan man oppnå store besparelser. Det er vanskelig å anslå konkrete tall da det finnes en stor usikkerhet knyttet til modelleringen. Mye kan gjøres, noe både denne oppgaven og tidligere arbeider viser. Det vil alltid være vanskelig å oppnå simulerte verdier, men det vil over tid være mulig stadig å oppnå ytterligere besparelser. Gjennom å ta grep og drive en aktiv oppfølging av energiforbruket vil man på sikt kunne oppnå en optimal drift av bygget.

Ventilasjonsaggregatenes soneinndeling gir uønskede temperaturvariasjoner og et problematisk inn klima. Modelleringene viser identiske energibehov, og det er vanskelig å si noe om størrelsen av effekten på byggets energiforbruk uten å undersøke muligheten for at det foregår parallell kjøling/oppvarming. Prosjekteringen av soneinndelingen burde vært gjort annerledes. Dagens situasjon er ikke ideell, og det finnes et stort potensiale for energisparing ved fremtidige utbedringer.

Byggets mange laboratorier bidrar til det høye energiforbruket, ventilasjonssonen tilknyttet disse har et lang høyere forbruk enn hva som forekommer i byggets øvrige soner. Under prosjektering burde det vært gjort andre valg, og undervisningslaboratoriernes bruk burde vært bedre dokumentert i forkant av utarbeidelsen av ventilasjonssonene. Modelleringen viser en reduksjon i totalt energibehov på 5%, og selv med en høy usikkerhet er det klart at dette er et sted hvor det bruke mye energi unødvendig. Å ha et stort aggregat gående døgnekstimerlig for å ventilere en liten sone virker ikke optimalt. Et alternativ hadde vært å installert et mindre aggregat for å ventilere de rom som faktisk trenger døgnekstimerlig drift.

Under valg av Holtz100 massivtreelementer ble det valgt detaljer som ikke tilfredsstillt kravene i TEK97. Elementene opptar vært lite av byggets totale utvendige areal noe som gjør effekten på totalt energibehov neglisjerbart. De "tynne" massivtreelementene tvinger også frem en dårlig vindusinnsetting med høy kuldebroverdi. Kuldebroverdien og lave U-verdier fører til tidvis dårlig inn klima i enkelte rom. Det er ingen tvil om at feil løsning har blitt valgt.

Mye kunne vært gjort annerledes under prosjekteringen av Sørhellinga. Under en prosjektering som hadde til formål å oppnå et lavt energiforbruk og godt inneklima, har det ikke blitt satt tilstrekkelig fokus på bygningsfysikk og ventilasjon. Det er vanskelig å si noe om hvorvidt eventuelle ombygninger vil være lønnsomme og hvor stor besparelse disse eventuelt vil oppnå.

8 Videre arbeid

Mye er fortsatt uklart når det gjelder "problembygget" Sørhellinga og mange aspekter kunne vært studert nærmere.

Kun et utvalg av bygningsdetaljer har blitt studert gjennom arbeidet med denne oppgaven, og en fullstendig gjennomgang ville vært interessant for å få en mer fullstendig modell, samt større nøyaktighet ved beregninger av byggets energibehov. Dette vil også kunne gi en mer realistisk driftsmålsetting for DSA. En undersøkelse av potensielle episoder med parallell kjøling/oppvarming kan gi et endelig svar på hvor mye energi som forbrukes grunnet lite gunstige prosjekteringsvalg. En slik analyse vil også kunne gi svar på hvorvidt en ombygging av soneinndelingen vil være økonomisk lønnsom eller ikke.

Det har under arbeidet med denne oppgaven blitt bestemt å gjøre om på deler av bygget soneinndeling, det vil bli interessant å se hvor stor effekt dette får på byggets energiforbruk og inneklima.

9 Referanser

- Arbeidsdepartementet. (2001). *Kjemikalieforskriften*. Lovdata.
- Arbeidstilsynet. (2009). *Laboratoriet sikkerhet og arbeidsmiljø*. Arbeidstilsynet.
- Arbeidstilsynet. (2011, 11 22). www.arbeidstilsynet.no. Hentet 11 22, 2011 fra http://www.arbeidstilsynet.no/fakta.html?tid=206422#Krav_fil_vern
- Aasen, A. (2011, 11 18). (A. Klovholt, Intervjuer)
- Aurlien, T. (2011).
- Civitas. (2009). *Brukermanual Klimagassregnskap.no*. Statsbygg.
- FDV. (2011). *FDV dokumentasjon*. Ås: Statsbygg.
- Fenestration . (2011). Hentet 09 25, 2011 fra <http://www.fenestration.com/therm.php>
- Fjeldstad, T. (2011, 11 16). Ventilasjon Sørhellinga. (A. Klovholt, Intervjuer)
- Gaustad, K. (2011). *Energiledelse og energieffektivisering i bygg*. UMB. Ås: Ola Kvale, Sindre Dyve Gaustad.
- Gustavsen, A. (2007). www.ipf.as. Hentet 12 11, 2011 fra http://www.ipf.as/Kuldebroer_ArildGustavsen.pdf
- Hynne, A. (2011, 10 25). Ventilasjon Sørhellinga. (A. Klovholt, Intervjuer)
- Ingvaldsen, T. (2008). *Byggskadeomfanget i Norge (2006), Prosjektraport 17*. SINTEF.
- Kommunal og regionaldepartementet . (2012, 01 15). [regjeringen.no](http://www.regjeringen.no). Hentet 01 15, 2012 fra http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/tema/bolig-_og_bygningspolitikk/byggeskikk-miljo-og-universell-utforming/miljovennlige-boliger-og-bygg.html?id=512582
- Kristiansen, P. (2011, 10 10). VVS ansvarlig. (A. Klovholt, Intervjuer)
- Langset, T. (2010). DSA. (O. Kvale, Intervjuer)
- Lie, Ø. (2011, 10 24). www.tu.no. Hentet 11 15, 2011 fra <http://www.tu.no/energi/article291329.ece>
- Mads Mysen, K. P. (2000). *Energieffektiv viftedrift*. Statsbygg, NVE, Luftfarstverket. Oslo: Statsbygg.
- Mikkelsen, H. (2011, 06 01). www.umb.no. Hentet 10 18, 2011 fra http://www.umb.no/statisk/om_umb/ppt/umb_i_stikkord.pdf
- Multiconsult. (2009). *Passivbygg som forskriftskrav i 2020*. SINTEF.
- Næss, B. (2011, 08 11). www.regjeringen.no. Hentet 10 11, 2011 fra <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/aktuelt/nyheter/2011/en-mer-klimavennlig-stat.html?id=653608>

Norsk VVS. (2001). *Hvorfor lav SFP-faktor Vifteenergi er også energi!*

Norum, E. (2011, 08 11). www.umb.no. Hentet 10 10, 2011 fra <http://www.umb.no/forsiden/artikkel/umb-med-i-prosjekt-for-a-bli-klimanoytral>

NVE. (2007). www.energimerking.no. Hentet 10 10, 2001 fra http://www.energimerking.no/Global/energimerking/Dokumenter/Energimerking_030909.pdf

NVE. (2009, 10 08). www.energimerking.no. Hentet 01 20, 2012 fra <http://www.energimerking.no/NS3031>

NVE. (2010, 07 15). www.energimerking.no. Hentet 11 19, 2011 fra <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-Bbygg/Energimerking-av-bolig/Om-energiattesten/>

NVE. (2011, 07 01). www.energimerking.no. Hentet 10 18, 2011 fra <http://www.bygningsenergidirektivet.no/no/Nyheter-om-Energimerking/Suksess-for-energimerking/>

Plan og bygningsloven. (2008). *Plan og bygningsloven*. (MD, Red.) Lovdata.

Programbyggerne. (2011). Hentet 09 12, 2011 fra <http://www.programbyggerne.no/>

Schneider electric. (2011). www.shneider-electric.no. Hentet 11 15, 2011 fra http://www.schneider-electric.no/documents/negawatt2011_presentasjoner/RunarHansesaetre-innledning-Energiindikatoren.pdf

Selnæs, A. G. (2011). Prosjektleder ENOVA.

Selvig, E. (2011, 11). Konsulent Civitas. (A. Klovholt, Intervjuer)

SINTEF Byggforsk. (2008). *Kuldebroer – Beregning, kulde- broverdier og innvirkning på energibruk*. Sintef Byggforsk.

SINTEF Byggforsk. (2009). *Sintef Byggforsk*. Hentet 01 23, 2012 fra <http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/Beregning-av-nedboyning-til-trebjelkelag/>

SINTEF. (2008). www.byggkvalitet.no. Hentet 11 27, 2011 fra <http://www.byggkvalitet.no/News.aspx?sectionId=0&newsId=105>

Sintef. (2007). www.sintef.no. Hentet 01 10, 2012 fra <http://www.sintef.no/upload/Byggforsk/Publikasjoner/H53-Trehus-Oppdateringshefte-2007.pdf>

Standard Norge. (2007). *NS 3031:2007 Beregninger av bygningers energiytelse, Metode og dat*. Norge: standard norge.

Statsbygg. (2009, 02 17). www.statsbygg.no. Hentet 11 16, 2011 fra <http://www.statsbygg.no/Aktuelt/Tema/Bygge-klimavennlig/>

Statsbygg. (2010). www.statsbygg.no. Hentet 11 10, 2011 fra <http://www.statsbygg.no/en/Miljo2/Miljostrategien-i-Statsbygg/>

Statsbygg, a. (2008). Slik kan vi bygge klimavennelig. *Åpent rom*, s. 5.

Statsbygg, b. (2008). *Ferdigmelding Sørhellinga Rehabilitering*. Sørhellinga.

Steigan, D. T. (2005). www.artemisia.no. Hentet 10 20, 2011 fra <http://www.artemisia.no/arc/historisk/aas/nlh.html>

Teksal Øst. (2009). www.oneco.no. Hentet 11 01, 2011 fra IFIX B551 UMB Sørhellinga.

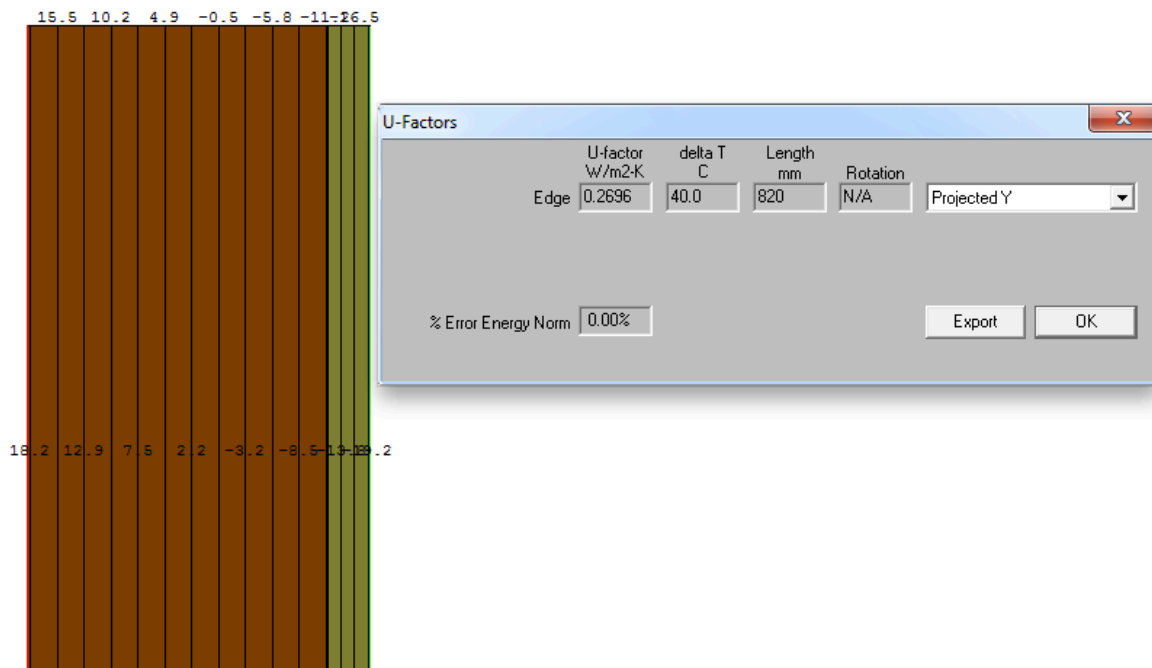
Trond Langseth. (2011). Prosjektleder elektro DSA. (O. Kvale, Intervjuer) Ås.

UMB. (2011, 09 30). www.umb.no. Hentet 11 15, 2011 fra <http://www.umb.no/om-umb/artikkel/umb-i-korte-fakta>

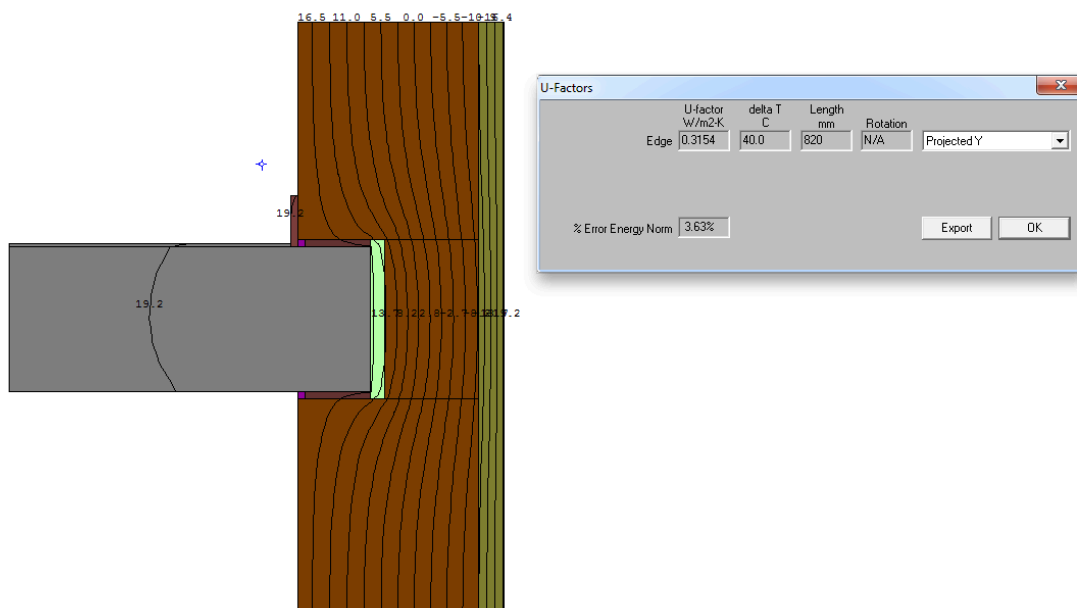
11 Vedlegg

Vedlegg 1: Simuleringer Therm.

vedlegg a: veggtsnitt holtz100 element.

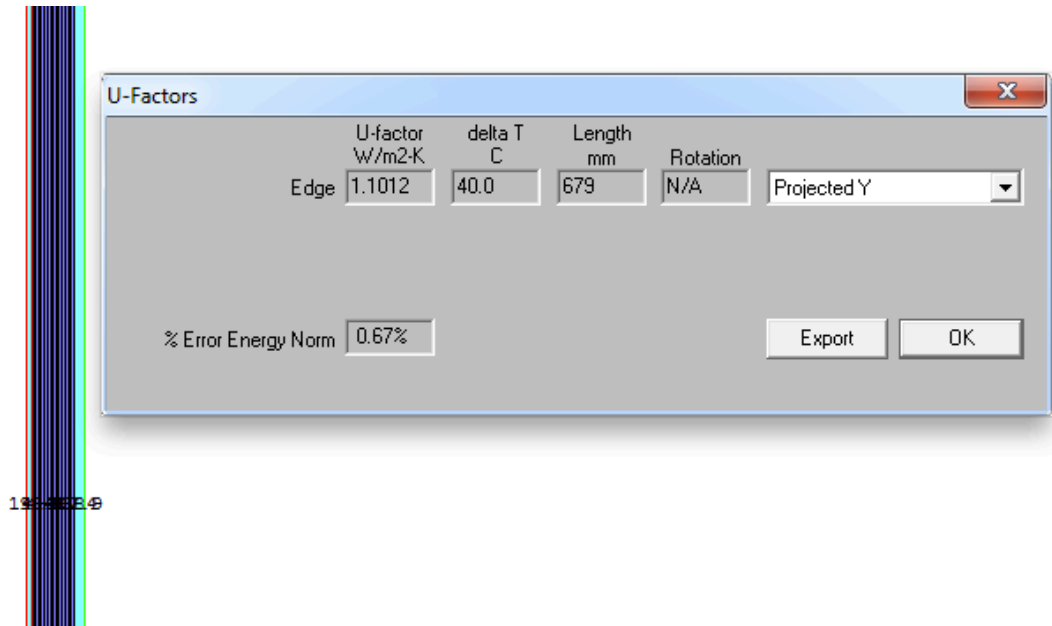


vedlegg b: dekkeforkant holtz100 element.

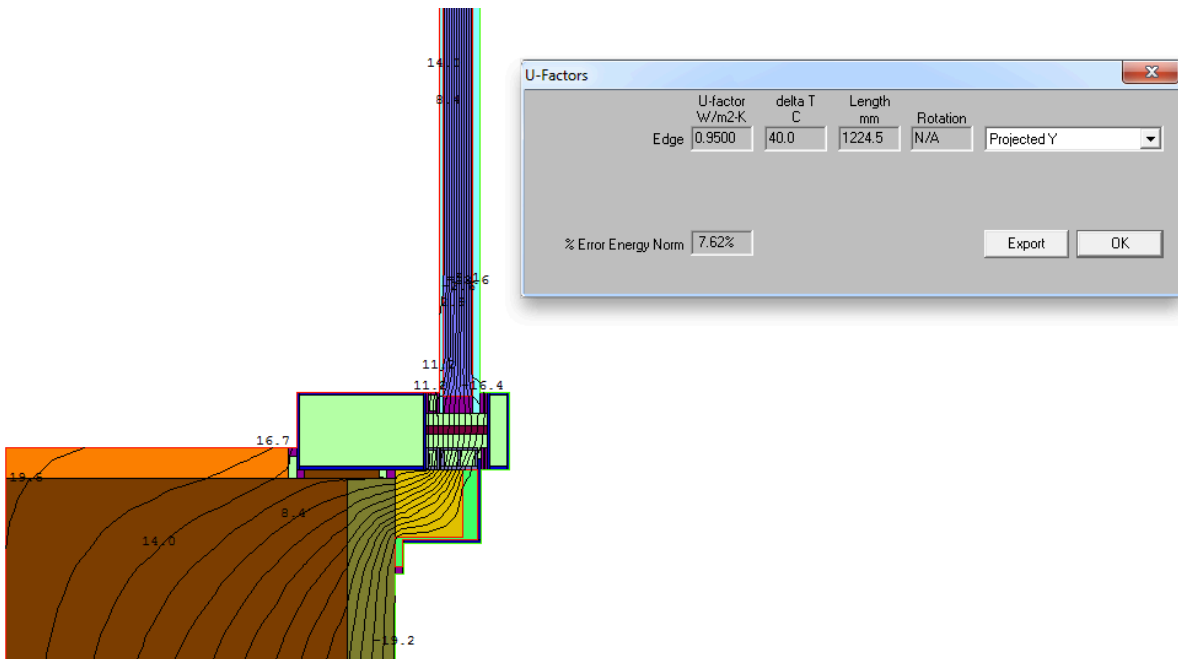


Energimodellering - Sørhellinga

vedlegg c: glass.



vedlegg d: vinduskarm.

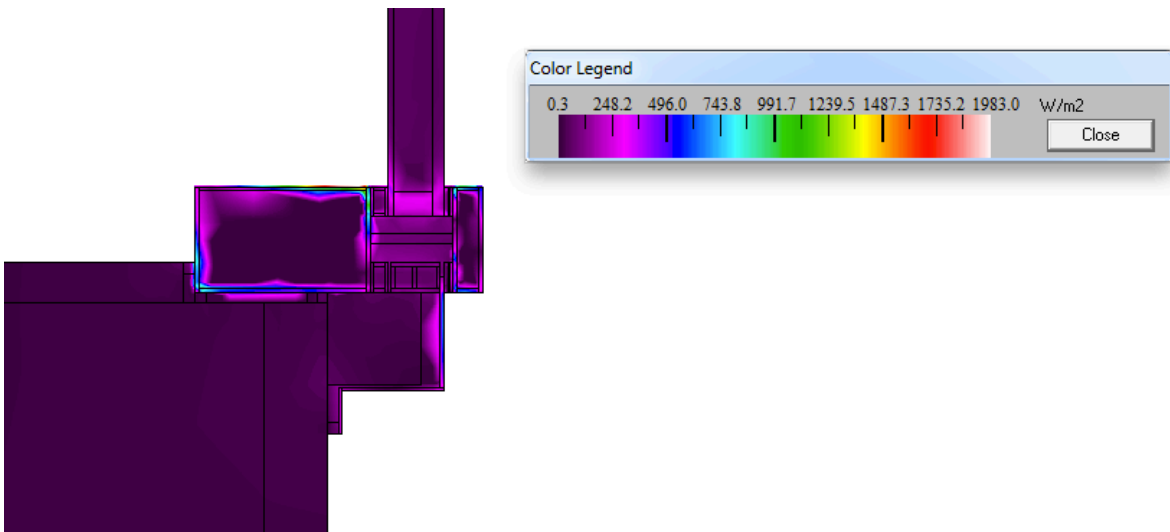


Energimodellering - Sørhellinga

vedlegg e: varmeutbredelse karm.

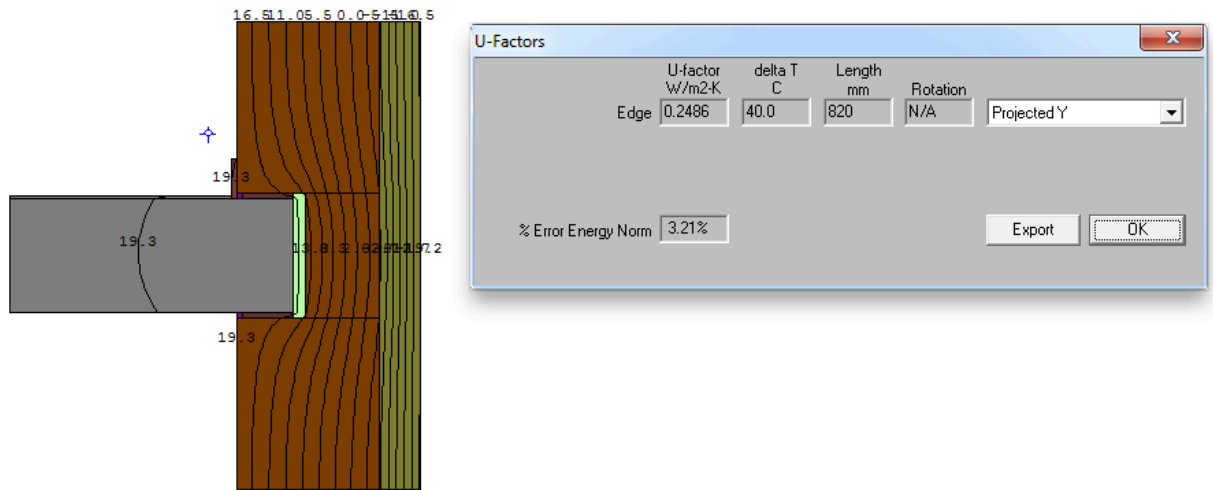


vedlegg f: temperaturutbredelse kram.

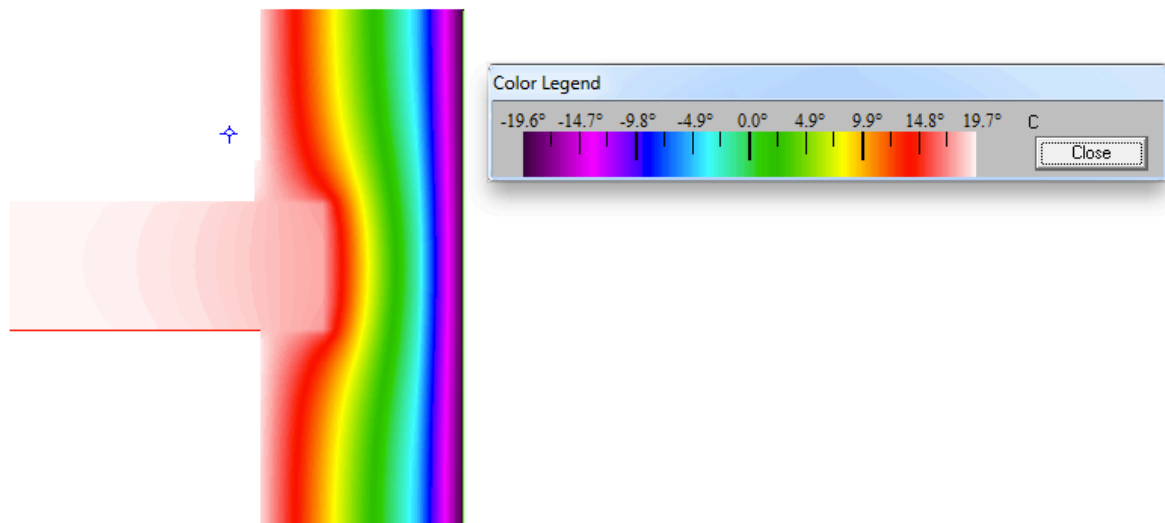


Energimodellering - Sørhellinga

vedlegg g: dekkeforkant forbedret holtz100 element.



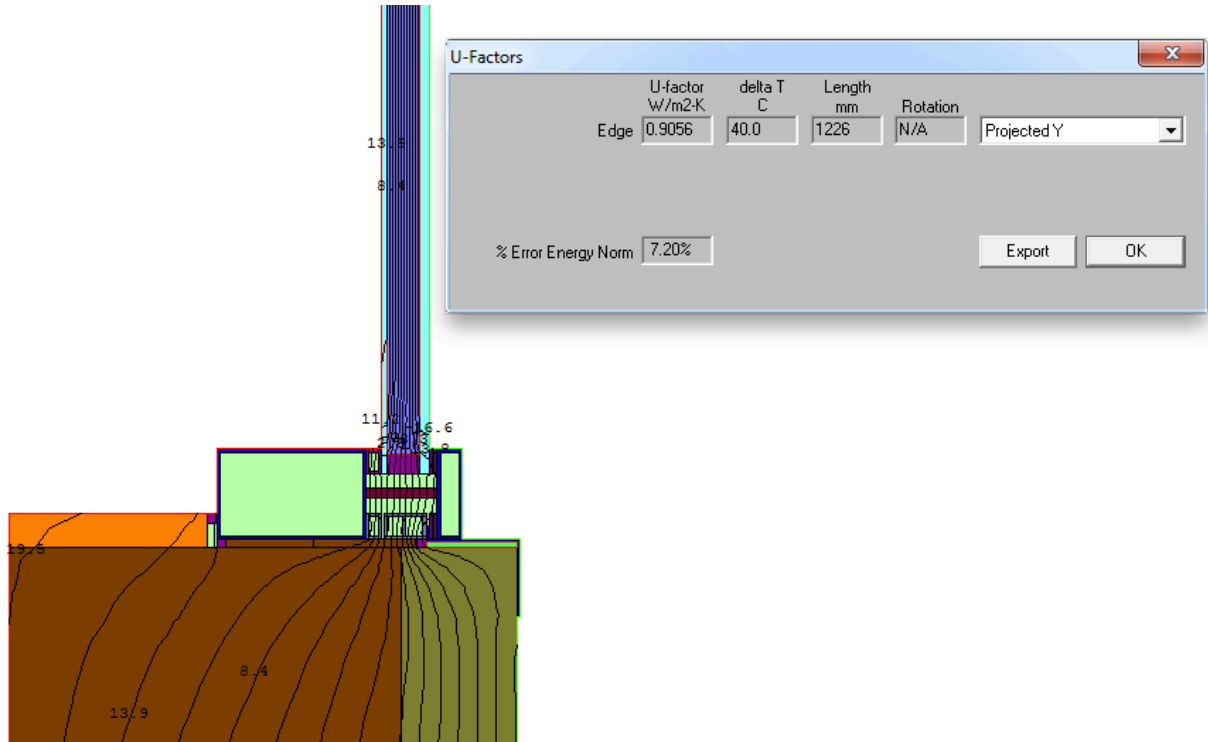
vedlegg h: temperaturfordeling forbedret holtz100 element.



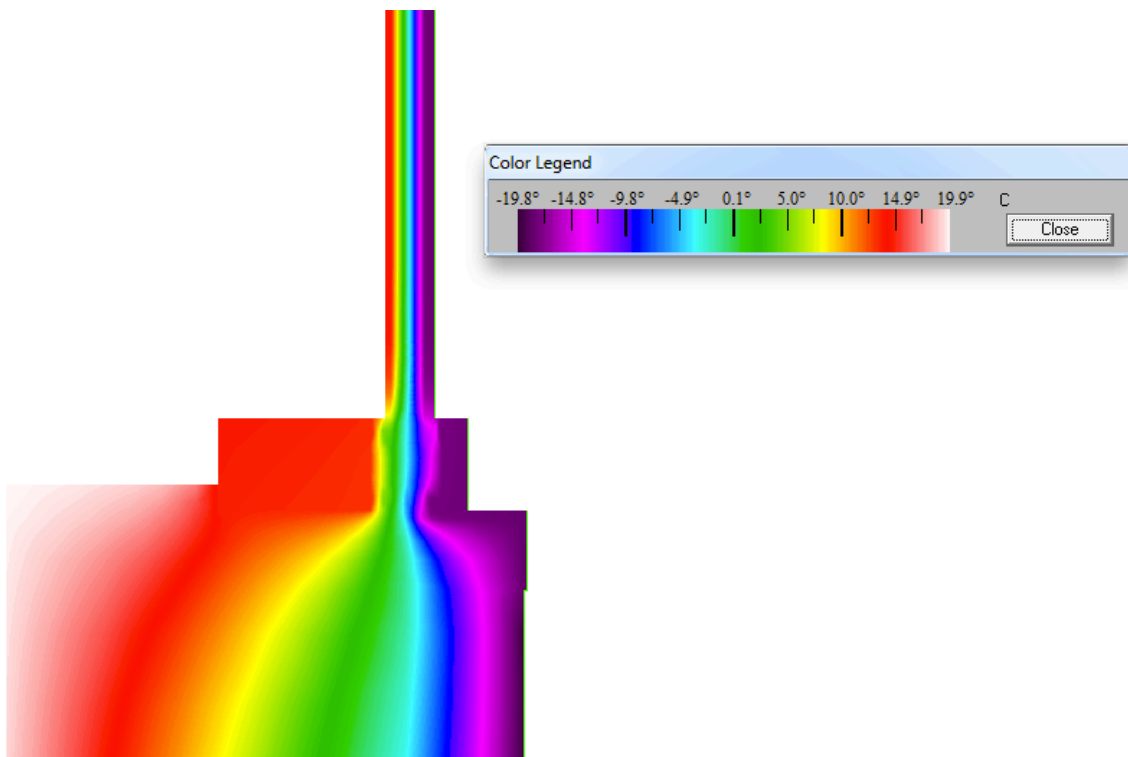
Energimodellering - Sørhellinga

Endret Karm

vedlegg i: endret karm, alternativ 1.

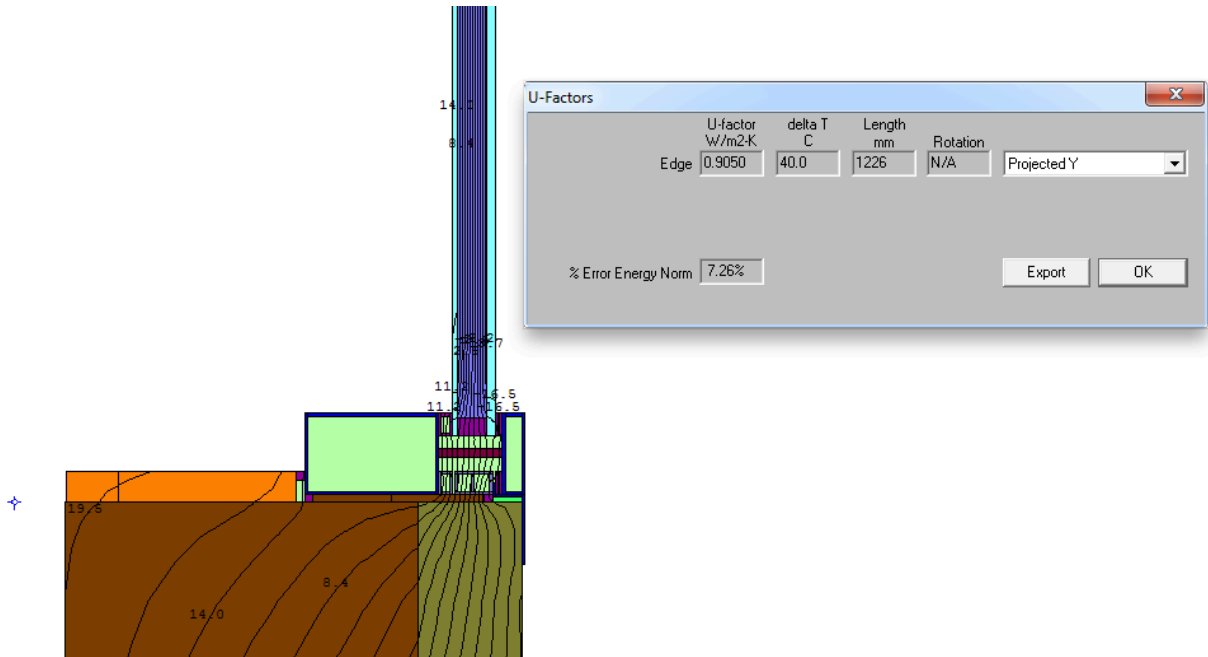


vedlegg j: temperatfordeling endret karm alternativ 1.

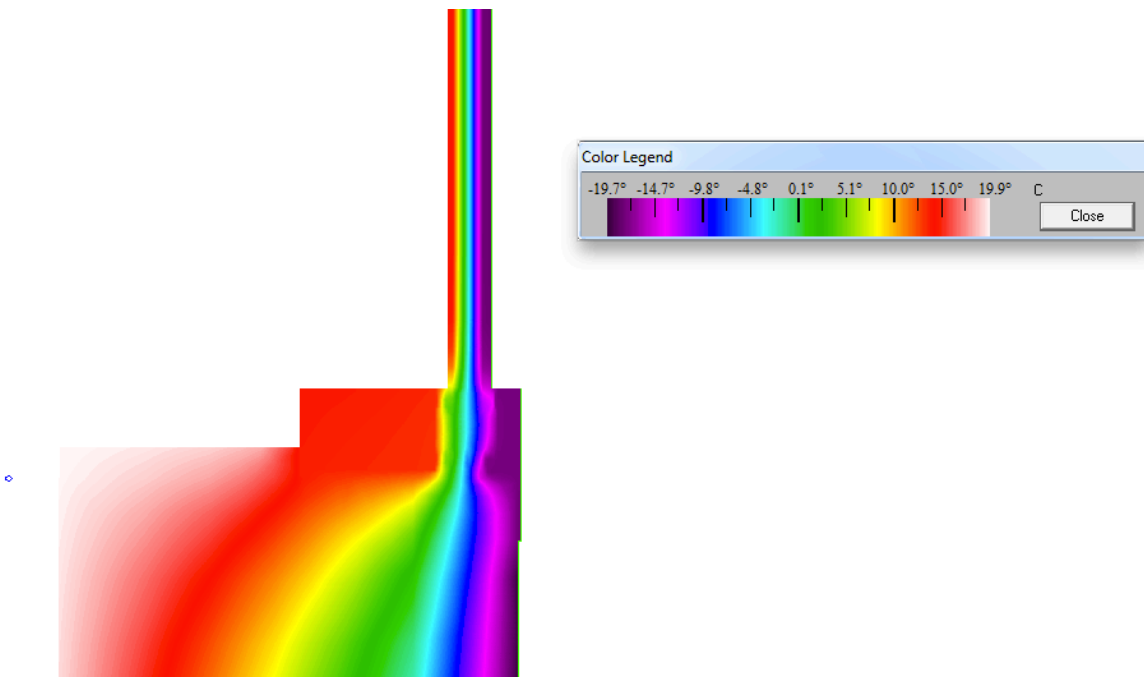


Energimodellering - Sørhellinga

vedlegg k: endret karm, alterantiv 2.



vedlegg l: temperaturofordeling endret karmalternativ 2.



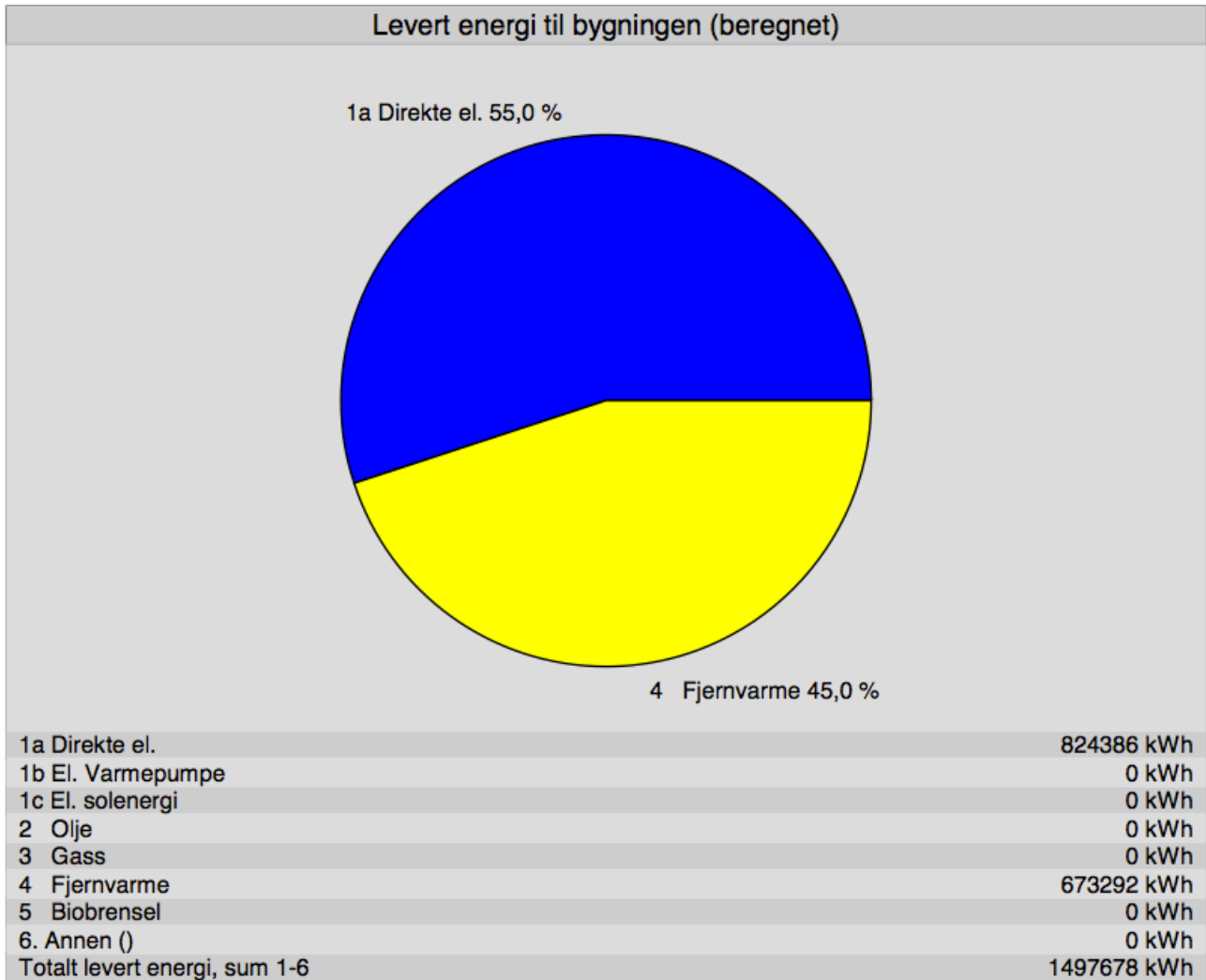
Vedlegg 2: Simulering SIMIEN.

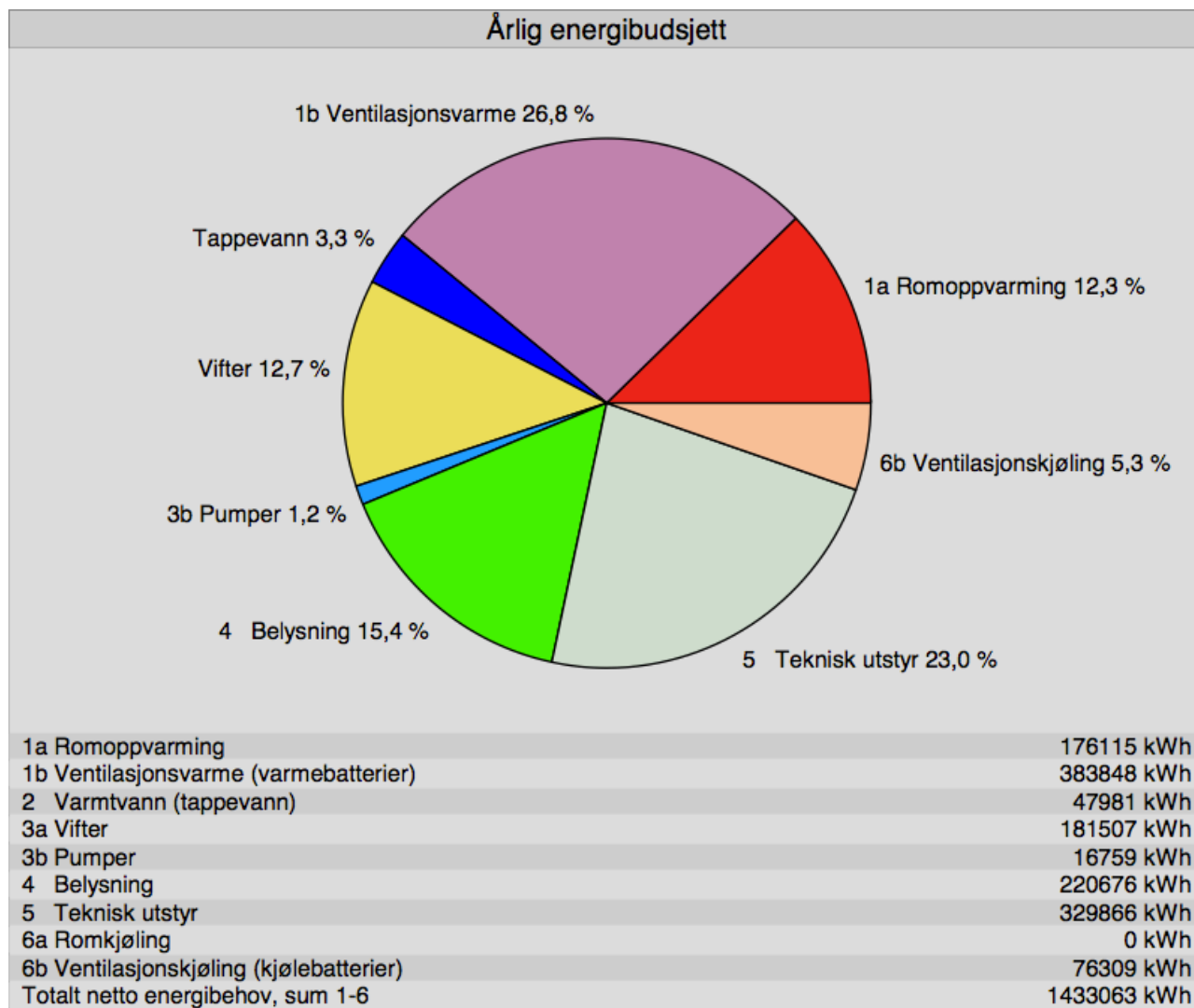
Vedlegg 2.1: Modell 1: Hele bygget, som bygget.

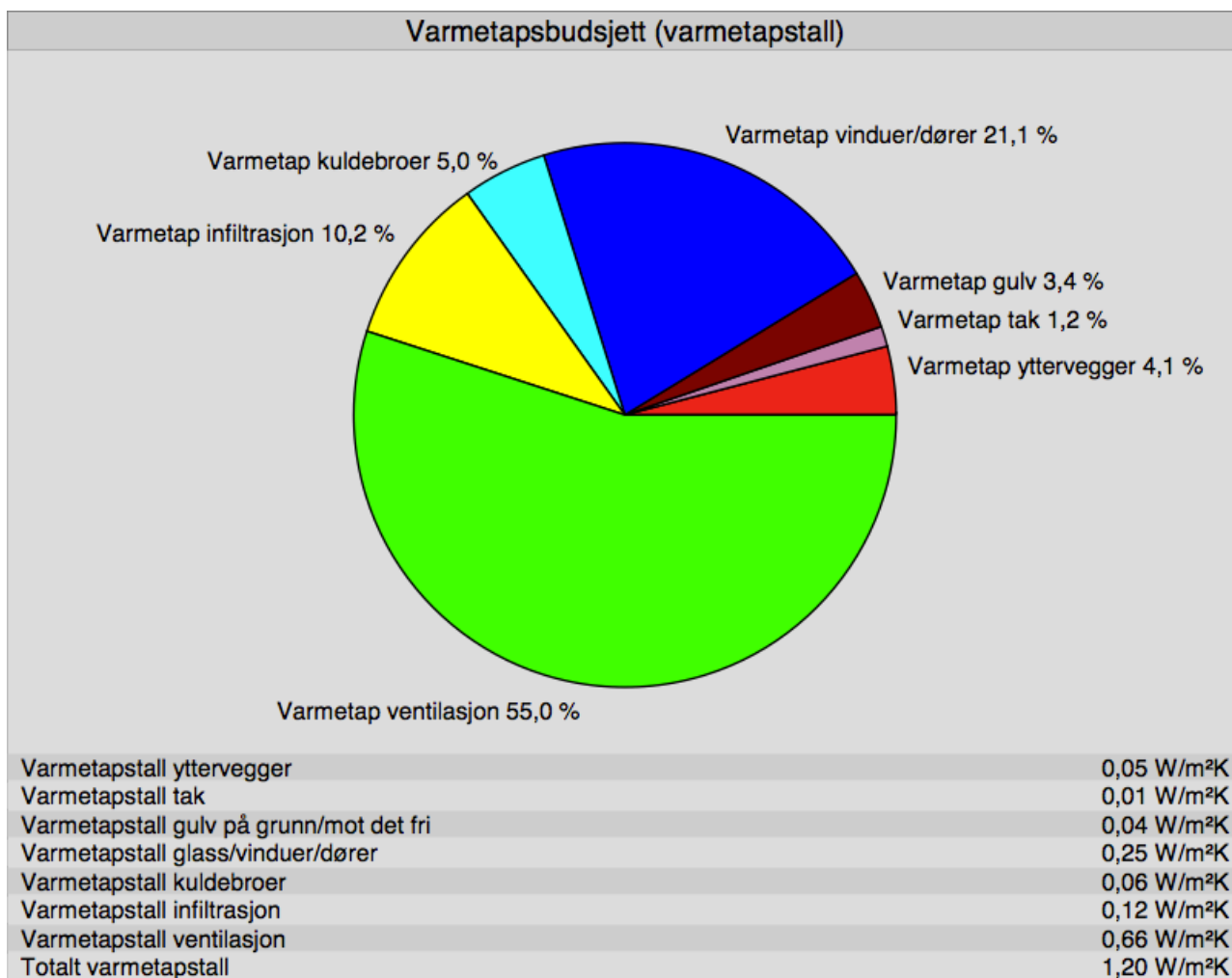
vedlegg m: energibudsjett modell 1.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	176115 kWh	19,6 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	383848 kWh	42,6 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	47981 kWh	5,3 kWh/m ²
3a Vifter	181507 kWh	20,2 kWh/m ²
3b Pumper	16759 kWh	1,9 kWh/m ²
4 Belysning	220676 kWh	24,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	329866 kWh	36,7 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	76309 kWh	8,5 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	1433063 kWh	159,2 kWh/m²

Leverert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Leverert energi	Spesifikk leverert energi
1a Direkte el.	824386 kWh	91,6 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	673292 kWh	74,8 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt leverert energi, sum 1-6	1497678 kWh	166,4 kWh/m²







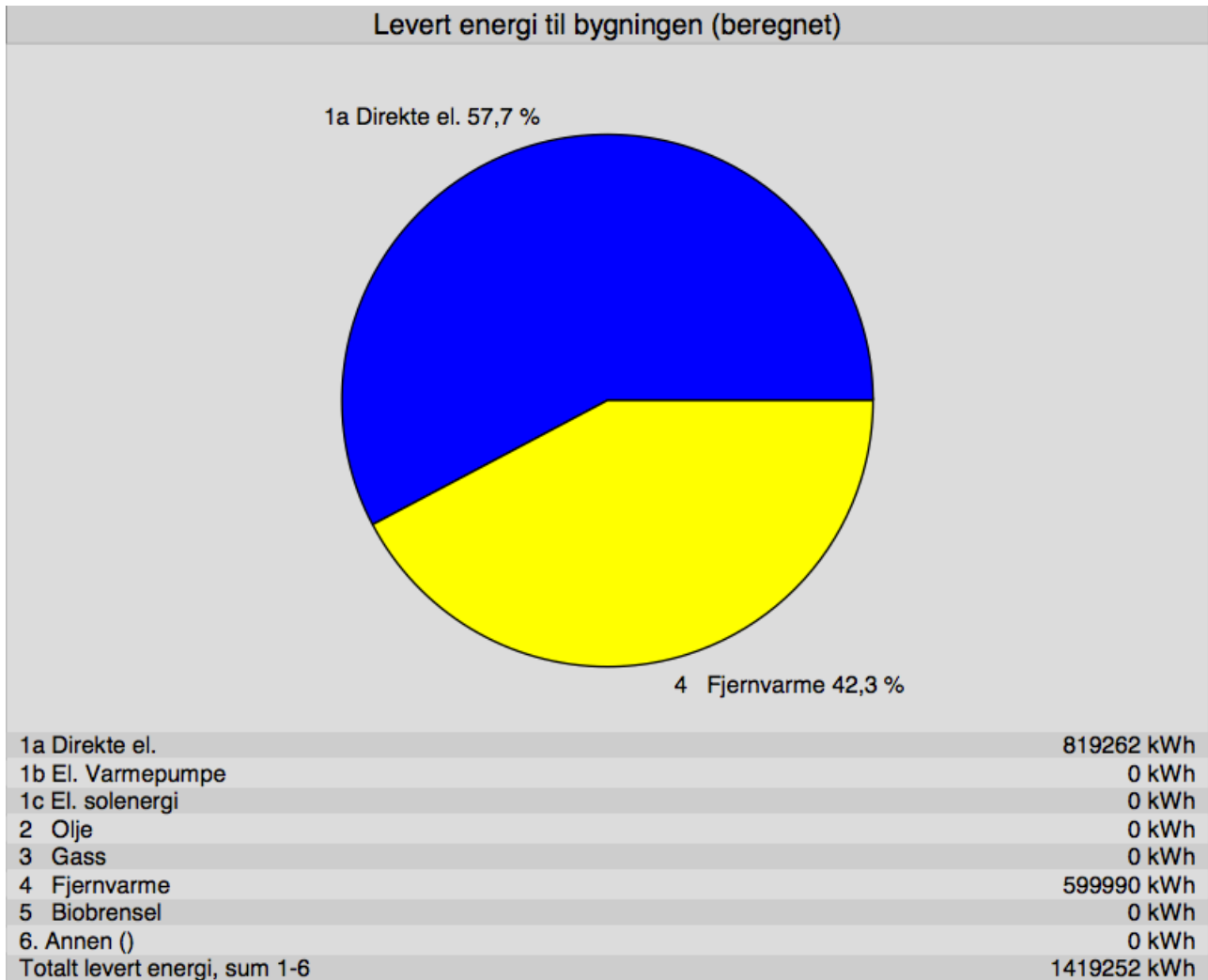
Sentrale inndata

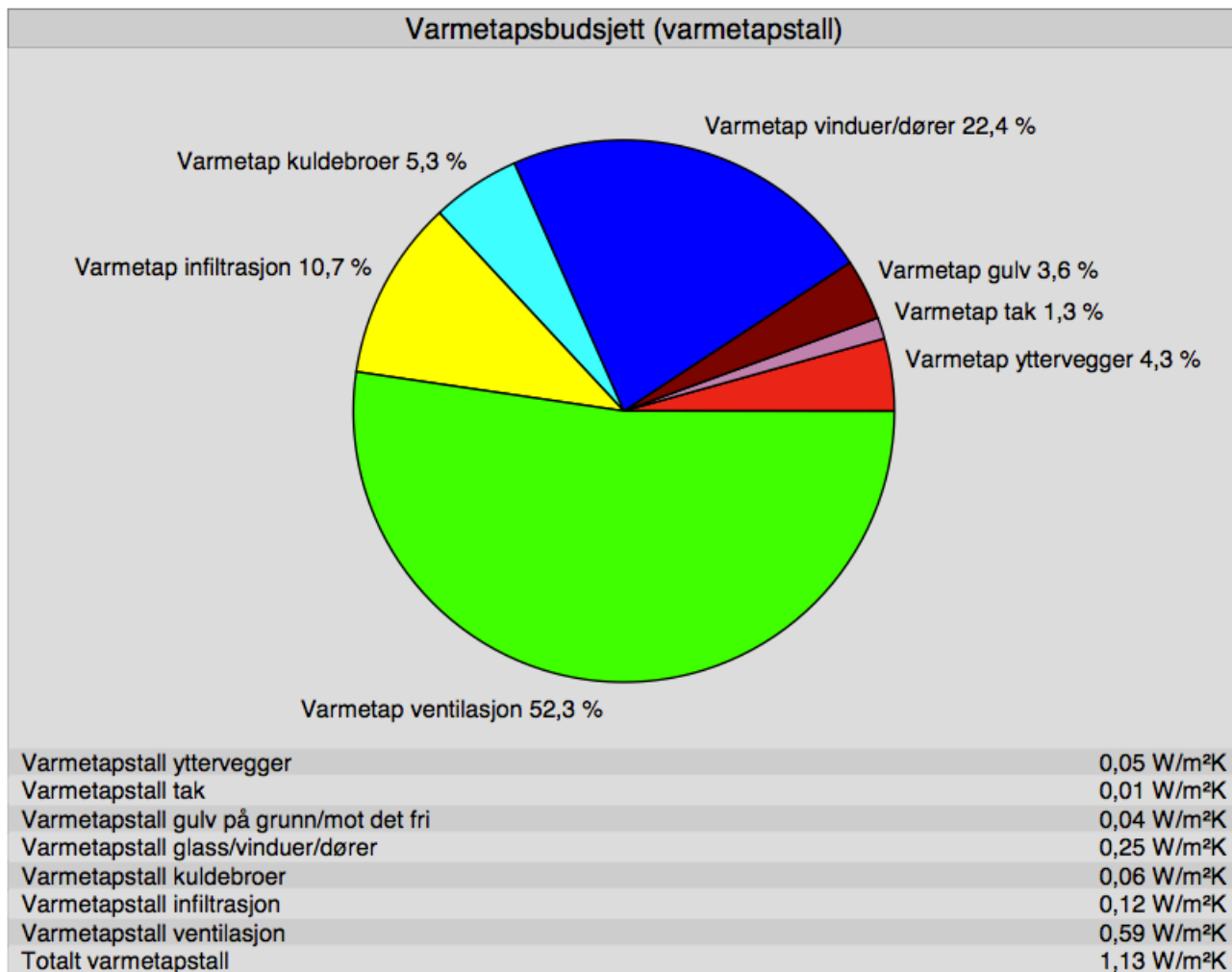
Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	2113	
Areal tak [m ²]:	992	
Areal gulv [m ²]:	3456	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	1490	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	9000	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	31535	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,21	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,11	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,53	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	16,6	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	49	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	67	
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	66,8	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,10	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	14,2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,85	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	45	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	
Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	14,2	
Driftstid belysning (timer)	10,2	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	10,4	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	6,91	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	6,91	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	5,18	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,44	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,85	

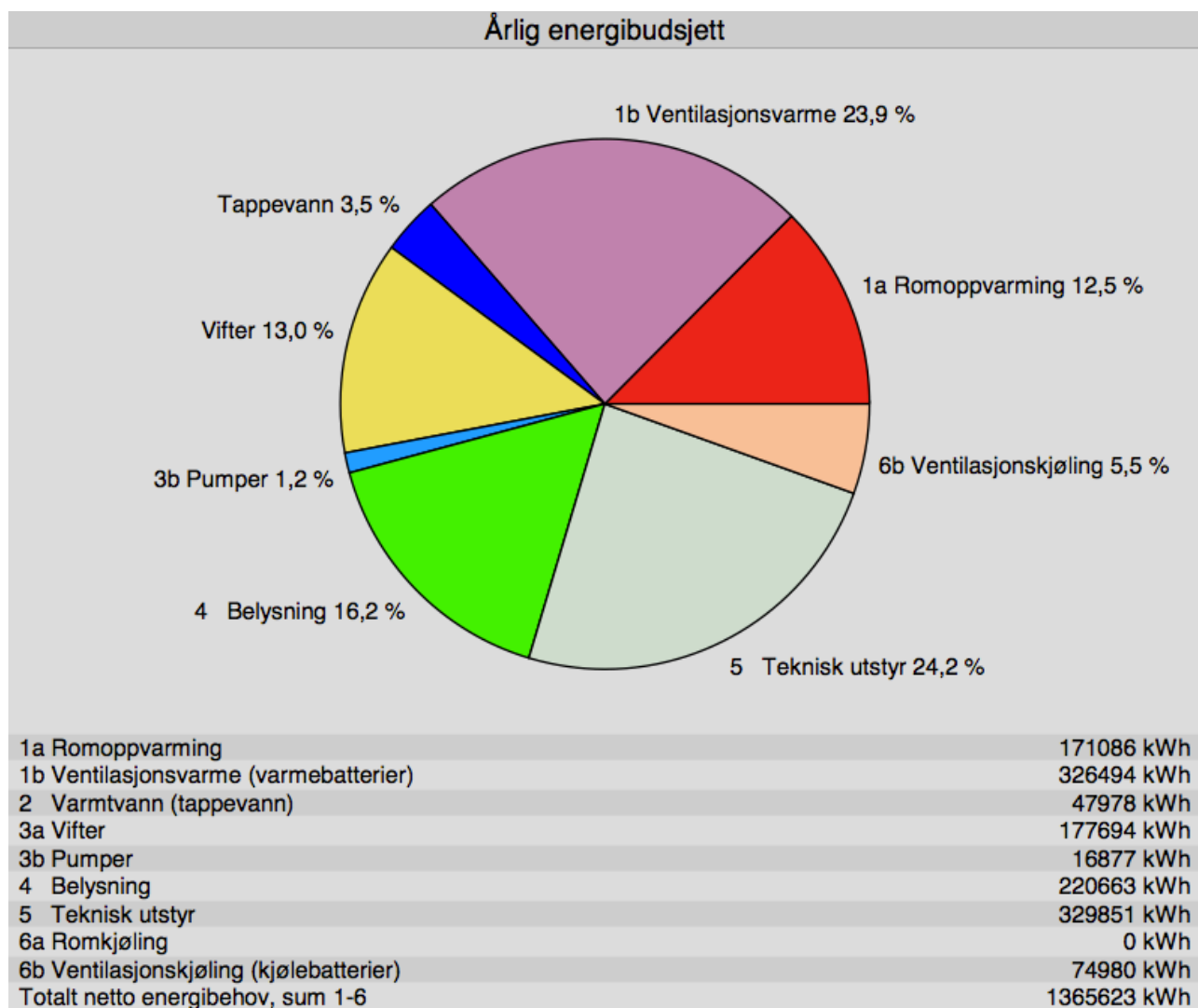
Vedlegg 2.2: Modell 2: Hele bygget, uten undervisningslaboratorier.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	171086 kWh	19,0 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	326494 kWh	36,3 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	47978 kWh	5,3 kWh/m ²	
3a Vifter	177694 kWh	19,7 kWh/m ²	
3b Pumper	16877 kWh	1,9 kWh/m ²	
4 Belysning	220663 kWh	24,5 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	329851 kWh	36,7 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	74980 kWh	8,3 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	1365623 kWh	151,7 kWh/m ²	

Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi	
1a Direkte el.	819262 kWh	91,0 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	599990 kWh	66,7 kWh/m ²	
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
Totalt levert energi, sum 1-6	1419252 kWh	157,7 kWh/m ²	







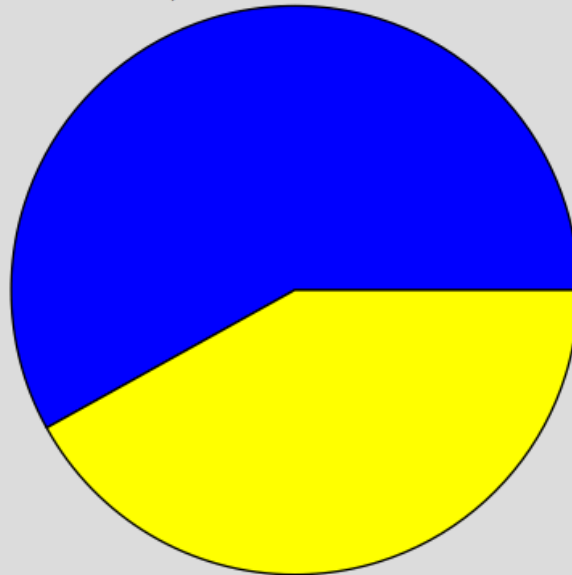
Vedlegg 2.3: Modell 3: Hele bygget, uten undervisningslaboratoriene med alternative løsninger massivtre og vinduer.

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	163910 kWh	18,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	323937 kWh	36,0 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	47978 kWh	5,3 kWh/m ²
3a Vifter	177240 kWh	19,7 kWh/m ²
3b Pumper	16860 kWh	1,9 kWh/m ²
4 Belysning	220663 kWh	24,5 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	329851 kWh	36,7 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	74099 kWh	8,2 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	1354538 kWh	150,5 kWh/m²

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	816799 kWh	90,8 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	590185 kWh	65,6 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	1406984 kWh	156,3 kWh/m²

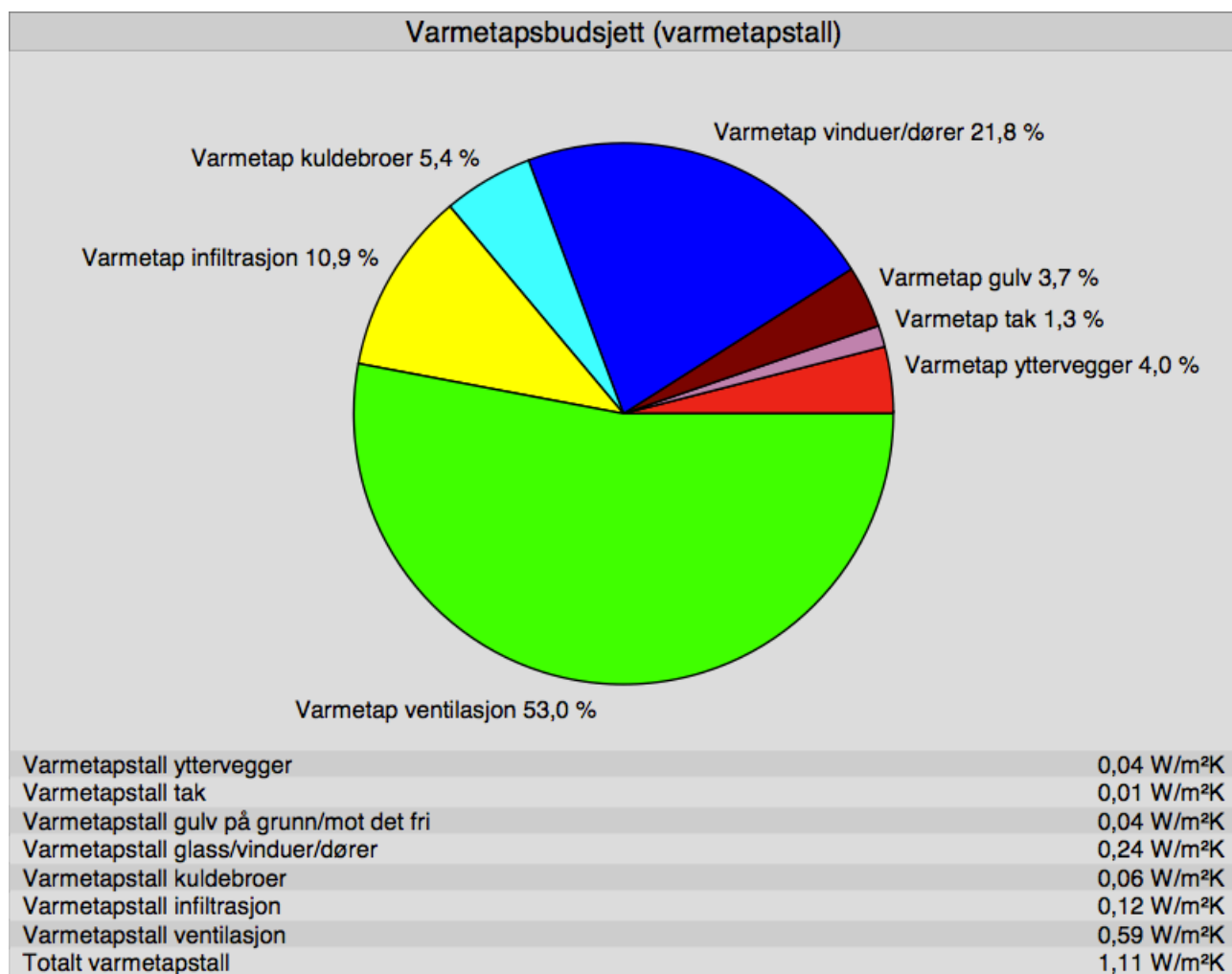
Levert energi til bygningen (beregnet)

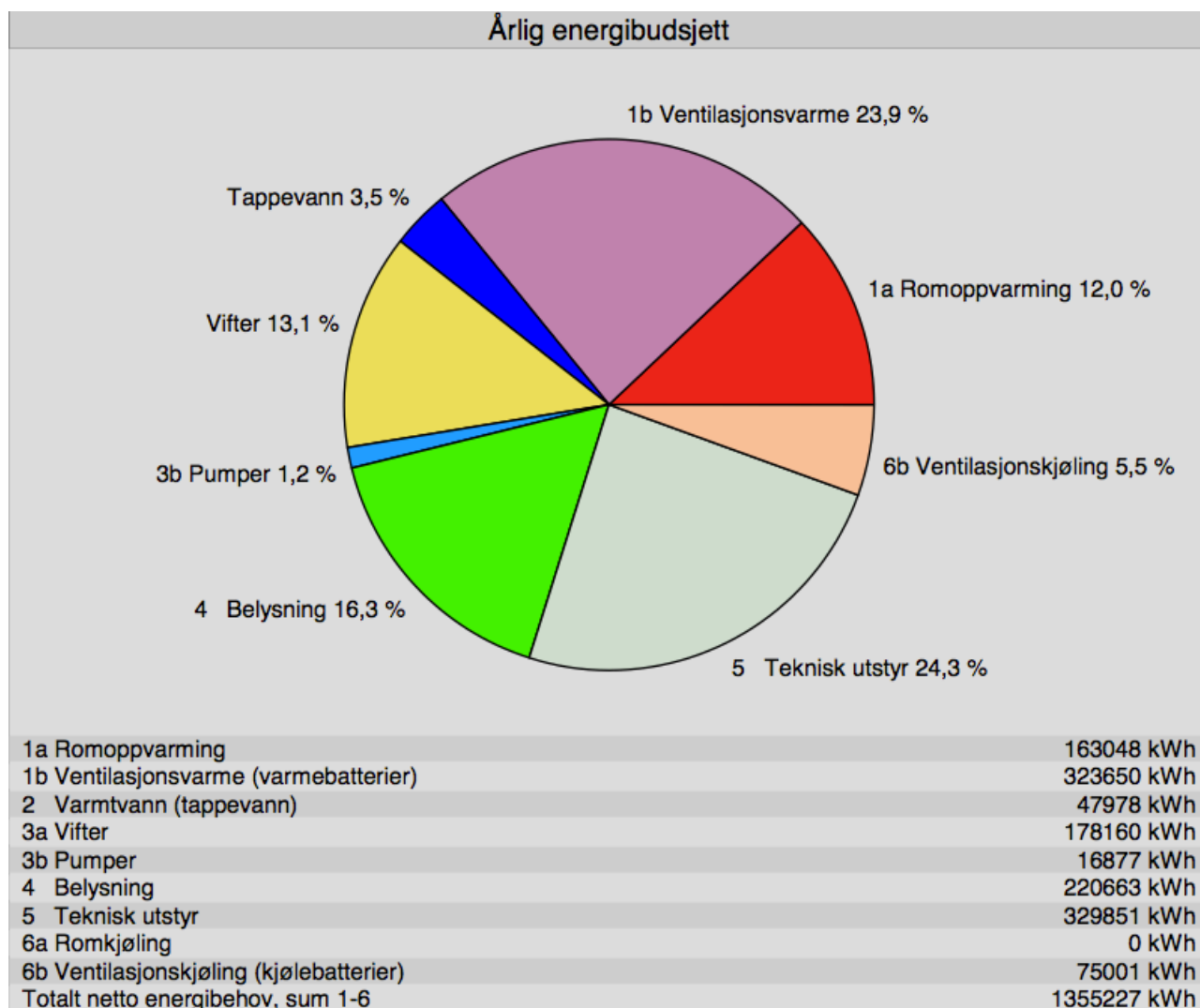
1a Direkte el. 58,1 %



4 Fjernvarme 41,9 %

1a Direkte el.	816799 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	0 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	590185 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
6. Annen ()	0 kWh
Totalt levert energi, sum 1-6	1406984 kWh





Vedlegg 2.4: Modell 4: Ventilasjonssone 5 og 6, som bygget.

Samlet.

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	4779 kWh	3,6 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	45993 kWh	35,0 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	9222 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	41153 kWh	31,3 kWh/m ²	
3b Pumper	2116 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	45147 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	63400 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	17177 kWh	13,1 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	228986 kWh	174,0 kWh/m ²	

Sone 6

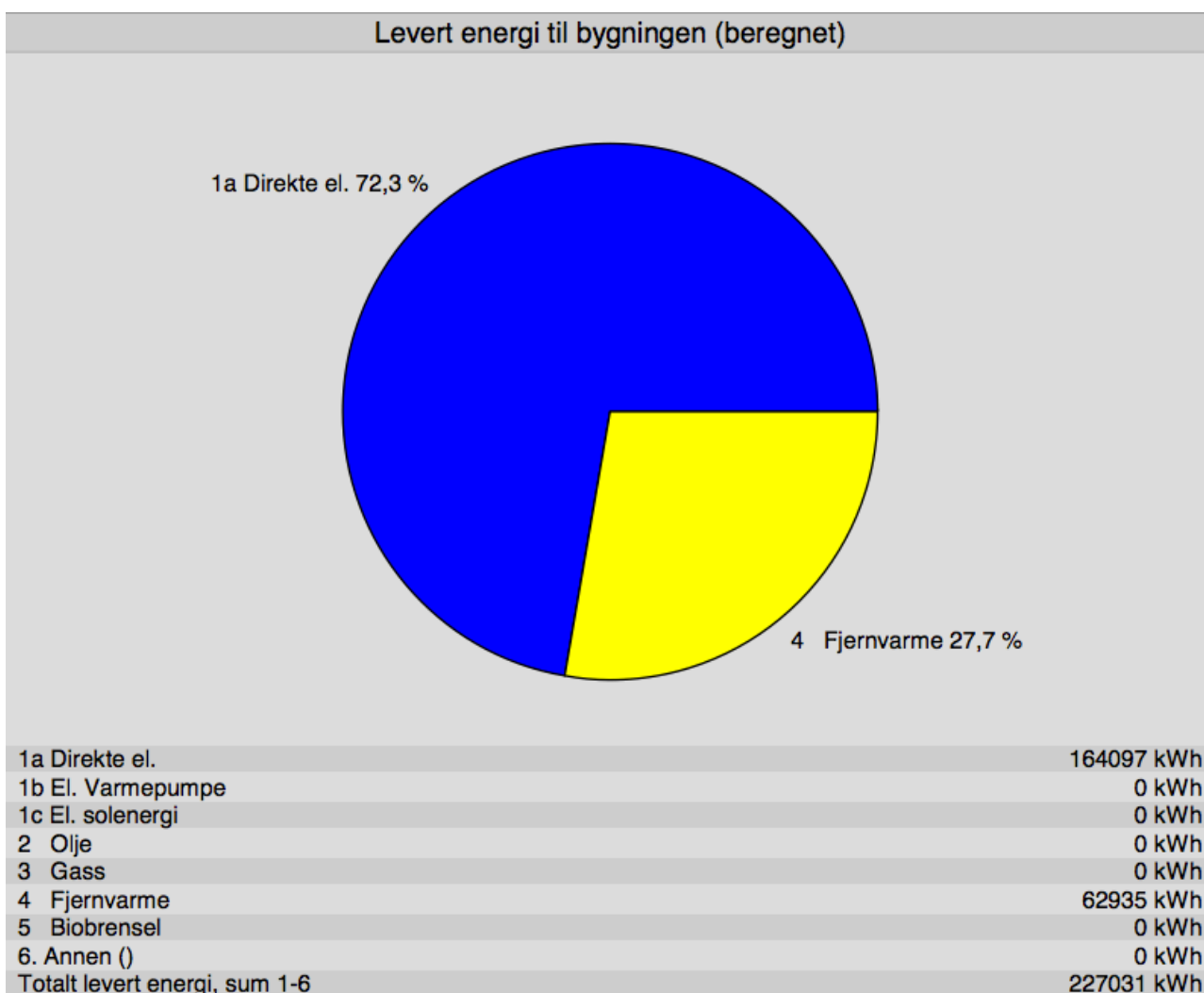
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	1852 kWh	4,4 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	15498 kWh	36,4 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	2985 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	12663 kWh	29,7 kWh/m ²	
3b Pumper	685 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	14611 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	20513 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6348 kWh	14,9 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	75156 kWh	176,5 kWh/m ²	

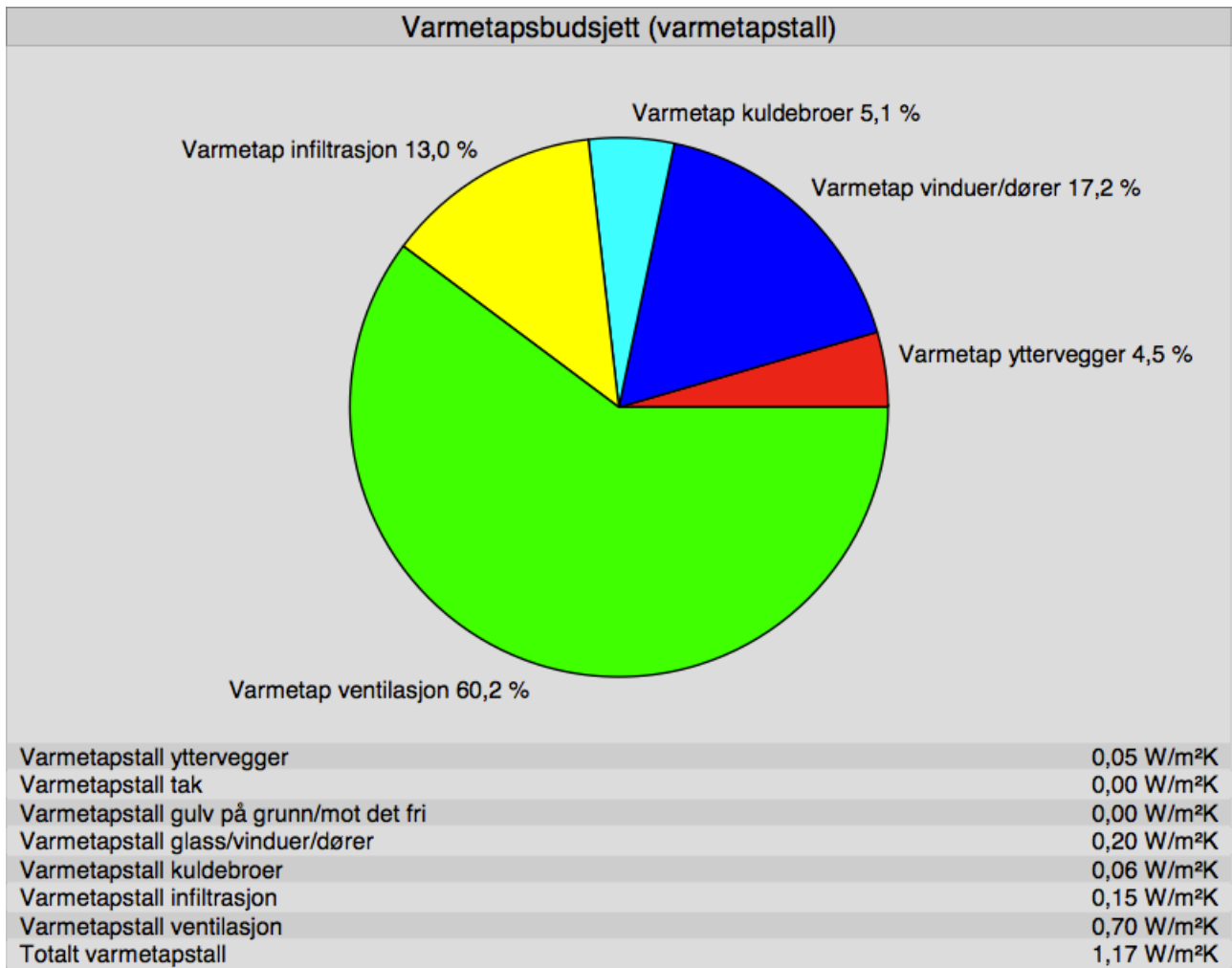
Sone 5

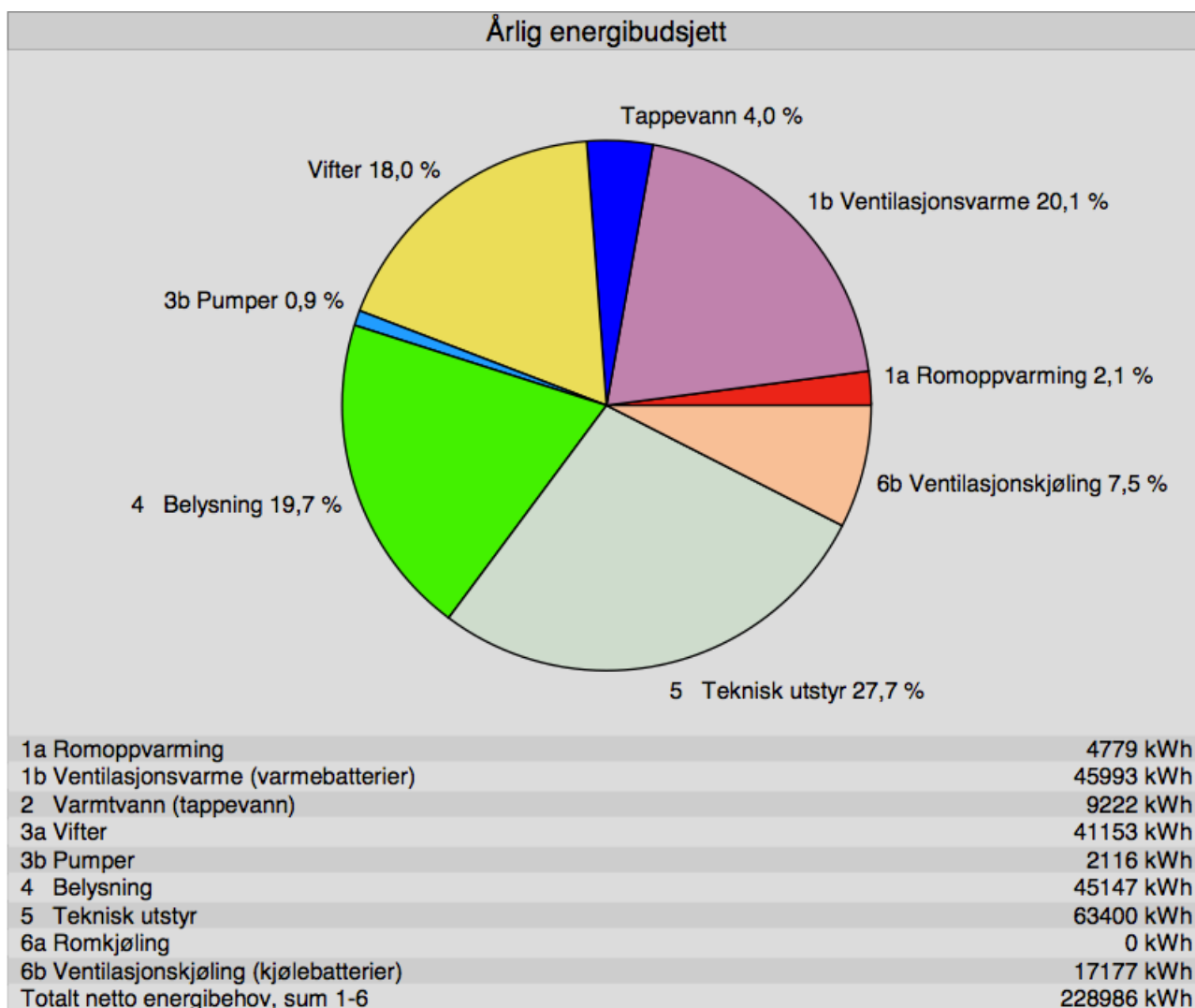
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	2926 kWh	3,3 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	30494 kWh	34,3 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	6237 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	28490 kWh	32,0 kWh/m ²	
3b Pumper	1431 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	30536 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	42887 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	10828 kWh	12,2 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	153831 kWh	172,8 kWh/m ²	

Samlet

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	164097 kWh	124,7 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	62935 kWh	47,8 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	227031 kWh	172,5 kWh/m²







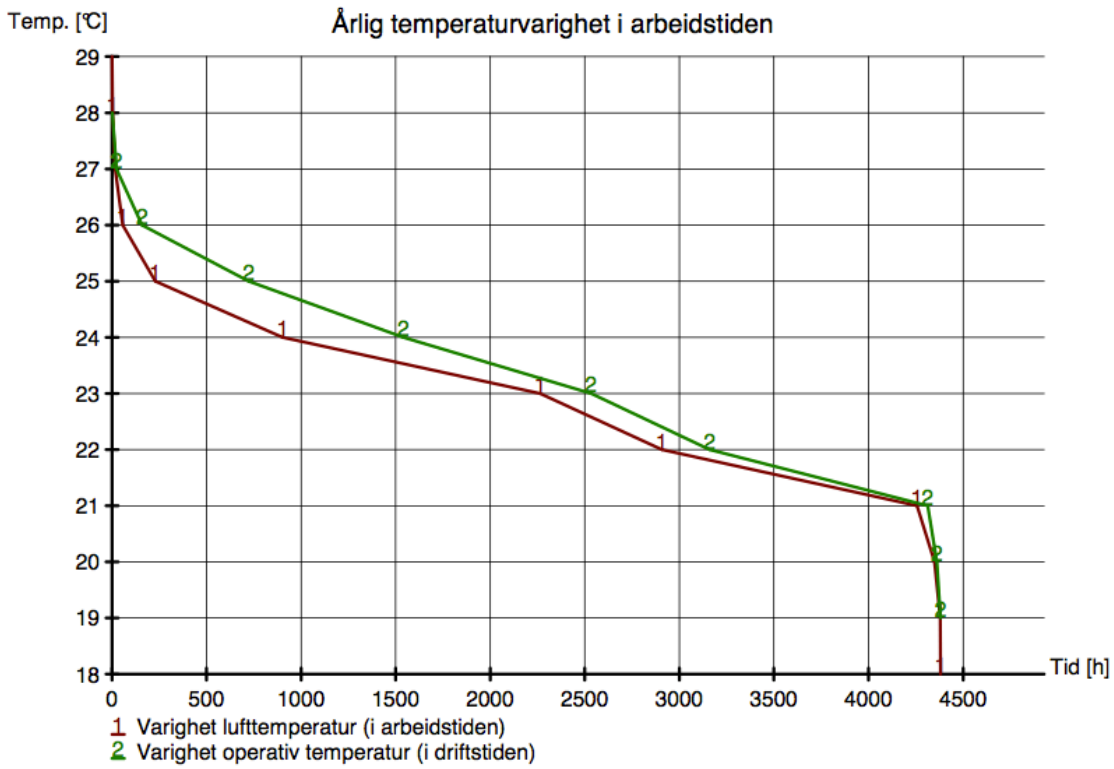
Sentrale inndata:

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	286	
Areal tak [m ²]:	0	
Areal gulv [m ²]:	0	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	168	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	1316	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	4474	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,24	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,00	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,58	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	12,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	88	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	70	

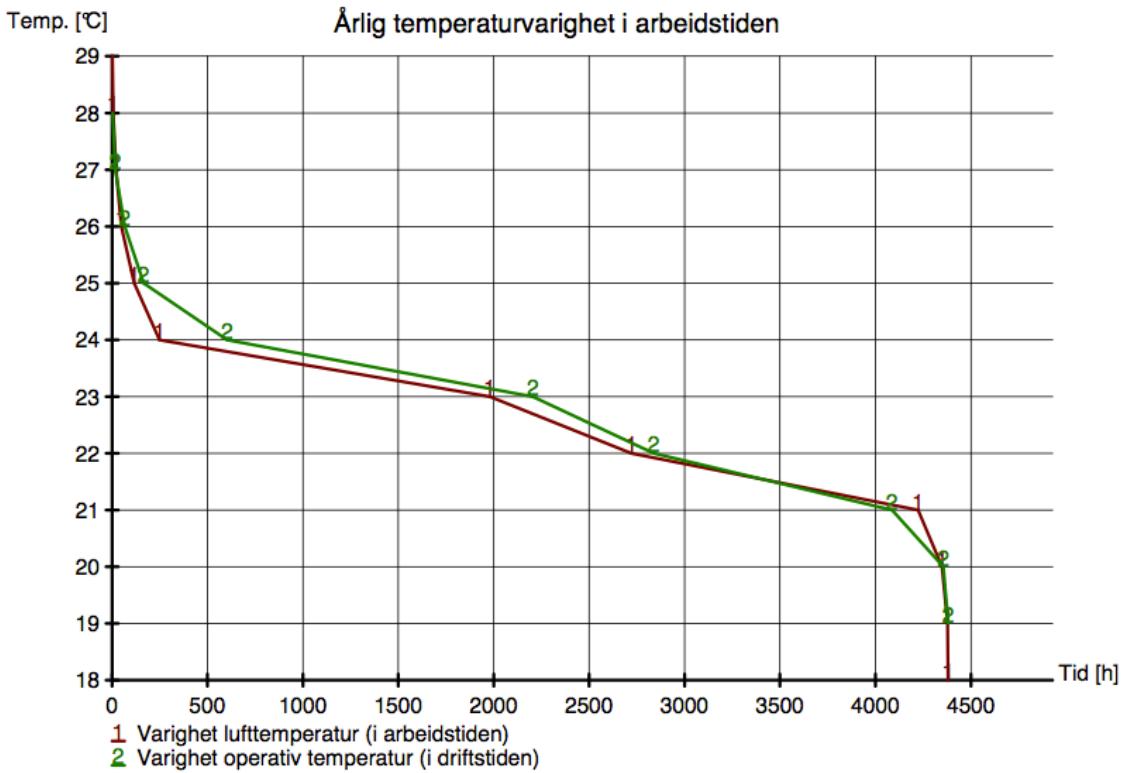
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	70,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,47	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	14,3	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,88	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	45	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,40	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	

Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	13,8	
Driftstid belysning (timer)	11,8	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	6,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,45	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,82	

Sone 5



Sone 6



Vedlegg 2.5: Modell 5: Ventilasjonssone 5 og 6, alternativ inndeling

Samlet

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	4696 kWh	3,6 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	46673 kWh	35,5 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	9223 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	42048 kWh	32,0 kWh/m ²	
3b Pumper	2116 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	45145 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	63389 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	17571 kWh	13,4 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	230862 kWh	175,5 kWh/m²	

Sone 6

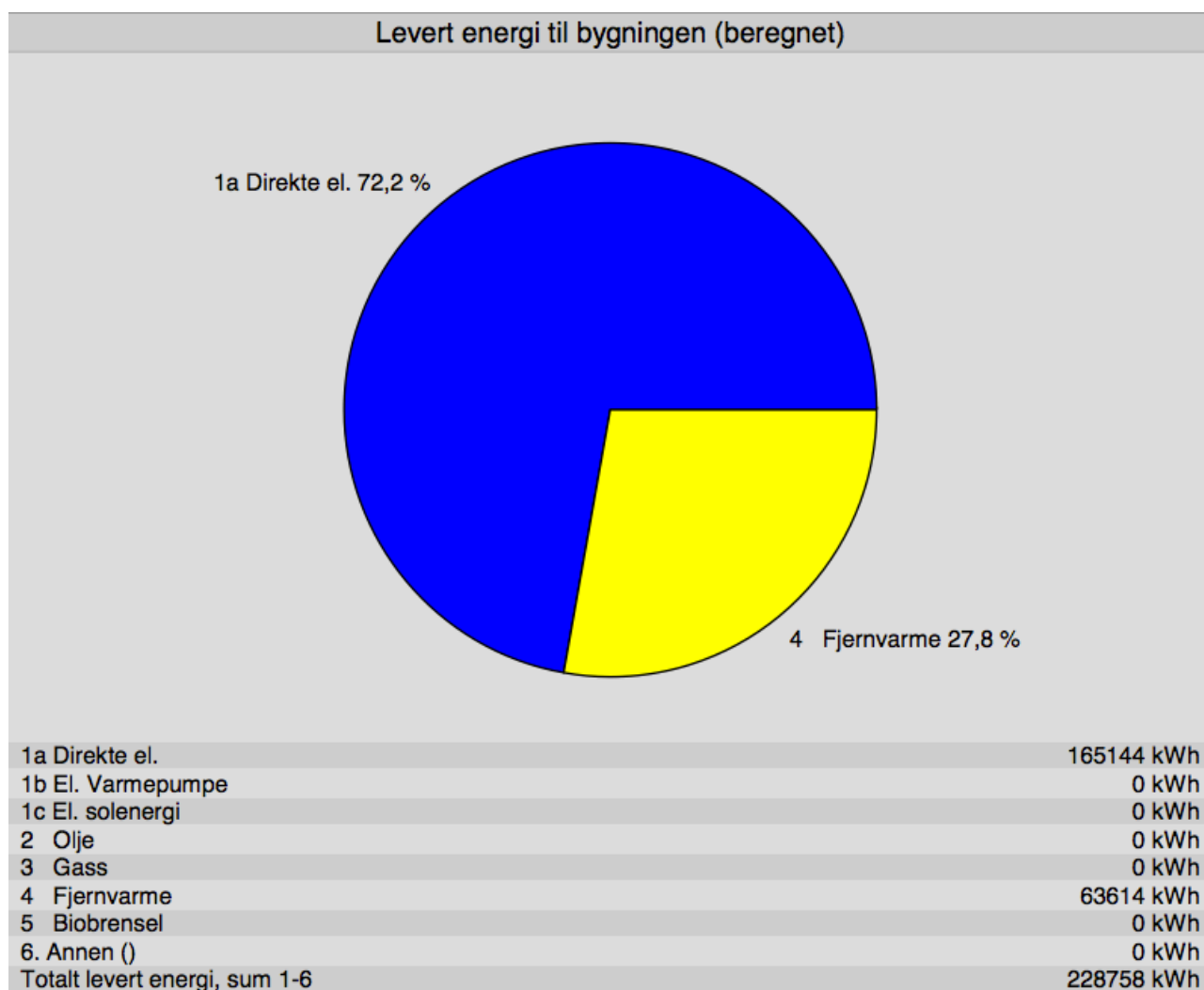
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	2515 kWh	4,5 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	19943 kWh	36,0 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	3880 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	19619 kWh	35,4 kWh/m ²	
3b Pumper	890 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	18993 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	26666 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	8439 kWh	15,2 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	100943 kWh	182,4 kWh/m²	

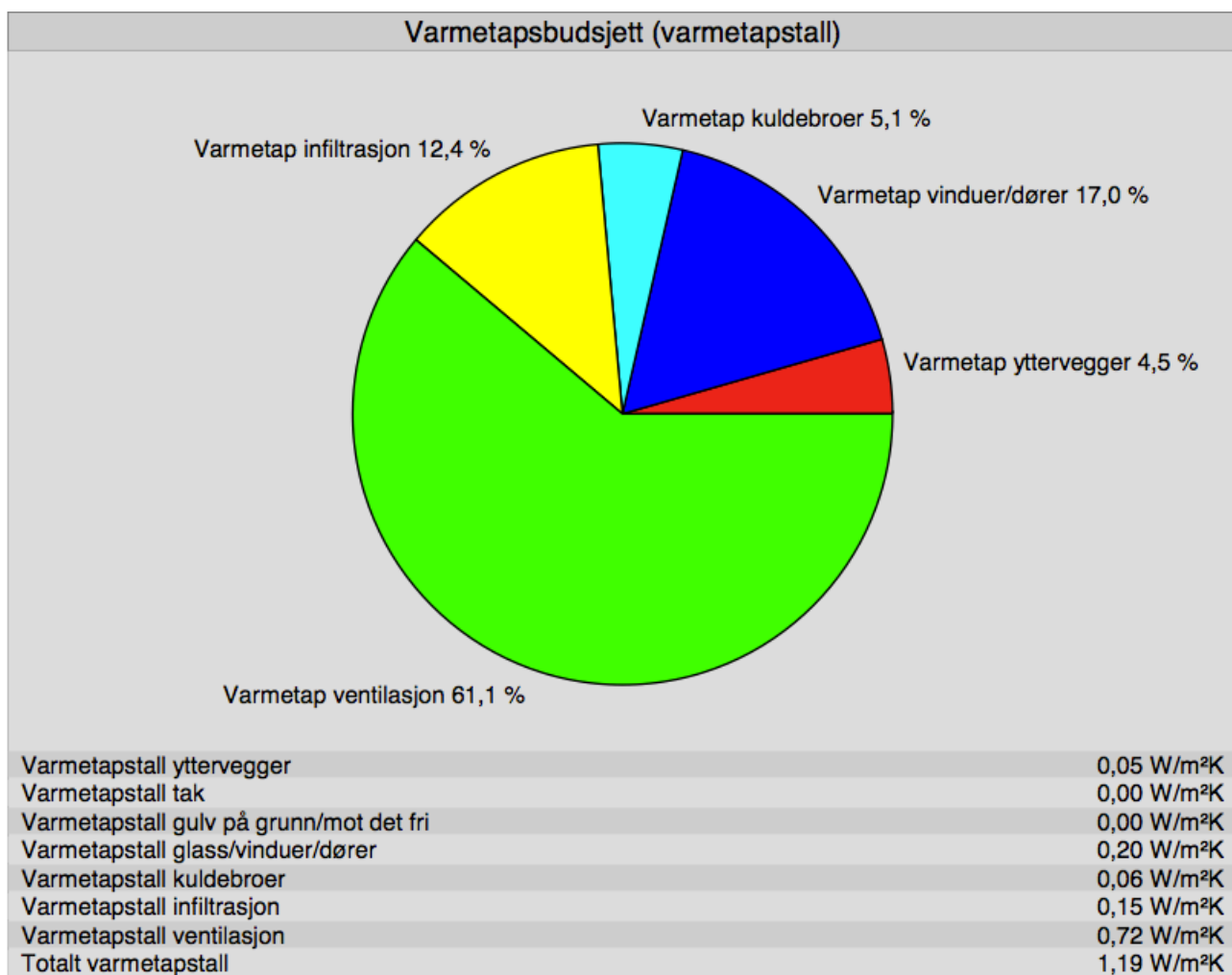
Sone 5

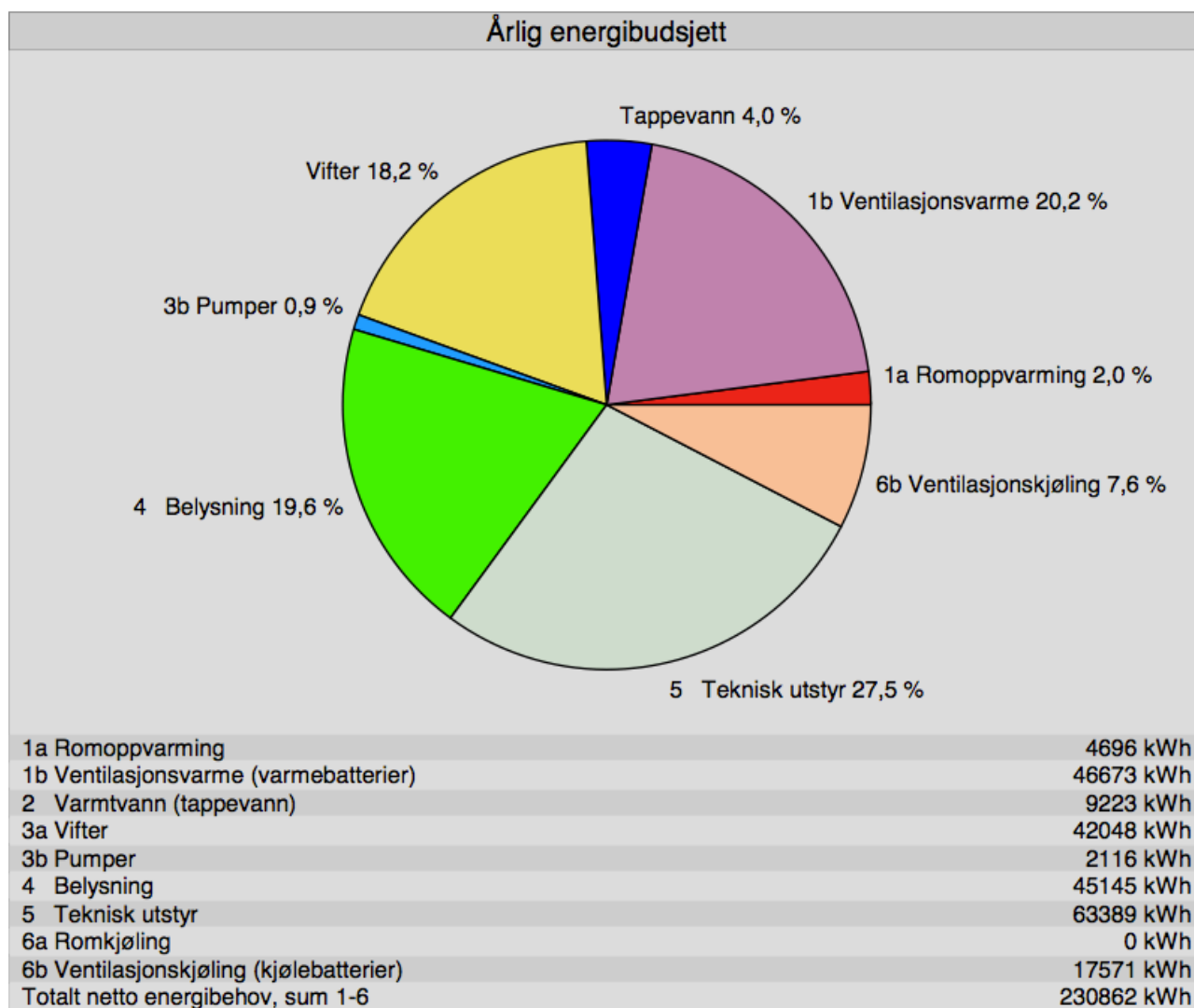
Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	2182 kWh	2,9 kWh/m ²	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	26730 kWh	35,1 kWh/m ²	
2 Varmtvann (tappevann)	5343 kWh	7,0 kWh/m ²	
3a Vifter	22429 kWh	29,4 kWh/m ²	
3b Pumper	1226 kWh	1,6 kWh/m ²	
4 Belysning	26153 kWh	34,3 kWh/m ²	
5 Teknisk utstyr	36724 kWh	48,2 kWh/m ²	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m ²	
6b Ventilasjonkjøling (kjølebatterier)	9132 kWh	12,0 kWh/m ²	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	129918 kWh	170,4 kWh/m²	

Samlet

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	165144 kWh	125,5 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	63614 kWh	48,3 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen ()	0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-6	228758 kWh	173,9 kWh/m²

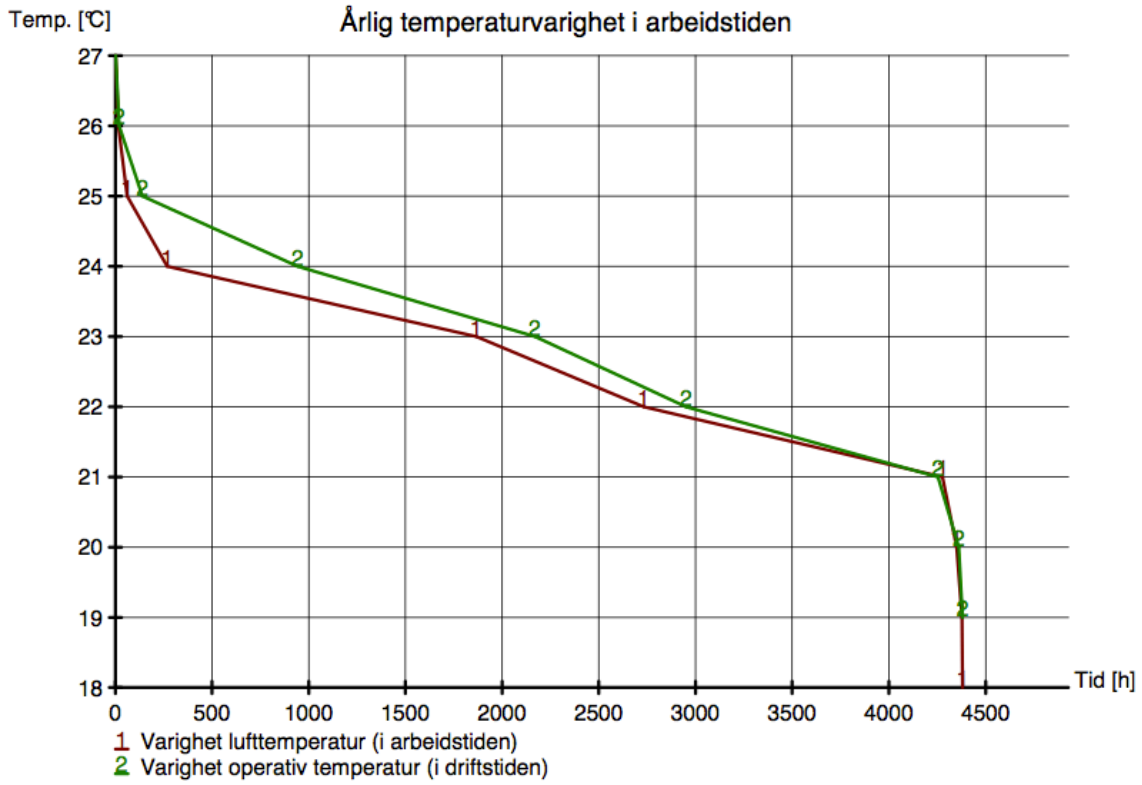






Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m ²]:	286	
Areal tak [m ²]:	0	
Areal gulv [m ²]:	0	
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	168	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	1316	
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	4474	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,24	
U-verdi tak [W/m ² K]	0,00	
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,00	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,58	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	12,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	84	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,50	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	70	
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	70,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]:	2,47	
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	15,0	
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	3,0	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	0,88	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	45	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,0	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,40	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	30	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,60	
Driftstid oppvarming (timer)	12,0	
Dokumentasjon av sentrale inndata (3)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	13,7	
Driftstid belysning (timer)	11,7	
Driftstid utstyr (timer)	12,0	
Oppholdstid personer (timer)	12,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,00	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0,80	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	6,00	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,45	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,20	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,82	

Sone 5



Sone 6

