

Mulighetsstudie for passivhuskonseptet benyttet på forskjellige typehus i forskjellige klima i Norge

Espen Hobber Nilsen

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Stig Geving, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



| | | | |
|---|---------------------------------------|---|------------------|
| Oppgavens tittel: Mulighetsstudie for passivhuskonseptet benyttet på forskjellige typehus i forskjellige klima i Norge. Study of the passive house concept applied on various house systems in various Norwegian climates | Dato: 11.06.12 | | |
| | Antall sider (inkl. bilag): 130 (157) | | |
| | Masteroppgave | X | Litteraturstudie |
| Navn: Espen Hobber Nilsen | | | |
| Faglærer/veileder: Stig Geving | | | |
| Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere: Silje Tveit Eriksen, Nordbohus AS og Tore Kvande, SINTEF Byggforsk | | | |

Oppvarmingsbehovet påvirkes betydelig av klimaet. Milde vintre, moderat solinnstråling og moderat sommertemperatur er faktorer som er gunstig for oppvarmingsbehovet . Ulikt klima fører til ulike muligheter og utfordringer. I noen byer er det enklere å oppnå passivhusstandard (Bergen) og andre er vanskelige (Karasjok). Videre vet man at det er mulig å vurdere andre orienteringer av vindusafasaden enn kun mot sør uten at dette gir høyere oppvarmingsbehov.

Ved bruk av energiberegningsprogrammer skal man være klar over at det benyttes ulike klimadata og metoder som vil gi ulike resultater. SIMIEN og TEK-sjekk Energi er to programmer som jobber forskjellig i passivhussimuleringer og som dermed beregner ulike oppvarmingsbehov for samme hus.

Utforming av energiforsyningssystemer kan løses på flere måter. Solcellepanler, solfangere og varmepumper er anlegg som sikrer fornybar energi. En kombinasjon med solcellepaneler og væske-til-vann varmepumper kommer gunstig ut da det gir et lavt forbruk av elektrisitet samtidig som enhetene utfyller hverandre på en god måte.

Stikkord:

| |
|-------------------------------|
| 1. Passivhus |
| 2. Klimatilpasning |
| 3. Energiforsyning |
| 4. Energiberegningsprogrammer |

Forord

Denne masteroppgaven er utarbeidet ved institutt for bygg, anlegg og transport ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, NTNU, i Trondheim. Oppgaven er utført i samarbeid med Nordbohus AS og SINTEF Byggforsk.

Arbeidet med oppgaven er gjort i Oslo med jevnlige turer til Trondheim for veiledning og presentasjon av resultater.

En stor takk rettes til Silje Tveit Eriksen i Nordbohus som har vært disponibel og veldig behjelpelig til en hver tid. Å skrive en masteroppgave blir enklere når man har mennesker rundt seg som er dedikerte, ivrige og interesserte i arbeidet og resultater.

Lars Gullbrekken i SINTEF Byggforsk skal også ha en stor takk for rettleiding, gode kommentarer og innspill i forbindelse med forståelse av programmer og diverse vurderinger.

Takk til veileder Stig Geving på NTNU for støtte og gode innspill i løpet av arbeidet med oppgaven.

Til slutt vil jeg takke min samboer og kjæreste, Carina, som har støttet meg underveis og gitt meg gode råd på veien.

Det skal nå bli utrolig spennende å ta fatt på en ny epoke i livet og legge 5 år i Trondheim bak seg.

Trondheim, 11.6.2012

Espen Hobber Nilsen

Sammendrag

Denne masteroppgaven består av tre deler. Med utgangspunkt i tre typehus hos Nordbohus AS er bakgrunnen for oppgaven å vise hvordan man kan tilpasse passivhus til bestemte klimaer i Norge. Videre er energiberegningsprogrammene TEK-sjekk Energi og SIMIEN blitt sammenlignet. Tredje oppgave handler om hvordan man kan oppfylle kravet i NS3700 til alternativ energiforsyning til elektrisitet og fossile brensler.

Ulike klimaer gir ulike muligheter og utfordringer i forbindelse med dimensjonering av passivhus. For å kartlegge dette er det gjennomført en rekke beregninger i SIMIEN for å vurdere hvordan oppvarmingsbehovet påvirkes av ulike parameterendringer og klimaer.

I kapitlet om energiforsyningssystemer er det presentert en dimensjonering av solcellepaneler, solfangeranlegg og varmpumper samt gjennomført en beregning av levert elektrisitet. Sammen definerer dette hele energiforsyningssystemet til ett av typehusene.

Resultatene viser at oppvarmingsbehovet påvirkes betydelig av klimaet. Solinnstråling og temperatur er to essensielle klimaparametre som direkte relateres til behovet. Lavest oppvarmingsbehov oppnår man i Bergen, mens størst behov er i Karasjok. Det kommer tydelig fram at i Bergen og Trondheim er det enklest å oppnå passivhus. Derimot er dette vanskeligst i Oslo og Karasjok. Studien har vist at milde vintre, moderat solinnstråling og moderat sommertemperatur er faktorer som favoriserer oppvarmingsbehovet.

Ut ifra et energiperspektiv er det vist at anbefalt orientering av vindusfasadene ikke nødvendigvis er mot sør. Andre orienteringer vil være like gunstige og for noen tilfeller vil oppvarmingsbehovet være inntil 10 % lavere med østlig og vestlig orientering

Formen på huset er også av betydning. Det er vist at ved å gjøre grunnflaten mer kvadratisk vil oppvarmingsbehovet få en større differanse i forhold til kravet. Hustypen Sans kommer best ut av studien og oppnår passivhusstandard i alle de fem studerte byene. Dette skyldes husets kompakthet og lille omkrets. Sammenlignet med de øvrige hustypene har også Sans minst samlet areal på ytterkonstruksjonen. Arcturus oppnår passivhusstandard kun i Bergen. Orion kan bygges som passivhus i Bergen og Trondheim, men ikke i Oslo, Tromsø eller Karasjok.

I sammenligningen av energiberegningsprogrammene er det bekreftet at TEK-sjekk Energi bruker andre metoder i passivhusevalueringer enn TEK10-simuleringer og beregninger i SIMIEN. Man oppnår et lavere oppvarmingsbehov for passivhusevalueringen i TEK-sjekk Energi fordi effekten av solinnstrålingen beregnes på en annen måte i programmet. Forskjellene er betydelige, og det bør redegjøres for hvorfor beregningene av solinnstrålingen gir så ulike bidrag i simuleringene.

Energiforsyningsskapitlet oppsummerer fire alternative systemer som leverer varme og elektrisitet til Sans. Systemet som består av solcellepaneler, væske/vann varmpumpe med tilknytning det elektriske nettet gir lavest elektrisitetsforbruk

Abstract

This master thesis is divided into three parts. Based on three different prefabricated houses from Nordbohus AS the platform for this thesis is to show how to adapt passive houses to particular climates in Norway. Additionally, two energy calculation programs, “TEK-sjekk Energi” and “SIMIEN”, are contrasted. The third task is about how to fulfill the NS3700 requirements concerning alternative energy supplies to electricity and fossil fuels.

Different climates render various challenges and opportunities when designing passive houses. In order to map this, the energy calculation program “SIMIEN” is used to show how the heating demand is influenced by fluctuating parameter changes and climates.

In the chapter concerning energy supplies a dimensioning of photovoltaic cells, solar collectors and heat pumps is presented and a calculation of delivered electricity is completed. Together this defines the entire energy supply system for one of the prefabricated houses.

The results show that the heating demand is considerably affected by the particular climates. Irradiance and temperature are two essential factors that directly relate to demand. The lowest heating demand is required in Bergen, whilst the highest demand is in Karasjok. Evidently, Bergen and Trondheim are the two cities where the passive house standard can be achieved most effortlessly. Contrastingly, Oslo and Karasjok, faces the greatest challenges in attaining the same level of passivity. The study has shown that mild winters, moderate irradiation and moderate summer temperatures will favor the heating demand.

Considered the energy perspective it is demonstrated that the preferred orientation of the window façade not necessarily is towards south. Other orientation will be equally favorable, and in some cases the heating demand will be lowered by up to 10 % with other orientation.

The shape of the house is also of significance. It is shown that by doing the base more quadratic the heating demand will have a greater difference compared to the requirement. The house type, “Sans”, shows the best results in this study and reaches passive house standard in all five studied cities. This is attributed to the compactness of the house and the small perimeter. Compared to the other houses it also has the smallest total areal for the outer constructions. “Arcturus” reaches passive house standard only in Bergen. “Orion” may be built as a passive house in Bergen and Trondheim, but not in Oslo, Tromsø or Karasjok.

When comparing the two energy calculation programs, it is corroborated that “TEK-sjekk Energi” uses another method in the passive house evaluation than in “TEK10” simulations and calculations in “SIMIEN”. A lower heating demand is achieved when evaluating houses against passive house criteria in TEK-sjekk. This is due to the effect of a different calculation of the irradiance to the facades. The differences are significant and it should be accounted for why the calculation of the irradiance gives such different contribution in the simulations.

The energy supplies chapter summarizes four different alternative systems that deliver heating and electricity to “Sans”. The system consisting of photovoltaic cells, liquid/water heat pump with connection to the electric grid enables the lowest consumption of electricity.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|------------|
| FORORD | IV |
| SAMMENDRAG | VI |
| FIGURLISTE | XII |
| TABELLISTE | XII |
| VEDLEGGSLISTE | XIV |
| DEFINISJONER | XVI |
| 1. INNLEDNING | 1 |
| 1.1 BAKGRUNN | 1 |
| 1.2 FORMÅL | 1 |
| 1.3 OMFANG..... | 1 |
| 1.4 BEGRENSNINGER OG SPESIFISERINGER | 2 |
| 1.5 OPPBYGGING | 2 |
| 2. GRUNNLAG | 3 |
| 2.1 STANDARDER | 3 |
| 2.1.1 NS3700 | 3 |
| 2.1.2 NS3031 | 4 |
| 2.1.3 Klima | 4 |
| 2.1.4 Energiforsyning | 4 |
| 2.2 BEREGNINGSPROGRAMMER..... | 5 |
| 2.2.1 SIMIEN..... | 5 |
| 2.2.2 TEK-sjekk Energi | 5 |
| 2.2.3 Polysun..... | 5 |
| 2.2.4 PVGIS..... | 5 |
| 2.3 KLIMA | 6 |
| 2.3.1 Klimaets betydning for oppvarmingsbehovet | 7 |
| 2.4 ENERGIFORSYNINGSSYSTEM FOR PASSIVHUS | 8 |
| 2.4.1 Varmepumper | 10 |
| 2.4.2 Solenergi | 12 |
| 2.4.3 Bioenergi..... | 14 |
| 2.4.4 Vindenergi..... | 15 |
| 2.4.5 Oppsummering | 15 |
| 3. PARAMETERSTUDIE AV KLIMAEFFEKTER | 17 |
| 3.1 INNLEDNING | 17 |
| 3.2 METODE | 17 |
| 3.2.1 Klimadata | 17 |
| 3.2.2 Typehusene | 18 |
| 3.2.3 Kriterier..... | 19 |
| 3.2.4 Gjennomføring | 20 |
| 3.3 RESULTATER | 22 |
| 3.3.1 Oppvarmingsbehov..... | 23 |
| 3.3.2 Form-endringsstudie | 28 |
| 3.3.3 Orientering av husene | 32 |
| 3.3.4 Effekten av solavskjerming | 39 |
| 3.3.5 Endringsstudie..... | 43 |
| 3.3.6 Tilpasning av husene til lokalklima | 52 |
| 3.4 VURDERING..... | 56 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 3.4.1 | <i>Kriterier for solavskjerming</i> | 56 |
| 3.4.2 | <i>Enkeltkomponenter</i> | 57 |
| 3.4.3 | <i>Form og oppbygging</i> | 57 |
| 3.4.4 | <i>Orientering av husene</i> | 58 |
| 3.4.5 | <i>Solavskjerming</i> | 59 |
| 3.5 | OPPSUMMERING..... | 61 |
| 4. | SAMMENLIGNING AV TEK-SJEKK ENERGI OG SIMIEN | 63 |
| 4.1 | METODE..... | 63 |
| 4.2 | RESULTATER..... | 65 |
| 4.2.1 | <i>Gjennomsnittlig karmfaktor</i> | 66 |
| 4.2.2 | <i>Total solfaktor</i> | 66 |
| 4.2.3 | <i>Solskjermingsfaktor</i> | 67 |
| 4.2.4 | <i>Evaluering mot TEK10</i> | 68 |
| 4.3 | VURDERING OG OPPSUMMERING..... | 69 |
| 5. | ALTERNATIVE ENERGIFORSYNINGSSYSTEMER | 71 |
| 5.1 | BAKGRUNN..... | 71 |
| 5.1.1 | <i>Grunnlag</i> | 71 |
| 5.1.2 | <i>Gjennomføring</i> | 73 |
| 5.2 | SOLFANGERE..... | 74 |
| 5.2.1 | <i>Metode</i> | 74 |
| 5.2.2 | <i>Resultat</i> | 77 |
| 5.2.3 | <i>Vurdering</i> | 80 |
| 5.2.4 | <i>Oppsummering</i> | 81 |
| 5.2.5 | <i>Feilkilder</i> | 82 |
| 5.3 | VARMEPUMPE..... | 83 |
| 5.3.1 | <i>Metode</i> | 84 |
| 5.3.2 | <i>Resultat</i> | 86 |
| 5.3.3 | <i>Vurdering</i> | 87 |
| 5.3.4 | <i>Oppsummering</i> | 88 |
| 5.4 | SOLCELLEANLEGG..... | 89 |
| 5.4.1 | <i>Metode</i> | 89 |
| 5.4.2 | <i>Resultat</i> | 91 |
| 5.4.3 | <i>Vurdering</i> | 93 |
| 5.4.4 | <i>Oppsummering</i> | 96 |
| 5.4.5 | <i>Feilkilder</i> | 97 |
| 5.5 | LEVERT ELEKTRISITET..... | 98 |
| 5.6 | VURDERING..... | 101 |
| 5.7 | OPPSUMMERING..... | 103 |
| 6. | OPPSUMMERING | 105 |
| 7. | FEILKILDER | 107 |
| 8. | VIDERE ARBEID | 109 |
| 9. | REFERANSER | 111 |

Figurliste

| | |
|--|----|
| FIGUR 1 - VARMEBEHOV DEFINERT I NS3031 (2007)..... | 8 |
| FIGUR 2 - VARMEPUMPENS PROSESSER (BYGGFORSK, 2009B)..... | 10 |
| FIGUR 3 - PRINSIPIELL OPPBYGGING AV EN SOLFANGER (ANDRESEN, 2008)..... | 12 |
| FIGUR 4 - OPPBYGGING AV EN PLAN SOLFANGER (BYGGFORSK, 2011B)..... | 13 |
| FIGUR 5 - OPPBYGGING AV EN VAKUUMRØRSOLFANGER (BYGGFORSK, 2011B)..... | 13 |
| FIGUR 6 - V: VERTIKALAKSLET TURBIN (ENERGITILSKUDD.NO, 2012). H: HORISONTALAKSLET TURBIN (NGI) ... | 15 |
| FIGUR 7 - SANS (NORDBOHUS AS, 2009)..... | 18 |
| FIGUR 8 - ORION (NORDBOHUS AS, 2009)..... | 18 |
| FIGUR 9 - ARCTURUS (NORDBOHUS AS, 2009)..... | 19 |
| FIGUR 10 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV MED SØRLIG ORIENTERING AV VINDUSFASADEN | 23 |
| FIGUR 11 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV FOR ULIKE ORIENTERINGER AV SANS | 32 |
| FIGUR 12 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV FOR ULIKE ORIENTERINGER AV ORION | 35 |
| FIGUR 13 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV FOR ULIKE ORIENTERINGER AV ARCTURUS | 37 |
| FIGUR 14 - EFFEKTE AV SOLAVSKJERMING FOR SANS..... | 39 |
| FIGUR 15 - SANS | 52 |
| FIGUR 16 - ORION | 53 |
| FIGUR 17 - ARCTURUS | 54 |
| FIGUR 18 - PRINSIPPSKISSE AV ET SOLFANGERSYSTEM (ANDRESEN, 2008) | 74 |
| FIGUR 19 - Plassering av solfangere på taket til SANS | 76 |
| FIGUR 20 - MÅNEDLIG BEREGNET VARMEBEHOV OG VARMEPRODUKSJON MED HHV. 12 OG 4 PLANE FANGERE | 77 |
| FIGUR 21 - SAMMENLIGNING AV BEREGNET VARMEBEHOVET OG VARMEPRODUKSJON FOR OSLO OG TROMSØ..... | 78 |
| FIGUR 22 - VARIGHETSKURVE FOR VARMEEFFEKTBEHOVET (STENE, 2000) | 84 |
| FIGUR 23 - VARIGHETSKURVE FOR SANS I OSLO ETTER BEREGNING I SIMIEN | 86 |
| FIGUR 24 - Plassering av solcellepaneler på taket til SANS..... | 91 |
| FIGUR 25 - SAMMENLIGNING AV ÅRSFLUKS FOR PVGIS OG NS3031 | 94 |
| FIGUR 26 - GRAFISK SAMMENSTILLING AV SOLFLUKS FOR PVGIS OG NS3031 I OSLO OG BERGEN | 95 |
| FIGUR 27 - GRAFISK SAMMENSTILLING AV SOLFLUKS FOR PVGIS OG NS3031 FOR TRONDHEIM OG TROMSØ..... | 95 |
| FIGUR 28 - GRAFISK SAMMENSTILLING AV SOLFLUKS FOR PVGIS OG NS3031 FOR KARASJOK | 95 |

Tabelliste

| | |
|--|----|
| TABELL 1 - KRAV TIL ENKELTKOMPONENTER ETTER NS3700 | 3 |
| TABELL 2 - KRAV TIL HØYESTE BEREGNEDE NETTO ENERGIBEHOV TIL OPPVARMING ETTER NS3700 | 3 |
| TABELL 3 - OPPSUMMERING AV ENERGIFORSYNINGSSYSTEMER | 15 |
| TABELL 4 - KLIMADATA | 17 |
| TABELL 5 - DIMENSJONER SANS | 18 |
| TABELL 6 - DIMENSJONER ORION | 18 |
| TABELL 7 - DIMENSJONER ARCTURUS | 19 |
| TABELL 8 - TYPER SOLAVSKJERMING BENYTTET I STUDIEN | 20 |
| TABELL 9 - KRAV TIL ENKELTKOMPONENTER ETTER NS3700 | 21 |
| TABELL 10 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV SAMMENLIGNET MED KRAV TIL OPPVARMINGSBEHOV | 23 |
| TABELL 11 - RELATIV ENDRING I OPPVARMINGSBEHOVET I FORHOLD TIL OSLOKLIMA | 26 |
| TABELL 12 - OVERSIKT OVER BEREGNINGER OG PARAMETERENDRINGER I FORM-ENDRINGSSTUDIET | 28 |
| TABELL 13 - JUSTERTE PARAMETERENDRINGER I FORM-ENDRINGSSTUDIET | 28 |
| TABELL 14 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV I FORM-ENDRINGSSTUDIET MED JUSTERTE PARAMETRE | 29 |
| TABELL 15 - AREALANDEL FOR VINDU/DØRER OG YTTERVEGG PER BRA..... | 30 |
| TABELL 16 - ORIENTERING OG GRADER | 32 |
| TABELL 17 - PROSENTVIS FORSKJELL MELLOM HØYESTE OG LAVESTE OPPVARMINGSBEHOV FOR SANS | 33 |
| TABELL 18 - AREAL OG ANDEL VINDUER PÅ FASADENE TIL SANS..... | 34 |

| | |
|---|-----|
| TABELL 19 - OPPVARMINGSBEHOV MED NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS I BERGEN | 34 |
| TABELL 20 - PROSENTVIS FORSKJELL MELLOM HØYESTE OG LAVESTE OPPVARMINGSBEHOV FOR ORION | 35 |
| TABELL 21 - AREAL OG ANDEL VINDUER PÅ FASADENE TIL ORION..... | 36 |
| TABELL 22 - SAMMENSTILLING AV BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV OG KLIMADATA FOR SANS | 40 |
| TABELL 23 - OPPVARMINGSBEHOV OG DIFFERANSER MED NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS .. | 42 |
| TABELL 24 - OVERSIKT OVER ENDRINGSSTUDIET | 43 |
| TABELL 25 - PARAMETERENDRINGER FOR BEREGNING NUMMER 2, 3 OG 4 | 44 |
| TABELL 26 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 2 FOR SANS | 44 |
| TABELL 27 - REDUSERT EFFEKT FRA SOLA VED FJERNING AV VINDUER | 45 |
| TABELL 28 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 2 FOR ORION | 45 |
| TABELL 29 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 3 FOR SANS | 47 |
| TABELL 30 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 3 FOR ORION | 47 |
| TABELL 31 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 4 FOR SANS | 48 |
| TABELL 32 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 4 FOR ORION | 48 |
| TABELL 33 - SAMMENLIGNING AV OPPVARMINGSBEHOV FOR BEREGNING 1 OG 5-7 FOR ORION I TROMSØ..... | 49 |
| TABELL 34 - OVERSIKT OVER FASTE OG VARIERBARE ENKELTKOMPONENTER | 52 |
| TABELL 35 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS I BERGEN | 53 |
| TABELL 36 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS I TRONDHEIM..... | 53 |
| TABELL 37 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS I TROMSØ..... | 53 |
| TABELL 38 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR ORION I BERGEN | 54 |
| TABELL 39 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR ORION I TRONDHEIM..... | 54 |
| TABELL 40 - NYE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR ARCTURUS I BERGEN | 54 |
| TABELL 41 - VARMETAPSBUDSJETT FOR SANS, ORION OG ARCTURUS | 57 |
| TABELL 42 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV I TEK-SJEKK OG SIMIEN FOR SANS OG ORION | 65 |
| TABELL 43 - VERDIER SOM AVVIKER MELLOM TEK-SJEKK OG SIMIEN | 65 |
| TABELL 44 - VERDIER FOR KARMFAKTOR OG OPPVARMINGSBEHOV FOR SANS OG ORION..... | 66 |
| TABELL 45 - OPPVARMINGSBEHOV UTEN SOLAVSKJERMING FOR SANS OG ORION | 67 |
| TABELL 46 - OPPVARMINGSBEHOV MED FULL AVSKJERMING FOR SANS OG ORION..... | 67 |
| TABELL 47 - OPPVARMINGSBEHOV UTEN AVSKJERMING OG UTEN TAKUTSTIKK/UTSPRING | 67 |
| TABELL 48 - OPPVARMINGSBEHOV VED TEK10-SIMULERING AV SANS OG ORION..... | 68 |
| TABELL 49 - BEREGNET OPPVARMINGSBEHOV MED REELLE VERDIER FOR ENKELTKOMPONENTER FOR SANS | 71 |
| TABELL 50 - NETTO SPESIFIKK ENERGIBEHOV FOR SANS | 72 |
| TABELL 51 - NETTO ELEKTRISITETSBEHOV FOR SANS | 72 |
| TABELL 52 - NETTO VARMEBEHOV FOR SANS..... | 72 |
| TABELL 53 - OVERSIKT OVER SOLFANGERE SOM BENYTTES I STUDIEN | 75 |
| TABELL 54 - RESULTATVERDIER FOR DIMENSJONERING AV PLANE SOLFANGERE PÅ SANS | 77 |
| TABELL 55 - RESULTATVERDIER FOR DIMENSJONERING AV VAKUUMSOLFANGERE PÅ SANS | 79 |
| TABELL 56 - SAMMENLIGNING AV ÅRLIG VARMEPRODUKSJON OG VARMEBEHOVET SOM DEKKES | 79 |
| TABELL 57 - SAMMENSTILLING AV DEKNINGSGRADENE SOM OPPNÅS MED DE ULIKE SOLFANGERTYPENE | 80 |
| TABELL 58 - SAMMENSTILLING AV ÅRLIG VARMEPRODUKSJON SOM OPPNÅS MED DE ULIKE SOLFANGERTYPENE . | 80 |
| TABELL 59 - ANTALL PLANE FANGERE DIMENSJONERT FOR SANS OG ANTALL FOR Å DEKKE HELE BEHOVET | 81 |
| TABELL 60 - VARMEBEHOV SOM DEKKES AV VARMEPUMPE OG SOLFANGER | 83 |
| TABELL 61 - VARMEYTELSE VED 100 % OG 60 % EFFEKTEKKNING FOR SANS..... | 86 |
| TABELL 62 - OVERSIKT OVER SOLCELLEPANELER SOM BENYTTES I STUDIEN..... | 91 |
| TABELL 63 - ANTALL PANELER PÅ TAKET TIL SANS..... | 91 |
| TABELL 64 - ANTALL PANELER FOR Å DEKKE HELE BEHOVET PÅ VEGGEN SAMMENLIGNET MED TAKET..... | 91 |
| TABELL 65 - DEKNINGSGRADER FOR DE ULIKE SOLCELLEPANELENE..... | 92 |
| TABELL 66 - RESULTATVERDIER FOR DIMENSJONERING AV SOLCELLEPANELET SR | 93 |
| TABELL 67 - ÅRLIG SOLFLUKS | 93 |
| TABELL 68 - ANTALL PANELER AV TYPEN SR-M654230 OG ANTALL FOR Å DEKKE HELE BEHOVET FOR SANS..... | 96 |
| TABELL 69 - SYSTEMVIRKNINGSGRAD OG SYSTEMEFFEKTFAKTOR HENTET FRA NS3031..... | 98 |
| TABELL 70 - ENERGIKILDENES ANDEL AV BEHOV SOM DEKKES | 99 |
| TABELL 71 - OPPSUMMERING AV LEVERT ELEKTRISITET FOR DE ULIKE ENERGIFORSYNINGSSYSTEMENE..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| TABELL 72 - OPPSUMMERING AV PRODUSERT VARME OG LEVERT ELEKTRISITET FOR OSLO..... | 104 |
| TABELL 73 - OPPSUMMERING AV PRODUSERT VARME OG LEVERT ELEKTRISITET FOR BERGEN | 104 |
| TABELL 74 - OPPSUMMERING AV PRODUSERT VARME OG LEVERT ELEKTRISITET FOR TRONDHEIM | 104 |
| TABELL 75 - OPPSUMMERING AV PRODUSERT VARME OG LEVERT ELEKTRISITET FOR TROMSØ..... | 104 |
| TABELL 76 - OPPSUMMERING AV PRODUSERT VARME OG LEVERT ELEKTRISITET FOR KARASJOK | 104 |

Vedleggsliste

| | |
|---|--|
| VEDLEGG 1 - OPPGAVETEKST | |
| VEDLEGG 2 - FASADETEGNING SANS | |
| VEDLEGG 3 - PLANTEGNING SANS | |
| VEDLEGG 4 - FASADETEGNING ORION | |
| VEDLEGG 5 - PLANTEGNING ORION | |
| VEDLEGG 6 - FASADETEGNING ARCTURUS | |
| VEDLEGG 7 - PLANTEGNING ARCTURUS | |
| VEDLEGG 8 - OVERSIKT OVER PARAMETERSTUDIEN | |
| VEDLEGG 9 - INNDATA FOR ALLE HUS I SIMIEN | |
| VEDLEGG 10 - OVERSIKT OVER ENDRINGSSTUDIE FOR OSLO OG TROMSØ | |
| VEDLEGG 11 - RESULTATENE FOR 'EFFEKTEN AV SOLAVSKJERMING' FOR SANS, ORION OG ARCTURUS | |
| VEDLEGG 12 - INNDATA I POLYSUN OG PVGIS | |
| VEDLEGG 13 - PRODUKTSØK SOLCELLEPANELER | |

Definisjoner

Under følger definisjoner på noen begreper som brukes i rapporten:

Totalstråling: Solinnstrålingen som treffer en flate er en kombinasjon av direkte solinnstråling, diffus himmelstråling og diffus, reflektert stråling fra omgivende flater (Byggforsk, 1991).

Global horisontal stråling: Summen av diffus himmelstråling og direkte stråling på en uskjermet, horisontal flate (Byggforsk, 1991).

Solfaktor, g: Angir hvor stor del av energien i solinnstrålingen som passerer en rutekonstruksjon. En solfaktor på 1 betyr at 100 % av solinnstrålingen passerer ruta (Byggforsk, 1991).

Rettvinklet solfaktor: Energien som passerer ved normalvinklet innstråling (Byggforsk, 2011a).

Hemisfærisk midlet solfaktor: Solfaktor som angis ved diffus stråling. Verdien er 90 % av rettvinklet solfaktor (Byggforsk, 2011a).

Solskjermingsfaktor, F_s : Faktor som reduserer solinnstrålingen på grunn av solavskjerming. En faktor på 1 betyr ingen solavskjerming, det vil si en solfaktor på 100 % (Byggforsk, 2011a).

View factor: En vinkelkoeffisient som korrigerer innkommende stråling mot en flate ved å justere/begrense semi-hemisfæren sett fra flaten iht. høyden på omgivende terreng og bygninger (Sørensen).

BRA: Bruksareal for bebyggelse på en tomt. Det arealet av planet som ligger innenfor omsluttende vegger (NS 3031, 2007).

Oppvarmingsbehov: Oppvarming omfatter varme avgitt fra varmeanlegg og eventuelt varmebatteri i ventilasjonsanlegget. Energibehovet til oppvarming skal beregnes etter reglene i NS3031 (2007).

Spesifikk oppvarmingsbehov: Oppvarmingsbehov per bruksareal [kWh/m^2]

Effektfaktor, COP (Coefficient of Performance): Angir varmepumpens energieffektivitet ved en gitt tilstand (momentanverdi). Faktoren er definert ved forholdet mellom levert varmeeffekt fra anlegget og tilført elektrisitet til kompressoren (Byggforsk, 2009b).

Årsvarmefaktor, SPF (Seasonal Performance Factor): Tilsvarende gjennomsnittlig effektfaktor over et år for et anlegg som kun leverer varme (Byggforsk, 2009b).

1. Innledning

Det er i dag bygget over 70 passivhus i Norge og flere tusen er enten under prosjektering eller bygging (Tunmo, 2011). I tillegg ønsker Regjeringen å skjerpe energikravene i byggt teknisk forskrift til passivhusnivå i 2015 og videre til nesten nullnivå i 2020 (Regjeringen, 2012b).

1.1 Bakgrunn

Ulike klimaer gir ulike muligheter og utfordringer i forbindelse med passivhusbygging. På grunn av varierende temperaturer over året og ulik mengde solfluks vil det være forskjell i hvordan man oppnår passivhusstandard. Krav om fornybar energi kan oppfylles på forskjellige måter avhengig av infrastruktur, klima og tilgjengelige varmekilder. Det er behov for kunnskap om hvordan passivhus kan tilpasses ulike klimaer med tanke på både passive og aktive tiltak.

1.2 Formål

Formålet med denne oppgaven er å undersøke hvordan noen av Nordbohus sine typehus kan tilpasses passivhuskonseptet ved å vurdere dem i ulike klimaer i Norge. Hva slags krav, begrensninger og muligheter som finnes skal synliggjøres gjennom energiberegninger i SIMIEN og TEK-sjekk Energi.

Rapporten skal vise hvordan man kan tilpasse utvalgte typehus til bestemte klimaer i Norge og hva slags energiforsyningssystemer som er best egnet til passivhus. Dette kan brukes til å vurdere hvilke aspekter man bør se på ved klimatilpassning av andre passivhusprosjekter i Norge. Videre er formålet å kontrollere resultatene fra energiberegningene ved å sammenligne energiberegningsprogrammene TEK-sjekk Energi og SIMIEN. Formålet med oppgaven kan deles opp i fire delmål:

- Få en oversikt over tidligere vurderinger av klimaavhengighet for passivhus og hva slags energiforsyningssystemer som er aktuelle for passivhus i dag.
- Skaffe kunnskap om hva slags effekt klimaet har på passivhus og hvordan man konkret kan tilpasse typehusene til bestemte klimaer.
- Kunne redegjøre for hvordan energiberegningsprogrammene TEK-sjekk Energi og SIMIEN arbeider.
- Sette opp et energiforsyningssystem for et passivhus ved å undersøke mulige konsepter for alternativ energiforsyning.

1.3 Omfang

Rapportens første del er om teori og grunnlag for aktuelle temaer som tas opp i rapporten. Andre del omfatter diverse dimensjoneringsarbeider med ulike vinklinger. Tematisk kan rapportens omfang oppsummeres slik:

- **Klima:** Hvordan klimaet i Norge påvirker dimensjonering og utforming av ulike passivhus og hvilke kritiske områder som må vurderes ekstra nøye.
- **Energiberegningsprogrammer:** Hvordan TEK-sjekk Energi og SIMIEN beregner oppvarmingsbehov og hva slags klimadata og metoder som ligger til grunn for beregningene.
- **Energiforsyning:** Hvordan energiforsyningssystemer best kan tilpasses passivhus.

Typehusene Sans, Orion og Arcturus fra bolighusprodusenten Nordbohus skal studeres. Disse husene skal plasseres i byene Oslo, Bergen, Trondheim, Tromsø og Karasjok.

Dimensjoneringer og utforminger av passivhusene tar utgangspunkt i bestemte typehus, men resultatene kan også gjelde for andre typer småhus.

1.4 Begrensninger og spesifiseringer

Det er valgt å se bort fra økonomiske vurderinger. Dette gjelder både for klima- og energiforsyningsdelen. Å finne en grense for når passive tiltak ikke lenger er lønnsomt og hvor aktive tiltak burde overta kunne vært aktuelt. For energisystemene kunne man gjort en analyse på hvilke tiltak som er mest lønnsomt over levetiden for å finne et optimalt produkt. Begge disse krever flere forutsetninger og i praksis vil slike vurderinger være knyttet til hva slags avtaler som inngås med leverandørene. Derfor er ikke dette gjort her.

1.5 Oppbygging

Hoveddelen av rapporten er utformet med følgende oppbygging:

- *Kapittel 2:* Her presenteres aktuelle standarder, programmer og teori.
- *Kapittel 3:* Kapitlet tar for seg en parameterstudie der flere situasjoner blir studert for å få kunnskap om passivhusenes klimaavhengighet.
- *Kapittel 4:* Energiberegningsprogrammene TEK-sjekk Energi og SIMIEN blir sammenlignet gjennom en serie beregninger.
- *Kapittel 5:* Ulike energiforsyningssystemer tilpasses passivhuset Sans basert på energibehov beregnet i kapittel 3.

2. Grunnlag

I dette kapitlet presenteres standarder, beregningsprogrammer og aktuell teori.

2.1 Standarder

NS3700 - kriterier for passivhus og lavenergi og NS3031 - beregning av bygningers energiytelse, er to aktuelle standarder som kort skal presenteres.

2.1.1 NS3700

Standarden omfatter følgende:

”definisjoner, krav til varmetap, oppvarmingsbehov og energiforsyning samt minstekrav til bygningskomponenter og lekkasjetall og videre krav til prøvingsmetoder, målmetoder og rapportering av energiytelsen ved ferdigstillelse for boligbygninger som kan defineres som passivhus og lavenergihus i norsk klima.”

Verdier for krav og inndata for beregninger brukes i beregningsprogrammene SIMIEN og TEK-sjekk Energi til å vurdere boliger opp mot passivhusstandard. Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall for passivhus er i følge tabell 1:

| Enkeltkomponenter | Krav |
|---|---|
| U-verdi yttervegg | $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| U-verdi tak | $\leq 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| U-verdi gulv | $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| U-verdi vindu | $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| U-verdi dør | $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Normalisert kuldebroverdi, Ψ'' | $\leq 0,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Årsgjennomsnittlig temperaturvirkingsgrad varmegjenvinner | $\geq 80 \%$ |
| SFP-faktor ventilasjonsanlegg | $\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ |
| Lekkasjetall ved 50Pa, n_{50} | $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ |
| Varmetapstall, H'' ($100 \text{ m}^2 < A_{fl} < 250 \text{ m}^2$) | $\leq 0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$ |

Tabell 1 - Krav til enkeltkomponenter etter NS3700

Verdiene i tabell 1 er viktige i dimensjoneringen av passivhus og vil bli henviset til som enkeltkomponenter. Videre stilles det krav til høyeste netto energibehov til oppvarming. Dette er en funksjon av årsmiddeltemperaturen på stedet og bruksarealet. Kravet vises i tabell 2.

| Årsmiddeltemperatur, Θ | Krav for boliger der $A < 250 \text{ m}^2$ |
|-----------------------------------|---|
| $\geq 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ | $15 + 5,4 \times ((250-A)/100)$ |
| $< 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$ | $15 + 5,4 \times ((250-A)/100) + (2,1+0,59 \times ((250-A)/100)) \times (6,3-\Theta)$ |

Tabell 2 - Krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming etter NS3700

For å oppnå passivhusstandard må blant annet kravene i tabell 1 og 2 innfris. Videre stilles det krav til øvrige poster i energibudsjettet som elektrisitet til vifter, pumper, belysning, teknisk utstyr og til varmtvann. I NS3700 redegjøres det for effektbehov og varmetilskudd som skal brukes i energiberegning for disse postene. Disse verdiene presenteres ikke her.

2.1.2 NS3031

Standarden redegjør for 3 ulike beregningsalternativer for bygningers energiytelse og presenterer aktuell inndata til disse beregningene. Det er kun metoden *månedsberegning - stasjonær metode*, som forklares detaljert. Videre fastlegger standarden regler for beregning av bygningers:

- Varmetapstall
- Totalt netto energibehov i et energibudsjett
- Levert energi til bygninger fordelt på ulike energivarer
- Primærenergi, CO₂-utslipp, vektet levert energi og energikostnad

2.1.3 Klima

NS3031 skiller mellom to typer beregninger.

- Beregning etter standard referanseklime (landsgjennomsnitt)
- Beregning etter lokalt klima

I følge NS3700 skal det benyttes lokal klimadata som er standardisert gjennomsnittsklima for kommunen der boligen oppføres. Aktuell klimadata er månedsverdier for referanseår.

2.1.4 Energiforsyning

NS3700 (2010) stiller krav til at varmesystemet skal benytte andre energibærere enn elektrisitet og fossile brensler. Kravet er at beregnet mengde levert elektrisk og fossil energi ikke skal overstige totalt netto energibehov fratrukket 50 % av netto energibehov til varmtvann. Dette er gjengitt i formel 1.

$$E_{del,el} + E_{del,oil} + E_{del,gas} < E_{t} - 0,5 * Q_{W,nd} \quad (1)$$

Det betyr at den beregnede energien som går til varmesystemet skal ha en maksimal andel elektrisk og fossil energi. Denne andelen bestemmes fra det totale energibehovet som varierer fra klima til klima. Formel 1 gjelder kun for varmesystemet. Resten av energibehovet går under det elektrisitetsspesifikke. Dette er elektrisitet til teknisk anlegg, utstyr, belysning, pumper og vifter.

Videre sier NS3700 at bygningen også skal oppfylle krav til energiforsyning satt i forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk til Plan- og bygningsloven (TEK10). Følgende krav er gitt i byggt teknisk forskrift (2010) som ikke direkte sies i NS3700:

- Det er forbudt å installere oljekjel for fossilt brensel til grunnlast.
- Boliger skal utstyres med varmeanlegg som kan tilkobles fjernvarmeanlegg dersom dette er fastsatt i plan og bygningsloven for det aktuelle byggestedet.

NS3700 er strengere enn dagens energikrav i TEK10. Følger man kravene i passivhusstandard vil man samtidig nå kravene i dagens forskrift. Kommunene kan derimot ikke kreve noe som er strengere enn gjeldende forskrifter.

2.2 Beregningsprogrammer

Det er benyttet flere beregningsprogrammer i rapporten. Disse skal presenteres kort.

2.2.1 SIMIEN

SIMIEN er et simuleringsverktøy for beregning av energibruk, effektbehov og inneklime i bygninger. For vurdering opp mot passivhuskrav vil bygningen bli evaluert mot NS3700 for boligbygninger. Programmet er utviklet av Programbyggerne AS som består av Tor Helge Dokka (seniorforsker SINTEF Byggforsk) og Kjell Arild Dokka.

2.2.2 TEK-sjekk Energi

Beregningsprogrammet TEK-sjekk Energi brukes til å gjøre kontrollberegninger opp mot tekniske forskrifter (TEK10) og passivhuskrav (NS3700). Programmet beregner varmetapsbudsjett, netto energibehov, kontrollerer energiforsyning og termisk inneklime. Programmet er utviklet av SINTEF Byggforsk ved Peter Schild.

2.2.3 Polysun

I dimensjoneringen av solfangeranlegget er beregningsprogrammet Polysun Simulation Software benyttet. Programmet er utviklet av Vela Solaris som er et privateid sveitsisk selskap som utvikler programvare for sektoren fornybar energi. Selskapet er et spin-off selskap fra *'Institute for Solar Technology SPF'* på *'The University of Applied Science'* i Rapperswill i Sveits.

2.2.4 PVGIS

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) er et beregningsprogram som brukes til geografiske vurderinger av solenergiressurser. Programmet er utviklet av SOLAREC som er et internfinansiert forskningsprosjekt på solcelleenergi i EU.

Programmet er i stand til å regne ut månedlige og daglige solinnstråling samt å beregne elektrisitetsproduksjonen for solcellepaneler som er koblet til elektrisitetsnettet.

2.3 Klima

Klimaet på jorden har alltid vært og vil alltid være i endring. Det å spå utviklingen er ingen eksakt vitenskap, men er forankret i klimamodeller, scenarioer og observerte klimaendringer. Forskningsresultater basert på nedskalerte klimamodeller for norske forhold viser at man kan forvente en økning i middeltemperaturen (CIENS, 2011). Når gjennomsnittlig temperatur endrer seg vil også ytterpunktene endre seg, man får mer ekstremvær. Hvordan klimaendringene vil slå ut regionalt er vanskelig å spå, men det hevdes at kystnære områder og Nord-Norge vil bli spesielt utsatt. Videre forventes en økning i dager med ekstremnedbør og at nedbørsmengden vil øke i gjennomsnitt med ca 25 % i forhold til i dag (CIENS, 2011).

Det er viktig å være klar over hva slags klima som forventes når man vurderer utviklingen innenfor boligsektoren. Kravene som stilles for boligbygging må stå i stil med klimaet slik at det lar seg gjøre å bygge husene riktige og trygge.

Hvordan vil været påvirke boligene i framtiden? Norge er et langstrakt land og har derfor et variert klima og topografi, i tillegg eksisterer det store lokale forskjeller. Langs kysten ligger gjennomsnittstemperaturen over null grader og klimaet beskrives som temperert med milde vintre. I lavere innlandsområder oppleves frost og lave temperaturer, mens fjellstrøkene i Sør-Norge og fjellområdene i Nord-Norge preges av ekstremt kalde vintre og kalde somre. De ulike landsdelene har følgende utfordringer (Eriksen et al., 2007):

- *Østlandet*: Frost, fryse-tine sykluser og store nedbørsmengder om vinteren er vanlig. Hovedfokuset er på snølast og snøgjennomtrening. Konkret må man sikre vind- og fuktspærre, helisolere loft, plassere vinduer og dører korrekt, isolere og dimensjonere for snølast.
- *Sørvestlandet*: Kraftig nedbør kombineres ofte med slagregn. Derfor er det viktig å sørge for en tørr byggeprosess samt riktig oppføring av tak og korrekt rekkefølge på oppføring av husene.
- *Midt-Norge*: Området preges av kombinasjonen av kulde, fryse-tine sykluser, slagregn og store nedbørsmengder. Derfor er vindtetting og god forankring viktig, men det må også fokuseres på tilstrekkelig tørking under bygging for å unngå fuktproblemer.
- *Nord-Norge*: Landsdelen opplever ekstreme vindhastigheter og regn, frost og kraftig nedbørsforekomster i form av snø. I disse områdene prioriteres dobbel vindsperre, forankring av bygninger, innfesting av takstein og ekstra snølastdimensjonering. I tillegg er det nødvendig med ekstra isolering mot grunnen på grunn av lave temperaturer her.

2.3.1 Klimaets betydning for oppvarmingsbehovet

Med en økning i årsmiddeltemperaturen endres situasjoner for oppvarmingsbehovet til passivhus. Dette gjør også kravene som stilles for netto energibehov til oppvarming i NS3700. Mildere vintre og varmere somre gir lavere oppvarmingsbehov (Regjeringen, 2012a). På grunn av økt temperatur blir dermed varmetapene mindre som gir lavere behov for å tilføre varme.

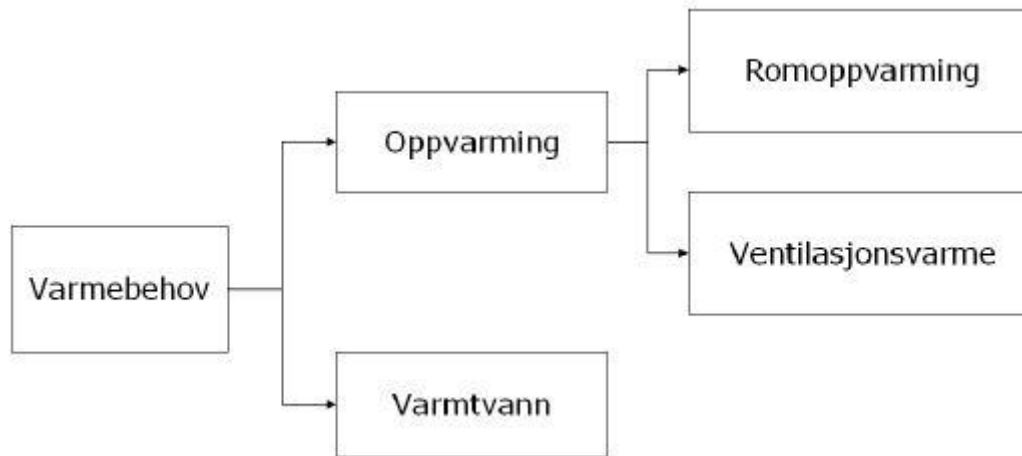
På den andre siden vil effekten av varmere somrene medfører økt behov for kjøling og eventuelt solavskjerming. Erfaringene med passivhus er utfordringer med forhøyede temperaturer om sommeren (COIN, 2010). Dette er en viktig problemstilling som må arbeides med under prosjektering. Tiltakene som kan iverksettes for å sikre en god innetemperatur medfører at oppvarmingsbehovet øker. Økt skjerming gir mindre soltilskudd som øker oppvarmingsbehovet. Kjøling i småhus er ikke tillatt ifølge NS3700, men frikjøling om natten ved hjelp av varmepumper eller ventilasjonsanlegg er mulig. Dette senker energiforbruket om natten og sørger for en lavere temperatur om dagen.

Krav til oppvarmingsbehov varierer i forhold til klima, og lokal klimadata skal benyttes i henhold til NS3700. Standarden skiller mellom boliger over og under 250 m² og klimasteder med temperaturer over og under 6,3 °C. Se tabell 2 for krav til netto energibehov til oppvarming.

Effekten av kravene er at jo lavere årsmiddeltemperaturen er under 6,3 °C, desto høyere blir verdien for kravet til netto energibehov til oppvarming. Konsekvensen av høyere årsmiddeltemperatur medfører dermed at byer med lavere temperatur enn 6,3 °C vil få strengere krav. Det vil si at verdien til kravet for maksimalt netto energibehov blir lavere. Det finnes 360 000 boligbygg plassert i byer med en årsmiddeltemperatur over grensen på 6,3 °C, men andelen vil øke til 90 % basert på et scenario gjort for år 2071-2100 (Kvande et al., 2012).

2.4 Energiforsyningssystem for passivhus

Energiforsyningen til boliger er todelt; elektrisitetsspesifikt energi som går til teknisk utstyr, belysning, pumper og vifter. Varmeenergi utgjør den andre delen. Varmebehovet kan fordeles på romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmt tappevann, se figur 1.



Figur 1 - Varmebehov definert i NS3031 (2007)

Varmeenergien i bygningskroppen er en funksjon av klimaet bygget står i, bygningskroppens varmetapsegenskaper, interne varmelaster og solinnstråling. Summen av dette gir netto oppvarmingsbehov (Byggforsk, 2010). I tillegg påvirkes oppvarmingsbehovet, spesielt tappevannet, av brukernes adferd. Dette er aspekter som ligger utenfor den beregnede delen av energibehovet, og vil derfor ikke tas med i denne rapporten.

Årsaken til at man ikke ønsker å bruke elektrisitet til oppvarmingen kan forklares med flere faktorer som blant annet miljø, termodynamikk og økonomi. Flere land i Europa produserer elektrisk energi fra kull og olje som er energikilder med miljøbelastning. I Norge kan derimot flere energiselskaper skilte med elektrisitet fra 100 % fornybar energi (Lyse Energi AS, TrønderEnergi). Fordi Norge er forbundet med resten av Europa i et felles elektrisitetsnett (Novakovic et al., 2007), følger vi de samme retningslinjene og ønsker derfor å unngå bruk av elektrisitet til oppvarming.

Ønsket om å redusere elektrisitetsforbruket kan også forklares termodynamisk. Energi deles nemlig opp i tre klasser avhengig av kvalitet (Novakovic et al., 2007):

1. **Ren eksergi.** Energi som uten begrensninger lar seg omvandle til andre energiformer. Eksempel på dette er elektrisitet eller mekanisk energi.
2. **Eksergi og anergi.** Energiformer som bare delvis lar seg omvandel til andre energiformer. Eksempel på energiklasse 2 er indre energi og varme.
3. **Ren anergi.** Energi som ikke lar seg transformere til andre energiformer. Den indre energien i omgivelsene er et eksempel på dette.

Elektrisitet er høyverdig energi fordi den kan omdannes til andre energiformer. Varme er lavverdig energi og kan ikke utnyttes i like stor grad som elektrisitet. Derfor burde man bruke varme der varme kan utnyttes, i stedet for å omvandle elektrisitet til varme.

I løpet av de siste årene har man innsett hvilket potensial det ligger i overskuddsvarme. I industrien benyttes vann til å kjøle ned maskiner og i prosesser som gjør at store mengder varmtvann produseres. Ved forbrenningsanlegg forbrennes avfall som kan varme opp vann. Derfor er blant annet fjernvarme blitt tatt i bruk i større grad for å utnytte denne overskuddsvarmen.

Varme kan leveres på flere ulike måter og man skiller mellom luftbårne og vannbårne systemer (Brekhus, 2011). Eksempler på luftbårne systemer er:

- Luft-til-luft varmepumpe
- Vedovn
- Pelletsovn

Eksempler på vannbårne systemer:

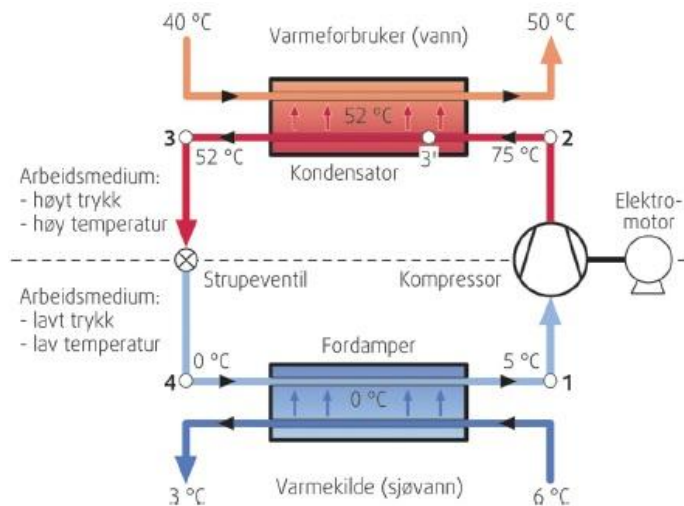
- Luft-til-vann varmepumpe
- Væske-til-vann varmepumpe der varmeuttak fra fjell, grunn, jord eller sjø er aktuelt.
- Vedkjel
- Pelletskjel
- Solfanger

Varmen fra vannbårne systemer kan fordeles via gulvvarmesystemer, radiatorer, viftekonvektorer eller en kombinasjon av disse. Med slike systemer er det naturlig å integrere oppvarming av tappevann.

Videre skal ulike energikilder presenteres. Det er derimot vanlig å kombinere flere løsninger sammen til et system. Alle enheter har et punkt der optimal drift sikres hvor virkningsgraden er høyest. Ved prosjektering av systemer kombinerer man derfor flere enheter slik at man får optimal drift på lav, middels og høy belastning (Bryn et al., 2011). På bakgrunn av dette kapitlet, beregnede energibehov til husene og klimadata skal aktuelle systemer dimensjoneres og vurderes. Dette kommer i kapittel 5, *alternative energiforsyningssystemer*.

2.4.1 Varmepumper

Varmepumper fungerer som et resultat av termodynamikkens 2. hovedsetning som sier at varmeenergi går av seg selv mot lavere temperatur (Novakovic et al., 2007). For å få til en temperaturøkning må man benytte et system som tillater at varmetransporten skjer. Kort fortalt forklares energiuttaket ved at et medium eller en masse nedkjøles ved at temperaturen senkes, mediet/massen avgir følbare varme. Energien transporteres ved ledning eller konveksjon til et annet sted med lavere temperatur hvor den overføres til systemet (Novakovic et al., 2007). Figur 2 viser prosessen.



Figur 2 - Varmepumpens prosesser (Byggforsk, 2009b)

Et varmepumpende anlegg som arbeider etter fordampningsprosessen består hovedsakelig av fire komponenter:

- *Fordamper* - energien tas opp fra omgivelsene
- *Kompressor* - ekstern energi tilføres for å drive systemet
- *Kondensator* - energien avgis som varme
- *Strupeventil/trykkreduksjonsventil* - trykket reduseres uten at energi tapes

Systemet er satt sammen i en lukket rørkrets. Man skiller hovedsakelig mellom luft-til-luft, luft-til-vann og væske-til-vann varmepumper. Ulike varianter av disse skal beskrives under.

2.4.1.1 Luft-til-luft varmepumper

Varmekilden er uteluft som blir resirkulert, renses og oppvarmet med én eller flere inneenheter. Prosessen kan snus og enhetene kan levere kjølig luft. Pumpene egner seg til romoppvarming, men ikke til forvarming av ventilasjonslufta eller varmtvannsberedning (Stene, 2008b). De egner seg aller best til boliger med åpen planløsning slik at man oppnår en god fordeling av tillufta (Byggforsk, 2010).

For passivhus anbefales det at varmepumper dimensjoneres for å dekke hele boligens oppvarmingsbehov, det vil si 100 % effektdekning (Stene, 2008b).

2.4.1.2 Luft-til-vann varmepumpe

Luft-til-vann varmepumper bruker uteluften som varmekilde, men i motsetning til luft-til-luft varmepumpe er det vann som varmes opp og som distribueres rundt i systemet. Denne typen kan brukes både til romoppvarming og varmtvannsberedning.

For passivhus er det viktig at varmepumpen oppnår høy effektfaktor (COP) og at en størst mulig andel av varmtvannsbehovet dekkes, da dette behovet er dominerende (Stene, 2008b).

2.4.1.3 Ventilasjonsluft-til-vann varmepumpe

Ventilasjonslufta som varmekilde og pumpa installeres i boliger med avtrekksventilasjon eller balansert ventilasjon. For passivhus er balansert ventilasjon mest aktuelt. Bruksområdene er oppvarming av varmtvann, romoppvarming og forvarming av ventilasjonsluft (Stene, 2008b).

Det er mulig å kombinere varmepumpen med en varmegjenvinner. Dette er kompakte enheter for kombinert frisklufttilførsel, avtrekk, varmtvannsberedning, oppvarming av ventilasjonsluft og romoppvarming (Stene, 2008b). Dersom bare avtrekksluft brukes som varmekilde, kan systemet kun brukes i passivhus da luftmengden er lav. Varmeveksler kan hente varme fra uteluft eller ved en jord-til-luft varmeveksler for å supplere med mer varme.

2.4.1.4 Væske-til-vann varmepumpe

Varmekilden er jord, sjøvann, innsjøvann eller 80-200 meter vertikale borehull i fjell (Byggforsk, 2010). Varmeoverføringen skjer ved hjelp av et lukket rørsystem med sirkulerende frostvæske. Dette er en indirekte systemløsning fordi varmekilden ikke er i direkte kontakt med det sirkulerende mediet. Systemet kan levere varme til rom- og tappevannsoppvarming. Anlegget kan også levere kjøling. Ved boligbygg kan hele kjølebehovet kunne dekkes med direkte varmeveksling mot varmekilden, det vil si frikjøling.

Fordi varmekilden holder en relativt konstant temperatur får man en høy energidekning og høy effektfaktor (Stene, 2010). Pumpene har høyere årlig energisparing og lengre levetid enn varmepumper med uteluft som varmekilde. Investeringskostnadene er derimot høyere.

2.4.1.5 Vann-til-vann varmepumpe

Grunnvannet er varmekilden og dette er en direkte systemløsning da vannet er i direkte kontakt med fordamperen.(Byggforsk, 2010). Pumpene gir en høy energidekning og effektfaktor fordi vannet har en relativt konstant temperatur (Stene, 2010).

2.4.1.6 CO₂-varmepumper

Dette er en variant av vann-til-vann varmepumpe, men her er CO₂ det arbeidende medium. Når CO₂ benyttes i pumper bidrar det ikke til global oppvarming fordi det benyttes overskudds-CO₂ fra industrien. GWP (Global Warming Potential) er derfor 0 (Stene and Hjerkin, 2010). Ved varmtvannsberedning er pumpen et gunstig alternativ til konvensjonelle pumper.

Analyser viser at varmepumper med karbondioksid som arbeidsmedium kan oppnå opptil 20 % høyere effektfaktor enn de mest energieffektive varmepumpene med konvensjonelle arbeidsmedier. Disse kan i tillegg gi vann med temperatur opptil 90 °C uten behov for tilleggsvarme. Slike pumper er på vei inn i det europeiske markedet (Stene, 2010).

2.4.2 Solenergi

Det finnes to energiforsyningssystemer knyttet til solenergi for boliger (Stene, 2008b);

- **Solceller:** Omdanner sollys til elektrisk energi.
- **Solvarmesystemer:** Solinnstråling blir absorbert i et system og gjøres om til varme.

Norge mottar stråling som tilsvarer 5-10 ganger det totale behovet for energi til rom- og vannoppvarming. Det er ikke mulig å utnytte all energien på en økonomisk og teknisk rasjonell måte (Novakovic et al., 2007). Dessuten er behovet for varme størst når solinnstrålingen er minst. Systemene må derfor vurderes opp mot klimadata og bør kombineres med andre energienheter for å dekke hele effektbehovet.

2.4.2.1 Solceller

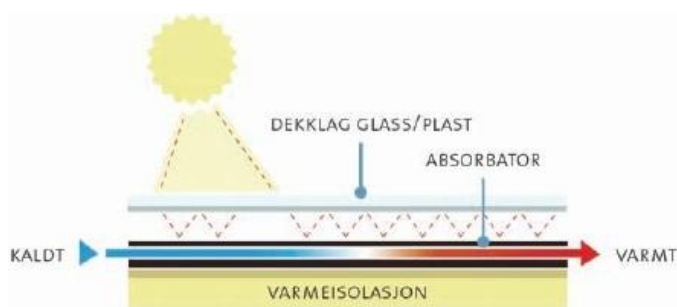
Solcellepaneler omdanner energi fra sola til elektrisitet ved å utnytte den fotoelektriske effekten. Når lys treffer et metall sender metallet ut elektroner. Dette skaper en strøm av elektroner som gir en elektrisk strøm (Aalmen, 2010). Effekten opprettholdes så lenge man har tilgang til sollys. Dette skjer uten at materialer forbrukes.

Et typisk solcellepanel på 1 kW vil i Sør-Norge produsere 800-900 kWh/år (KanEnergi and SINTEF Byggforsk, 2011). Den tekniske levetiden anslås til å ligge på minst 20-30 år.

Utviklingen av bygningsintegreerte solcelleanlegg (BIPV) har vært økende. Med BIPV kan man i større grad tilpasse anleggene til bygningen. Tynnfilmssolceller gir økt fleksibilitet som sikrer en bedre geometrisk tilpasning (KanEnergi and SINTEF Byggforsk, 2011).

2.4.2.2 Solfangere

Strålingsenergien mottas i en absorptor som omformer energien til varme. Absorptoren er ofte en tynn metallplate tar til seg over 98 % av det synlige lyset (Byggforsk, 2011b). Metallplaten omslutes av et gjennomskinnelig dekklag som øker temperaturen. Dette skjer ved at kortbølget stråling passerer dekklaget, mens langbølget strålingen forhindres i å slippe ut. Dekklaget er som regel av plast eller glass. Varmen som er fanget i absorptoren transporteres videre. Figur 3 viser en prinsipiell oppbygging av et solfangersystem.



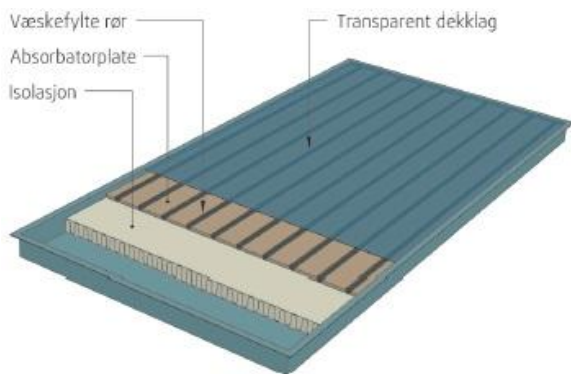
Figur 3 - Prinsipiell oppbygging av en solfanger (Andresen, 2008)

Luftbaserte solfangere kan kobles opp mot ventilasjonssystemer som forvarmer ventilasjonsluften. Væskebaserte systemer benyttes til oppvarming av tappevann og/eller romoppvarming. Det varme vannet lagres i tanker for å kunne brukes ved behov.

For passivhus er væskebaserte systemer best egnet da varme kan leveres både til tappevann og romoppvarming. Systemet kan også enkelt kobles opp mot andre energikilder (Stene, 2008b). Plane solfangere og vakuumsolfangere er aktuelle for norske forhold.

Plane solfangere

Figur 4 viser oppbyggingen av en plan solfanger.



Figur 4 - Oppbygging av en plan solfanger (Byggforsk, 2011b)

Solfangeren består av en absorberplate som omringer væskefylte rør hvor overføring av varme skjer. Et transparent dekklag omslutter systemet, og isolasjon er lagt rundt for å holde på varmen. Slike systemer kan erstatte taktekningen (Byggforsk, 2011b).

Virkningsgraden avtar med økende differanse mellom utetemperaturen og varmbæreren, og ligger på mellom 40 og 75 % (Byggforsk, 2011b). Plane solfangere benyttes der man har behov for vann med tempertur rundt 30-80 °C.

Vakuumsolfangere

Figur 5 viser hvordan en vakuumsolfanger er bygd opp.



Figur 5 - Oppbygging av en vakuumsolfanger (Byggforsk, 2011b)

Systemet består av flere vakuumserte glassrør der absorberatoren er plassert inne i rørene. Fordelen er at varmetapet reduseres ved bruk av vakuum. Man oppnår dermed en høyere temperatur til varmtvannsberedning, mellom 50 og 200 °C (Byggforsk, 2011b).

Virkningsgraden avhenger av temperaturdifferanse og ligger mellom 55 og 75 %. For solvarmeanlegg forventes levetiden å ligge på omtrent 20 år. (KanEnergi and SINTEF Byggforsk, 2011).

2.4.3 Bioenergi

Bioenergi er en fellesbetegnelse på alle typer brensler som har sitt opphav i fotosyntesen. Forbrenning av biomasse er den motsatt prosessen av fotosyntesen og resultatet er frigjørelse av energi (fornybar.no). Biobrensler er bark, flis, kvist, tynningsvirke, ved, briketter, trepellets og avfallsprodukter fra landbruket. I passivhussammenheng er ved, briketter og trepellets aktuelle (Stene, 2008b). I denne rapporten skal ved- og pelletsovner beskrives.

2.4.3.1 Vedovn (+kjel)

I vedovner fyrer man med ved og briketter. Trevirke er fra løv- og bartrær, og briketter er tørket sagflis, spon, og annet treavfall som er presset til kubber under trykk (Stene, 2008b).

Dagens ovner kalles for rentbrennende fordi de har to hvelv som sikrer små utslipp av svevestøv og uforbrente gasser. I primærkammeret brenner veden ved høy temperatur. I sekundærkammeret, over veden, tilføres forvarmet luft slik at uforbrente gasser antennes. Varmeffekten er fra 3 kW med en virkningsgrad på 80 % (Byggforsk, 2010).

Det finnes vedovner med vannmantel eller kjeler koblet til et vannbårent distribusjonssystem. Begge sørger for både romoppvarming og varmtvannsberedning. Kjelerne leveres med en effekt på 15-50 kW. Systemet er turtallsregulert som styrer tilluften. Virkningsgraden ligger på 70-80 % (Byggforsk, 2010).

2.4.3.2 Pelletsovn (+kjel)

Til pelletsovner benyttes trepellets som er finmalt og tørket treavfall presset sammen under høyt trykk (Stene, 2008b). Ovnene har integrert lagertank med automatisk innmating av brenselet og styrt forbrenning. I motsetning til vedovner har pelletsovnene en vifte som er turtallsregulert. Dette gjør at virkningsgraden er høyere. Varmeffekten er på 1,5-10 kW og virkningsgraden mellom 85 og 92 %. En ulempe er støy fra innmatingssystemet. Målte verdier viser derimot at gjennomsnittlig støynivå ligger 5 dBA lavere enn for inneenheten til luft/luft varmpumper (45-50 dBA) (Stene, 2008b).

Pelletsovnene har doble vegger hvor luften sirkulerer og blir oppvarmet. Det gjør at ovnene ikke har varme overflater da varmen overføres til luften ved konveksjon (Stene, 2008b).

Pelletsovnene kommer også med vannmantel eller kjel. Ovnene med vannmantel har et indre volum som er koblet til et system som sørger for romoppvarming og varmtvannsberedning.. Anlegget kan dekke hele byggets behov for romoppvarming og varmtvannsberedning. Kjelen styres automatisk etter ønsket temperatur. Effekten er på 10-80 kW (Stene, 2008b).

Begge ovnene kombinert med kjeler leverer en minimumseffekt som er høyere enn behovet for eneboliger i passivhusstandard. Dersom slike systemer skal brukes er det kun aktuelt i større prosjekter der flere boliger deler et felles varmesystem.

2.4.4 Vindenergi

Et vindkraftverk er en innretning som omdanner vindenergi til elektrisk energi ved hjelp av en turbin. Vinden setter vingene i bevegelse og via en rotor drives en generator som overfører vindenergien til elektrisk kraft (Norsk Vindkraftforening). Det finnes to typer vindturbiner i dag, se figur 6.



Figur 6 - V: Vertikalakslet turbin (energitilskudd.no, 2012). H: Horizontalakslet turbin (NGI)

De vertikale turbinene tåler høyere vindhastigheter, mer turbulens og er derfor bedre egnet i tettbebygde strøk (energitilskudd.no, 2012). Derfor kan disse være interessante som tilknytning til boliger og passivhus.

Vindfordelingen over året er større om vinteren enn om sommeren (Milde). Potensielt er det mulig å kombinere solceller og vindturbiner som er mest effektive i hver sine årstider.

2.4.5 Oppsummering

I tabell 3 er alle systemene samlet.

| Varmepumper | Solenergi | Bioenergi | Vindenergi |
|---------------------------|------------------|--------------------|----------------------|
| Luft-til-luft | Solcellepaneler | Vedovn (+kjel) | Vertikale turbiner |
| Luft-til-vann | Plane solfangere | Pelletsovn (+kjel) | Horisontale turbiner |
| Ventilasjonsluft-til-vann | Vakuumsolfangere | | |
| Væske-til-vann | | | |
| Vann-til-vann | | | |
| CO ₂ -til-vann | | | |

Tabell 3 - Oppsummering av energiforsyningsystemer

Ved valg av energiforsyningsystem er det flere faktorer man kan ta hensyn:

- Teknisk egnethet
- Kapasitet
- Investerings-, drift- og vedlikeholdskostnader
- Innvirkning på miljøet
- Støy fra vifter og pumper
- Fleksibilitet
- Levetid

I kapittel 5 skal noen av systemene dimensjonere til et bestemt passivhus.

3. Parameterstudie av klimaeffekter

Det er gjennomført beregninger for å kartlegge klimaets effekt på ulike typehus.

3.1 Innledning

5 byer i Norge er studert for å vurdere effekten klimaene har på dimensjonering og utforming av passivhus. Én del av energibehovet til bygninger relateres direkte til klimaet. Temperatur, vind og sol er faktorer som påvirker romoppvarmingen og ventilasjonsbehovet (Tokle and Tønnesen, 1999). I hvilken grad dette skjer er undersøkt nærmere i de påfølgende kapitlene.

3.2 Metode

Her presenteres klimadata, husene, grunnlaget og gjennomføring av beregningene.

3.2.1 Klimadata

SINTEF Energiforskning (1999) har inndelt Norge i klimasoner for å bedre forståelse av den klimaavhengige delen av energiforbruket. Alle kommuner er delt inn i 7 soner etter dimensjonerende utetemperatur (DUT), normal årsmiddeltemperatur (T_m), fyringssesongens lengde og graddager. Klimastedene er valgt på bakgrunn av klimasonene og målet har vært å velge byer spredt i flest soner. Følgende klimasteder er valgt med plassering i klimasonene:

1. **Oslo.** Klimason 1, Sør-Norge, innlandsklima.
2. **Bergen.** Klimason 2, Sør-Norge, kystklima.
3. **Trondheim.** Klimason 4, Midt-Norge, kystklima.
4. **Tromsø.** Klimason 6, Nord-Norge, kystklima.
5. **Karasjok.** Klimason 7, Finnmark og innland Troms.

NS3700 (2010) anbefaler bruk av stedlige klimadata fra Meteorologisk Institutt, Meteornorm eller andre kjente steder som følger reglene i World Meteorological Organisation. Følgende klimadata er benyttet i denne oppgaven:

- **SIMIEN:** For Oslo er data hentet fra NS3031. Ellers er Meteornorm benyttet.
- **TEK-sjekk:** For Oslo er NS3031-verdier benyttet. Klimadata for øvrige byer er ikke implementert i programmet.
- Utover dette er data hentet fra Byggforsk detaljblad 451.021 (2009a), som bruker klimadata fra Meteorologisk institutt. Verdiene er fra normalperioden 1970-2000.
- Klimadata fra SINTEF Energiforskning (1999) er fra perioden 1930-1960, og brukes derfor ikke videre. Tabell 4 viser klimadata for hver by.

| | Θ_m [°C] | Θ_s [°C] | Θ_v [°C] | Solfluks [W/m ²] | Nedbør [mm/år] | RF [%] | Vind [m/s] |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| Oslo | 6,3 | 21,5 | -20,0 | 110,0 | 763 | 72,8 | 2,2 |
| Bergen | 7,5 | 18,9 | -11,7 | 86,9 | 2 250 | 79,6 | 3,6 |
| Trondheim | 5,1 | 19,8 | -18,5 | 101,6 | 850 | 77,2 | 4,6 |
| Tromsø | 2,9 | 17,2 | -14,6 | 72,6 | 1 031 | 77,2 | 2,4 |
| Karasjok | -2,5 | 18,5 | -48,0 | 78,9 | 380 | 75,6 | 2,7 |

Tabell 4 - Klimadata

Θ_m - Årsmiddeltemperatur.

Θ_s - Midlere dimensjonerende temperatur sommer.

Θ_v - Midlere dimensjonerende temperatur vinter.

RF - Årsmiddel relativ fuktighet.

3.2.1.1 Solfluks

I NS3031 (1987) angis verdier for solfluks for byene ved ulike orienteringer for hver måned i året. Disse verdiene er brukt i forklaringer og vurderinger av resultatene. Generelt mottar sørvendte fasader høyest fluks. Østlig og vestlig orientering gir like verdier. Mot nord er innstrålingen lavest.

3.2.2 Typehusene

Tre av Nordbohus sine typehus er studert. Det er hustypene Sans, Orion og Arcturus. Husene har ulike størrelser, form og oppbygging som gir dem ulike forutsetninger for å tilpasses passivhuskonseptet. Se vedlegg 2-7 for plantegning og fasadetegning for henholdsvis Sans, Orion og Arcturus.

3.2.2.1 Sans

Sans er et hus i en og en halv etasje. Første etasje er i full høyde (2,4m), mens andre etasje har skrå himling og knevegger. Sans har den mest kvadratiske formen blant husene. Se tabell 5 og figur 7.

| Sans | Verdi | Enhet |
|----------------------------------|------------|----------------|
| Hovedflate, LxB | 10,6 x 8,5 | m |
| Oppvarmet bruksareal, BRA | 143,8 | m ² |
| Oppvarmet volum | 340,8 | m ³ |
| Bygningens omkrets | 36,6 | m |
| Arealandel vindu/dører (pr. BRA) | 21,2 | % |
| Takareal | 77 | m ² |
| Gulvareal | 82,2 | m ² |
| Brutto ytterveggareal | 120,3 | m ² |

Tabell 5 - Dimensjoner Sans



Figur 7 - Sans (Nordbohus AS, 2009)

3.2.2.2 Orion

Orion har full takhøyde (2,4m) i to etasjer, med flat himling, kaldt loft og w-takstoler. Huset er størst i volum og BRA, og har en mer avlang form enn Sans. Se tabell 6 og figur 8.

| Orion | Verdi | Enhet |
|----------------------------------|------------|----------------|
| Hovedflate, LxB | 12,4 x 8,8 | m |
| Oppvarmet bruksareal, BRA | 200,6 | m ² |
| Oppvarmet volum | 482 | m ³ |
| Bygningens omkrets | 40,5 | m |
| Arealandel vindu/dører (pr. BRA) | 17 | % |
| Takareal | 100,3 | m ² |
| Gulvareal | 100,3 | m ² |
| Brutto ytterveggareal | 174,6 | m ² |

Tabell 6 - Dimensjoner Orion



Figur 8 - Orion (Nordbohus AS, 2009)

3.2.2.3 Arcturus

Arcturus er kun i ett plan og har den mest ukurante formen. Med 7 ytre og 3 indre hjørner i fasaden blir det mer krevende å sørge for tetthet og minimering av kuldebroer. Huset er likevel valgt da det er bedre egnet for bevegelseshemmende. Se tabell 7 og figur 9 for data og bilde av Arcturus.

| Arcturus | Verdi | Enhet |
|----------------------------------|-------|----------------|
| Oppvarmet bruksareal, BRA | 129 | m ² |
| Oppvarmet volum | 295,7 | m ³ |
| Bygningens omkrets | 54 | m |
| Arealandel vindu/dører (pr. BRA) | 22 | % |
| Takareal | 129 | m ² |
| Gulvareal | 129 | m ² |
| Brutto ytterveggareal | 101 | m ² |



Figur 9 - Arcturus (Nordbohus AS, 2009)

Tabell 7 - Dimensjoner Arcturus

3.2.3 Kriterier

Det er valgt noen kriterier for dimensjoneringen av husene.

1. Krav til oppvarmingsbehov, enkeltkomponenter og totalt varmetapstall skal nås i henhold til NS3700.
2. Akseptable temperaturforhold både sommer og vinter skal oppnås. SIMIEN angir øvre og nedre temperaturgrense på henholdsvis 26 °C og 17 °C. Disse gjelder også her.

Kriterium 1 er tiltak som gir lavere varmetap og høyere temperatur inne.

Kriterium 2 sikrer god komfort. For å få høy nok innetemperatur vinterstid er det installert tilstrekkelig effekt for romoppvarming. For å holde temperaturen lav sommerstid, må man redusere varmetilskuddet ved å gjennomføre aktive og passive solavskjermingstiltak.

3.2.3.1 Solavskjerming

Det eksisterer flere ulike solavskjermingstiltak og valget er basert på brukervennlighet, estetikk, komfort og energieffektivitet. Kriterier for valg av disse gjengis i prioritert rekkefølge:

- **Komfort** - å få innetemperaturen under 26 °C om sommeren.
- **Brukervennlighet** - all avskjerming styres automatisk etter en gitt solfluks. Dette for å sikre at solavskjermingen blir aktivert tidsnok. Innstillingen kan komme i konflikt med beboernes egne ønsker. En diskusjon på dette kommer i kapittel 3.4, *vurdering*.
- **Energiforbruk** - avskjermingen som gir mest solenergitilskudd (lavest oppvarmingsbehov) til huset er deretter valgt. Mengden soltilskudd bestemmes av solfaktoren for glass kombinert med solavskjerming. Typer solavskjerming som er valgt i denne studien er gjengitt i tabell 8.

- **Estetikk** - solavskjermingstiltakene kombineres slik at dette virker normalt og logisk plassert. Følgende kriterier er fulgt:
 - Like løsninger for vinduer i samme fasade og i samme etasje. Det vil si at sørfasaden i 1.etasje kan ha innvendige persiener og utvendige screen i 2.etasje.
 - Små vinduer som tilhører bad og bod kunne avvikes fra det første punktet da disse gir mindre visuelt uttrykk enn større vinduer.

Kriteriene gjaldt for alle beregninger. Det blir med ikke spesifikk forklart for hver beregning hvilke tiltak som er iverksatt da beregningsmengden er for omfattende. Da solavskjermingen er installert manuelt for hver beregning hadde man god kontroll på valgene. Tabell 8 viser typer solavskjerming som er benyttet. Disse er valgt på bakgrunn av punktene over. Solfaktorene oppgis som hemisfærisk verdi.

| Solavskjerming | Solfaktor (aktivert/ikke-aktivert) |
|--|------------------------------------|
| Ingen avskjerming, 3-lags vindu med argon og 2 LE-belegg | 0,45/0,45 |
| Innvendige persiener, 28mm lameller | 0,31/0,40 |
| Utvendige screen | 0,04/0,40 |

Tabell 8 - Typer solavskjerming benyttet i studien

Med innvendig avskjerming stopper solinnstrålingen på innsiden av glasset noe som tillater en høyere temperatur inne enn ved utvendige screen. Samtidig vil man utnytte mer av sola slik at det beregnede oppvarmingsbehovet blir lavere enn for utvendig skjerming.

Ved utvendige screen vil mindre solenergi slippe inn gjennom vinduet. Det gjør at man får en lavere temperatur inne og et høyere oppvarmingsbehov. Sett ut i fra et energiperspektiv er det derfor valgt innvendige eller ingen solavskjerming dersom temperaturen samtidig er tilfredsstillende.

3.2.4 Gjennomføring

Beregningsstudien er tredelt. Første del tar for seg klimaets relative effekt. Den andre delen fokuserer på ulike solavskjermingstiltak og orienteringer av husene. Siste del ser på hvordan man konkret kan tilpasse husene etter passivhusstandard i hvert enkelt klima. I vedlegg 8 presenteres alle parameterendringene. Gjennomføringen kan detaljert beskrives slik:

1. Et referansehus med faste verdier for enkeltkomponentene er brukt gjennom alle beregningene. Referansehuset er laget med utgangspunkt i Sans slik huset er definert i tabell 5. For å nå kravene i NS3700 er husets enkeltkomponenter justert. Samtidig er nødvendige tiltak som solavskjerming gjennomført i henhold til beskrivelsen i kapittel 3.2.3.1, *solavskjerming*.

Fasaden med høyest arealandel vinduer er omtalt som ”vindusfasaden”. Se vedlegg 2, 4 og 6 for fasadetegninger og henvisning til denne fasaden. Orienteringen av vindusfasaden er sentral med tanke på soltilskudd, og flere av vurderingene knyttes derfor direkte til vindusfasaden.

Med bakgrunn i sørlig orientering av vindusfasaden har enkeltkomponentene fått følgende, faste verdier, se tabell 9.

| Enkeltkomponenter | Faste verdier |
|---|----------------------------|
| U-verdi yttervegg | 0,105 W/m ² K |
| U-verdi tak | 0,09 W/m ² K |
| U-verdi gulv | 0,09 W/m ² K |
| U-verdi vindu | 0,70 W/m ² K |
| U-verdi dør | 0,70 W/m ² K |
| Normalisert kuldebroverdi, Ψ' | 0,02 W/m ² K |
| Årsgjennomsnittlig temperaturvirkingsgrad varmegjenvinner | 81 % |
| SFP-faktor ventilasjonsanlegg | 1,5 kW/(m ³ /s) |
| Lekkasjetall ved 50Pa, n ₅₀ | 0,6 h ⁻¹ |

Tabell 9 - Krav til enkeltkomponenter etter NS3700

Disse verdiene er også valgt for Orion og Arcturus i Oslo, Bergen, Trondheim, Tromsø og Karasjok. Alle med tilstrekkelig solavskjerming. Øvrige inndata i SIMIEN er presentert i vedlegg 9.

2. For Oslo og Tromsø er det gjennomført et sett med parameterendringer med ulike orienteringer av husene. Se vedlegg 10 for detaljert oversikt over beregningstilfellene.
3. Husene er deretter konkret tilpasset etter passivhusstandard for alle fem klimaene. Det vil si enkeltkomponentene er justert for å kartlegge hvilke intervaller i komponentkrav som er mulige.

I forbindelse med punkt 1 er enkeltkomponentene valgt for å få Sans til å bli passivhus. Verdiene er i noen tilfeller bedre enn det man kan forvente i praksis. Det er derfor blitt gjort noen ekstra beregninger underveis med andre verdier for enkeltkomponenter for å vurdere om resultatene er gjeldende også for mer reelle verdier.

I kapittel 3.4, *vurdering*, vil valg av inndataverdier, enkeltkomponenter, kriterier for solavskjerming og andre aktuelle aspekter drøftes.

3.3 Resultater

I forbindelse med denne parameterstudien er det flere spørsmål som ønskes besvart:

- Hvordan vil klimaene påvirke oppvarmingsbehovet? Oslo har både høyest solfluks og årsmiddeltemperatur. Vil det være enklere å oppnå passivhusstandard i Oslo sammenlignet med andre byer? Er det mulig å bygge passivhus i Karasjok med årsmiddeltemperatur under 0 °C og dimensjonerende vintertemperatur på -48 °C?
- Vil ulik orientering av husene gi andre verdier for oppvarmingsbehovene?
- Har formen på huset stor betydning for oppvarmingsbehovet? Har Sans bedre forutsetning for å bli passivhus fordi det er mer kvadratisk enn de andre husene?
- Orion har lavere vindus- og dørandel per BRA enn Sans og Arcturus. Er det en fordel for Orion? Har plasseringen av vinduene på de ulike fasadene en avgjørende betydning for oppvarmingsbehovet?
- Overoppheting av boliger om sommeren er en utfordring for passivhus (COIN, 2010). Hva slags solavskjermingstiltak kan gjennomføres og hvor stor betydning har tiltakene for oppvarmingsbehovet?

Disse spørsmålene blir besvart ved hjelp av beregninger i SIMIEN og TEK-sjekk Energi støttet opp med teori og klimadata. Kapitlet er lagt opp på følgende måte:

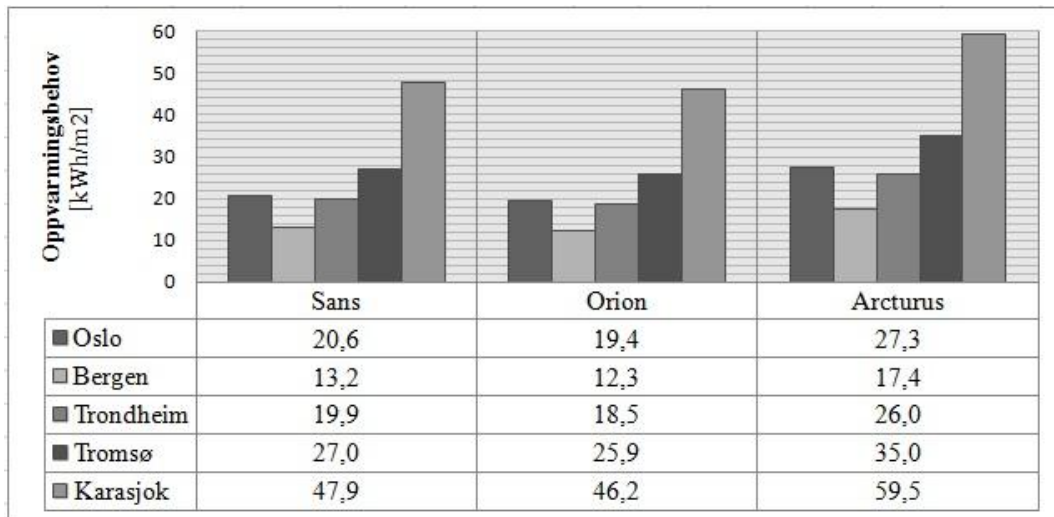
1. De beregnede oppvarmingsbehovene for Sans, Orion og Arcturus sammenlignes med kravene i NS3700 for alle fem klimaene.
2. En studie av ulike grunnflatestørrelser for Orion gjort i TEK-sjekk Energi blir vist.
3. En studie av ulike orienteringer av husene blir gjort for alle fem klimaene.
4. Effekten av installert solavskjerming vurderes.
5. En sammenligning av diverse endringer på fasaden for Sans, Orion og Arcturus blir presentert og vurdert for Oslo og Tromsø.
6. Det blir gjort en konkret tilpasning av husenes enkeltkomponenter til hvert klima.

3.3.1 Oppvarmingsbehov

Som tidligere nevnt er husenes enkeltkomponenter holdt fast for alle beregninger. Målet med dette er konkret å kunne se klimaets effekt på oppvarmingsbehovene.

3.3.1.1 Resultat

Figur 10 viser de beregnede oppvarmingsbehovene med sørlig orientering av vindusfasaden.



Figur 10 - Beregnet oppvarmingsbehov med sørlig orientering av vindusfasaden

Figur 10 viser tydelig hvordan oppvarmingsbehovet endrer seg etter klimasted og at utviklingen er lik for husene. I Bergen er behovet for oppvarming lavest, mens i Karasjok må man betraktelig høyere. Dette skyldes blant annet at Bergen har høyest årsmiddeltemperatur (7,5 °C) og Karasjok har lavest verdi (-2,5 °C). Temperaturene gir en indikasjon på hvor stort varmetapet er.

Verdiene i figur 10 sier derimot ingenting om hvor man oppnår passivhus og i hvilke tilfeller dette er enklest. For å se dette må de beregnede verdiene sammenlignes med de respektive kravene i NS3700. Tabell 10 viser denne sammenligningen.

| Sør | Krav, oppvarmingsbehov [kWh/m ²] | | | Beregnet oppvarmingsbehov [kWh/m ²] | | | Differanse [kWh/m ²] | | |
|----------|--|-------|----------|---|-------|----------|----------------------------------|-------|----------|
| | Sans | Orion | Arcturus | Sans | Orion | Arcturus | Sans | Orion | Arcturus |
| Oslo | 20,8 | 17,8 | 21,6 | 20,6 | 19,4 | 27,3 | 0,2 | -1,6 | -5,7 |
| Bergen | 20,7 | 17,7 | 21,5 | 13,2 | 12,3 | 17,4 | 7,5 | 5,4 | 4,1 |
| Tr.heim | 23,9 | 20,4 | 24,8 | 19,9 | 18,5 | 26,0 | 4,0 | 1,9 | -1,2 |
| Tromsø | 30,0 | 25,8 | 31,1 | 27,0 | 25,9 | 35,0 | 3,0 | -0,1 | -3,9 |
| Karasjok | 44,8 | 38,8 | 46,3 | 47,9 | 46,2 | 59,5 | -3,1 | -7,4 | -13,2 |

Tabell 10 - Beregnet oppvarmingsbehov sammenlignet med krav til oppvarmingsbehov

Differansen viser krav til oppvarmingsbehov fratrukket det beregnede behovet. Negativ verdi viser dermed at passivhusstandard ikke er oppnådd. Følgende slutninger kan trekkes fra dette:

- **Oslo:** Dette er byen med høyest solfluks. Solenergi er gratis energi til husene, men baksiden av medaljen er at innnetemperaturen blir høy om sommeren. Tilstrekkelig solavskjerming må derfor installeres noe som hindrer husene i Oslo å utnytte all solenergien. I Oslo er det kun Sans man kan kalle passivhus under de forutsetningene som er gjort.
- **Bergen:** I Bergen er det mest gunstig å bygge passivhus. Dette forstår man fordi differansen i tabell 10 er størst for Bergen. Årsaken skyldes blant annet to aspekter ved klimaet:
 - Klimaet er mildt og byen har høyest dimensjonerende vintertemperatur. Dette gir mindre varmetap om vinteren som gir et mindre behov for romoppvarming.
 - Sammenlignet med Oslo og Trondheim er solfluksen lavere i Bergen. Behovet for solavskjerming er derfor mindre. Det kan også forstås ved å se at dimensjonerende sommertemperatur er lavere i Bergen. Det betyr at temperaturen er mindre kritisk og man trenger ikke i like stor grad å installere solavskjerming. Alle tre husene kan føres opp som passivhus i Bergen.
- **Trondheim:** Etter Bergen er Trondheim neste på lista over hvor enkelt det er å bygge passivhus. Både Sans og Orion når kravet, mens Arcturus ligger rett over. Trondheim har nesten lik årsmiddeltemperatur og solfluks som Oslo, men de viser likevel ulike resultater i differansekolonnen i tabell 10. Dette kan skyldes flere faktorer:
 - Forskjellen kan generelt forklares med at lavere solfluks og sommertemperatur gir mindre behov for solavskjerming og sjeldnere aktivering av disse.
 - At Oslo har lavere midlere dimensjonerende vintertemperatur spiller en viktig rolle. Dette gjør at varmetapet er større om i Oslo. Et lavere varmetap om vinteren og mindre avskjermingsbehov i Trondheim legger grunnlaget for forskjellen, og forklarer hvorfor Trondheim er et gunstigere sted å bygge passivhus.

Tilsvarende argumenter kan også brukes opp mot Bergen. Bergen er gunstigere enn Trondheim på grunn av høyere vintertemperatur og lavere solfluks på vestlandet.

- **Tromsø:** Her oppnås passivhusstandard kun for Sans, mens Orion ligger rett over kravet. Ser man på differansene kommer Tromsø bedre ut enn Oslo, men dårligere ut enn Bergen og Trondheim. Forklaringen på dette kan ligge i følgende:
 - I Tromsø blir potensialet i solenergien redusert på grunn av solavskjerming, men fordi fluksen er lavest er behovet for avskjerming minst. Kombinert med at Tromsø har mildere klima, det vil si høyere midlere dimensjonerende vintertemperatur (-14,9 °C) enn Oslo (-20 °C), gjør at rangeringen er forståelig.

- Årsaken til at Bergen er gunstigere enn Tromsø skyldes at Bergen har enda høyere dimensjonerende vintertemperatur (mindre varmetap) og lav solfluks.
- Ved kun å se på klimadata er det noe overraskende at Trondheim kommer bedre ut enn Tromsø. I Trondheim er det kaldere om vinteren (større varmetap) og varmere om sommeren kombinert med høyere solfluks som antyder større behov for avskjerming. For å finne ut av dette må man gå i detalj på inntemperatur og solfaktor. Dette skal gjøres i kapitlet 3.3.4, *effekten av solavskjerming*.
- **Karasjok:** Midlere dimensjonerende vintertemperatur på -48 °C og lav årsmiddeltemperatur gjør Karasjok til den kaldeste byen. Varmetapet er stort om vinteren. Samtidig viser beregningene at det er behov for solavskjerming for alle husene i Karasjok. Man har altså utfordringer med overtemperatur om sommeren. Det gjør at man får en ugunstig kombinasjon med stort varmetap om vinteren og avskjermingsbehov om sommeren som gir høyt oppvarmingsbehov. I Karasjok oppnår ingen av husene passivhusstandard.

På generelt grunnlag kan man trekke en slutning om at å ha høyest mulig solfluks ikke er det mest gunstige for passivhus. Temperaturen både om vinter og sommer spiller inn som viktige faktorer. Bergen, Tromsø og Trondheim har alle lavere solfluks enn Oslo og de har høyere vintertemperatur. Mindre solfluks skulle bety mindre gratis solenergi og høyere oppvarmingsbehov. Dette stemmer også, men med sterkere sol og høyere sommertemperatur er behovet for avskjerming større. Det er altså en fordel med høyere temperatur om vinteren kombinert med moderat solinnstråling.

Et aspekt som kan være interessant å nevne er midnattssol og mørketid for Tromsø og Karasjok. Sammenlignet med de øvrige byene får man ingen bidrag fra sola, og behovet for kunstig belysning og varmetilskudd øker i mørkeperioden. Dette vil gi et høyere oppvarmingsbehov. En døgkontinuerlig sol om sommeren kan øke behovet for solavskjerming, men samtidig reduseres behovet for kunstig belysning. Der er mulig at ingen solavskjerming om vinteren (delvis) veier opp for økt avskjerming om sommeren og økt belysning og varmetilskudd om vinteren. Verdier for solfluks og soltimer ligger inne i SIMIEN slik at dette sannsynligvis er tatt hensyn til. Om bruken av husene påvirkes på en annen måte er derimot usikkert. Dette vil ikke bli diskutert videre i denne rapporten.

Relativ endring i forhold til klimaene

En annen vinkling er å se om oppvarmingsbehovene for husene endrer seg likt i forhold til hverandre når klimastedene endres. Målet er å vurdere hvorvidt husets oppbygging, form, arealer etc. har større eller mindre betydning for oppvarmingsbehovet når klimaet endrer seg. I tabell 11 vises den relative endringen av oppvarmingsbehovet i forhold til Oslo.

| | Sans | Orion | Arcturus |
|-----------|------|-------|----------|
| Oslo | 1 | 1 | 1 |
| Bergen | 0,64 | 0,63 | 0,64 |
| Trondheim | 0,97 | 0,95 | 0,95 |
| Tromsø | 1,31 | 1,34 | 1,28 |
| Karasjok | 2,33 | 2,38 | 2,18 |

Tabell 11 - Relativ endring i oppvarmingsbehovet i forhold til Osloklima

I tabell 11 ser man at det hovedsakelig er minimale endringer mellom husene innenfor hver by. I Bergen ligger oppvarmingsbehovet for alle husene på omtrent 60 % av Osloklima. I Trondheim er behovet noe lavere enn i Oslo. Karasjok skiller seg mest ut fra Osloklima og Tromsø ligger omtrent like langt unna Osloklima som Bergen gjør, men i motsatt retning. Tabell 11 viser det samme som diagrammene i figur 10, men presentasjon er vinklet annerledes. I tabell 11 vises det hvordan utslagene mellom husene er innenfor hver by.

I både Trondheim og Bergen endres verdiene omtrent like mye for alle husene seg imellom fra Osloklima. Dersom man går mer i detalj i tabell 11 ser man følgende:

- I Bergen og Trondheim er den relative endringen i oppvarmingsbehovene omtrent like for Sans, Orion og Arcturus i forhold til Osloklima.
- Oppvarmingsbehovet for Orion i Tromsø og Karasjok øker relativt mer enn Sans og Arcturus i forhold til Osloklima.
 - I Tromsø ligger behovet for Orion 2 og 5 % høyere i forhold til henholdsvis Sans og Arcturus.
 - I Karasjok ligger behovet for Orion 2 og 8 % høyere enn henholdsvis Sans og Arcturus.

I Karasjok og Tromsø spriker verdiene mellom husene mer, og dette kan dermed tyde på at dersom klimaene forandres mye fra referanseklimaet vil husenes form og oppbygging spille en større rolle. Det er overraskende at oppvarmingsbehovet for Arcturus relativt øker mindre i Tromsø og Karasjok enn den tilsvarende økningen er for Sans og Orion.

Det er viktig å nevne på at enkeltkomponentene er like for alle husene og beregningene. Forskjeller som oppstår skyldes derfor ulik geometri, dimensjoner og oppbygging. Forklaringen kan ligge i at Arcturus har minst fasadeareal, oppvarmet volum og bruksareal som gir relativt mindre varmetap. Denne forskjellen forsterkes når klimaet endres mye. På den andre siden har Arcturus størst takareal, gulvareal og arealandel vindu/dører per BRA. Det er foreløpig for tidlig å trekke slutninger. Temaet vil bli tatt opp igjen i kapittel 3.3.2 og i vurderingskapitlet 3.4.3.

Andre klimaparametre

Det er tre klimaparametre presentert i tabell 4 som ikke er nevnt i vurderingene; vind, nedbør og relativ fuktighet. Nedbørsmengden varierer fra sted til sted, men har liten innvirkning på oppvarmingsbehovet. Fuktighet kan ha noe å si da forskjell i verdien mellom ute og inne påvirker fukttransporten gjennom konstruksjonen. Med et større potensial vil mulighetene for fukttransport øke. Eventuell varme som er bundet i fukten kan i teorien også transporteres ut. Dette antas å bidra i liten grad. Vind er en parameter som i større grad virker inn på oppvarmingsbehovet. Når vinden blåser vil det oppstå overtrykk fra losiden, mens man får undertrykk på lesiden. Dette vil skape en drivkraft der luft presses inn på den ene siden og suges ut på den andre. Her kan varme potensielt transporteres gjennom konstruksjonen. Det antas likevel at bidraget ikke vil være stort da et viktig kriterium for passivhus er å sikre lufttetthet. Bidraget som skyldes luftlekkasjer er allerede medberegnet i SIMIEN i form av lekkasjetall. Vurderinger utover dette ikke er nødvendig på et beregningsmessig plan.

3.3.1.2 Oppsummering

Oppsummeringen av kapitlet kan sammenfattes i følgende punkter:

- I Bergen er det enklest å oppnå passivhusstandard. I Karasjok er det vanskeligst.
- Det er enklere å gjøre om Sans til passivhus. Arcturus blir kun passivhus i Bergen.
- Høy temperatur og høy solfluks er ikke ensbetydende med hvor enkelt man oppnår passivhus.
 - Jo lavere temperaturen er om vinteren, desto større blir varmetapet og desto vanskeligere er det å oppnå passivhus.
 - Jo høyere solfluks, desto mer solenergi kan utnyttes, men desto mer øker behovet for solavskjerming.
- Høy temperatur om sommeren øker behovet for solavskjerming.

3.3.2 Form-endringsstudie

I denne studien er det blitt studert hvilken innvirkning husets form har på oppvarmingsbehovet. Til studien er beregningsprogrammet TEK-sjekk Energi brukt. Det er enklere å gjennomføre en slik studie i TEK-sjekk Energi uten å måtte gjøre store endringer i husenes og inndataene. Orion var best egnet fordi huset har flat himling med kaldt loft. Med Orion er det enklere å regne ut nytt takareal sammenlignet med Sans som har skrå himling.

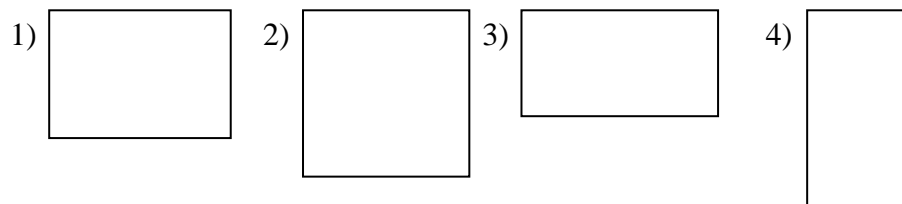
Det er gjort fire beregninger der den første er av referansehuset. Det er valgt verdier for enkeltkomponenter som tilsvarer referansehuset, slik de er presentert i tabell 9 i kapittel 3.2.4 gjennomføring. Følgende inndata er lagt inn i TEK-sjekk Energi, se tabell 12.

| Nr. | Form, b*1 [m*m] | Areal fasader [N/S – Ø/V] | | BRA* [m ²] | V* [m ³] | O [m] | Kommentar |
|-----|--------------------|------------------------------|----|---------------------------|-------------------------|----------|-------------------------------------|
| 1 | 12 * 8,4 | 62 | 43 | 200,6 | 482 | 40,5 | Referansehuset |
| 2 | 10,1 * 10,1 | 53 | 53 | 200,6 | 482 | 40,5 | Kvadratisk |
| 3 | 13 * 7,3 | 68 | 38 | 200,6 | 482 | 40,5 | Avlangt, sør-/nordfasaden er størst |
| 4 | 7,3 * 13 | 38 | 68 | 200,6 | 482 | 40,5 | Avlangt, øst-/vestfasaden er størst |

Tabell 12 - Oversikt over beregninger og parameterendringer i form-endringsstudiet

*Å endre formen samtidig som arealer og volum holdes konstant lar seg ikke gjøre i praksis. En ny form vil gi nytt BRA og volum. I TEK-sjekk Energi legges verdiene inn separat. Slike endringer medfører endringer i huset som vindusplassering, vertikalkommunikasjon, romfunksjoner etc. Dette blir derfor en teoretisk studie.

Skisse 1-4 viser grunnflaten for hver av de 4 beregningene i målestokk 1:500.



3.3.2.1 Resultat

Resultatene viste minimale utslag i oppvarmingsbehovet. Årsaken skyldes at volum og arealer er holdt uendret. Dersom man i stedet endrer disse slik at de stemmer i forhold til formen, får man med den virkelige effekten. Omkretsen er holdt fast slik at de øvrige dimensjonene er justert i forhold til denne. Tabell 13 gir nye verdier for volum og arealer.

| Nr. | Areal fasader [N/S – Ø/V] | | BRA [m ²] | A _{gfl} [m ²] | V [m ³] | O [m] |
|-----|------------------------------|----|--------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------|
| 1 | 62 | 43 | 200,6 | 100,3 | 482 | 40,5 |
| 2 | 53 | 53 | 205 | 102,5 | 492 | 40,5 |
| 3 | 68 | 38 | 188,5 | 94,3 | 452 | 40,5 |
| 4 | 38 | 68 | 188,5 | 94,3 | 452 | 40,5 |

Tabell 13 - Justerte parameterendringer i form-endringsstudiet

Resultatene presenteres i tabell 14. Det er viktig å merke seg at ved endret BRA vil også kravene til oppvarmingsbehov endres. I tabellen vises derfor både hvor mye oppvarmingsbehovet har endret seg i forhold til referansehuset og hvor langt unna hvert beregningstilfelle er sine respektive krav. Negativ verdi betyr at oppvarmingsbehovet er lavere enn verdien som sammenlignes.

| | Krav, oppvarmingsbehov [kWh] | Beregnet oppvarmingsbehov [kWh] | Endring i forhold til beregning 1 [%] | Avvik iht. krav [%] |
|---|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1 | 3 571 | 3 438 | | - 3,7 |
| 2 | 3 588 | 3 425 | - 0,4 | - 4,5 |
| 3 | 3 486 | 3 422 | - 0,5 | - 1,3 |
| 4 | 3 486 | 3 422 | - 0,5 | - 1,3 |

Tabell 14 - Beregnet oppvarmingsbehov i form-endringsstudiet med justerte parametre

Resultatene viser at å endre formen på huset kun gir marginale utslag i behovet. Forskjellene er mer framtredd dersom man sammenligner de beregnede verdiene med de nye kravene. Av tabell 14 ser man at avviket for beregning 2 har økt i forhold til beregning 1. Denne differansen er blitt brukt til å vurdere hvor enkelt man kan oppnå passivhus. Jo større negativ differanse, desto bedre er det. Det antydes derfor at situasjon 2 er mer gunstig enn situasjon 1.

Videre ser man at beregning 3 og 4 gir et utslag som går motsatt vei av beregning 2, differansen minker i forhold til beregning 1. Det kommer også fram at det ikke er forskjell mellom beregning 3 og 4, det spiller ingen rolle hvilken orientering den lengste fasaden har.

Dersom man kun skal bruke siste kolonne i tabell 14 til å avgjøre hvilken form som er mest gunstig, vil svaret være kvadratisk form. Det å gjøre referansehuset mer kvadratisk sørger for at man kommer bedre ut i forhold til kravet. Å forme avlangt gjør at man har mindre å gå på i forhold til kravet. Dette vil derfor være mindre gunstig.

I beregningene er det valgt å bruke fast verdi for omkretsen for så å regne ut én kvadratisk og én avlang form. Ved å velge fast omkrets vil det samlede brutto arealet for ytterveggene være like for beregning 2-4 (211 m²). Ved original form er arealet 1 m² større (212 m²). På bakgrunn av det skulle man forvente at varmetapet gjennom fasadene vil være like for beregning 2-4 og noe større for beregning 1. Derimot viser resultatfilene følgende informasjon om varmetapene.

- *Beregning 2:* Totalt varmetapstall synker i forhold til beregning 1 (fra 0,436 til 0,431). Dette skyldes at varmetapstallet synker for yttervegg og for vinduer/dører. For øvrige parametre vises ingen endringer.
- *Beregning 3 og 4:* Totalt varmetapstall øker i forhold til beregning 1 (fra 0,436 til 0,449). Tilsvarende parametre endres her; varmetapet for yttervegg og vinduer/dører øker, mens de øvrige holder stand.

Disse endringene skyldes at ved endret grunnflate og dermed nytt bruksareal vil også arealandel vinduer/dører per BRA endres. Dette får konsekvenser for både varmetapet og varmtilskuddet. Arealandelen for henholdsvis vinduer/dører og yttervegg per BRA blir som følger:

| Form | Arealandel vinduer/dører per BRA [%] | Arealandel yttervegg per BRA [%] |
|------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| Original | 17,3 | 88,2 |
| Kvadratisk | 17,0 | 85,8 |
| Avlang | 18,4 | 93,3 |

Tabell 15 - Arealandel for vindu/dører og yttervegg per BRA

For kvadratisk form vil altså vindusandelen synke som gir et mindre varmetap gjennom vinduene. Samtidig vil et mindre veggareal og lavere andel føre til at varmetapet synker noe gjennom fasaden. For avlang form vil økt vindusandel i forhold til BRA medføre et større varmetap gjennom vinduene. At varmetapet gjennom ytterveggen samtidig øker forklares på tilsvarende måte ved at andel yttervegg per BRA har økt som følger av redusert bruksareal.

Av tabell 14 ser man likevel at det beregnede oppvarmingsbehovet synker for de nye beregningene gjort i TEK-sjekk. Resultatfilene for beregning 3 og 4 antyder et økt varmetap. Det betyr at varmetilskuddet til huset også endres. Ved endrede arealandeler vil man også få et annet energitilskudd fra sola. For de siste beregningstilfellene vil altså økt arealandel for vinduer medføre et høyere soltilskudd. Dette tilskuddet viser seg å øke omtrent like mye som varmetapet øker slik at den totale endringen blir tilnærmet lik null.

3.3.2.2 Vurdering og oppsummering

Viser denne studien generelt at det å velge en kvadratisk form er mer gunstig enn å velge en avlang form? Eller viser det at å gjøre Orion mer kvadratisk er gunstigere? I studien er ingen enkeltkomponenter endret på, ei heller arealer for vinduer eller dører. Det er kun grunnflaten som endres med effekten at volum og takareal også forandres. Slike forandringer vil også skje for andre hus. Det er ikke spesielle forhold ved Orion som gjør utslagene, men kun ringvirkningen av en ny grunnflate. Endringene medfører nye arealandeler for yttervegger og vinduer i forhold til bruksarealet som forklarer hvordan varmetap og varmetilskudd endres. Derfor vil tilsvarende endringer i grunnflaten for andre hus medføre liknende effekter.

Varmetapstallene for gulv og tak endret seg ikke gjennom beregningene selv om arealene for disse både har blitt økt og senket med flere kvadratmeter. Varmetap gjennom yttervegg og vinduer var utslagsgivende for disse endringene. Dette kan brukes til å vurdere sammenligningen gjort i kapittel 3.3.1.1 om relativ endring i forhold til klimaene.

Det ble nevnt at ulike former på husene gir forskjellig effekt på oppvarmingsbehovet innenfor samme klima. Arcturus har 1m^2 og 5m^2 mer vindusareal og 20m^2 og 70m^2 mindre veggareal enn henholdsvis Sans og Orion. At det relative oppvarmingsbehovet for Arcturus øker mindre enn Sans og Orion kan derfor ligge i at mindre veggareal gir mindre varmetap. Da forskjellen i veggarealene er betydelig større enn vindusarealene, vil naturlig nok utslaget være størst for veggene. At den relative forskjellen mellom Orion og Arcturus er størst, kan også forklares med at veggarealet er større for Orion enn for Sans.

Man skal være litt forsiktig med å gjøre konklusjoner kun på bakgrunn av dette. Det er vist at Arcturus kommer dårligst ut i forhold til oppvarmingsbehov og krav. Samtidig er utslagene i tabell 11 små. Forskjellen som er forsøkt forklart her er kun for å vise at form og oppbygging spiller en rolle og at forskjellen viser seg når utslaget i klimaet blir større. Varmetap er størst gjennom vinduskonstruksjoner. Derfor vil tiltak som å redusere vindusareal alltid være mer lønnsomt enn å gjøre ytterveggene mindre. Likevel viser beregningen og vurderingene at det er to tiltak som er mer relevant enn andre ut ifra et energiperspektiv; å redusere vinduer og å gjøre yttervegger mindre. Det vil si å gjøre huset mer kompakt. (*'å gjøre ytterveggene mindre'* blir et teoretisk utsagn, da dette er vanskelig å få til i praksis. Utspillet må derfor ses i direkte sammenheng med beregningene).

For dette huset medførte altså ikke endringene i formen til noen forandring i oppvarmingsbehovet, men det var endringer i kravet som gjorde at man så effekten av dette. På bakgrunn av denne studien kan det derfor foreløpig konkluderes med at det å gjøre husene mer kvadratiske vil være positivt fordi man får en mer gunstig situasjon i forhold til kravet. Dette gjør at endringen virker bedre, men det har altså liten effekt på oppvarmingsbehovet.

3.3.3 Orientering av husene

I kapitlet er husenes oppvarmingsbehov beregnet ved andre orienteringer enn kun mot sør.

3.3.3.1 Bakgrunn

Utgangsposisjonen i beregningsstudiet var en sørlig orientering av vindusfasaden, det vil si 180 graders orientering i forhold til nord. I denne studien er oppvarmingsbehovet beregnet ved fire ulike orienteringer. Tabell 16 viser alle orienteringene.

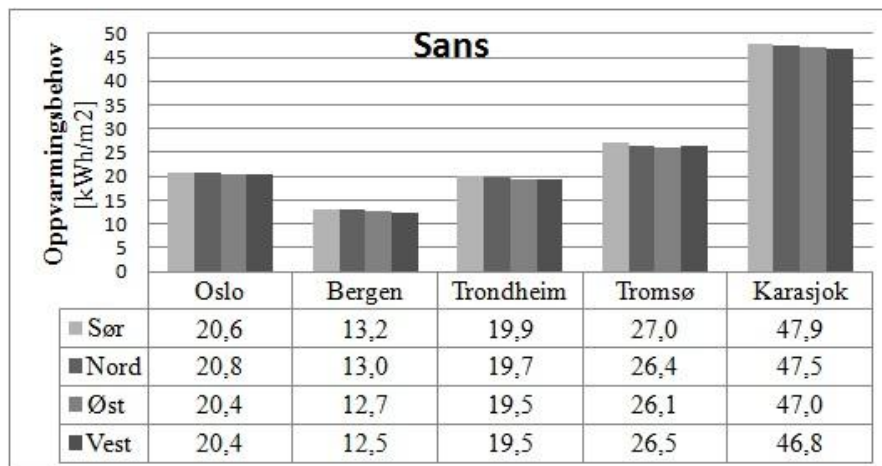
| Orientering | Grader |
|-------------|--------|
| Nord | 0 |
| Øst | 90 |
| Sør | 180 |
| Vest | 270 |

Tabell 16 - Orientering og grader

I forbindelse med hver orientering er solavskjermingen tilpasset slik at kravene om maksimaltemperatur er overholdt. Det er gjort beregninger for alle fem byene med fire orienteringer for alle husene.

3.3.3.2 Resultat Sans

Figur 11 viser hva oppvarmingsbehovet blir ved ulike orienteringer av Sans.



Figur 11 - Beregnet oppvarmingsbehov for ulike orienteringer av Sans

Det er naturlig å anta at det å ha flest vinduer orientert mot sør er det mest gunstige da man kan utnytte mest mulig av solinnstrålingen. Dette er riktig dersom man ikke er avhengig av solavskjermingen slik tilfellet er for denne studien. Det er som nevnt valgt tilstrekkelig solavskjerming, og det har betydning for hvilken orientering som er mest gunstig.

Resultatene viser at det er en liten forskjell å spore mellom orienteringene, men at differansene ikke er nevneverdige store. Dette kan tolkes på flere måter:

- Da forskjellene er små spiller det liten rolle hvilken orientering man velger. Sør-, nord-, øst- eller vestvendt vindusfasade gir liten innvirkning på oppvarmingsbehovet. Dette kan brukes til å tilbakevise påstander om at sørlig orientering er det fortrukne.

- Selv om differansene er små tendensene mer eller mindre like for alle byene. Det kan tolke som at det finnes andre orienteringer som er å foretrekke.

Før dette diskuteres videre skal det gjøres flere vurderinger av resultatene. Dersom resultatene brukes direkte slik de framstår kan følgende hentes ut:

- Sørlig orientering gir høyest oppvarmingsbehov for alle byer bortsett fra Oslo hvor nordlig orientering gir høyest verdi.
- Østlig og vestlig orientering gir lavest oppvarmingsbehov for alle byer bortsett fra Trondheim hvor nordlig orientering gir lavest verdi.

At sørlig orientering gir høyest oppvarmingsbehov kan generelt forklares med at solfluksen er størst mot denne flaten. Dette kan være en ulempe fordi man da er avhengig av mye solavskjerming for å holde temperaturen nede. Med nordlig orientering av vindusfasaden får man mindre soltilskudd, men behovet for solavskjerming er også mindre. Det at østlig og vestlig orientering viser lavest verdier kan forklares med at her oppnås best kombinasjon av solavskjerming og soltilskudd.

Tabell 17 viser prosentvis forskjell i største og laveste verdi for oppvarmingsbehovet i hver by. Orienteringen med høyest verdi er nevnt først.

| Oslo | | Bergen | | Trondheim | | Tromsø | | Karasjok | |
|---------------|-------|----------|-------|--------------|------|---------|-------|----------|-------|
| Nord-vest/øst | 1,9 % | Sør-vest | 5,3 % | Sør-vest/øst | 2,0% | Sør-øst | 3,3 % | Sør-vest | 2,3 % |

Tabell 17 - Prosentvis forskjell mellom høyeste og laveste oppvarmingsbehov for Sans

Dette viser at å rotere Sans gir størst utslag for Bergen der oppvarmingsbehovet reduseres med over 5 %. Forskjellen er minimal for Oslo og Trondheim, men også Tromsø og Karasjok gir små utslag. I Karasjok kommer man fortsatt ikke under kravet.

Årsaken til at Oslo viser en mindre relativ forskjell kan forklares med at byen har høyest solinnstråling. Når innstråling er høy, vil også diffus og reflektert stråling være høy. Selv om man da vrir på huset oppnår man ikke en reduksjon i solavskjermingen fordi strålingen likevel er høy for alle orienteringer. En annen forklaring kan ligge i hvordan strålingsfluksen varierer over året i forhold til orienteringen. Fra og med august til og med mai er strålingsfluksen størst for sørlig orientering I sommermånedene juni og juli er det østlig og vestlig orientering som gir høyest verdi for fluksen (NS 3031, 2007). Derfor vil østlig og vestlig orientering gi mest soltilskudd. Det kan forklare hvorfor disse orientering er gunstige.

For å kunne sammenligne verdiene for Sans med Orion kan det være en fordel å se på hvordan vindusarealene fordeler seg på fasadene. Tabell 18 viser dette.

| Fasade | Vindusareal [m ²] | Andel vindu av totalt areal [%] |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Vindusfasaden (her sør) | 12,76 | 51 |
| Nordfasaden | 4,36 | 18 |
| Østfasaden | 3,05 | 12 |
| Vestfasaden | 4,66 | 19 |
| Sum | 24,83 | 100 |

Tabell 18 - Areal og andel vinduer på fasadene til Sans

Dette kan brukes til å forklare hvorfor det er gunstigere for Bergen å orientere husene fra sør, mot vest.

- Vindusfasaden har en arealandel på 51 % og den motsatte fasaden har 18 %. Med sørlig orientering av vindusfasaden får altså huset størst potensial for mottak av solenergi. Det gjør samtidig at solavskjermingsbehovet blir størst her. Dette kan forklare hvorfor denne orienteringen ikke er den mest gunstige.
- Dersom vindusfasaden har vestlig orientering vil sørlig fasade ha 12 % og nordlig fasade ha 19 % vindusandel. Her får man redusert antall vinduer mot sør noe som kan bety at man har mindre behov for solavskjerming. Mot øst og vest får man i dette tilfellet flest vinduer. Med mindre solinnstrålingen mot disse fasadene, trenger man mindre avskjerming. Dette kan være forklaringen på hvorfor det er gunstigere å vende vindusfasaden vekk fra sør og mot øst eller vest.

Reelle verdier for enkeltkomponenter

I beregningene er det brukt verdier for enkeltkomponenter etter referansehuset for å kunne sammenligne effektene mellom byene og husene. Det er i tillegg gjort noen beregninger med mer aktuelle verdier for enkeltkomponenter for å se om man oppnår det samme utslaget. Dette er gjort for Sans i Bergen (verdier for Oslo kan ikke økes mer). Det er valgt å øke U-verdien for yttervegg og vinduer/dører til henholdsvis 0,15 og 0,80 W/m²K og normalisert kuldebroverdi til 0,03 W/m²K. Dette gav følgende oppvarmingsbehov, se tabell 19.

| Bergen | Oppvarmingsbehov, nye verdier [kWh/m ²] | Oppvarmingsbehov iht. tabell 8 [kWh/m ²] |
|--------|---|--|
| Sør | 19,1 | 13,2 |
| Nord | 17,8 | 13,0 |
| Øst | 17,7 | 12,7 |
| Vest | 17,6 | 12,5 |

Tabell 19 - Oppvarmingsbehov med nye verdier for enkeltkomponenter for Sans i Bergen

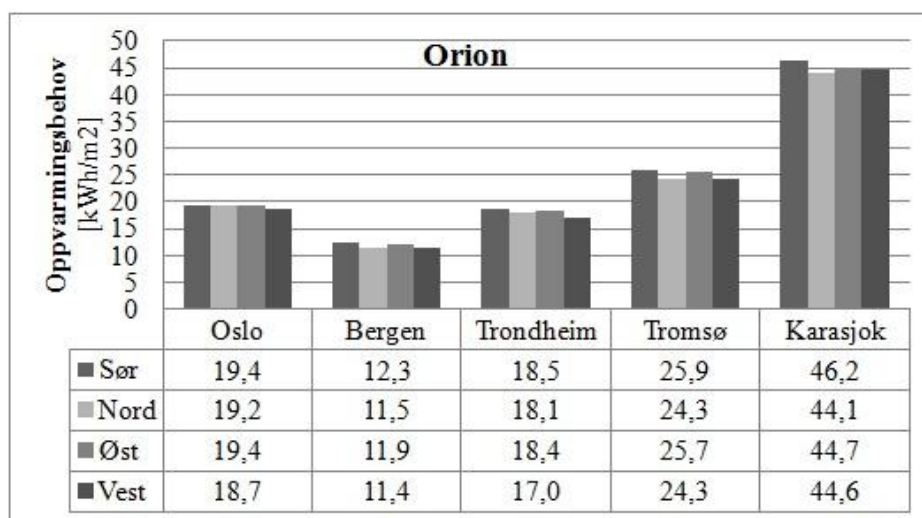
Ved å øke verdier for enkeltkomponenter, øker også varmetapet. Tendensen er lik for de nye verdiene ved at vestlig orientering gir lavest verdi, mens sørlig verdi er høyest. Det som skiller seg ut nå er at den prosentvise forskjellen mellom sør og vest har økt fra 5,3 til 7,8 %. Det betyr at utslagene blir større når varmetapstallet blir større. Forklaringen ligger i at når U-verdiene øker vil varmetapet bli større som gjør at mer varme slipper ut. Man får dermed en lavere temperatur inne som gjør at solavskjermingsbehovet reduseres. Dette gir større utslag i oppvarmingsbehovene.

Det er rimelig å anta at man kan forvente en lignende utvikling også for Trondheim og Tromsø, det vil si at utslagene blir større (gjelder ikke for Oslo og Karasjok da enkeltkomponentene ikke kan endres mer). Det er derimot ikke gjort beregninger på dette.

De innledende resultatene antydte at forskjellene mellom de ulike orienteringene ikke var så store. Ved å studere verdiene for reelle verdier for enkeltkomponenter ble utslaget større. Det er for tidlig å slå fast at en orientering er å foretrekke. Derimot kan man slå fast at sørlig orientering ikke automatisk gir lavest oppvarmingsbehov.

3.3.3.3 Resultat Orion

Figur 12 viser hvor stort oppvarmingsbehovet ble ved de ulike orienteringene for Orion.



Figur 12 - Beregnet oppvarmingsbehov for ulike orienteringer av Orion

Tendensene er like som for Sans. Sørlig orientering gir ikke den mest gunstige situasjonen for noen av byene. Videre kan følgende konkret hentes ut fra figur 12:

- Sørlig orientering gir høyest verdier for oppvarmingsbehovet for alle byene.
- Deretter følger østlig orientering.
- For Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø viser beregningene at lavest oppvarmingsbehov oppnås med vestvendt orientering av vindusfasaden.
- Videre viser nordlig orientering av vindusfasaden gunstige verdier.

Utvalgte verdier i figur 12 skal vurderes relativt for å se den prosentvise endringen. I tabell 20 vises forskjellen mellom høyeste og laveste oppvarmingsbehov for hver by. Orientering med høyest verdi er nevnt først.

| Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| Sør-vest 3,6 % | Sør-vest 7,3 % | Sør-vest 8,1 % | Sør-vest/nord 6,2 % | Sør-nord 4,5 % |

Tabell 20 - Prosentvis forskjell mellom høyeste og laveste oppvarmingsbehov for Orion

Oslo har lavest prosent mens Bergen, Trondheim og Tromsø viser høyere verdier. Her er utslagene større enn for Sans. Følgende hentes ut og vurderes fra tabell 20 og figur 12.

- Det konkluderes med at fordi prosentandelen i Oslo er så liten, kan man i realiteten se bort fra forskjellen. Tilfellet er likt for både Sans og Orion. Derfor blir det riktig å si at man kan velge andre orienteringer av vindusfasaden enn mot sør uten at det gir høyere oppvarmingsbehov. Sagt på en annen måte så behøver ikke hovedtyngden av vinduene plasseres på sørlig fasade.
- For Bergen og Trondheim gir vestlig orientering 7-8 % lavere oppvarmingsbehov enn for sørlig orientering. Denne tendensen så man også for Sans, men nå er prosentandelen blitt høyere.
- I Tromsø er utslagene blitt større enn for Sans. Her vil både vestlig og nordlig orientering være gunstige. Det som er interessant er at kravet til oppvarmingsbehov etter NS3700 ikke ble innfridd for sørlig orientering (jfr. tabell 10). Derimot nås kravet for alle de tre øvrige orienteringene.

Disse resultatene skal forklares ved å se på fordelingen av vindusarealene se tabell 21.

| Fasade | Vindusareal [m ²] | Andel vindu av total areal [%] |
|-------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Vindusfasaden (her sør) | 11,2 | 48 |
| Nordfasaden | 7,6 | 34 |
| Østfasaden | 4,2 | 18 |
| Vestfasaden | 0 | 0 |
| Sum | 23,0 | 100 |

Tabell 21 - Areal og andel vinduer på fasadene til Orion

Følgende kan hentes ut fra tabell 21:

- Med sørlig orientering av vindusfasaden får man også en høy vindusandel på nordsiden. Både Sans og Orion har omtrent 50 % vindusandel på vindusfasaden. Som nevnt antydes at mange vinduer mot sør krever mer solavskjerming. Når samtidig andelen er stor mot nord, vil man motta mindre soltilskudd gjennom disse vinduene. Begge vurderingene forklarer hvorfor sørlig orientering gir høyest oppvarmingsbehov.
- Forklaringen på at nordlig orientering av vindusfasaden gir gunstige verdier kan være at man får et redusert avskjermingsbehov mot sør fordi det er færre vinduer her (34 %). Mot nord blir avskjermingsbehovet automatisk lavt grunnet liten innstråling, her får man utnyttet mer av solen. Å ha færre vinduer mot sør er en fordel, men å ha vinduer mot nord kan også være en fordel da man får utnyttet en relativt større andel av sola på grunn av mindre avskjerming.
- Med vestlig orientering av vindusfasaden, vil nordfasaden ikke ha noen vinduer. Mot sør er vindusandelen på 18 % og totalt vil vindusandelen være på 82 % mot øst og vest. Dette gir altså den mest gunstige situasjonen.

Funnene i dette punktet strider noe med forklaring av punktet over som foreslår at å ha vinduer mot nord også kan være en fordel. Det er tydelig at situasjonen med vestlig orientering gir gunstigst resultat. Dette er likevel forslått som en mulig forklaring fordi vindusandelen fortsatt er noe høy for sørvindue (34 %) ved nordlig orientering av vindusfasaden. Det antas derfor at det ikke utelukkende er dette som er årsaken, men at å ha noen vinduer mot nord kan være gunstigere enn å ha mange vinduer mot sør. Med kun 18 % andel mot sør og 0 % mot nord blir situasjonen annerledes og den eneste logiske forklaringen på dette må derfor være fordelene med få vinduer mot sør. Denne studien går ikke langt nok ned i dybden til å finne konkrete grenseverdier for hvor mange vinduer som lønner seg for hver orientering. Med en ny orientering får man en ny situasjon, dette gjør det vanskelig å konkludere med 100 % sikkerhet.

- Med østlig orientering av vindusfasaden oppstår tilfellet ingen vinduer mot sør og 18 % mot nord. Med denne orienteringen blir oppvarmingsbehovet nest høyest i følge figur 12. Å ha ingen vinduer vendt mot sør er derfor ikke en fordel. Det avkrefter likevel ikke påstanden om at det lønner seg å ha hovedmengden av vinduene vekk fra sør. Det kan derfor eksistere en grense for hvor mange vinduer mot sør som gir best kombinasjon soltilskudd og solavskjerming.

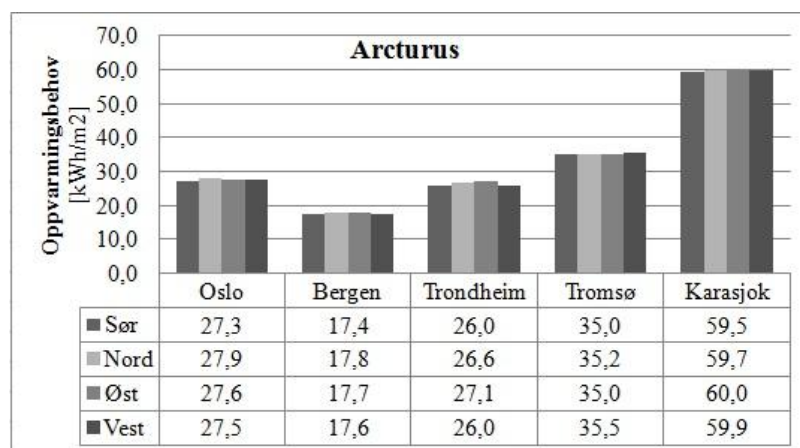
Resultatene skal drøftes videre i kapittel 3.3.3.5, *vurdering og oppsummering*.

Reelle verdier for enkeltkomponenter

Det er ikke valgt å gjøre ekstraberegninger her da det ble gjort for Sans. Resultatene fra de forrige ekstraberegningene antas å gjelde også for Orion slik at verdiene og de prosentvise forbedringene vil bli høyere.

3.3.3.4 Resultat Arcturus

Figur 13 viser resultatene for orienteringsstudiet av Arcturus.



Figur 13 - Beregnet oppvarmingsbehov for ulike orienteringer av Arcturus

Arcturus skiller seg fra de andre husene ved at huset har store vinduer plassert på tre av fasadene. For alle beregningstilfellene har samtlige vinduer utvendig screen for å holde temperaturen nede. Selv om man vrir på huset oppnås ikke en reduksjon i solavskjermingen slik man gjør for de øvrige husene.

I tillegg er temperaturen over 26 °C for alle orienteringer Oslo. Det er dermed umulig å redusere solavskjermingen. Verdiene for Oslo viser derfor at sørlig orientering er mest gunstig fordi man ved en slik situasjon får mest soltilskudd gjennom vinduene/avskjermingen.

Generelt spriker tallene mer for Arcturus mellom byene og det er vanskelig å finne noen klare sammenhenger her. Dette henger sammen med at det er mindre forskjeller mellom vindusandelen på fasadene (Vindusfasade (sør) - 42 %, nordfasade - 19 %, østfasade - 33 % og vestfasade - 5 %). I tillegg til at temperaturen ofte er så høy at det er vanskelig å redusere avskjermingen.

3.3.3.5 Vurdering og oppsummering

Det er mulig å tjene noe på å vurdere orienteringene av husene, men de reelle verdiene av forbedringene er små. Andre faktorer som topografi og lokalt landskap må også vurderes. Mange byer langs vestlandet ligger innerst i fjorder med fjell som omkranser dem spesielt fra øst. Her får husene som regel naturlige orienteringer mot vest. På vestsiden av Oslofjorden er derimot situasjonen motsatt der en østlig orientering og vinduene vendt ut mot havet antas å være ønskelig. Det er ikke alltid man velger orienteringen av husene etter hva som er mest energieffektivt, men i forhold til hvordan topografien og naturen er i området. Denne studien viser at man ikke nødvendigvis må etterstrebe en sørlig orientering, men at man med fordel kan vurdere andre orienteringer.

Kapitlet kan oppsummeres slik:

- I Bergen gir østlig og vestlig orientering lavest oppvarmingsbehov for Sans. Byen skiller seg ut fra de andre med en større forbedring i oppvarmingsbehovet ved nye orienteringer.
- For Orion er utslaget størst for Bergen, Trondheim og Tromsø. Sør er minst gunstig og lavest oppvarmingsbehov oppnås for vindusfasaden vendt mot vest/øst.
- Generelt viser tendensen at østlig og vestlig orientering av vindusfasaden gir gunstigere verdier for oppvarmingsbehovet.
- Sørlig orientering gir høyere oppvarmingsbehov grunnet større behov for solavskjerming. Det lønner seg å ha hovedtyngden av vinduene plassert andre steder enn mot sør fordi man da får utnyttet mer av solinnstrålingen.
- Arcturus gir utvetydige resultater og det er vanskelig å trekke noen konkrete konklusjoner for dette huset i denne studien.

3.3.4 Effekten av solavskjerming

For å holde temperaturen på et akseptabelt nivå sommerstid er man avhengig av å installere solavskjerming på vinduene. Hva slags typer som er benyttet i beregningsstudien, solfaktor for disse og når de aktiveres er presentert i kapittel 3.2.3.1, *solavskjerming*.

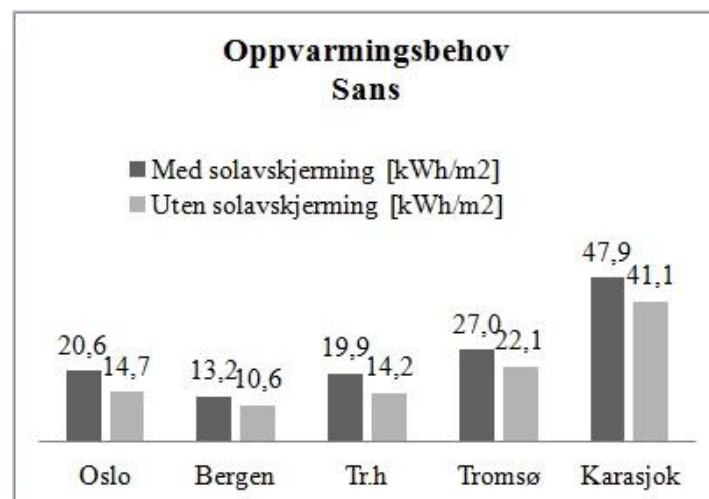
3.3.4.1 Bakgrunn

Solfluks og temperatur påvirker hvor mye solavskjerming som er nødvendig å installere. I SIMIEN er aktuell solavskjerming lagt inn for hvert vindu som resulterer i en samlet solfaktor for glasset og solavskjermingen. I beregningene aktiveres avskjermingen for en solfluks på 175 W/m^2 . Det betyr at for byer som har ulikt midlere solfluks vil disse være aktive i ulike tidsintervaller. Eksempelvis vil avskjermingen i en by med høy solfluks aktiveres tidligere enn for en by med lav fluks fordi solfluksen vil raskere passere grensen for aktivering. Dette er et forhold som ikke kommer fram gjennom kun å se på den samlede solfaktoren.

Det er viktig å presisere at solavskjermingen ikke aktiveres ved gitte temperaturer, men altså for en bestemt solfluks. Når det derimot kjøres temperaturkontroll i SIMIEN vil innetemperaturen være en indikator på om man har behov for solavskjerming. Ved for høy temperatur er man nødt til å installere avskjerming på vinduer. Effekten av ulikt klima er at systemene blir ulikt utformet fra by til by. For noen tilfeller kan man ha lite solavskjerming (høy solfaktor) som aktiveres tidlig (høy solfluks) eller mye avskjerming (lav solfaktor) som aktiveres senere (lav solfluks).

3.3.4.2 Resultat Sans

I dette kapitlet er effekten av solavskjerming studert ved å se på hvor mye av oppvarmingsbehovet som avskjermingssystemet utgjør. Figur 14 viser oppvarmingsbehov for Sans både med og uten solavskjerming.



Figur 14 - Effekten av solavskjerming for Sans

Figur 14 viser hvor stort oppvarmingsbehovet kunne ha vært dersom man ikke hadde hatt utfordringer med sola. Solavskjermingen stopper deler av strålingsfluksen. Hensikten med en slik sammenligning er at mye kan læres om hvordan avskjermingssystemet fungerer ved å sammenligne differansene i oppvarmingsbehovene med solfaktorene i hvert tilfelle.

Å foreslå lufting som en annen strategi for å få ned innnetemperaturen kan også være en mulighet. Dette skal gjøres i kapittel 3.3.5, *endringsstudie*. Tabell 22 viser prosentvis hvor stor forskjellen er mellom oppvarmingsbehovene samt aktuell klimadata for byene.

| Sans | Oslo | Bergen | Tr.heim | Tromsø | Karasjok |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Solfluks [W/m^2] | 110,0 | 86,9 | 101,6 | 72,6 | 78,9 |
| Årsmiddeltemperatur [$^{\circ}\text{C}$] | 6,3 | 7,5 | 5,1 | 2,9 | -2,5 |
| Solfaktor glass + skjerming [-] | 0,13 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,17 |
| Oppvarmingsbehov, m/avskjerming [kWh/m^2] | 20,6 | 13,2 | 19,9 | 27,0 | 47,9 |
| Oppvarmingsbehov, u/avskjerming [kWh/m^2] | 14,7 | 10,6 | 14,2 | 22,1 | 41,1 |
| Forskjell i oppvarmingsbehov [%] | 28,6 | 19,7 | 28,6 | 18,1 | 14,2 |

Tabell 22 - Sammenstilling av beregnet oppvarmingsbehov og klimadata for Sans

Solinnstrålingen utgjør et varmetilskudd til husene, som er større gjennom vinduer enn yttervegger. Oppvarmingsbehovet er en funksjon av varmetap og varmetilskudd. Ved å skjerme for en del av varmetilskuddet, øker dermed oppvarmingsbehovet. Da forskjellen i oppvarmingsbehov er større for Oslo enn Bergen kan det tolkes som at Oslo har et større behov for solavskjerming.

Årsmiddeltemperaturen spiller også inn her da solavskjermingen som er installert i SIMIEN er ment for å kontrollere at temperaturen er lav nok. I byer med lav temperatur er terskelen høyere for å installere avskjerming.

Solfaktoren viser en samlet verdi for glass og solavskjerming, og verdiene angir hvor mye solavskjerming som er installert totalt på huset. I Oslo er det installert mer solavskjerming enn i de øvrige byene da solfaktoren er lavest her.

Dersom man kun vurderer solfluksen for alle byene skulle man anta at byer med høy fluks har størst forskjell i oppvarmingsbehovene, mens byer med lav fluks har minst forskjell. Dette er ikke tilfellet og man må derfor se solfluksen i sammenheng med årsmiddeltemperaturen og solfaktoren. Følgende kan hentes ut fra tabell 22:

- I Oslo når man akkurat kravet til oppvarmingsbehovet etter NS3700. Årsaken til denne utfordringen skyldes blant annet høy solfluks og tilhørende lav solfaktor. Med solavskjerming blir oppvarmingsbehovet 28,6 % ($5,9 \text{ kWh}/\text{m}^2$) høyere i forhold til situasjonen uten avskjerming. Solfaktor på 0,13 betyr at 13 % av strålene som treffer vinduet slipper gjennom når solavskjermingen er aktivert. Høy innstråling kombinert med høy sommertemperatur bidrar til at man må installere tilstrekkelig solavskjerming som gir lav solfaktor.
- Bergen har en midlere solfluks som er lavere enn Oslo som betyr at avskjermingen aktiveres senere her. Det er med andre ord tidligere at solfluksen i Oslo overstiger grensen for når systemene aktiveres. Effekten av det er at i Bergen er systemet deaktivert i lengre perioder enn Oslo, utnytter mer av solenergien og får dermed et lavere oppvarmingsbehov.

Derfor er verdiene for solfaktor (noe høyere enn Oslo - mer sol passerer vinduet) og differansene i oppvarmingsbehovene i Bergen (lavere enn i Oslo – mer sol kan utnyttes) slik de er presentert i tabell 22.

- Trondheim har lavere fluks og lavere årsmiddeltemperatur enn Oslo. Solfaktoren er noe høyere og mer solenergi stråler gjennom vinduet. Disse tallene tyder på at i Trondheim har man mindre solavskjerming installert og derfor burde også differansen være større, men tabell 22 viser at denne er lik. Solavskjermingen står for en like stor andel av oppvarmingsbehovet, men den reelle verdien er større i Oslo (5,9 mot 5,7 kWh/m²).
- I Karasjøk finner man den høyeste solfaktoren. Her slippes en større andel av sollyset inn. Konkret i dette tilfellet betyr det at for noen vinduer er det installert innvendige persienner kontra utvendige screens sammenlignet med Oslo. Det er mindre behov for avskjerming her fordi både solfluksen er lavest og temperaturen er lav.
- Tromsø har lavere fluks og høyere solfaktor enn Karasjøk (mindre soltilskudd og avskjerming). Til tross for dette er forskjellen i oppvarmingsbehovene i tabell 22 større for Tromsø. Avskjermingsbehovet er tilsynelatende større for Tromsø selv om andre verdier tilsier noe annet. Dette forklares med at solavskjermingen ikke kan tilpasses helt perfekt i forhold til en maksimaltemperatur på 26 °C. Ved å kjøre en sommersimulering for begge byene er innnetemperaturen lavere i Tromsø. Det lar seg ikke gjøre å tilpasse avskjermingen slik at temperaturene blir helt like. Effekten er derfor at det er installert mer solavskjerming i Tromsø enn det som egentlig er nødvendig i forhold til temperaturkravet.

Resultatene fra Orion og Arcturus legges som vedlegg 11 da disse har sammenfallende tendenser som Sans. De vies derfor ikke plass her utover at kommentarene og tolkningene for Sans dermed er gjeldene også for disse husene.

Reelle verdier for enkeltkomponenter

Det er valgt å kjøre et sett med ekstraberegninger for å kontrollere at effekten vist over også gjelder dersom man velger reelle verdier for enkeltkomponenter. Dette er gjort for Sans i Bergen, Trondheim og Tromsø (Karasjok når ikke kravet i utgangspunktet og i Oslo kan ikke verdiene endres). Tabell 23 viser nye verdier for oppvarmingsbehovene og forskjellen dem i mellom. Dette sammenlignes med verdiene som ble presentert i tabell 22 som ble oppnådd med referanseverdier.

| | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|-------------------------------------|------|--------|-----------|--------|----------|
| Oppvarmingsbehov m/skjerm. | 20,6 | 19,1 | 23,0 | 29,9 | 47,9 |
| Oppvarmingsbehov u/skjerm. | 14,7 | 15,6 | 16,8 | 24,7 | 41,1 |
| Forskjell i oppvarmingsbehov [%] | 28,6 | 18,3 | 27,0 | 17,4 | 14,2 |
| Forskjell beregnet i tabell 22. [%] | 28,6 | 19,7 | 28,6 | 18,1 | 14,2 |

Tabell 23 - Oppvarmingsbehov og differanser med nye verdier for enkeltkomponenter for Sans

Forskjellen i oppvarmingsbehovene endrer seg ikke drastisk mellom de ulike beregningene, kun mindre enn 2 % forskjell. Samtidig ivaretas den relative forskjellen mellom byene slik at Oslo fortsatt har høyest prosent, Trondheim like bak og deretter Bergen, Tromsø og Karasjok. Dette er en bekreftelse på at verdier, tolkninger og vurderinger gjort over er i tråd med reelle verdier.

3.3.4.3 Oppsummering

Solavskjermingsystemer utformes ulikt i byer med forskjellig klima. Dette skyldes at både årsmiddeltemperaturen og solfluksen varierer mellom byene. I Oslo har man altså størst behov for avskjerming, mens behovet (egentlig) er lavest for Tromsø.

Solavskjermingen står for en betydelig andel av oppvarmingsbehovet. Det burde søkes etter andre måter å sørge for temperaturkontroll på uten at dette påvirker behovet for oppvarming i like stor grad. I kapittel 3.3.5 skal lufting vurderes, mens en diskusjon på solavskjerming og kriterier for dette blir gjort i kapittel 3.4, *vurdering*.

3.3.5 Endringsstudie

I denne studien er det gjennomført flere endringer på huset for å kunne lære hvordan man best kan tilpasse utformingen av passivhusene. Det er kun klimastedene Oslo og Tromsø som er valgt for å se forskjeller og ulikheter mellom byer i hver sin del av landet. Følgende situasjoner er vurdert:

| Parametre | Oslo | | | | Tromsø | | | |
|---|------|---|---|---|--------|---|---|---|
| | S | N | Ø | V | S | N | Ø | V |
| 1 Referansehuset | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 2 Redusert vindusareal vindusfasade | x | x | x | x | x | | x | |
| 3 Redusert vindusareal motsatt fasade | x | x | x | x | x | | x | |
| 4 Flytte vinduer fra en fasade til en annen | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 5 Trekke sørvinduer 10 cm inn i yttervegg | x | x | x | x | x | | x | |
| 6 Trekke alle vinduer 10 cm inn i yttervegg | x | x | x | x | x | | x | |
| 7 Takutstikk, 1 m | x | x | x | x | x | | x | |
| 8 Vinduslufting | x | | | | | | | |

Tabell 24 - Oversikt over endringsstudiet

Beregningene er gjort for Sans, Orion og Arcturus. Resultatene for Arcturus har tidligere vært sprikende og er det også her. På grunn av form og vindusstørrelser er det vanskelig å trekke logiske slutninger for Arcturus. Derfor er disse resultatene utelatt.

Beregning 1: Disse beregningene er gjort tidligere og er da omtalt som referansehuset. Oppvarmingsbehovene fra beregning 2-8 er sammenlignet med oppvarmingsbehovet for referansehuset.

Beregning 2 og 3: Tidligere beregningene antyder at å ha vindusfasaden mot øst eller vest kan være gunstig. Dette er sjekket ved å redusere vindusarealet på vindusfasaden. Lønner det seg å ha færre vinduer mot nord eller det mer gunstig å redusere vindusarealet mot sør?

Beregning 4: Denne beregningen er en variant av nr 2 og 3, men her er ingen vinduer fjernet. Målet er å se hvordan oppvarmingsbehovet endrer seg ved å flytte vinduer fra en fasade til en annen. Når forflytningen er gjort beregnes oppvarmingsbehovet for alle fire orienteringene. Vil en forflytning av vinduer gjøre at man finner en gunstigere plassering med tanke på solavskjerming?

Beregning 5, 6 og 7. Disse beregningene er alle solavskjermingstiltak. Ved å bygge vinduene inn i veggen er det undersøkt om man kan redusere solavskjermingstiltakene som tidligere er gjort, og om dette medfører et lavere oppvarmingsbehov. Utvendig screen stopper 96 % av solenergien når den er aktivert. Vil et takutstikk eller inntrukket vindu sørge for en gunstigere solavskjerming?

Beregning 8. For å få bukt med for høye temperaturer kan det være aktuelt å luften i de varmeste periodene. Ved å få til god lufting kan effekten være at man kan redusere solavskjermingen.

Tabell 25 viser konkret hvilke endringer som er gjort for reduksjon og forflytning av vindusarealer.

| Beregning | Tiltak | Sans | Orion | Arcturus |
|-----------|---|------|-------|----------|
| 2 | Redusert vindusareal vindusfasade [m ²] | 3,03 | 2,8 | 2,43 |
| 3 | Redusert vindusareal motsatt fasade [m ²] | 2,08 | 1,4 | 2,43 |
| 4 | Vinduer flyttet til ”sofavegg” [m ²] | 5,22 | 2,8 | 3,24 |

Tabell 25 - Parameterendringer for beregning nummer 2, 3 og 4

3.3.5.1 Resultat beregning 2 - redusert vindusareal

Ved reduksjon av vindusarealene er det tatt hensyn til at glassflaten skal være større enn 10 % av rommets gulvareal, slik det er anbefalt i veiledning om teknisk krav til byggverk (2010). Derfor er ulike vindusarealer redusert for de ulike husene, slik tabell 25 viser, og husene kan ikke uten videre sammenlignes.

Sans

Tabell 26 sammenligner oppvarmingsbehovet til referansehuset med behovet oppnådd ved redusert vindusareal for vindusfasaden ved ulike orienteringer.

| Sans | Oslo | | | | Tromsø | | | |
|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | S | N | Ø | V | S | N | Ø | V |
| Ber.1 | 20,6 | 20,8 | 20,4 | 20,4 | 27,0 | 26,4 | 26,1 | 26,5 |
| Ber.2 | 19,8 | 19,4 | 19,4 | 19,4 | 25,5 | 24,6 | 24,5 | 24,9 |
| % | -3,9 | -6,7 | -4,9 | -4,9 | -5,6 | -6,8 | -6,1 | -6,0 |

Tabell 26 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 2 for Sans

Det er opplagt at man for alle beregningene får ett redusert oppvarmingsbehov når man tar bort noe av vindusarealet. Da fjerner man en konstruksjonsdel og erstatter den med en annen del som har lavere U-verdi og som gir ett mindre varmetap. Følgende punkter kan hentes ut fra tabellen:

- Å redusere vindusarealet for sørlig orientering av vindusfasaden gir minst reduksjon i oppvarmingsbehovet.
- Med nordlig orientering av vindusfasaden oppnår man en størst reduksjon av oppvarmingsbehovet.
- Østlig og vestlig orientering gir lik reduksjon i oppvarmingsbehovet for begge byene.
- Reduksjonen er noe høyere i Tromsø enn i Oslo.

Det kan bekreftes at å redusere vindusarealet er gunstigere for Tromsø enn Oslo. Det er ikke overraskende dersom man studerer varmetap og varmetilskudd. Formelen for varmetap kan skrives slik:

$$Q_{\text{tap}} = U * A * \Delta\Theta * h \quad [\text{Wh}] \quad (2)$$

Ved å fjerne en konstruksjonsdel og erstatte den med annen del som har lavere U-verdi, vil forskjellen i varmetap være større for Tromsø. Dette på grunn av at Tromsø har større $\Delta\Theta$. Solinnstrålingen er også annerledes. I Oslo er verdien høyest og ved å fjerne vindusareal vil reduksjonen i solenergi være større i Oslo, se tabell 27.

| | Solfluks | Redusert areal | Redusert effekt |
|--------|----------------------|---------------------|-----------------|
| Oslo | 110 W/m ² | 3,03 m ² | 333,3 W |
| Tromsø | 72 W/m ² | 3,03 m ² | 218,2 W |

Tabell 27 - Redusert effekt fra sola ved fjerning av vinduer

Her ser man at å redusere vindusarealet i Oslo medfører en større reduksjon i varmetilskuddet i Oslo. Samlet sett vil varmetapet reduseres mer i Tromsø og solenergitilskuddet reduseres mest i Oslo. Begge disse vurderingene forklarer hvorfor det er gunstigere å redusere vindusarealene i Tromsø.

Tidligere beregninger viser at det lønner seg å ha færre vinduer på sørvendt fasade og flest vinduer mot øst og vest. Det er også vist at å ha noen vinduer mot nord ikke er en ulempe. Denne studien har en annen vinkling da den reduserer vindusarealet. Det medfører at vindusfasaden får en lavere arealandel og de øvrige fasadene øker andelen noe.

Det er vanskelig å finne en god forklaring på utslagene annet enn effekten av ulik avskjerming mellom beregningstilfellene.

Orion

Tabell 28 viser resultatene for Orion når man reduserer vindusarealet på vindusfasaden.

| Orion | Oslo | | | | Tromsø | | | |
|-------|------|------|------|------|--------|------|------|------|
| | S | N | Ø | V | S | N | Ø | V |
| Ber.1 | 19,4 | 19,2 | 19,4 | 18,7 | 25,9 | 24,3 | 25,7 | 24,3 |
| Ber.2 | 18,8 | 18,7 | 18,3 | 18,0 | 24,2 | 23,6 | 23,8 | 23,4 |
| % | -3,1 | -2,6 | -5,7 | -3,7 | -6,6 | -2,9 | -7,4 | -3,7 |

Tabell 28 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 2 for Orion

For Orion er også tendensen at det er mer gunstigere å redusere arealer i Tromsø. Dette bekrefter det som ble funnet for Sans.

Resultatene skiller seg en del ut fra de tilsvarende beregningene gjort for Sans. Fra tabell 28 kan følgende hentes ut:

- Å redusere vindusarealer for østlig orientering gir størst reduksjon i oppvarmingsbehovet.
- Det er minst gunstig for nordlig orientering.
- Det er gunstigere å redusere areal med sørlig orientering i Tromsø enn i Oslo.

Tendensene for byene er ikke sammenfallende, samme orienteringer gir ulike utslag i Tromsø og Oslo. Resultatene skiller seg også ut i forhold til Sans. Hadde resultatene for Sans og Orion vært i nærheten av hverandre, kunne det blitt brukt til å finne en generell anbefaling på hvor vinduene bør plasseres.

Tidligere er det vist at man ikke oppnår passivhusstandard for Orion i hverken Oslo eller Tromsø. Kravene er på 17,8 og 25,8 kWh/m² for henholdsvis Oslo og Tromsø.

Det betyr at ved å fjerne 2,8 m² av vindusarealet vil man oppnå passivhusstandard for Tromsø for alle orienteringene. Dette er ikke tilfellet for Oslo. Her er man fortsatt noe over kravet.

Resultatene for Orion og Sans kan ikke generaliseres for andre hus da det er få sammenhenger mellom resultatene. Det interessante er at oppvarmingsbehovet reduseres mest for Tromsø. Forklaringen er logisk, men gjennom beregningene ble dette synliggjort. Det kan videre være enklere å gjennomføre lignende studier på et hus som ikke er detaljprosjektert. Det vil si et hus uten plassering av møbler og utstyr slik at man står friere til å flytte og ”leke seg” med vinduene. For Sans og Orion er romfunksjonene og utforming allerede låst, slik at det er begrenset hva som kan endres. Resultatene viser naturligvis at det lønner seg å redusere vindusareal ut ifra et energiperspektiv, men basert på denne studien kan man ikke slå fast på hvilke fasader dette lønner seg.

3.3.5.2 Resultat beregning 3 - redusert vindusareal

Det er fjernet et ulikt vindusareal for husene også her. Beregning for Sans og Orion kan derfor ikke uten videre sammenlignes. For denne studien er det kun valgt å se på nordlig og sørlig orientering av vindusfasadene da det kun er disse resultatene som gir utslag av interesse. For øvrige orienteringer er utslagene så små at de anses som ikke aktuelle. S og N står for henholdsvis sørlig og nordlig orientering av vindusfasaden. I parentes oppgis hvilken fasade som har fått redusert vindusarealet, altså motsatt fasade av vindusfasaden.

Resultatene fra beregningene av Sans og Orion er like slik at forklaringene gjøres basert på begge beregningene. I tabell 29 vises resultatene for Sans.

| Sans | Oslo | | Tromsø | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | S (N) | N (S) | S (N) | N (S) |
| Ber.1 | 20,6 | 20,8 | 27,0 | 26,4 |
| Ber.3 | 20,4 | 19,8 | 26,3 | 25,7 |
| % | -1,0 | -4,8 | -2,6 | -2,7 |

Tabell 29 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 3 for Sans

I tabell 30 vises resultatene for Orion.

| Orion | Oslo | | Tromsø | |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | S (N) | N (S) | S (N) | N (S) |
| Ber.1 | 19,4 | 19,2 | 25,9 | 24,3 |
| Ber.3 | 19,2 | 18,9 | 25,8 | 24,2 |
| % | -1,0 | -1,6 | -0,4 | -0,4 |

Tabell 30 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 3 for Orion

Effekten av endringene er minimale og bidraget disse gir er så små at det er vanskelig å trekke noen konklusjoner ut i fra dem. Avvikene mellom orienteringene er også ubetydelige slik at det knapt lar seg gjøre å forklare dem på en logisk måte.

Et annet aspekt som må nevnes er at vindusreduksjonen skjer for små rom og soner. For både Sans og Orion er vindusfasaden knyttet til en stor sone med kjøkken og stue. Endringer i denne sonen vil derfor ha større innvirkning på oppvarmingsbehovet. For motsatte fasade finner man mindre rom som bodar, bad og soverom. Det betyr at effekten av endringene gir minimale ringvirkninger. Det er kun de små, berørte sonene som påvirkes.

Dessuten er det kun et mindre areal som kan reduseres for disse vinduene nettopp fordi sonene er så små. Det medfører at man har mindre å gå på i forhold til minimum 10 % lysåpning av gulvarealet i rommet.

Resultatene viser at det er lite fornuftig å vurdere slike tiltak når sonene er små og arealreduksjonen blir liten. Studien er likevel presentert for å vise at skal man forske på vindusplasseringer og endringer av vindusstørrelser, må man vurdere nøye hvordan soneinndelingen bør gjøres og hvilke rom som er tilknyttet de ulike vinduene.

3.3.5.3 Resultat beregning 4 - flytte vinduer

Det er studert hvorvidt det å flytte vinduer fra vindusfasaden til en annen fasade har påvirkning på oppvarmingsbehovet. Sans og Orion kan heller ikke her sammenlignes da vinduene flyttes ulikt grunnet kjøkkeninnredning og andre praktiske utfordringer.

I tabell 31 og 32 presenteres oppvarmingsbehovet for Sans og Orion. Orienteringen av vindusfasaden angis som S, N, Ø og V. I parentes oppgis hvilken fasade vinduene flyttes til. Vinduene blir flyttet én gang og deretter gjøres beregningene på de fire ulike orienteringene. Vinduene flyttes innenfor samme sone, dette er den største sonen i husene.

I tabell 31 vises resultatene for Sans.

| Sans | Oslo | | | | Tromsø | | | |
|-------|------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|----------|------------|
| | S (V) | N (Ø) | Ø (S) | V (N) | S (V) | N (Ø) | Ø (S) | V (N) |
| Ber.1 | 20,6 | 20,8 | 20,4 | 20,4 | 27,0 | 26,4 | 26,1 | 26,5 |
| Ber.4 | 20,7 | 20,5 | 20,3 | 20,9 | 27,2 | 26,7 | 26,1 | 26,7 |
| % | 0,5 | -1,4 | -0,5 | 2,5 | 0,7 | 1,1 | 0 | 0,8 |

Tabell 31 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 4 for Sans

I tabell 32 vises resultatene for Orion.

| Orion | Oslo | | | | Tromsø | | | |
|-------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | S (Ø) | N (V) | Ø (N) | V (S) | S (Ø) | N (V) | Ø (N) | V (S) |
| Ber.1 | 19,4 | 19,2 | 19,4 | 18,7 | 25,9 | 24,3 | 25,7 | 24,3 |
| Ber.4 | 19,2 | 19,3 | 19,0 | 19,3 | 24,9 | 24,2 | 24,5 | 24,1 |
| % | -1,0 | 0,5 | -2,1 | 3,2 | -3,9 | -0,4 | -4,7 | -0,8 |

Tabell 32 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 4 for Orion

Det er generelt veldig små forskjeller mellom beregningstilfellene. Endringene gir små utslag og verdiene spriker mellom byene.

Dersom sonen hadde vært delt i to like store soner slik at man kunne ha flyttet vinduer mellom sonene, kunne det muligens ha gitt andre utslag. Da ville man hatt muligheten til å gjøre konkrete endringer i solavskjermingen innenfor hver av sonene. I disse tilfellene blir det ikke like aktuelt å endre på avskjermingen da man fortsatt er innefor samme sone. Det man kan hente fra resultatene er at det er lite fornuftig å flytte vinduer mellom fasader. Dette gir ingen gevinst i oppvarmingsbehovet. Disse beregningene gir heller ingen konklusjoner i forhold til hvilken fasade det er mest lønnsomt å ha vinduer.

3.3.5.4 Resultat beregning 5, 6 og 7 - inntrukket vinduer og takutstikk

De fleste resultatene fra disse beregningene var entydige, det vil si at oppvarmingsbehovene skilte seg lite eller ingen ting fra beregning 1. Dette gjelder for alle tre husene, og resultatene vil derfor ikke vises. Derimot for Orion i Tromsø viste resultatene at det er mulig å spare inn noen prosenter på oppvarmingsbehovet ved å velge andre løsninger for solavskjermingen. Tabell 33 viser verdiene for Tromsø med vindusfasaden vendt mot øst.

| Nr. | Oppvarmingsbehov [kWh/m ²] | Endring iht. nr.1 [%] |
|-----|--|-----------------------|
| 1 | 25,7 | - |
| 5 | 24,9 | -3,1 |
| 6 | 25,0 | -2,7 |
| 7 | 24,4 | -5,1 |

Tabell 33 - Sammenligning av oppvarmingsbehov for beregning 1 og 5-7 for Orion i Tromsø

Dette var de eneste beregningstilfellene for beregning 5,6 og 7 hvor beregningene gav noe utslag. For disse endringene har man mulighet til å redusere solavskjermingssystemene som tidligere er installert. Det er usikkert hvorfor dette kun gjelder for Tromsø og østlig orientering. I kapittel 3.3.4.2, *effekt av solavskjerming - resultater Sans*, ble en sommersimulering gjort for Tromsø og Karasjøk for å sjekke innnetemperaturen. Her kom det fram at avskjermingen var noe overdimensjonert for Tromsø. Vurderingen av resultatene i tabell 33 kan derfor ligge i samme forklaring. Med takutstikk og inntrukket vindu kan man ha funnet solavskjermingstiltak som er bedre egnet og som gjør at avskjermingen er bedre tilpasset i forhold til maksimaltemperaturen.

Resultatene skiller seg ut fra øvrige resultater (også i forhold til sørlig orientering av vindusfasaden i Tromsø). Det legges ikke for mye vekt på disse verdiene. Beregningen er med andre ord ikke konkluderende for at slike solavskjermingstiltak er lønnsomme.

3.3.5.5 Resultat beregning 8 - lufting

Det er gjennomført noen beregninger på Sans i Oslo for å se om vinduslufting er mer gunstig enn solavskjerming for å sikre temperaturkontroll. I SIMIEN legges lufting inn for hver fasade ved å angi størrelse på vinduene som åpnes. Videre kan man velge mellom 2 luftestrategier; etter utetemperatur og vindhastighet etter EN 15 242 eller etter prosentandelen vinduene er åpnet i driftstiden. For sistnevnte kan man legge inn verdier manuelt.

Det er valgt å prøve ut flere ulike kombinasjoner av vinduer som åpnes og luftestrategier. Eksempler kan være to vinduer på motsatte fasader i første etasje, ett åpent vindu i første og et annet åpent vindu i andre etasje eller alle vinduene i en sone. Felles for alle resultatene er:

- Temperaturen øker med 0,1-0,3 °C uavhengig av kombinasjoner valgt.
- For alle varianter øker oppvarmingsbehovet.

Oppsummert tyder det på at lufting som alternativ til screen ikke er et aktuelt i disse tilfellene.

3.3.5.6 Vurdering og oppsummering

Målet med kapitlet har vært å finne spesifikke tiltak som kan foreslås som mulige forbedringer for husene. Generelt viser resultatet at det er lite å hente på forslagene. Det er ikke gjennomført omfattende beregninger med detaljerte og tallrike parameterendringer. Disse studiene er derfor verken konkluderende eller kan generaliseres til andre hustyper. Til det må man legge opp studien på andre måter med mer generelle bygningskropper. Andre vurderinger av studien er:

- Det er sannsynligvis ingen bolighusprodusenter som spesialtegner hus til hvert enkelt prosjekt. Å bruke tid på å endre fasader, vindusplasseringer og -størrelser i forhold til hvert enkelt klima er prosesser som ikke er forenlig med vanlig praksis. Derimot kan slike studier gjøres dersom man benytter et hus som er designet for slike endringer. Enklere soneinndeling, større soner og et utgangspunkt med uniform fordeling av vinduer på fasadene kan gi et grunnlag som er enklere å arbeide med. Da kan man i større grad gjøre systematiske beregninger.
- Utstikket som er installert på taket strekker seg 1m ut fra vegglivet. Denne kunne vært valgt større for å kaste en lengre skygge på fasaden. Sannsynligvis ville det ikke direkte påvirket vinduene i første etasje, men det kunne kastet mer skygge på de øverste vinduene. En slik studie kunne studert solbane for å finne optimal lengde på utstikket i forhold til skyggevirksomhet om sommeren og soltilskudd ved oppvarmingsbehov.
- Lufting kunne i større grad vært inkludert i studien, da det å åpne vinduer er et vanlig bruksmønster i norske boliger. Dette er et forhold som påvirker både temperatur og oppvarmingsbehov. I forhold til beregning 8 kunne man gjennomført flere systematiske forsøk på ulike luftestrategier. Man kan forstå hvorfor lufting ikke er lønnsomt om sommeren med forutsetningene som er valgt i denne rapporten. Temperaturen ute kan ofte være høyere enn kravet som er satt for innetemperatur (i sola kan temperaturen bli veldig høy). Det å åpne vinduer vil dermed medføre høyere temperatur inne. Man kan naturligvis prøve å krysslufte som gir gjennomtrekk i huset. Dette vil riktignok ikke føre til lavere temperatur, men bevegelsen i lufta vil gi en svalende effekt. På vindstille dager vil ikke det hjelpe.

Kapitlet kan oppsummeres med følgende punkter:

- Ulike reduksjoner av vindusarealet viste at oppvarmingsbehovet endret seg ulikt avhengig av orienteringen vindusfasaden hadde. Forsøkene ble gjort for å kunne finne en bedre fordeling av vinduene på fasadene som kunne generaliseres til flere hus. Da resultatene sprikte mellom beregningene, kunne ikke dette gjøres. Oppbygging av husene, soneinndeling i SIMIEN og klimadata spiller inn på resultatet. Studien er ikke lagt nok til rette for å studere slike endringer.
- Å flytte vinduer rundt på fasaden har lite for seg. Dette ble gjort for å sjekke om det var mulig å finne en vindusandel på de ulike fasadene som var mer optimal enn andre. Oppvarmingsbehovene endret seg derimot lite mellom beregningen.
- Med vinduer inntrukket i fasadene får man ikke nok naturlig avskjerming til at det kan redusere den installerte solavskjermingen. Oppvarmingsbehovene endres lite i forhold til referansehuset.
- Å bygge takutstikk slik det er forslått bidrar ikke til redusert oppvarmingsbehov. Det anbefales derfor ikke å gjennomføre slik tiltak dersom ønsket er å redusere antall persienner/screens. Det anbefales likevel at dersom man skal bygge takutstikk bør det gjøres med andre ønsker og kriterier til grunn enn for redusert oppvarmingsbehov.
- Lufting ble foreslått som et mulig alternativ for å senke temperaturen i huset. Beregningene viser at dette ikke er lønnsomt da både innnetemperaturen og oppvarmingsbehovet øker.

3.3.6 Tilpasning av husene til lokalklima

I kapitlet er husenes enkeltkomponenter tilpasset hvert klima for å få et konkret bilde av hvordan passivhusene er dimensjonert. Man sitter igjen med verdier for enkeltkomponentene som er unike for passivhusene i hvert klima. Det er fortsatt valgt å tilpasse solavskjermingen slik at ønsket innetemperatur oppnås.

Det er valgt ikke å sette bedre verdier for enkeltkomponentene enn det som er valgt i referansehuset da disse er strukket langt allerede. For å se for hvilke intervaller enkeltkomponentene kan ligge mellom, er alle verdiene holdt uendret for så å variere én parameter om gangen. Verdier for normalisert kuldebro, U-verdi dør, tak og gulv er holdt fast. De to førstnevnte kan i mindre grad justeres av praktiske årsaker, mens de to sistnevnte er realistiske og ønskelig verdier. I tabell 34 vises de faste verdiene og hvilke som justeres. I resultatene vises kun verdiene for de endrede parametrene.

| Enkeltkomponenter | Faste verdier | Justeres enkeltvis |
|---|------------------------------|--------------------|
| U-verdi yttervegg | (0,105 W/m ² K) | x |
| U-verdi tak | 0,09 W/m ² K | |
| U-verdi gulv | 0,09 W/m ² K | |
| U-verdi vindu | (0,74 W/m ² K) | x |
| U-verdi dør | 0,80 W/m ² K | |
| Normalisert kuldebroverdi | 0,03 W/m ² K | |
| Årsgjennomsnittlig temperaturvirkingsgrad for varmegjenvinner | (80 %) | x |
| SFP-faktor ventilasjonsanlegg | 1,5 kW / (m ³ /s) | |
| Lekkasjetall ved 50Pa | 0,6 h ⁻¹ | |

Tabell 34 - Oversikt over faste og varierende enkeltkomponenter

I resultatene angis ulike alternativ som viser en uthevet komponent. Denne er endret på, mens de øvrige er holdt fast i henhold til tabell 34. Det er i tillegg gjort et forsøk på å kombinere alternativene. I noen tilfeller er virkningsgraden på varmegjenvinner justert for enten å nå kravet eller å vise at selv med en høyere effektivitet vil ikke kravet nås i det enkelte tilfellet. I siste rad vises kravet i NS3700 slik at det er enkelt å se hvilke alternativer som kan gjennomføres.

3.3.6.1 Resultat Sans

Sans er det enkleste huset å oppnå passivhusstandard på, se tabell 10. Det er kun i Karasjok at kravet ikke nås. Her må huset bygges enda mer arealeffektivt og kompakt. I teorien kan man velge en mer effektiv varmegjenvinner. Det er derimot usikkert om dette lar seg gjøre i praksis da virkningsgraden er avhengig av utetemperaturen.



Figur 15 - Sans

Ved å tilpasse husets enkeltkomponenter til hvert klima kan følgende verdier oppnås, se tabell 35, 36 og 37.

| Bergen | Alternativ 1 | Alternativ 2 | Alternativ 1 + 2 |
|--|--------------|--------------|------------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,15 | 0,105 | 0,15 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 | 0,80 | 0,80 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 80 | 80 | 80 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 18,2 | 15,9 | 19,1 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 20,7 | | |

Tabell 35 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Sans i Bergen

| Trondheim | Alternativ 1 | Alternativ 2 | Alternativ 1 + 2 |
|--|--------------|--------------|------------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,122 | 0,105 | 0,122 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 | 0,80 | 0,80 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 81 | 80 | 82 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 23,7 | 23,0 | 24,4 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 23,9 | | |

Tabell 36 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Sans i Trondheim

| Tromsø | Alternativ 1 | Alternativ 2 |
|--|--------------|--------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,105 | 0,105 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 | 0,77 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 81 | 81 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 29,5 | 29,9 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 30,0 | |

Tabell 37 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Sans i Tromsø

For Oslo er det ikke mulig å gjøre endringer i forhold til referanseverdiene, men følgende kunne vært forslått som et mulig alternativ:

- Dersom det er mulig å få et lekkasjetall på 0,3 h⁻¹, kan man klare normalisert kuldebroverdi og U-verdi vinduer på henholdsvis 0,03 W/m²K og 0,74 W/m²K. (Dette gir da et oppvarmingsbehov på 20,5 kWh/m² som er under kravet på 20,8 kWh/m²).

3.3.6.2 Resultat Orion

Hverken Oslo, Tromsø eller Karasjøk klarer kravene i NS3031, se tabell 10. For Tromsø er marginene små og det er få justeringer som antageligvis skal til for å nå kravet. Godtar man for eksempel en høyere temperatur i et av rommene og dermed velger en solavskjerming for et vindu med høyere solfaktor, vil dette kravet kunne nås. Det er likevel ikke valgt da man har kjørt en streng linje på å holde seg under 26 °C for alle beregningstilfeller.



Figur 16 - Orion

Det er kun Bergen og Trondheim som dermed blir sett videre på da disse er de eneste som når kravene og hvor enkeltkomponentene kan tilpasses etter klimaet. Tabell 38 og 39 viser enkeltkomponentene for henholdsvis Bergen og Trondheim.

| Bergen | Alternativ 1 | Alternativ 2 | Alternativ 1 + 2 |
|--|--------------|--------------|------------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,15 | 0,105 | 0,15 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 | 0,80 | 0,80 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 80 | 80 | 82 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 17,6 | 14,7 | 17,5 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 17,7 | | |

Tabell 38 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Orion i Bergen

| Trondheim | Alternativ 1 | Alternativ 2 |
|--|--------------|--------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,105 | 0,105 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 | 0,74 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 81 | 81 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 20,4 | 20,4 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 20,4 | |

Tabell 39 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Orion i Trondheim

Tilsvarende for Orion er det gjort et forsøk med et lekkasjetall på 0,3 h⁻¹ for å se om man kan øke normalisert kuldebroverdi til 0,03 kWh/m² (som er mer realistisk i forhold til referansehusets verdi på 0,02). Dette lot seg ikke gjøre, heller ikke med en varmegjenvinner med virkningsgrad på 82 %.

3.3.6.3 Resultat Arcturus

Arcturus når kravet for oppvarmingsbehov kun i Bergen. I Trondheim kommer man like over. Derfor blir det kun i Bergen man kan endre på enkeltkomponentene. Verdiene for enkeltkomponenter i Bergen blir derfor i følge tabell 40.

| Bergen | Alternativ 1 |
|--|--------------|
| U-verdi yttervegg [W/m ² K] | 0,105 |
| U-verdi vindu [W/m ² K] | 0,74 |
| Årsgjennomsnittlig temp.virkingsgrad varmegjenvinner [%] | 82 |
| Oppnådd oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 19,2 |
| Krav oppvarmingsbehov [W/m ² K] | 21,5 |



Figur 17 - Arcturus

Tabell 40 - Nye verdier for enkeltkomponenter for Arcturus i Bergen

Dette er det eneste tilfellet for samtlige beregningsstudier gjort i denne rapporten der varmetapstallet er dimensjonerende for å nå kravet og ikke kravet til oppvarmingsbehov. Det er grunnen til at man er en del under kravet samtidig som U-verdi yttervegg og vindu er uforandret i forhold til tabell 34.

For de øvrige byene kan man ikke velge denne hustypen dersom ønsket er passivhusstandard. Selv med flere ulike parameterendringer på huset har man ikke klart å komme under kravet.

Det anbefales at man jobber mer med husets form, planløsning og vindustørrelse og -plassering fordi de valgte løsningene ikke tilfredsstillter kravene til passivhus etter NS3700 slik huset fremstår i dag.

3.4 Vurdering

I dette kapitlet er aktuelle kommentarer, beregninger, utsagn og diverse forutsetninger gjort i kapittel 3 begrunnet og drøftet for å kunne belyse temaene fra flere sider.

3.4.1 Kriterier for solavskjerming

I kapittel 3.2.3.1 ble det gitt et sett med kriterier for valg av type solavskjerming. På bakgrunn av resultatene skal disse valgene begrunnes og drøftes her.

3.4.1.1 Komfort

Dette var et viktig kriterium som ble valgt tidlig og som har sin bakgrunn i en oppfattelse av at passivhus er for varme å bo i. Det var et ønske å inkludere denne problemstillingen i oppgaven og videre iverksette tiltak for å redusere kjølebehovet. Det burde være en forutsetning for alle som beregner at man leverer løsninger som er gode nok, selv om arbeidsoppgavene primært ikke er å sørge for godt inn klima. Har man erfaringer med for høye temperaturer, er svaret å finne løsninger som gjør noe med dette. Kontrollberegningene som kjøres i SIMIEN setter en grense for hvor mange ganger man kan akseptere overtemperatur. Det vil med andre ord være dager da temperaturen stiger over kravet, men dette er i hvert fall begrenset til et maksimalt antall dager.

3.4.1.2 Brukervennlighet

Å installere automatisk avskjerming for alle systemene ble gjort ut ifra brukervennlighet og inn klima. Dette gir et høyere energiforbruk enn ved manuell håndtering, men sikrer bedre inn klima og minimal inngrepen fra beboerne. Dette kan både være positivt og negativt. Positivt fordi man lar systemet kontrollere og regulere seg selv i forhold til solinnstrålingen. Det er ikke alle mennesker som er hjemme til en hver tid og skal man klare å sikre en lavere temperatur inne, må et slikt system benyttes.

På den andre siden kan det være beboerne som ønsker kontroll på systemene selv og som setter pris på å kunne styre avskjermingen etter egne kriterier. Da kunne man ha valgt manuelle systemer og gitt brukerne fri tøyler, det er tross alt de som skal bo der. Dette blir eventuelt en diskusjon på hvilke hensyn som skal tas. Dersom beboerne godtar en høyere innetemperatur, kan manuell avskjerming benyttes. Dette vil, i følge beregningene gjort i denne rapporten, gi et lavere oppvarmingsbehov. Det blir videre en viktig oppgave å informere beboerne tidlig om effektene dette har. Dersom innetemperatur ikke er en like viktig faktor, må man spørre seg om det er nødvendig med så stor grad av avskjerming som det er lagt opp til i studien. Med avskjerming på mange av vinduene vil samtidig jobben bli tidkrevende dersom alle skal justeres manuelt. Her må man gå i dialog med kunden for å finne løsninger som er tilfredsstillende. Videre er det viktig med god og tilstrekkelig informasjon slik at kunden vet hva som er effekten av valgene som tas.

Et kompromiss kan være å velge automatiske systemer som brukerne kan overstyre. Da kan man la systemene leve sitt eget liv når beboerne ikke er tilstede og ved bruk av boligene kan beboernes egne behov styre systemene. Et siste alternativ, som ikke er sett på her, kan være å øke den naturlige avskjermingen rundt boligene. Å plante løvtrær på strategiske steder kan sikre skygge om sommeren og solinnstråling om høst/vintere når trærne er fritt for blader.

Et aspekt som ikke er vurdert er hvordan den automatiske solavskjermingen vil fungere dersom man har dager med ulike værtyper. I flere av byene som er studert i denne rapporten har man erfaring med at være fort kan skifte fra sol til regn og til sol igjen. Vil systemet være så ømfintlig at det går opp og ned som følger av slike væromslag? Vil dette være sjenerende og plagsomt å følge med på? Antageligvis vil systemene oppføre seg slik og da vil man sikkert ønske at systemene kan overstyres. Dette er uansett aspekter som må vurderes og utredes. Fokuset i denne rapporten har ikke vært brukerstyring eller effekten av at ulikt bruksmønster. Til det kreves andre analyser og vinklinger som også strekker seg inn på brukernes adferd og psykologiske aspekter.

3.4.1.3 Estetikk

Valg av type solavskjermingen er gjort slik at systemene i størst mulig grad virker naturlig plassert. Det ble gjort flere forsøk på å velge mer homogene tiltak med for eksempel kun én type avskjerming per fasade. Dette lot seg ikke gjøre uten at enten krav til oppvarmingsbehov eller temperaturkrav måtte vike.

3.4.2 Enkeltkomponenter

Som nevnt i kapittel 3.2.4 ble verdiene for enkeltkomponentene valgt lave for å komme under passivhuskravet for referansehuset. Disse verdiene kunne vært valgt annerledes da formålet med å lage et referansehus var å kunne sammenligne klimaets relative effekt mellom husene og for å kunne sammenligne husene seg imellom. Utgangspunktet trengte derfor ikke å være passivhus da dimensjonering i forhold til dette ble gjort i kapittel 3.3.6, *tilpasning av husene til lokalklima*. På en annen side har ekstraberegninger, med andre verdier for enkeltkomponenter, vist at hovedberegningene som er gjort likevel gir tilfredsstillende resultater. Oppgaver utvikler seg underveis og man ser i ettertid hvordan ting kunne vært gjort annerledes. Likevel kan valgene som er gjort fortsatt forsvares og det settes dermed ikke usikkerhetstegn ved resultatene på bakgrunn av dette.

3.4.3 Form og oppbygging

Formen på huset har innvirkning på oppvarmingsbehovet. Arcturus har flere innvendige og utvendig fasadehjørner som gjør det mer komplisert med tanke på kuldebroer og tetting. I SIMIEN er verdier for dette lagt inn manuelt og like verdier er lagt inn for alle husene. Tilsvarende er gjort for øvrige enkeltkomponenter. Det betyr at resultatene må tolkes basert på arealer, volum og omkrets. Det er disse parametrene som gir utslagene i endelig oppvarmingsbehov. Tabell 41 viser varmetapsbudsjettet for Sans, Orion og Arcturus i Oslo for sørlig orientering av vindusfasaden.

| | Sans | Orion | Arcturus |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Yttervegger | 0,09 | 0,09 | 0,08 |
| Tak | 0,05 | 0,05 | 0,09 |
| Gulv mot grunn | 0,05 | 0,05 | 0,09 |
| Vinduer/dører | 0,14 | 0,12 | 0,16 |
| Kuldebroer | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
| Infiltrasjon | 0,03 | 0,03 | 0 |
| Ventilasjon | 0,08 | 0,08 | 0,09 |
| Total varmetapstall | 0,46 | 0,44 | 0,53 |

Tabell 41 - Varmetapsbudsjett for Sans, Orion og Arcturus

Tabell 41 viser at Arcturus har høyest totalt varmetapstall fordi det har høyere varmetap gjennom vinduer/dører, gulv og tak. Dette skyldes at Arcturus har en større andel vindu/dører per bruksareal, et større takareal og større gulvareal enn Sans og Orion, se tabell 5, 6 og 7 for husdata. Orion har lavest totalt varmetapstall fordi det har lavest andel vinduer/dører per bruksareal. Det er kun dette varmetapet som skiller Sans og Orion i varmetapsbudsjettet, og som gjør at Orion har lavere varmetap totalt sett.

Det som derimot gjør at man enklere oppnår passivhusstandard for Sans skyldes at Sans har mindre bruksareal. Dermed blir kravet til oppvarmingsbehov strengere for Orion og det beregnede oppvarmingsbehovet for Sans kommer bedre ut av beregningene. Arcturus har enda mindre bruksareal enn Sans og kravet blir dermed mindre strengt for Arcturus. Likevel kommer dette huset dårligst ut grunnet husets form.

Flere av studiene i denne rapporten støtter opp under dette.

- Å gjøre husene kvadratiske gir mer gunstig oppvarmingsbehov i forhold til kravet. Dette er en fordel fordi man får mindre andel dører/vinduer per bruksareal og dermed mindre varmetap samtidig som redusert BRA gir et snillere krav.
- Å redusere vindusandelen på husene viste naturligvis at varmetapet sank.
- Å gjøre husene kompakte har vist seg å være gunstig for oppvarmingsbehovet.

Ellers har det vært sprikende resultater i forsøkene på å flytte vinduer til andre fasader og i reduksjon av vindusandelen. Disse forsøkene ble gjort for å kunne se en reduksjon i solavskjermingen samt å kunne konkludere med hvilke fasade det lønner seg å ha flest vinduer på. Disse resultatene skal drøftes mer i kapittel 3.4.4.

I realiteten burde kuldebroverdien og lekkasjetallet for Arcturus vært noe høyere for å ta hensyn til en vanskeligere utforming. Det er usannsynlig at huset ikke har noe varmetap gjennom infiltrasjon. Dette ville gjort at Arcturus hadde kommet enda dårligere ut av beregningen. Avviket dette gir, vil ikke påvirke noen av vurderingene da Arcturus allerede kommer dårligst ut.

Formen og ytre dimensjoner på husene spiller dermed direkte rolle på oppvarmingsbehovene. Resultatene og vurderingene viser at det er vindusandel og areal på tak og gulv som gir størst utslag i varmetapsbudsjettet.

3.4.4 Orientering av husene

I rapporten har det gjort flere beregninger som omhandler vinduenes plassering på de ulike fasadene. Ønsket har vært å finne en fortrukket orientering av vindusfasaden som gir lavest oppvarmingsbehov. Videre har man gjennomført beregninger som skulle bekrefte eller avkrefte dette.

I kapittel 3.3.3.2 ble det innledet en diskusjon på hvorvidt utslagene som ble beregnet var store nok til at man kunne tolke forbedringene som aktuelle. Ved å endre orienteringene ble oppvarmingsbehovet redusert med mellom 2 og 5 % for Sans og mellom 3 og 8 % for Orion.

Jevnt over viste sørlig orientering de høyeste beregnede oppvarmingsbehovene og vest/øst viste lavest verdier.

Da beregninger for samtlige byer både for Sans og Orion viser at sørlig orientering gir høyest oppvarmingsbehov, burde det tolkes som at denne orienteringen ikke er den mest foretrukne. Det vil si at man kan velge andre orienteringer uten at dette går utover oppvarmingsbehovet. Dette er også i samsvar med beregninger gjort for passivhus bygget i Lindås i Gøteborg (Persson et al., 2006). Resultatene fra disse viser at å ha store vinduer mot sør gir mindre behov for oppvarming da man får stort varmetilskudd, men at kjølebehovet samtidig er betydelig. Her antydes det at å øke andelen vinduer mot nord ikke vil være ugunstig. Oppfatningen om at man bør øke vindusandelen mot sør og redusere den mot nord avfeies i denne rapporten.

Til forskjell fra rapporten i Sverige har beregningene i denne studien benyttet solavskjerming aktivt. Det gir en situasjon der man må ta hensyn til en større reduksjon i varmetilskuddet. Ved å velge andre orienteringer enn mot sør kan man redusere solavskjermingen som øker varmetilskuddet og dermed senker oppvarmingsbehovet. Beregningen antyder at det er noe å tjene på å vurdere andre orienteringer. For å kunne generalisere et slikt resultat til å gjelde for alle hus, blir man nødt til å gjennomføre flere beregninger.

Forslagene om å flytte vinduene mellom fasadene skulle sammenlignes med resultatene fra orienteringsstudiet. Forflytningene skjedde innenfor sammen sone og det var derfor vanskelig å gjøre endringer i solavskjermingen. Å gjøre slike endringer på eksisterende hus kan være en vrien prosess da man både skal ta hensyn til innredning, vertikal og horisontal kommunikasjon. Studiet ble derfor teoretisk rettet. Resultatene viste små utslag og kan derfor ikke benyttes til vurdering av optimal vindusplassering.

Å redusere vindusareal blir også en teoretisk studie da det å gjøre slike endringer på allerede prosjekterte hus medfører andre endringer. Studien viste sprikene resultater mellom Sans og Orion. Det lar seg ikke gjøre å trekke logiske slutninger mellom disse resultatene og orienteringsstudiet.

Selv om flere av beregningene ikke kan brukes direkte opp mot orienteringsstudiet, kan resultatene likevel brukes sammen med framtidige beregninger. Resultatene fra beregningen gjort i Lindås viser at det kan la seg gjøre å finne et optimalt vindusareal mot sør ut ifra energiperspektiv. Ved å kjøre flere simuleringer kan det være mulig å finne den optimale mengden. Oppgaven har ikke kun fokusert på dette og derfor har det heller ikke vært tid til å gå mer i dybden på en slik studie.

3.4.5 Solavskjerming

I kapittel 3.3.4 kom det fram at solavskjermingen står for en vesentlig del av oppvarmingsbehovet. Dette tyder på at det er mye solavskjerming som er installert og at ved å redusere en andel av solinnstrålingen vil oppvarmingsbehovet øke. Det bør vurderes om det finnes andre løsninger enn persiener eller screens som er bedre egnet til å sikre en lavere innetemperatur når man ser at systemene står for en så stor andel av oppvarmingsbehovet.

Lufting har blitt prøvd som et mulig alternativ uten at dette gav resultater som var bedre enn solavskjerming. En mulig vinkling i oppgaven kunne gått på dette med lufting fordi det er et reelt bruksmønster i dag. Nordmenn har gjerne soveromsvinduet åpent hele året og lufting kunne dermed i større grad vært implementert i beregningene for å gjenspeile dette mønsteret. Dette er ikke gjort her og studien kan dermed sies å være teoretisk rettet.

Generelt i denne studien er det prøvd å holde brukerpåvirkning utenfor da dette ofte er lite kvantifiserbare størrelser. Mennesker er forskjellig og dette medfører ulike bruksmønstre. Å gjøre beregninger som baserer seg på hvordan brukerne benytter husene vil dermed måtte gjenspeile spesielle situasjoner eller man må anta en gyllen middelvei. Automatisk solavskjerming og ingen vinduslufting er derfor valgt fordi det er vanskelig å kunne gi konkrete anslag på hvordan beboerne oppfører seg. Det kan dermed diskuteres hvorvidt beregningene i denne rapporten gjenspeiler situasjon som er reelle eller om beregningene kun kan brukes i teoretisk vurderinger. Å dimensjonere passivhus handler om å nå de kravene som er satt i NS3700, men det er viktig at man har beboerne i fokus da det er for dem man lager passivhus. På den ene siden burde brukerinvolvering implementeres i dimensjoneringsarbeidet, men på den andre side må man til en viss grad skille mellom det som kan måles og kvantifiseres med psykologiske faktorer.

Passivhusene er utstyr med balansert ventilasjonsanlegg som skal sikre tilstrekkelig luftutskiftninger. I prinsippet skal det ikke være behov for å åpne vinduer.

Inntil videre må man studere hvordan beboerne benytter husene for å lære hvordan folk flest tenker. Videre er det viktig at beboeren settes inn i og skjønner hvordan passivhusene er utformet, hvordan de virker og ikke minst hvordan man skal bruke husene på en riktig måte. Dersom innklimaet i husene ikke er gode nok når de brukes slik de er tenkt, bør man i aller høyeste grad vurdere utfordringene og samtidig finne andre måter å utforme husene på. Foreløpig beregninger av passivhusene i denne rapporten, med gitte forutsetninger til grunn, viser at lufting som tiltak mot forhøyede temperaturer ikke er et alternativ da dette gir både høyere temperatur og oppvarmingsbehov.

NS3031 (2007) sier at ved beregning av varmetilskudd fra sol for småhus skal virkningen av regulerbar solavskjerming i perioder med oppvarmingsbehov ikke inkluderes. Det vil si at i fyringssesongen skal regulerbar avskjerming beregningsmessig aldri være aktivert. Dette tar verken TEK-sjekk Energi (neste versjon av programmet inkluderer dette (Schild, 2012)) eller SIMIEN (Dokka, 2012) hensyn til per dags dato. Det er usikkert hvor ofte solavskjermingen vil være aktivert når det er oppvarmingsbehov, det er derfor vanskelig å si hvor mye dette står for. Siden ingen av programmene tar hensyn til dette, antes det at ”feilen” er like stor for begge programmene og at dette dermed ikke har vært avgjørende for resultatene og vurderingene.

3.5 Oppsummering

I denne beregningsstudien har flere ulike vinklinger blitt studert og vurdert. Innledningsvis ble det stilt et sett med spørsmål som skulle besvares gjennom diverse beregninger. Disse spørsmålene skal besvares her på bakgrunn av det som er vist i kapittel 3.

- *Hvordan vil klimaene påvirke oppvarmingsbehovet?*
Oppvarmingsbehovet påvirkes ulikt i de forskjellige byene. Følgende punkter oppsummerer klimaets effekt:
 - I Bergen er det er enklest å oppnå passivhusstandard. Trondheim og Tromsø følger etter, mens Oslo og Karasjok er de nederste på listen
 - Jo lavere temperaturen er om vinteren, desto større blir varmetapet og desto vanskeligere er det å oppnå passivhus her.
 - Jo høyere solfluks, desto mer solenergi kan utnyttes, men desto mer øker behovet for solavskjerming. Dette gir høyere oppvarmingsbehov.
- *Vil det være enklere å oppnå passivhusstandard i Oslo sammenlignet med Trondheim da Oslo både har høyest solfluks og årsmiddeltemperatur?*
Nei! Høy solfluks og høy årsmiddeltemperatur antyder at behovet for solavskjerming er stort. I Oslo oppnår man en lavere solfaktor som gjør at oppvarmingsbehovet totalt sett øker. Videre er følgende vist:
 - Høy temperatur om sommeren bidrar til at terskelen for å installere solavskjerming blir lavere.
 - Høy temperatur og høy solfluks er ikke ensbetydende med hvor enkelt man oppnår passivhus.
- *Er det mulig å bygge passivhus i Karasjok med årsmiddeltemperatur under 0 °C og dimensjonerende vintertemperatur på -48 °C?*
Nei! På grunn av et høyt varmetap om vinteren grunnet lave temperaturer samtidig som man har et avskjermingsbehov om sommeren er det vanskelig å oppnå passivhusstandard i Karasjok. Ingen av husene i denne studien blir passivhus.
- *Vil ulik orientering av husene gi andre verdier for oppvarmingsbehovene?*
Ja! Beregningen viser at man ikke oppnår lavest oppvarmingsbehov ved sørlig orientering av vindusfasaden. Studien konkluderer ikke med hvilken fasade som er mest gunstig, men det antydes at østlig og vestlig orientering kan redusere oppvarmingsbehovet med inntil 9 % av behovet for sørlig orientering. Effekten varierer mellom byene. Generelt for alle beregningene gjelder at man ikke har noe å tape på å velge andre orienteringer enn sør.

- *Har formen på huset stor betydning for oppvarmingsbehovet? Har Sans bedre forutsetning til å bli passivhus fordi det er mer kvadratisk enn de andre husene?*
Ja! Sans er kompakt og har minst areal på den ytre konstruksjonen samt minst BRA som gir et snillere krav til oppvarmingsbehov. Har min minst mulig ytre flate vil også varmetapet reduseres.
- *Orion har lavere vindus- og dørandel enn Sans og Arcturus, er det en fordel for Orion?*
Ja, det gir et lavere varmetapstall enn de øvrige husene.
- *Har plasseringen av vinduene på de ulike fasadene en avgjørende betydning for oppvarmingsbehovet?*
Orienteringsstudiet viste at det er forskjeller i oppvarmingsbehovet avhengig av hvordan man orienterer vindusfasaden. Ut ifra et energiperspektiv er det derimot lite å hente på å flytte vinduer rundt på ulike fasader. Det er dessuten vanskelig å få til av praktiske årsaker
- *Hva slags solavskjermingstiltak kan gjennomføres for passivhusene og hvor stor betydning har disse tiltakene for oppvarmingsbehovet?*
Det er gjort forsøk med takutstikk, inntrukket vinduer og lufting i tillegg til persiener og screens. Det er foreløpig kun persiener og screens som er mest gunstig. Med disse får man effektivt ned temperaturen, men disse står samtidig for en betydelig andel av oppvarmingsbehovet.

4. Sammenligning av TEK-sjekk Energi og SIMIEN

I denne studien er det gjort simuleringer i både SIMIEN og TEK-sjekk Energi for å studere forskjeller og likheter i disse programmene.

4.1 Metode

For å kunne sammenligne resultatene fra to ulike programmer, må inndataene korrespondere med hverandre og man må ha kjennskap til metoder og dimensjoneringsgrunnlaget. Det er derfor brukt mye tid på å sette seg grundig inn i programmene. Innledningsvis ble det funnet forskjeller i hvordan inndata skal legges inn:

- Solfluksverdi for aktivering av automatisk solavskjerming ligger inne med bestemte verdier i TEK-sjekk Energi. Disse verdier er også brukt i NS3031. I SIMIEN legges verdiene inn manuelt. Derfor er dette justert i SIMIEN slik at verdiene i denne beregningen blir like.
- I TEK-sjekk Energi skal rettvinklet verdi for solfaktor glass oppgis. I SIMIEN derimot benyttes hemisfærisk midlet verdi. Solfaktor ligger automatisk inne i SIMIEN etter type glass. I TEK-sjekk Energi må det legges inn manuelt og derfor er dette justert i TEK-sjekk Energi.
- Installert effekt romoppvarming og varmebatterier beregnes automatisk i TEK-sjekk Energi, og programmet tar alltid utgangspunkt i at tilstrekkelig effekt er installert. Man opplever derfor aldri at temperaturen går under settpunkttemperaturen for oppvarming (Schild, 2012). I SIMIEN legges dette inn manuelt, og tilstrekkelig effekt kan kontrolleres ved å kjøre vintersimuleringer.

Det er noen forskjeller i programmene som går på hva slags modeller som benyttes. Disse kan ikke endres av brukerne. Potensielt vil de være med på å utgjøre en forskjell:

- **Solinnstråling:** Beregning av solinnstråling på fasader kan gjøres på flere måter. TEK-sjekk Energi bruker en modell som kalles Perez' anisotropisk modell. I følge Peter Schild (2012) er dette den beste metoden tilgjengelig i industrien. Dersom andre modeller benyttes kan det i følge Schild (2012) utgjøre en vesentlig forskjell i beregnet energibehov.

SIMIEN bruker data fra klimaverktøyet Meteororm til beregning av solinnstråling på fasader (Dokka, 2012). Her gis også verdier for diffus stråling.

- **Skyggevirkning:** For skyggevirkning av utspring beregner TEK-sjekk Energi tredimensjonalt for både diffus og direkte solinnstråling. MonteCarlo-metoden benyttes for å beregne view factor for diffus stråling i Perez' anisotropisk modell.

For avskjermingsberegninger regner SIMIEN utspring tredimensjonalt kun for direktestråling, men for diffus stråling brukes en isotropisk modell. Det er en arealveid beregning hvor man antar uniform diffus stråling.

NS3031 (2007) sier at ved beregning av diffus stråling på en vilkårlig flate kan himmelstrålingen regnes som isotropisk. Selv om TEK-sjekk Energi bruker ”den beste metoden tilgjengelig”, er likevel SIMIEN i tråd med NS3031.

- **Strålingstemperatur:** TEK-sjekk Energi beregner langbølget stråling til himmelen med en annen strålingstemperatur enn lufta. Himmelen strålingstemperatur varierer over tid med fuktighet og skydekke og leses inn fra en klimafil.

SIMIEN hadde tidligere modeller for strålingstemperatur, men har gått bort fra dette. Det vil si at SIMIEN regner med lik temperatur for disse.

- **Klimadata:** Både SIMIEN og TEK-sjekk Energi henter klimadata for Oslo fra NS3031. Disse verdiene er laget av det meteorologiske miljøet i Bergen og er av typen design reference year (DRY).

På bakgrunn av dette tyder det på at TEK-sjekk Energi går mer i detalj og velger modeller som ligger nærmere virkeligheten. SIMIEN derimot holder seg til anbefalinger i NS3031 og kan velge tilnærminger som ikke gir helt nøyaktige resultater, men som ligger innenfor akseptable verdier. Dette betyr at man kan forvente at TEK-sjekk Energi og SIMIEN vil gi noe forskjellige resultater.

4.2 Resultater

I tabell 42 presenteres de beregnede oppvarmingsbehovene som oppnås ved å kjøre passivhussimuleringer i programmene. I parentes vises også spesifikk oppvarmingsbehov.

| | SIMIEN [kWh/år] | TEK-sjekk [kWh/år] | Avvik [%] |
|-------|-----------------|--------------------|-----------|
| Sans | 2 987 (20,8) | 2 233 (15,5) | 25,2 |
| Orion | 3 846 (19,2) | 3 294 (16,4) | 14,4 |

Tabell 42 - Beregnet oppvarmingsbehov i TEK-sjekk og SIMIEN for Sans og Orion

Det kommer tydelig fram at TEK-sjekk beregner lavere verdier for oppvarmingsbehovet både for Sans og Orion. Avviket er størst for Sans med TEK-sjekk 25,2 % lavere enn SIMIEN. For Orion er avviket mindre der den prosentvise forskjellen er på 14,4 %.

På bakgrunn av dette er det to spørsmål som skal besvares; hva skyldes avviket mellom programmene? Hvorfor er avviket mindre for Orion? For å svare på spørsmålene skal man gå i dybden på flere resultatverdier. Tabell 43 viser utskriftsdata for noen aktuelle parametre.

| Parametre | Sans | | Orion | |
|---|--------|-------------------|--------|------------------|
| | SIMIEN | TEK-sjekk | SIMIEN | TEK-sjekk |
| Totalt varmetapstall | 0,46 | 0,460 | 0,43 | 0,435 |
| Installert effekt for romoppvarming og varmebatteri. | 21,71 | 13,1 | 18,74 | 12,6 |
| Total solfaktor | 0,13 | 0,1/0,04/0,04/0,5 | 0,20 | 0,35/0,03/0/0,33 |
| Gjennomsnittlig karmfaktor | 0,26 | 0,36 | 0,27 | 0,52 |
| Solskjermingsfaktor pga. horisont, bygninger og evt. bygningsutspring | 0,93 | 0,97 | 0,78 | 0,92 |

Tabell 43 - Verdier som avviker mellom TEK-sjekk og SIMIEN

Programmene regner ut like varmetapstall. Det betyr at inndata som U-verdier, lekkasjetall og øvrige enkeltkomponenter samt arealer på konstruksjonen er lagt inn likt. Den ytre konstruksjonen er korrekt lagt inn, slik at avviket ikke kan relateres til varmetapet.

Installert effekt for romoppvarming er høyere for SIMIEN. Som nevnt beregner TEK-sjekk denne verdien selv. I SIMIEN legges den inn ved å trimme verdien i forhold til temperaturene som vises i vintersimuleringen. Ved å justere verdien for installert effekt oppnås ønsket temperatur. Da varmetapstallet er likt for programmene tyder forskjellen i installert effekt på at programmene beregner varmetilskudd ulikt. En tolkning av verdiene er at TEK-sjekk er varmetilskuddet høyere slik at oppvarmingsbehovet blir mindre. Dermed blir behovet for installert effekt til romoppvarming og ventilasjonsvarme mindre.

Varmtilskudd fra personer, belysning og teknisk utstyr ligger allerede inne med faste verdier i programmene etter NS3031. De tre siste radene i tabell 43 vises videre hvilke parametre som skiller seg fra hverandre. Basert på dette tyder mye på at solinnstrålingen bidrar til avvikene. Solfaktor, karmfaktor og solskjermingsfaktor er i de påfølgende avsnitt undersøkt og vurdert.

4.2.1 Gjennomsnittlig karmfaktor

Denne verdien forteller hvor stor andel av vinduet/døren som er karm. Jo større faktor, desto mindre lysåpning og desto mindre innstråling gjennom vinduet. Forskjellen i disse verdiene skyldes hvordan programmene behandler dørene. I TEK-sjekk legges dørene inn som et vindu med en lysåpning på 0 %, det vil si med en karmfaktor på 100 %. Når gjennomsnittlig verdi for karmfaktor regnes ut i TEK-sjekk inkluderes dørene. Derfor blir denne verdien annerledes.

Orion har flere dører enn Sans og derfor er forskjellen større for førstnevnte. Ved å fjerne alle dører, kan det vises at man oppnår lik karmfaktor. Se tabell 44.

| Parametre | Sans | | | Orion | | |
|---|--------|-----------|--------|--------|-----------|--------|
| | SIMIEN | TEK-sjekk | Avvik | SIMIEN | TEK-sjekk | Avvik |
| Gjennomsnittlig karmfaktor, med dører. | 0,26 | 0,36 | 0,10 | 0,27 | 0,52 | 0,25 |
| Gjennomsnittlig karmfaktor, uten dører. | 0,26 | 0,26 | 0 | 0,27 | 0,27 | 0 |
| Nytt oppvarmingsbehov | 2 737 | 1 852 | 32,3 % | 3 140 | 2 450 | 22,0 % |

Tabell 44 - Verdier for karmfaktor og oppvarmingsbehov for Sans og Orion

Ved å fjerne alle dørene i SIMIEN får man ingen endring i karmfaktoren. Det gjør man derimot for TEK-sjekk slik tabell 44 viser.

Nå er karmfaktorene like, men de prosentvise forskjellene i oppvarmingsbehovene har økt i forhold til utgangspunktet i tabell 42. De reelle verdiene til oppvarmingsbehovene er derimot blitt lavere og reduksjonen er størst i TEK-sjekk.

Ved å fjerne konstruksjonsdeler som har høy U-verdi og erstatte det med en ny del med lavere U-verdi, vil varmetapet bli mindre. Dette gir lavere oppvarmingsbehov. At forskjellene mellom programmene blir større forklares med at verdiene for solfaktor i TEK-sjekk økte. Ved å fjerne dører med 0 % lysåpning, vil gjennomsnittlig karmfaktor reduseres og solfaktoren øker. Relativt vil mer solenergi komme inn gjennom vinduene. Når TEK-sjekk registrerer at solfaktoren øker vil varmetilskuddet økes og oppvarmingsbehovet senkes.

4.2.2 Total solfaktor

TEK-sjekk angir solfaktor for hver fasade dersom fasadene har ulike verdier. SIMIEN gis en samlet solfaktor for alle fasadene. Disse kan dermed ikke sammenlignes direkte. For begge programmene gjelder solfaktoren samlet for glass og avskjerming.

Forskjellen i oppvarmingsbehovene kan skyldes at det er en forskjell i solavskjermingen. Det ble derfor gjennomført et forsøk der all solavskjerming ble fjernet. Verdien for solfaktor ble dermed satt til 0,45 i SIMIEN og 0,50 i TEK-sjekk (rettvinklet verdi = $0,45/0,90 = 0,50$) som tilsvarer solfaktor kun for glasset. Samtidig ble solavskjermingsfaktoren i TEK-sjekk satt til 100 % (altså ingen solavskjerming). I beregningene er dørene fortsatt fjernet. Dette gav følgende resultater, se tabell 45.

| | SIMIEN [kWh/år] | TEK-sjekk [kWh/år] | Avvik [%] |
|-------|-----------------|--------------------|-----------|
| Sans | 2 133 | 1 934 | 9,3 |
| Orion | 3 114 | 2 960 | 4,9 |

Tabell 45 - Oppvarmingsbehov uten solavskjerming for Sans og Orion

Avviket er på 9,3 % og 4,9 % for henholdsvis Sans og Orion. Ved at differansen ble redusert så betydelig på grunn av disse endringene, tyder altså på at solavskjermingen spiller en vesentlig rolle. Forskjellen er størst for Sans, mens Orion ligger lavere.

For å kunne bekrefte/avkrefte om det er solinnstrålingen som utgjør forskjellen mellom programmene, testes en situasjon med maksimal avskjerming. Det vil si en solfaktor på 0,01 og en solavskjermingsfaktor på 0 % (full skjerming). Dersom minimale mengder med sol slipper inn i huset, vil varmetilskuddet reduseres betraktelig. Her er dørene tilbake. Resultatene presenteres i tabell 46.

| | SIMIEN [kWh/år] | TEK-sjekk [kWh/år] | Avvik [%] |
|-------|-----------------|--------------------|-----------|
| Sans | 3 788 | 3 853 | - 2,0 |
| Orion | 4 419 | 4 821 | - 4,4 |

Tabell 46 - Oppvarmingsbehov med full avskjerming for Sans og Orion

Resultatene viser at avvikene nesten er helt borte. Dette bekrefter at programmene regner ulikt på solinnstrålingen. Det er fortsatt litt forskjell å spore, og avviket er størst for Orion. En del skyldes hvordan programmene behandler dørene, dette er vist tidligere at påvirker resultatet. Ved å fjerne dørene vil man komme enda litt lavere (-1,4 og -3,4 %).

Forskjellen nå er at TEK-sjekk beregner en høyere verdi for oppvarmingsbehovet i motsetning til tidligere beregninger. Det skal ikke legges for mye i dette da beregningen er teoretisk og i realiteten usannsynlige. I neste avsnitt er solskjermingsfaktoren studert.

4.2.3 Solskjermingsfaktor

Tabell 43 viste et avvik for solskjermingsfaktorene for programmene. Grunnen til dette kan skyldes takutstikk og vindfang som er lagt inn i både SIMIEN og TEK-sjekk. Avviket kan forklares med samme begrunnelse som for solavskjermingen (persiener og screen) da begge har med solinnstråling å gjøre.

I neste beregning testes derfor dette ved å fjerne all takutstikk og vindfang (i tillegg til at persiener/screens er fjernet) slik at solskjermingsfaktoren blir 100 % i begge programmene. Resultatene skal derfor sammenlignes med resultatene fra tabell 44. Dette er gjort for å kunne se effekten av endringen. Tabell 47 viser resultatet.

| | SIMIEN [kWh/år] | TEK-sjekk [kWh/år] | Avvik [%] |
|-------|-----------------|--------------------|-----------|
| Sans | 2 100 | 1 934 | 7,9 |
| Orion | 3 020 | 2 944 | 2,5 |

Tabell 47 - Oppvarmingsbehov uten avskjerming og uten takutstikk/utspring

Avvikene er lavere i dette eksempelet da prosentene har sunket fra 9,3 % og 4,9 % for henholdsvis Sans og Orion. Resultatene er som ventet fordi bygningsutspring, i likhet med, solavskjerming hindrer solinnstrålingen. Når denne innstrålingen regnes ulikt mellom programmene vil alt som bidrar til skygge utgjøre forskjeller i resultatet.

4.2.4 Evaluering mot TEK10

De foregående simuleringene er gjort opp mot passivhuskrav. Programmet TEK-sjekk Energi har fått navnet sitt som følger av at den gjør kontroller mot teknisk forskrift. Vil man få de samme forskjellene dersom man gjør simuleringer mot dagens forskrift, TEK10? Dette skal undersøkes ved å kjøre en TEK10-simulering med samme utgangspunkt som tabell 42. Resultatene skal sammenlignes med resultatene i tabell 42.

Kravene i TEK10 er annerledes enn kravene i NS3700. For sistnevnte gjelder et krav om maksmalt oppvarmingsbehov som er summen av romoppvarming og ventilasjonsvarme. I TEK10 derimot stilles det blant annet krav om maksimalt totalt energibehov. Dersom denne sammenligningen skal bli korrekt, må riktige verdier sammenlignes. Det vil si enten å sammenligne totalt energibehov eller oppvarmingsbehovet. Da det er oppvarmingsbehovet som er brukt tidligere i denne oppgaven, velges denne videre. Ved å kjøre en TEK10-simuleringen i TEK-sjekk og SIMIEN gav programmene følgende verdier, se tabell 48.

| | SIMIEN [kWh/m ² *år] | TEK-sjekk [kWh/ m ² *år] | Avvik [%] |
|-------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| Sans | 20,7 | 21,5 | 3,9 |
| Orion | 19,2 | 20,1 | 4,7 |

Tabell 48 - Oppvarmingsbehov ved TEK10-simulering av Sans og Orion

Situasjonen blir annerledes når man kjører simulering opp mot teknisk forskrift. Det er flere forskjeller som viser seg:

- Avvikene mellom programmene er betraktelig mindre i simuleringen mot teknisk forskrift.
 - I TEK-sjekk endres spesifikk oppvarmingsbehov fra 15,5 kWh/m² til 21,5 kWh/m² for Sans. For Orion endres tilsvarende verdier fra 16,4 til 20,1.
 - I SIMIEN er spesifikk oppvarmingsbehov likt for TEK10-simulering og passivhussimulering.
- I denne beregningen gir SIMIEN lavere verdier enn TEK-sjekk.
- I passivhusevalueringen var forskjellen størst for Sans, i denne beregning er forskjellen lavest.

Det er tydelig at det er forskjeller i hvordan programmene regner ut oppvarmingsbehovet når man kjører passivhussimuleringer. For TEK10-simuleringer er avvikene mye mindre og det kan tyde på at beregningene i større grad gjøres likt her. Da verdiene i SIMIEN er like for de forskjellige simuleringene, men endres i TEK-sjekk tyder det på at det er TEK-sjekk som gjør noe annerledes avhengig av hvilke typer evalueringen som kjøres.

Årsakene til punkt 2 og 3 kan skyldes flere faktorer, men skal ikke drøftes videre her. Forklaringen ligger sannsynligvis kun i effekten av at TEK-sjekk beregner energibehovene annerledes i TEK10-simuleringen.

4.3 Vurdering og oppsummering

Da forskjellene i oppvarmingsbehovene var så betydelige innledningsvis, var første vurdering at en eller flere verdier var lagt inn feil i TEK-sjekk. Det er gjort utallige beregninger i SIMIEN i forbindelse med kapittel 3, slik at man var trygg på at dimensjoneringen var gjort riktig her. Fokuset var derfor på TEK-sjekk. Her er det ingen soneinndeling, definering av utspring blir gjort annerledes og inndata for vinduer legges inn manuelt. Ved å få klarhet i hvordan inndata legges inn og samtidig forstå hvordan avskjerming og utspring defineres, endret fokuset seg til å vurdere resultatfilen. På bakgrunn av varmetapstall og verdiene funnet i tabell 43, kunne det konkluderes med at avvikene ligger i måten en av programmene regner på. På bakgrunn av beregningene gjort i etterkant er man desto mer sikre på dette.

Sammenligningen mellom TEK-sjekk og SIMIEN viser at det er forskjeller i hvordan programmene jobber. Med avvik i installert effekt for romoppvarming og ventilasjonsvarme og for noen sol- og skyggeparametre, tyder det på at soltilskuddet beregnes ulikt.

Forskjellene ligger i hva slags modeller programmene bruker. TEK-sjekk bruker Perez' anisotropisk modell, mens SIMIEN bruker en forenklet metode. Da stemmer Peter Schildts utsagn om at dersom andre modeller benyttes, kan det utgjøre en vesentlig forskjell i beregnet energibehov. Det som er forunderlig er at TEK10-simuleringer i TEK-sjekk gir helt andre utslag enn de øvrige beregningene. Det tyder på at TEK-sjekk har to ulike måter å beregne på.

Det kan være interessant å diskutere utsagnet til Peter Schild videre. Metoden for beregning av solinnstråling på fasader skal være den beste metoden på markedet. Hva betyr dette? Regner den mest virkelighetsnært? Det er ikke gjort undersøkelser på dette, men det antas at utsagnet er ment som at programmet i størst mulig grad gjenspeiler virkeligheten. Med en slik antagelse er det interessant at oppvarmingsbehovet blir så lavt i TEK-sjekk for passivhussimuleringen. Vil det si at SIMIEN bommer kraftig på det reelle varmetilskuddet? Resultater fra 3 av 4 beregninger (begge TEK10-evaluering og passivhussimuleringene i SIMIEN) korresponderer med hverandre. Passivhussimuleringer i TEK-sjekk skiller seg ut. Dette tyder på TEK-sjekk har en feil i dette beregningsgrunnlaget.

I arbeidet med programmene har man opparbeidet seg erfaringer med hvor utfordringene ligger. I SIMIEN har det tidvis vært utfordrende å sørge for temperaturkontroll. Det er lagt ned mye tid på å tilpasse avskjermingen til hver beregning. Derimot er det ikke opplevd like store utfordringer i TEK-sjekk. Det skal sies at har man først funnet et system som er egnet i SIMIEN, trenger man ikke å jobbe med en tilpassning av dette i TEK-sjekk. Arbeidet er allerede gjort i SIMIEN. Likevel oppfattes overtemperatur ikke å være et tema i TEK-sjekk da innnetemperaturen betegnes som tilfredsstillende. Komfortgrense overstiges kun 4 timer i året.

Når man ikke har detaljkunnskap om metodene som ligger til grunn eller vet konkret hvordan programmene er bygd opp, er det vanskelig å peke nøyaktig på hvorfor solinnstrålingen blir beregnet ulikt. Det er uansett bekreftet hvor roten til avvikene ligger. Det anbefales derfor at man jobber videre med resultatene fra studien og gransker årsakene som ligger bak. Med et så lavt oppvarmingsbehov i TEK-sjekk er det klart at man ønsker å dimensjonere og kontrollere passivhusene sine her da kravene tilsynelatende enkelt nås.

5. Alternative energiforsyningssystemer

For hvert klimasted er et energiforsyningssystem dimensjonert for Sans. Det vil si hvordan elektrisitet og varme skal leveres og hvor store anleggene må være for å dekke behovene som er beregnet i SIMIEN. Kapittel 5 tar for seg bakgrunnen for arbeidet, dimensjonering av solfangeranlegg, varmepumpe og solcellepaneler og en beregning av levert elektrisitet. I siste kapittel er energibudsjettet for hele energiforsyningssystemet oppsummert.

5.1 Bakgrunn

Kapitlet gir en redegjørelse for dimensjoneringsarbeidet og hvilke data som er benyttet.

Tabell 49 viser de dimensjonerende oppvarmingsbehovene som er beregnet i kapittel 3.3.6, *tilpasning av husene til lokalklima*. I Karasjok er de oppnådde verdiene brukt til tross for at kravet ikke ble nådd. Verdiene danner grunnlaget for beregninger i dette kapitlet.

| Klimasted | Dimensjonerende oppvarmingsbehov [kWh/m ²] | Krav oppvarmingsbehov [kWh/m ²] |
|-----------|--|---|
| Oslo | 20,6 | 20,8 |
| Bergen | 19,1 | 20,7 |
| Trondheim | 23,7 | 23,9 |
| Tromsø | 29,9 | 30,0 |
| Karasjok | 47,9 | 44,8 |

Tabell 49 - Beregnet oppvarmingsbehov med reelle verdier for enkeltkomponenter for Sans

5.1.1 Grunnlag

I dimensjonering av energiforsyningssystemer er det tatt utgangspunkt i solenergi supplert med varme fra varmepumper. Derfor utgjør solcellepaneler, solfangere og varmepumper komponentene i systemet. Energibehovet fordeles derfor på to poster;

- *Elektrisitet* - elektrisitetsspesifikt forbruk, ventilasjonsvarme og elektrisitet til energisystemene.
- *Varme, vannbåren oppvarming* - varmt tappevann og romoppvarming.

For varmesystemene er det valgt å ta utgangspunkt i solfangerne for deretter å tilegne resten av behovet til varmepumpen. Det er benyttet et beregningsprogram som heter Polysun fra Vela Solaris for dimensjonering av solfangeranlegget. For varmepumpen er det gjort en beregning for å finne nødvendig varmeytelse.

Elektrisitet kan deles opp i to poster:

- *Elektrisitetsspesifikt forbruk*: Elektrisitet til vifter, pumper, utstyr og belysning.
- *Levert elektrisitet*: Elektrisitetsspesifikt forbruk og elektrisitet til varmepumper, solfangere og solcellepaneler. Levert elektrisitet er basert på netto energibehov og årsgjennomsnittlig systemvirkningsgrader for energisystemene (NS 3031, 2007).

Det er dimensjonert et solcelleanlegg for Sans basert på det elektrisitetsspesifikke forbruket. Man er avhengig av å vite andel elektrisitet som dekkes av solcelleanlegget og andel som nettet må dekke for å kunne beregne levert elektrisitet. På bakgrunn av opplysninger om solcelleanlegget, varmpumpe og solfangeranlegg beregnes levert elektrisitet til slutt.

Det er valgt å benytte et elektrisitetsdrevet varmebatteri i ventilasjonsanlegget, i stedet for et vannbårent batteri. Mengden luft som varmes opp etter varmegjenvinneren er liten. Det blir for dyrt og lite hensiktsmessig å velge vannbaserte løsninger, det er vanlig å bruke elektrisitetsdrevne batterier i småhus (Skogstad, 2012).

Totalt netto energibudsjett deles opp i 9 poster i henhold til NS3031 (2007). Tabell 50-52 presenterer budsjett for klimastedene med bakgrunn i SIMIEN for henholdsvis spesifikk energibehov, elektrisitet og varme. Postene for kjøling er fjernet da dette ikke er aktuelt for småhus. I tabell 51 er ikke elektrisitet til energisystemene inkludert. Dette avhenger av hele systemets utforming, og blir regnet ut i kapittel 5.5, *levert elektrisitet*.

| Spesifikk energibehov [kWh/m ²] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 1a - Romoppvarming | 16,6 | 16,4 | 20,0 | 25,1 | 36,6 |
| 1b - Ventilasjonsvarme | 4,0 | 2,6 | 3,6 | 4,8 | 8,2 |
| 2 - Varmtvann | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 | 29,8 |
| 3a - Vifter | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 | 4,4 |
| 3b - Pumper | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| 4 - Belysning | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 | 11,4 |
| 5 - Teknisk utstyr | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| Sum | 83,9 | 82,3 | 86,9 | 93,2 | 108,1 |

Tabell 50 - Netto spesifikk energibehov for Sans

| Elektrisitet [kWh] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1a - Romoppvarming | - | - | - | - | - |
| 1b - Ventilasjonsvarme | 567 | 374 | 514 | 678 | 1 249 |
| 2 - Varmtvann | - | - | - | - | - |
| 3a - Vifter | 627 | 627 | 627 | 627 | 627 |
| 3b - Pumper | 24 | 25 | 27 | 30 | 57 |
| 4 - Belysning | 1 639 | 1 639 | 1 639 | 1 639 | 1 639 |
| 5 - Teknisk utstyr | 2 519 | 2 519 | 2 519 | 2 519 | 2 519 |
| Sum | 5 376 | 5 184 | 5 326 | 5 439 | 6091 |

Tabell 51 - Netto elektrisitetsbehov for Sans

| Varme [kWh] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1a - Romoppvarming | 2 349 | 2 317 | 2 827 | 3 554 | 5 535 |
| 1b - Ventilasjonsvarme | - | - | - | - | - |
| 2 - Varmtvann | 4 285 | 4 285 | 4 285 | 4 285 | 4 285 |
| 3a - Vifter | - | - | - | - | - |
| 3b - Pumper | - | - | - | - | - |
| 4 - Belysning | - | - | - | - | - |
| 5 - Teknisk utstyr | - | - | - | - | - |
| Sum | 6 634 | 6 602 | 7 112 | 7 839 | 9 820 |

Tabell 52 - Netto varmebehov for Sans

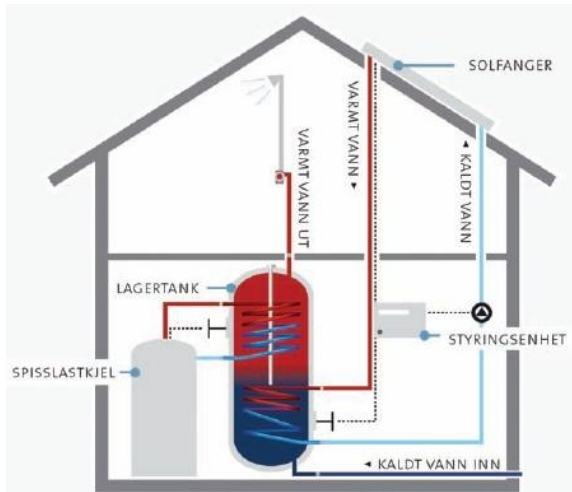
5.1.2 Gjennomføring

Taket til Sans kan samtidig benyttes av både solcelle- og solfangeranlegg eller man kan prioritere kun én av dem. Det er valgt å dimensjonere anleggene hver for seg for å gjøre beregningene oversiktlige da flere forutsetninger må gjøres for hvert anlegg. Følgende punkter beskriver gjennomføringen:

- Et solfangeranlegg er dimensjonert på taket til Sans for å dekke én andel av varmebehovet.
- En varmepumpe er dimensjonert for å dekke det resterende varmebehovet. For tilfellet med solcelleanlegg på taket er også en varmepumpe dimensjonert for å dekke hele varmebehovet.
- Et solcelleanlegg er dimensjonert basert på det elektrisitetsspesifikke forbruket. Resten av elektrisitetsbehovet dekkes av nettet.
- Levert elektrisitet er beregnet på bakgrunn av et energisystem bestående av varmepumpe og solfangeranlegg og et anlegg bestående av varmepumpe og solcellepaneler.

5.2 Solfangere

Fokuset i rapporten er på vannbaserte solfangere og anlegget dekker en størst mulig andel av både tappevann og romoppvarmingen. Hoveddelene i anlegget skal først presenteres kort ved å studere en prinsippsskisse av et solfangersystem i figur 18.



Figur 18 - Prinsippsskisse av et solfangersystem (Andresen, 2008)

Systemet består av følgende fire hoveddeler:

- En solfanger som er montert på vegg eller tak i dette tilfellet.
- Et varmelager som tar vare på det oppvarmede vannet slik at det kan brukes ved behov. Denne er koblet opp til en akkumulatortank/spisslastkjel.
- Et system av rør og pumper sender vannet via varmelager til forbruksstedet.
- Styringssystemet sørger for optimal energiutbytte.

Det finnes plane, vakuumparabol og traufformede solfangere. Her er vakuumparabol og plane solfangere vurdert.

5.2.1 Metode

Før dimensjoneringen skal bakgrunnsinformasjon om beregningsprogrammet legges fram samt grunnlag for arbeidet og hvordan gjennomføringen er gjort. Følgende spørsmål er besvart i studien:

1. Hvor mange fangere må til for å dekke hele behovet for Sans i hver av de fem byene?
2. Hvor mange fangere er det hensiktsmessig å ha på Sans og hvor mye dekker dette?

Det første punktet er presentert i kapittel 5.2.4, *oppsummering*. Det er ikke vanlig å dimensjonere anleggene med 100 % dekning da det er praktiske utfordringer tilknyttet dette.

5.2.1.1 Programmet

Polysun dimensjonerer, utformer og simulerer solvarmesystemer. Programmet inkluderer komplette systemer fra solfangere til varmtvannstanker, akkumuleringstanker og varmebatterier via ledningsnett, pumper og ventiler som styres av kontrollenheter. Systemet kan bygges opp selv eller man kan benytte seg av ferdige maler. Sistnevnte er aktuelt i dette tilfellet da det å dimensjonere slike systemer går utenfor denne oppgaven.

Solfangerne produserer varme også når det er overskyet. En tommelfingerregel sier at solen kan utnyttes helt ned til 10 % av maksimalinnstrålingen (1000 W/m^2). Under denne verdien blir varmeproduksjonen for lav til å kunne utnyttes (Vela Solaris AG, 2012). Det er ikke all solinnstråling som treffer fangerne som blir utnyttet. Flere faktorer påvirker utnyttelsen av solinnstrålingen (Vela Solaris AG, 2012):

- Refleksjon i dekklaget
- Absorpsjon i selve fangeren
- Ufullstendig kjøling av absorpsjonslaget
- Termisk stråling fra fangeren som avhenger av dekklaget og temperaturen.
- Termisk ledning og konveksjon fra fangeren som avhenger av temperaturen.

Virkningsgraden påvirkes i stor grad av temperaturdifferansen mellom fangeren og utetemperaturen. Dersom forskjellen blir stor er varmetapet grunnet avstråling og konveksjon stor. Ved en liten temperaturforskjell kan man oppnå en virkningsgrad på opptil 90 %. Dersom sirkulasjonsvannet i tillegg er kaldere enn den omsluttende lufta er det i teorien mulig å oppnå en virkningsgrad på over 100 % fordi vannet oppvarmes av omgivelsene i tillegg til sola (Vela Solaris AG, 2012).

I utregning av virkningsgraden i programmet benyttes virkningsgradskurver. Virkningsgraden uttrykkes som en funksjon av totalinnstråling og temperaturdifferansen mellom middeltemperaturen i fangeren og utetemperaturen. Tilsvarende grafer benyttes i f-chart metoden som er en håndregningsmetode for dimensjonering av solfangeranlegg (Beckman et al., 1977). Parametrene som beskriver virkningsgraden er (Vela Solaris AG, 2012):

- Absorpsjonsarealet, A
- Effektivitetsgradsparametre - tap i fangere og andre komponenter
- Vinkel på solinnstrålingen
- Varmekapasiteten til fangeren

Disse parametrene er et resultat av de fem punktene nevnt over.

5.2.1.2 Grunnlag

Tabell 53 viser de to solfangerne som er benyttet i dimensjoneringen.

| Type solfanger | Brutto areal [m ²] | Lysåpningsareal [m ²] | Absorpsjonsareal [m ²] | Volum [l] | Maks. temp [°C] |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------|-----------------|
| Plan | 2 | 1,8 | 1,8 | 1,5 | 220 |
| Vakuum | 2 | 1,4 | 1,3 | 1,0 | 320 |

Tabell 53 - Oversikt over solfangere som benyttes i studien

Fangerne er like store som gjør at antallet på taket kan velges likt. Vakuumsfangerne har mindre absorpsjonsareal og har dermed mindre væskevolum som strømmer gjennom. Sistnevnte kan levere en høyere vanntemperatur.

To orienteringer av huset er mulig i forhold til taket. Vindusfasaden vendt mot nord eller sør. Det er valgt sørlig orientering. Karnappet i andre etasje vil gi utfordringer med skygge. Optimalt bør man nøye vurdere solbanen og skyggevirkingen. Her er det kun gjort en forenkling ved å anta at et område på $3 \times 5 \text{ m}^2$ på hver side av karnappet er tilgjengelig.



Figur 19 - Plassering av solfangere på taket til Sans

Det er ikke oppgitt dimensjoner på solfangerne i Polysun, men kun arealer. Det antas derfor at de har en rektangulær form med dimensjon $2 \times 1 \text{ m}^2$. Det er mest gunstige å ha disse stående. Maksimalt kan man dermed plassere 2 i høyden og 3 i bredden for hvert område markert i figur 19. Det gir 12 fangere med totalt bruttoareal på 24 m^2 .

Beregninger senere skal vise at å ha så mange fangere på taket ikke er gunstig i forhold til solinnstrålingen i Norge ved at anlegget da blir overdimensjonert. Valget på antall enheter er derfor blir gjort etter sammenligning med et passivhusprosjekt i Løvåshagen i Bergen. Dette er leiligheter i lavblokker på $50\text{-}95 \text{ m}^2$. Til hver leilighet i passivhusene er det valgt to solfangere á 3 m^2 med en akkumulatortank på 200l (Dokka et al., 2010). Da Sans er en frittstående enebolig med et større bruksareal og varmebehov velges derfor 4 solfangere som gir totalt 8 m^2 bruttoareal. Disse kan plasseres med 2 fangere på hver side av karnappet.

For akkumulatortanken anbefaler Husbanken en størrelse på minst 200 liter for en familie på fire (Våge et al., 2009). Basert på dette og at Sans har et større varmebehov enn prosjektet i Løvåshagen, velges derfor en tank på 300 liter.

Verdier og begrunnelse for øvrig inndata i Polysun ligger som vedlegg 12.

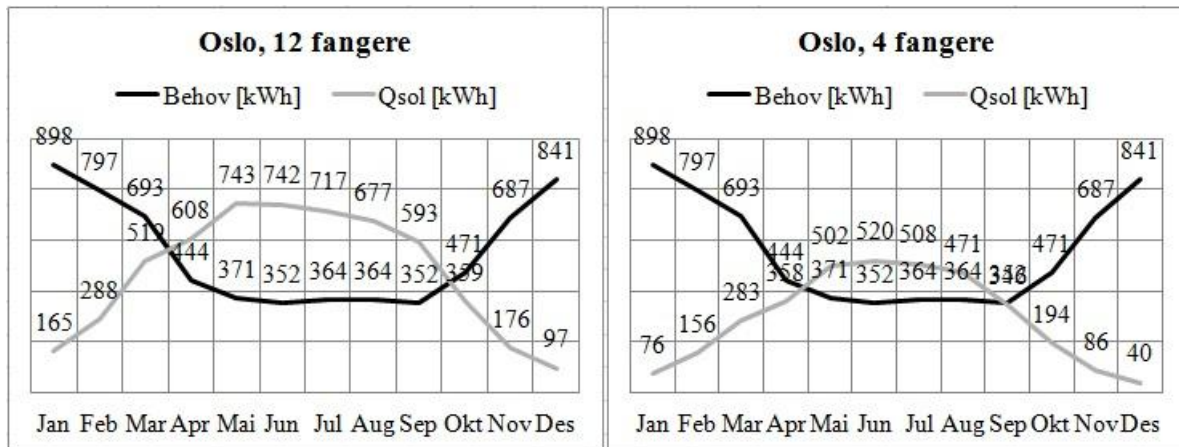
5.2.1.3 Gjennomføring

Gjennomføringen av dimensjoneringsarbeidet beskrives slik:

- Standardproduktene i tabell 53 er valgt. Disse er spesielt tilpasset passivhus og ikke tilknyttet en konkret leverandør.
- 4 fangere av hver type er plassert på taket og varmproduksjonen er beregnet.
- Varmeproduksjon og -behov er brukt til å regne ut dekningsgrad for anleggene.

5.2.2 Resultat

Figur 20 viser en sammenligning av varmeproduksjon med 4 og 12 plane fangere for Oslo. Med 12 solfangere anbefaler Polysun en tankstørrelse på 1200 liter. Dette er i utgangspunktet en urealistisk størrelse for småhus og indikerer at 12 fangere derfor ikke er egnet. Største tank i samme serie som fangeren er på 800 liter. Denne velges derfor her.



Figur 20 - Månedlig beregnet varmebehov og varmeproduksjon med hhv. 12 og 4 plane fangere

Figur 20 viser at differansen mellom behov og produksjon om sommeren blir størst for 12 fangere. Total overproduksjon er på 1 833 kWh for 12 fangere mot 550 kWh for 4 fangere. Dekningsgraden er naturligvis høyest med flest fangere (58 mot 45 %).

På grunn av høy overproduksjon om sommeren, lav utnyttelse om vinteren og behovet for en altfor stor varmelagringstank, er ikke 12 fangere aktuelt i denne sammenheng. Dette er ikke økonomisk eller praktisk forsvarlig. Derfor benyttes 4 fangere videre.

5.2.2.1 Resultat plane solfangere

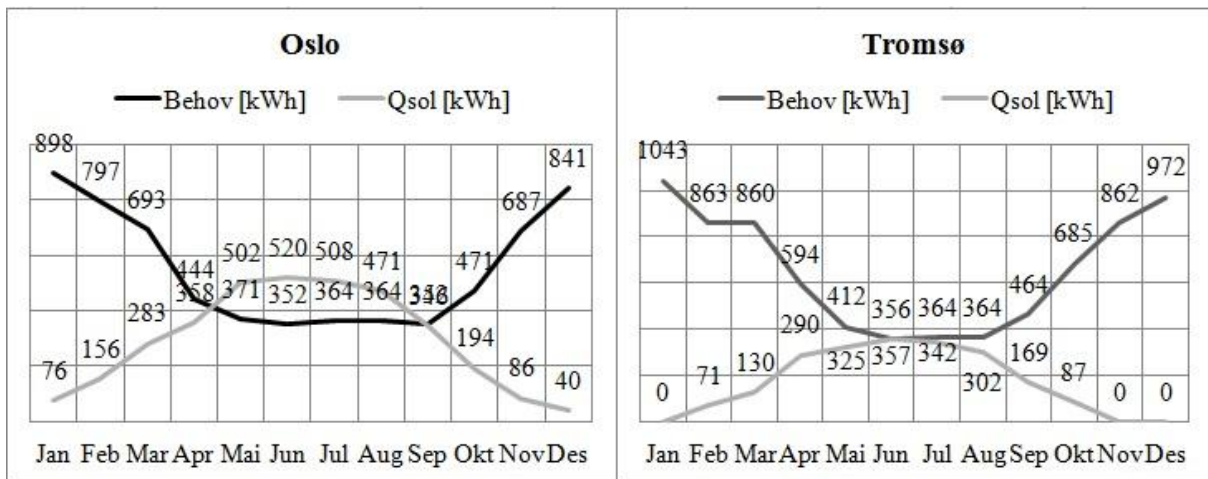
Tabell 54 viser resultatet for dimensjonering av plane solfangere på taket til Sans.

| Plan solfanger | Årlig behov [kWh/år] | Årlig produksjon [kWh/år] | Behov som dekkes [kWh/år] | Dekningsgrad [%] | Må dekkes av VP [kWh/år] | Overproduksjon [kWh/år] |
|----------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|-------------------------|
| Oslo | 6 634 | 3 540 | 2 990 | 45 | 3 644 | 550 |
| Bergen | 6 602 | 2 606 | 2 442 | 37 | 4 160 | 164 |
| Tr.heim | 7 112 | 3 277 | 2 946 | 41 | 4 166 | 331 |
| Tromsø | 7 839 | 2 073 | 2 072 | 26 | 5 767 | 1 |
| Karasjok | 9 820 | 2 409 | 2 336 | 24 | 7 484 | 73 |

Tabell 54 - Resultatverdier for dimensjonering av plane solfangere på Sans

Av tabell 54 kommer følgende fram:

- For Tromsø og Karasjok er dekningsgraden under 30 %.
- Solfangere er mest gunstig i Oslo, Bergen og Trondheim da dekningsgradene er høyest. Dette skyldes høyere årlig varmeproduksjonen kombinert med lavere varmebehov.
- I kolonnen 'behov som dekkes' er ikke forskjellene like store. Her forstår man at for noen måneder produseres det mer varme enn det er behov for. I disse månedene er dekningsgraden 100 %.
- Dette kan man også lese av siste kolonne. Her ser man hvor mye varme som ikke blir utnyttet da behovene tidvis er dekket. I Oslo er innstrålingen høyest, varmebehovet lavest og dette gir størst overproduksjon. I Tromsø er innstrålingen lavest og her har man knapt overproduksjon. Figur 21 viser månedlig varmeproduksjon sammenlignet med behovet for Oslo og Tromsø.



Figur 21 - Sammenligning av beregnet varmebehovet og varmeproduksjon for Oslo og Tromsø

I figur 21 ser man at for Oslo vil behovene dekkes fra april til september. Avstanden mellom kurvene for disse månedene er større enn for Tromsø. Dette symboliserer overproduksjon. I Tromsø dekkes behovet kun i juni. Det kan tolkes som at solfangersystemet er bedre dimensjonert for Tromsø i sommermånedene da produksjonen er like høy som behovet. På en annen side kan det bety at man bør øke antallet i Tromsø for å utnytte solenergien bedre. For Oslo vil systemet være overdimensjonert om sommeren, men man får bedre dekning utover sommermånedene. Det er ikke gjort en analyse på hvor mange fangere som er lønnsomt da dette må ses i sammenheng med investering og aktuell varmeproduksjon.

5.2.2.2 Resultat vakuumsolfanger

Tabell 55 viser resultatet for dimensjonering av vakuumsolfangere på taket til Sans.

| Vakuumsolfanger | Årlig behov [kWh/år] | Årlig produksjon [kWh/ år] | Behov som dekkes [kWh/år] | Deknings-grad [%] | Må dekkes av VP [kWh/år] | Over produksjon [kWh/år] |
|-----------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| Oslo | 6 634 | 3 004 | 2 748 | 41 | 3 886 | 256 |
| Bergen | 6 602 | 2 220 | 2 196 | 33 | 4 406 | 24 |
| Tr.heim | 7 112 | 2 828 | 2 711 | 38 | 4 401 | 117 |
| Tromsø | 7 839 | 1 824 | 1 824 | 23 | 6 015 | 0 |
| Karasjok | 9 820 | 2 090 | 2 090 | 21 | 7 730 | 0 |

Tabell 55 - Resultatverdier for dimensjonering av vakuumsolfangere på Sans

Fra tabell 57 kan følgende hentes ut:

- Oslo kommer best ut med en dekningsgrad på over 40 % med Trondheim og Bergen på de påfølgende plassene.
- I Tromsø og Karasjok ligger dekningsgraden ned mot 20 %.
- I likhet med tabell 54 ser man også forskjellene på produksjon, behov som dekkes og hvor mye som overproduseres. Det kan være interessant å se på hvor stor andel av den årlige produksjonen som går til å dekke behovet. Dette kan brukes til å se hvor godt tilpasset systemet er til de ulike byene. Oslo og Karasjok brukes som eksempel, se tabell 56.

| | Årlig produksjon [kWh] | Behov som dekkes [kWh] | Andel av produksjon [%] |
|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Oslo | 3 004 | 2 748 | 91 |
| Karasjok | 2 090 | 2 090 | 100 |

Tabell 56 - Sammenligning av årlig varmeproduksjon og varmebehovet som dekkes

I tabell 56 ser man at i Karasjok utnyttes den produserte solvarmen bedre med det valgte systemet. Dette vil også gjelde for Tromsø som ikke har overproduksjon. Man kan diskutere hvorvidt det er viktig å vite dette, men det indikerer at om sommeren er systemet bedre tilpasset produksjonen i nord. Verdien kan være med på å fortelle at det er behov for å dimensjonere anleggene annerledes. Dersom man reduserer antall fangere i Oslo, kan man muligens få en bedre utnyttelsesgrad.

På annen side må man vurdere hvorvidt det er ulønnsomt å produsere for mye varme mot at man kan få bedre dekning utover sommermånedene. Det er nok ingen ulempe å produsere for mye varme (bortsett fra at denne overskuddsvarmen må håndteres på en eller annen måte), men vurderingen må rettes mot hvor mye varme kan man få ut for hver krone investert i anlegget. Hva er vedlikeholdskostnadene og levetiden? Dette må sammenlignes med alternative energiforsyningssystemer i et levetidsperspektiv. Som nevnt vil ikke en slik vurdering bli gjort her.

5.2.3 Vurdering

En sammenstilling av dekningsgradene oppnådd i beregningene vises i tabell 57.

| Dekningsgrad [%] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------------|------|--------|-----------|--------|----------|
| Plan solfanger | 45 | 37 | 41 | 26 | 24 |
| Vakuumsolfanger | 41 | 33 | 38 | 23 | 21 |

Tabell 57 - Sammenstilling av dekningsgradene som oppnås med de ulike solfangertyperne

Jevnt over viser tabell 57 at plane solfangere har en høyere dekningsgrad. Beregnet dekningsgraden er basert på behovet som dekkes og ikke av årlig produksjon. Tabell 58 viser en sammenstilling av årlig varmeproduksjon fordelt på hver av typene og hvor mange prosent forskjellen utgjør.

| Årlig produksjon [kWh] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Plan | 3 540 | 2 606 | 3 277 | 2 073 | 2 409 |
| Vakuumsolfanger | 3 004 | 2 220 | 2 828 | 1 824 | 2 090 |
| Forskjell [%] | 15,1 | 14,8 | 13,7 | 12,0 | 13,2 |

Tabell 58 - Sammenstilling av årlig varmeproduksjon som oppnås med de ulike solfangertyperne

Her kommer det enda tydeligere fram at plane solfangere produserer en større mengde varme, mer enn 12 % i forhold til vakuumsolfangere. Plane solfangere er med andre ord mest gunstig i denne studien.

Generelt er oppfatningen at vakuumsolfangere er mer gunstig enn plane solfangere i norsk klima (Sørnes, 2010). Ved første vurdering er det derfor noe overraskende at de plane fangerne har høyere produksjon. Saken faller i et nytt lys ved å studere de ulike arealene i tabell 53. Begge fangerne har likt brutto areal, men absorpsjonsarealet er mindre for vakuumsolfangeren. Dersom man ser på varmeproduksjonen per absorpsjonsareal vil vakuumsolfangeren være mer effektiv (for Oslo; plane -1960 kWh/m², vakuumsolfanger - 2310 kWh/m²). Grunnet mindre absorpsjonsareal vil total varmeproduksjon være mindre for vakuumsolfangerne. Med valgene som er gjort i denne rapporten vil plane fangere komme best ut fordi de produserer mest varme og dermed er mest effektive i forhold til bruttoareal.

En utfordring med Polysun er at databasen inneholder et stort antall produkter. Valget falt på to fangere som virket best egnet til Sans. Det er mulig å velge andre produkter og man kan også legge inn egne systemer selv. Hvilket produkt man velger vil påvirke det endelige resultatet. Resultatene i denne rapporten er derfor direkte knyttet til de valgte fangerne.

Som nevnt er det brukt en ferdig mal i programmet som inkluderer hele systemet for mottak til levering av varme. Ved valg av antall fangere vil programmet foreslå en anbefalt størrelse på akkumuleringstanken. Dette er overstyrt og valgt til 300 liter slik det er forslått tidligere i oppgaven. Størrelsen på tanken vil påvirke hvor mye varme fangerne kan levere da dette kan være en begrensende faktor. Dersom tanken hadde vært for stor, vil begrensningen ligget i varmeproduksjonen i solfangerne.

Det er gjort 2 kontrollberegninger for Oslo (plane og vakuumsolfanger) med en tankstørrelse som er i forhold til anbefalt verdi. Resultatene fra dette viser at dekningsgraden knapt endrer seg fra original beregning (fra 45,1 til 45,4 % for plane og fra 41,4 til 41,5 % for vakuumsolfanger). Dette

betyr at selv om det er valgt en mindre tankestørrelse enn det som er anbefalt, vil dette likevel ikke gjøre nevneverdig utslag.

Dersom utslaget hadde vært større kunne det tydet på for mange solfangere er valgt fordi produksjonen da hadde vært for høy i forhold til lagringsmuligheter. Dette var ikke tilfellet og det konkluderes med at det var riktig å velge fire fangere og en tank på 300 liter basert på overdimensjonering av systemet.

5.2.4 Oppsummering

I dimensjoneringsstudien har det kommet fram at solfangersystemet dekker en størst andel av varmebehovet for Oslo. I Karasjok og Tromsø ligger dekningsgraden på under 30 % og en større andel må altså dekkes av andre kilder. Dette henger direkte sammen med forskjell i solinnstråling, men også et ulikt varmebehov.

Da plane solfangere produserer mer varme enn vakuumsolfangere velges derfor disse videre i dimensjonering av energiforsyningssystemet. I tabell 59 vises hvor mange fangere som er nødvendig for å dekke hele behovet til Sans med plane solfangere. Kolonnen *dim.* viser antall fangere som er valgt som dimensjonerende for energiforsyningssystemet for alle byene.

| Antall | Dim. | Jan. | Feb. | Mar | Apr. | Mai | Jun | Jul | Aug. | Sept. | Okt. | Nov. | Des. |
|-----------|------|------|------|-----|------|-----|-----|-----|------|-------|------|------|------|
| Oslo | 4 | 41 | 17 | 8 | 4 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 8 | 28 | 77 |
| Bergen | | 90 | 31 | 12 | 5 | 3 | 3 | 3 | 4 | 5 | 14 | 50 | 169 |
| Trondheim | | 60 | 18 | 7 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 10 | 41 | 169 |
| Tromsø | | - | 38 | 18 | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 7 | 18 | - | - |
| Karasjok | | - | 40 | 12 | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 | 7 | 13 | - | - |

Tabell 59 - Antall plane fangere dimensjonert for Sans og antall for å dekke hele behovet

Tallene i tabell 59 blir kun teoretiske da man i en slik vurdering også må ta hensyn til størrelse på tank i beregningsarbeidet. Tanken vil bli veldig stor dersom all produsert varme skal kunne lagres. Det er valgt en stor tankstørrelse og lagt inn 1 fanger for deretter å regne ut antall fangere for å dekke hele behovet. Tallene kan ikke direkte sammenlignes med verdiene i tabell 54 fordi ulike tankstørrelse er benyttet.

Med 4 plane fangere som dimensjonerende for Sans ser man at behovet er dekket i sommermånedene for alle byene. I de øvrige månedene er det nødvendig med flere fangere for å dekke behovet, men i praksis lar ikke dette seg gjøre.

Tallene forteller også hvordan ulike behov påvirker antall fangere mellom byene. I nord trenger man flere fangere for å kunne produsere den samme mengden energi sammenlignet med sør. Det kreves enn høyere investering for samme varmeproduksjon. I vintermånedene får man ingen produksjon og utstyret er kun i drift i 9 av årets 12 måneder. Dette skyldes midnattssol. I Tromsø og Karasjok vil det derfor være ugunstig å dekke varmebehovet utover månedene april til august. En økning i antall fangere vil kun ha effekt i februar, mars, september og oktober. Dette vil være en dyr investering og anbefales ikke.

Basert på tabell 59 virker det som at fire fangere er et riktig antall for alle byene. Tallene i tabell 59 skal senere sammenlignes med tilsvarende tall for solcellepaneler.

5.2.5 Feilkilder

Polysun er et komplekst og omfattende program. Det redegjøres ikke for hvilke modeller som ligger til grunn for beregningene noe som gjør det vanskelig å vurdere verdiene. Andre aspekter som vurderes som usikkerhetsmomenter:

- I Polysun oppgis det en fraksjon på hvor mye som dekker varmt vann og romoppvarming. Dette er gitt som snitt over året noe som gjør det vanskelig å overføre dette månedvis. Det er derfor kun sett på romoppvarming og varmtvannsberedning samlet.
- I programmet oppgis det kun samlet årlig solinnstråling for de ulike byene og ikke hvor stor innstrålingen er månedvis. Det gjør det vanskelig å vurdere disse verdiene mot verdier fra for eksempel NS3031. Derimot kommer det fram at verdiene er hentet fra Meteornorm som er samme database som benyttes i SIMIEN.
- Det er valgt ett fast antall solfangere på taket uavhengig klima. Man kunne justert antallet for hvert sted basert på behov og solinnstråling. Likevel viser verdiene i tabell 59 at 4 fangere er et akseptabelt antall for alle byene. Dette gir en høy dekningsgrad om sommeren samt at noe av behovet også dekkes utover disse månedene.

5.3 Varmepumpe

Karasjok, Trondheim og Oslo har dimensjonerende utetemperatur om vinteren på henholdsvis $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $-20,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (jfr. tabell 4 i kapittel 3.2.1, *klimasteder*). Med luft-til-vann varmepumper vil effektfaktoren synke med synkende temperaturer. I de kaldeste periodene må man ha systemer som er egnet for høy effektbelastning. Som et alternativ kan man foreslå væske-til-vann varmepumper. Disse har varmekilder med stabile temperaturer om vinteren. Investeringskostnadene er høyere, men det er også energisparing.

I denne studien blir derfor både luft-til-vann og væske-til-vann varmepumper vurdert. På bakgrunn av varmebehovet som solfangeranlegget er dimensjonert for, kan resterende behov tilegnes varmepumpen, se tabell 60.

| | Dekkes av plan solfanger [kWh] | Dekkes av varmepumpe [kWh] |
|-----------|--------------------------------|----------------------------|
| Oslo | 2 990 | 3 644 |
| Bergen | 2 442 | 4 160 |
| Trondheim | 2 946 | 4 166 |
| Tromsø | 2 072 | 5 767 |
| Karasjok | 2 336 | 7 484 |

Tabell 60 - Varmebehov som dekkes av varmepumpe og solfanger

Sigmasentralen

Før metodekapitlet presenteres skal en mulig løsning for varmeproduksjon og styring vises.

Sigmasentralen er et sammensatt teknisk rom som inneholder et komplett anlegg med alt som er nødvendig til vannbårne oppvarmingssystemer for boliger på inntil 150 m^2 . Alt det tekniske anlegget er samlet i et kabinett på $0,63\text{ m}^2$. Sentralen består av (Varmetema AS, 2012):

- En 2 kW varmtvannsbereder på 145 l.
- En 145 l akkumulatortank med ett 3 kW varmebatteri som fungerer som back up-løsning i perioder med større behov.
- En varmepumpe som kan fås med varmeytelse på 2-9 kW.
- Et gulvvarmesystem.
- Fordelere til tappevann.
- Kraner og interne rørføringer.
- Komplette sikringsskap.
- Ferdige koblede kurser til varmepumpe, elektrisk back up og varmtvannsbereder.

Fordelen med sentralen er at man kan koble systemet opp mot andre varmekilder, for eksempel et solfangeranlegg. Hele energiforsyningen kan altså styres fra et skap.

5.3.1 Metode

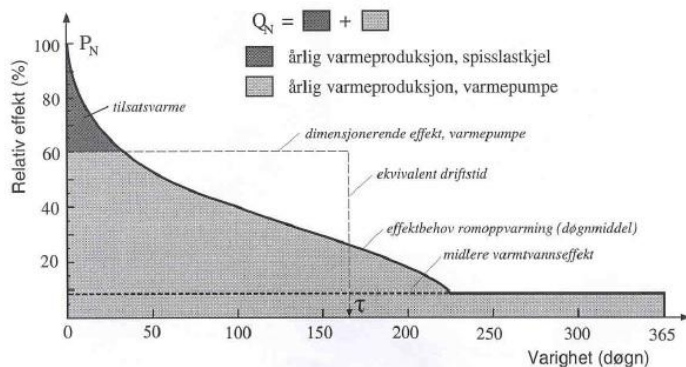
I dette kapitlet skal bakgrunnsteori for dimensjoneringsarbeidet presenteres.

5.3.1.1 Grunnlag

Ved valg av varmepumpe må man vurdere hvor mye av totallasten som pumpen skal dekke. Avhengig av dekningsgraden skiller man mellom to typer varmepumper (Stene, 2008a):

- *Monovalente* - dekker hele varmebehovet.
- *Bivalente* - varmepumpen dekker grunnlasten og en tilleggsvarmekilde tar topplasten.

Optimal effektdekning avhenger av klima, bruksmønster, varmekilden, effektfaktor, investering og energipriser (Stene, 2008a). I følge Stene (2008a) er typiske verdier for varmepumpens effektdekning på 40-70 % av varmebehovet. Figur 22 viser hvordan en varmepumpe kan dimensjoneres ved hjelp av en varighetskurve.



Figur 22 - Varighetskurve for varmeeffektbehovet (Stene, 2000)

I figur 22 vises en varmepumpe som grunnlastkilde med 60 % effektdekning og en tilleggsvarmekilde som står for spisslasten. Ved dimensjonering av tilleggskilden er det normalt at den skal dekke brutto effektbehov, altså 100 % effektdekning (Stene, 2008a). Til det kan man benytte et varmebatteri, en vedovn eller en kjel.

Effektdekning må ses i sammenheng med type pumpe som skal dimensjoneres og hvor stabil temperaturen til varmekilden er. For luft-til-vann varmepumper antas 60 % effektdekning. Væske-til-luft varmepumper har stabile varmekilder som gir en høyere effektfaktor. Denne kan settes til 100 % effektdekning (Bryn et al., 2011), og det velges også her.

Varmepumpens effektdekning er definert etter følgende formel (Stene, 2008a):

$$\beta = P_{vp,dim}/P_N \quad [kW] \quad (3)$$

Ved bruk av formel 3 kan man regne ut $P_{vp,dim}$ som er varmepumpens dimensjonerende varmeytelse. Topplasten dekkes av andre varmekilder, og den elektriske back up løsningen i Sigmasentralen kan benyttes til dette.

I beregning av varmeytelsen trenger man ingen informasjon om effektfaktoren (COP). Derfor blir det i en slik dimensjonering uinteressant hva slags type varmepumpe som benyttes. Derimot ved beregning av levert elektrisitet vil systemeffektfaktoren avhenge av dette.

I dette kapitlet vil det derfor ikke blitt gjort spesifikke beregninger av hver type, men det blir gjort en beregning av varmeytelsen som én varmepumpe må levere for de ulike effektdekningene. Det vil bli gjort en vurdering av de ulike pumpene i kapittel 5.3.4, *vurdering*. Når man derimot skal velge ut et produkt må effektfaktor og årsvarmefaktor vurderes opp mot investering for hvert klima.

5.3.1.2 Gjennomføring

Dimensjonering av varmepumper avhenger av effektdekning og hvilke solsystemer som skal benyttes på taket. Det er antatt at luft-til-vann varmepumper har 60 % effektdekning og det er valgt et elektrisk varmebatteri som tilleggsvarmekilde. Varmebatteriet skal dimensjoneres for å kunne dekke brutto effektbehov. For væske-til-vann varmepumpe er det antatt 100 % effektdekning da varmekilden holder stabil temperatur over hele året. I oppgaven er det valgt å dimensjonere solcelle- og solfangeranlegget hver for seg. Det vil si at varmepumpene må dimensjoneres etter begge disse tilfellene:

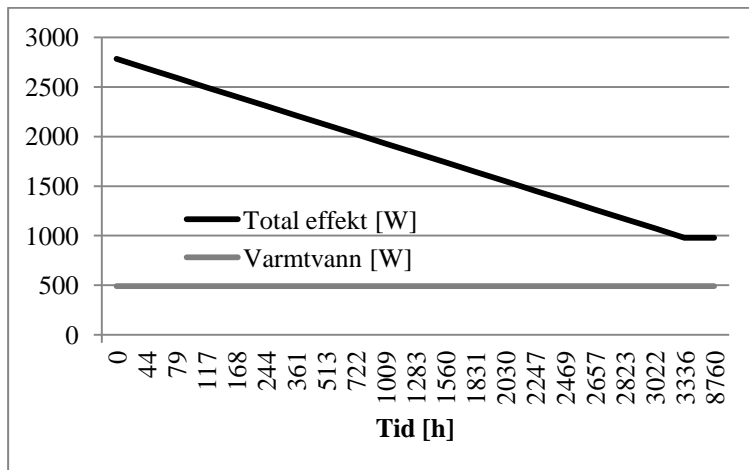
- Med solcellepanel står varmepumpen (og eventuell tilleggsvarmekilde) for hele varmebehovet.
- Med solfangere står varmepumpen (og eventuell tilleggsvarmekilde) for en andel av varmebehovet.

Da beregning av varmeytelse er uavhengig av type varmepumpe, blir beregning gjort slik:

- Ved hjelp av verdier fra beregninger i SIMIEN settes opp varighetskurver tilsvarende figur 22 for hvert klimasted.
- Basert på disse kurvene kan man regne ut til hva slags varmeytelse en varmepumpe har ved 60 % og 100 % effektdekning.

5.3.2 Resultat

I resultatfilene fra SIMIEN angis effektvarighetskurver for romoppvarming, men ikke for varmtvannsberedning. Effektbehovet for oppvarming av varmtvann er jevnt fordelt over alle månedene med en verdi på 490 W for alle byer. Denne verdien kan legges til kurvene fra SIMIEN slik at denne representerer det totale effektbehovet. Figur 23 viser et eksempel for varighetskurven for Oslo.



Figur 23 - Varighetskurve for Sans i Oslo etter beregning i SIMIEN

For varmepumpene med 100 % effektdekning kan varmeytelsen hentes direkte ut i fra varighetskurven som topp-effekten. For de bivalente pumpene finnes varmeytelsen ved å regne ut effekten ved 60 % dekning.

Kilden som skal dekke spisslasten dimensjoneres for å dekke 100 % effektbehov. Denne velges lik topp-effekten. Selv om tilleggskilden kan dekke hele behovet, vil likevel varmepumpen være i drift i dager hvor effektbehovet er høyere enn varmeytelsen. I presentasjon av resultatene tar man først for seg situasjonen med solcelleanlegg.

Beregningstilfelle 1 - varmepumpe kombinert med solcellepanel

I tabell 61 vises maksimalt effektbehov (P_N), som tilsvarer varmeytelsen ved 100 % dekning og varmepumpens dimensjonerende varmeytelse ($P_{vp,dim}$) ved 60 % effektdekning. Ved valg av størrelse på pumpen rundes verdien opp til nærmeste heltall. Dette er vist i parentes.

| Varmeytelse | P_N [kW] | $P_{vp,dim}$ [kW] |
|-------------|------------|-------------------|
| Oslo | 2,29 (3) | 1,38 (2) |
| Bergen | 2,37 (3) | 1,42 (2) |
| Trondheim | 2,39 (3) | 1,43 (2) |
| Tromsø | 2,37 (3) | 1,43 (2) |
| Karasjok | 4,37 (5) | 2,62 (3) |

Tabell 61 - Varmeytelse ved 100 % og 60 % effektdekning for Sans

Verdiene i tabell 61 gjenspeiler dermed ytelsen som varmepumpene må ha for å dekke 100 % og 60 % av effektbehovet. Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø må ha en varmepumpe med ytelse på henholdsvis 3 kW og 2 kW. I Karasjok trenger man større pumper og ytelsen må økes til 5 kW og 3 kW.

Beregningstilfelle 2 - varmepumpe kombinert med solfangeranlegg

I tilfellet med solfangeranlegg blir beregningene annerledes. Når solfangeranlegget står for en andel av varmebehovet, vil varighetskurven endres. Det er vanskelig å anslå hvordan denne blir da det ikke er tilknyttet slik informasjon i resultatene fra Polysun. Det antas at toppeffekten ikke vil endre seg fra tilfelle med solcellepaneler. Solfangerne dekker hovedsakelig varmebehovet om sommeren. Da er effektbehovet lavest. Om vinteren, når temperaturen er på det lavest, får man det høyeste effektbehovet.

Tilfellet med 100 % effektdekning vil derfor bli tilsvarende som beregningstilfelle 1. For lavere effekter vil sannsynligvis varighetskurven endres noe. Det antas likevel her at man kan velge tilsvarende verdier for den bivalente pumpen. Dette forsvares blant annet med at varmeytelsen som er beregnet i tabell 61 i utgangspunktet er lave. Det finnes ikke varmepumper som er mindre enn 2 kW. De minste pumpene fra i Sigmasentralen er på 2 kW og derfor må man likevel velge pumper av samme størrelse.

Tilleggsvarmekilden som skal dekke topplasten må være på 3 og 5 kW (Karasjok) i henholdt til tabell 61 for begge beregningstilfellene. Som nevnt dimensjoneres disse normalt for å dekke hele effektbehovet. Dersom man antar at varmepumpen går selv når det er kaldt og virkningsgraden er lav, vil tilleggsvarmekilden yte mindre. Det kan være en fordel dersom et elektrisk varmebatteri benyttes fordi elektrisitet har høyere pris om vinteren. Dersom man i større grad kan benytte varmepumpe om vinteren vil pumpen, selv med redusert virkningsgrad, fortsatt være mer lønnsom enn ett elektrisk varmebatteri.

I Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø er det tilstrekkelig med back up løsningen til Sigmasentralen på 3 kW. I Karasjok derimot må man ha en varmekilde på over 4,4 kW.

5.3.3 Vurdering

Det er i denne beregningsdelen ikke skilt mellom væske-til-vann og luft-til-vann varmepumper, men kun sett generelt på hvor stor ytelse som er nødvendig for å dekke behovene. Derimot er det aktuelt å drøfte hvilke av pumpene som er best egnet i de ulike byene. I blant annet Karasjok kan man ha lange perioder om vinteren der temperaturen er under $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dermed blir virkningsgraden for luft-til-vann varmepumper svært lav. Her vil væske-til-vann varmepumper ha en klar fordel da virkningsgraden vil være høy hele året. Det samme gjelder også for Oslo og Trondheim som har lave vintertemperaturer.

For hvert klimasted vil temperatur være en viktig faktor, men type pumpe må også vurderes ut ifra tilgjengeligheten på varmekilden. Luft har man overalt, men grunnvann, sjøvann eller bergvarme er ikke alltid like lett tilgjengelig. Dette må utredes i hvert tilfelle.

Luft-til-vann varmepumper bør kombineres med en tilleggsvarme som sikrer minst mulig energiutgifter ved høy effektbelastning. Vedovn er nevnt som et alternativ til et elektrisk batteri. Denne kan med fordel brukes i de kaldeste dagene da man reduserer elektrisitetsforbruket når effektbehovet er størst. Dersom Sigmasentralen benyttes som komplett system kan det lønnes seg å kjøre varmepumpen kombinert med varmebatteriet også i de kaldeste månedene.

Ved bruk av væske-til-vann varmepumper vil det være lønnsomt å dimensjonere med full dekning av varmebehovet. Dette blant annet fordi investeringen er høy og når man først installerer systemet burde man sørge for en best mulig utnyttelse. Alternativt kan varmepumpen kjøres i serie med solfangeren. Solfangeren kan forvarme vannet og varmepumpen kan sørge for ettervarming. Da får man utnyttet solenergien kombinert med at varmepumpen kan sikre full dekning om vinteren. Dette gjør at man reduserer driftstiden til pumpen som bidrar til at ytelse og levetiden forbedres (CTC FerroFil AS).

Man kan diskutere lønnsomheten ved å investere i en varmepumpe når man også har solfangeranlegg. Dette temaet er spesielt aktuelt for væske-til-vann varmepumper der investeringen er høyest. Det vil dermed bli en dyr investering fordi man utnytter varmepumpen i mindre grad når solfangeren dekker behovet om sommeren. Her er det vist at dekningsgraden ligger på 100 % slik at varmepumpen ikke er nødvendig om sommeren.

Luft-til-vann pumper vil også benyttes når solfangeren ikke er effektiv nok. Da vil også effektfaktoren for varmepumpene være lavere på grunn av lavere temperatur. En kombinasjon med luft-til-vann varmepumpe og solfangere er antageligvis ikke det mest lønnsomme. Optimalt bør man kombinere solfangere/varmepumpe med en energikilde som er effektiv vinterstid.

Effektdekning på pumpene er valgt ut ifra vanlige verdier og anslåtte maksimale dekningsgrader. Dagens utvikling innenfor varmepumpeprosesser fører med seg pumper med høyere effektfaktor også på kjøligere dager. Det gjør det mer lønnsomt å øke effektdekningen. Når man ser på resultatene er det ikke store forskjellen mellom størrelsen på pumpene med full dekning og 60 % dekning. Dersom prisforskjellen heller ikke er for stor kan det lønne seg å velge den største pumpen. Likevel er det fortsatt anbefalt at luft-til-vann varmepumper kombineres med en ekstrakilde for å optimalisere driften.

5.3.4 Oppsummering

Oppsummert er følgende varmeytelse beregnet for de ulike pumpene:

- Monovalente pumper: Varmeytelse på 3 kW for Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø og 5 kW for Karasjok.
- Bivalente pumper: Varmeytelse på 2 kW for Oslo, Bergen, Trondheim og Tromsø og 3 kW for Karasjok. Tilleggsvarmekilden er på henholdsvis 3 og 5 kW.

Dette er altså gjort uavhengig av type pumpe som benyttes. Det er nevnt tidligere at væske-til-vann varmepumper kan stå for 100 % effektdekning og disse går derfor som monovalente. Luft-til-vann varmepumpene bør kombineres med en tilleggsvarmekilde og det elektriske varmebatteriet fra Varmetema er valgt til dette. Ut ifra anbefalinger er det valgt full dekning for tilleggsvarmen. Det vil likevel bli opp til hver enkelt situasjon hvordan tilleggsilden skal kombineres i drift med varmepumpen.

Valg av type varmepumpe avhenger av klima, hva man er villig til å investere og hva slags muligheter som er tilgjengelig ved byggetomten. I kaldt klima vil det lønne seg å bruke en væske-til-vann varmepumpe fordi varmekilden er stabil som gir høy årsvarmefaktor.

5.4 Solcelleanlegg

I denne studien er den elektriske energien som produseres i panelene kun brukt til det elektrisitetsspesifikke forbruket. Innledningsvis presenteres valg av solcelleteknologi.

Man skiller hovedsakelig mellom krystallin- og tyntfilmteknologier. Sistnevnte teknologi gir paneler med lavest virkningsgrad, er billigere å produsere, bruker kun 1-5 % av råvarene som i krystallinske og kan bøyes som gjør dem fleksible i bruk. Krystallinske solceller lages av silisiumskiver og deles inn i monokrystallinske og multikrystallinske (fornybar.no):

- *Monokrystallinske*: Består av én eneste krystall med et homogent krystallgitter. Disse har lavere tap i systemet som medfører høyere virkningsgrad (15-18 %). De er dyrere fordi det er mer energikrevende å lage dem.
- *Multikrystallinske*: Består av mange små krystaller. Virkningsgraden er på rundt 14 %.

For småhus er krystallinske solceller mest aktuelle og disse velges derfor videre.

5.4.1 Metode

Informasjon om programmet, aktuelt grunnlag og gjennomføringen presenteres i kapitlet.

5.4.1.1 Programmet

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) regner ut månedlige og daglige solinnstråling samt elektrisitetsproduksjonen for solcellepaneler koblet til elektrisitetsnettet.

I beregning av elektrisitetsproduksjon inkluderes energitap på grunn av økt temperatur og tap grunnet effekten av vinklet innstråling. Det regnes også med et tap i systemet fra motstand i kabler, invertere og på grunn av tilsmusning av panelene. Tapet i systemet kan legges inn selv, men en erfaringsbasert verdi på 14 % anbefales (The European Commission, 2012).

Man kan legge inn filer som beskriver horisonten. Videre kan man tillate at panelene følger solens bane slik at man oppnår optimale vinkler. Dette kan gjøres både vertikalt, horisontalt eller begge kombinert. Det er valgt fastmonterte solceller da dette er mest aktuelt for småhus.

Brukermanualen til PVGIS beskriver hvilke faktorer som effektuttaket er avhengig av. Programmet tar kun hensyn til de tre første punktene (The European Commission, 2012):

- *Temperatur* - høy verdi gir lavere virkningsgrad grunnet økt refleksjon og avstråling.
- *Lysintensitet* - lavere verdi gir lavere virkningsgrad. En tommelfingerregel sier at optimal vertikal helning er 90° minus breddegrad (Oslo; $90-60=30^\circ$). En sørlig orientering er mest gunstig, med inntil 45° avvik som akseptabelt (Haase).
- *Refleksjonsgraden på panelet* - noe sollys vil alltid reflekteres, men jo mer lys som treffer fra siden desto større blir refleksjonen. Verdien avviker lite mellom produktene.
- *Solspektret* - de fleste solcellepaneler fungerer godt for synlig lys, men avviket er stort for nærinfrarød stråling. Strålingsfordelingen endres med tiden på døgnet og de beste panelene fungerer godt for flere typer stråler.
- *Levetid* - Effekten reduseres med årene.

5.4.1.2 Grunnlag

Alle solcellepaneler oppgis med en topp effekt (eng. peak power) som gjøre det mulig å sammenligne produkter med ulik ytelse. Toppeffekten er målt under standard testforhold (eng. STC = standard test condition) ved 25 °C, 1000 W/m² innstråling og med et solspekter som gir en luftmasse på 1,5 (Vela Solaris AG, 2012). Når alle produktene testes under samme forhold er det mulig å sammenligne effektuttaket for produktene.

Dersom toppeffekten og arealet er kjent kan man regne ut virkningsgraden ved formel 4:

$$P_{pk} = A \cdot \text{eff}_{nom} \quad [\text{W}] \quad (4)$$

For ett gitt panel med en bestemt topp effekt vil et lite areal gi høy virkningsgrad. Ikke alle produsenter oppgir virkningsgraden. Det regnes enkelt når arealet og topp effekten er gitt.

5.4.1.3 Gjennomføring

Selve gjennomføringen av studien er tredelt:

1. Det er gjort et produktsøk på aktuelle solcellepaneler hovedsakelig rettet mot norske leverandører. Svenske og danske leverandører er også inkludert.
2. Et utvalg av funnene er tatt med videre for å beregne elektrisitetsproduksjonen for ett panel i programmet PVGIS.
3. Elektrisitetsproduksjonen er benyttet videre til å beregne størrelsen på anlegget.

Målet med arbeidet er å sitte igjen med følgende informasjon:

- Hvor mange paneler er nødvendig for å dekke hele behovet til Sans?
- Hvor mange paneler får man plass til på Sans og hvor mye må dekkes av nettet?

Det første punktet presenteres i kapittel 5.4.4, *oppsummering*.

Antall paneler som kan plasseres på taket regnes ut på forhånd. I beregningene skal man finne ut hvor mye elektrisitet dette dekker. For tilfellet med solfangere valgte man å redusere antallet da man fikk for stor overproduksjon med full utnyttelse av takarealet. Med solcellepaneler blir situasjonen noe annerledes fordi man kan levere elektrisitet tilbake til nettet for dager med større produksjon enn behovet. Derfor velges det å gå videre med det antallet man får plass til. En vurdering av dette blir gjort i kapittel 5.4.3, *vurdering*.

5.4.2 Resultat

En oversikt over søkeresultatene er presentert i vedlegg 13. Målet var å ta med produkter i varierende størrelse og topp-effekt. Følgende produkter er tatt med videre, se tabell 62.

| Leverandør - merke | Toppeffekt [W _p] | Virkningsgrad [%] | Mål / areal [m / m ²] |
|-------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| GETEK AS - KYOCERA | 135 | 13,5 | 1,500 x 0,668 / 1,00 |
| GETEK AS - REC | 230 | 13,9 | 1,665 x 0,991 / 1,65 |
| Dynergi AS - Schott | 285 | 14,6 | 1,970 x 0,993 / 1,95 |
| Solarit AB - SR-M654230 | 230 | 15,7 | 1,480 x 0,992 / 1,47 |

Tabell 62 - Oversikt over solcellepaneler som benyttes i studien

Figur 24 viser hvor på taket panelene kan plasseres. Dette er likt som for solfangerne.



Figur 24 - Plassering av solcellepaneler på taket til Sans

Solcellepanelene er rektangulære. Det er valgt liggende eller stående paneler avhengig av alternativet som gir flest paneler. Tabell 63 viser hvor mange paneler som er teoretisk mulig.

| Merke | Areal [m ²] | Retning | Antall paneler [stk] | Areal [m ²] |
|------------|-------------------------|----------|----------------------|-------------------------|
| KYOCERA | 1,00 | Stående | 2 x 14 = 28 | 28 |
| REC | 1,65 | Stående | 2 x 9 = 18 | 29,7 |
| Schott | 1,95 | Stående | 2 x 6 = 12 | 23,4 |
| SR-M654230 | 1,47 | Liggende | 2 x 10 = 20 | 29,4 |

Tabell 63 - Antall paneler på taket til Sans

Inndata i PVGIS finnes i vedlegg 12. I presentasjonen av resultatene er det valgt først å sammenligne elektrisitetsproduksjonen på vegg med tak. Videre presenteres dekningsgraden for panelene i hver by slik at det framkommer hvilket produkt som er mest gunstig. Den beste er tatt med videre og resultatene for denne skal presenteres inngående for hver by.

5.4.2.1 Vegg vs. tak

Tabell 64 viser forskjellen på å ha solcellepanelene på veggen sammenlignet med taket for Oslo og panelet Kyocera. Man kan ikke ha like mange paneler på hvert sted. Det er derfor valgt å se på hvor mange paneler som er nødvendig for å dekke hele behovet.

| Oslo - Kyocera | Årlig produksjon pr. enhet [kWh/år] | Måned med flest paneler - antall | Måned med færrest paneler - antall |
|-------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Solcellepanel på tak | 99,1 | Desember - 310 | Juni - 26 |
| Solcellepanel på vegg | 74,7 | Desember - 228 | Mai - 44 |
| Differanse ift. tak [%] | 25 | 26 | 169 |

Tabell 64 - Antall paneler for å dekke hele behovet på veggen sammenlignet med taket

Tabell 64 forteller at det produseres mer elektrisitet per panel på taket. Verdien er 25 % høyere enn veggplassering. Om vinteren er solbanen lavere og solen utnyttes best på veggen. Derfor er antallet for å dekke hele behovet om vinteren lavest på veggen. Til tross for dette er innstrålingen så lav at produksjonen også blir lav.

I siste kolonne i tabell 64 ser man at om sommeren trenger man flest paneler på veggen. Da ligger solen høyere på himmelen og man får mest soltilskudd på taket. Det forteller at solen utnyttes best på taket og om sommeren da soltilskuddet er høyest. Når man samtidig vet at man av praktiske årsaker kan ha færre paneler på vegg, velges det derfor å se bort fra veggopphengte solcellepaneler.

5.4.2.2 Dekningsgrad

Tabell 65 viser dekningsgraden for de ulike panelene i hver av byene.

| DG [%] | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
|------------|------|--------|-----------|--------|----------|
| Kyocera | 56,7 | 50,8 | 56,6 | 49,9 | 52,3 |
| REC | 59,7 | 54,1 | 59,8 | 52,5 | 54,9 |
| SR-M654230 | 63,5 | 57,3 | 63,0 | 54,6 | 57,6 |
| Schott | 52,3 | 46,6 | 52,2 | 45,2 | 47,6 |

Tabell 65 - Dekningsgrader for de ulike solcellepanelene

Av tabell 65 kan man lese at Solarit sitt solcellepanel, SR-M654230 (heretter kalt SR), kommer best ut av denne sammenligningen. Dårligst ut kommer Dynergi sitt solcellepanel, Schott. En forklaring på dette kan forklares slik:

- Virkningsgraden til solcellepanelene defineres ved arealet og toppeffekten målt ved STC. I tabell 62 vises virkningsgraden for produktene. SR kommer best ut med en virkningsgrad på over 15 %.
- Arealet på SR er lite noe som gjør at man får dekket en større andel av taket.
- Det er flere produkter som har høyere toppeffekt enn SR, men dette må ses i sammenheng med arealet. Ved stort areal blir virkningsgraden liten selv med høy toppeffekt.
- Schott har ikke lavest virkningsgrad, men kommer likevel dårligst ut. Produktet leverer en høy toppeffekt ($285 W_p$), men krever samtidig et stort areal per enhet. Det medfører at det kun er plass til 12 paneler på taket og elektrisitetsproduksjonen blir derfor lavere.
- For Kyocera kan man ha hele 28 paneler på taket. Produktet har lavest virkningsgrad og toppeffekt slik at produksjonen ikke blir høy nok.

SR kommer best ut for Sans fordi produktet har høyest virkningsgrad og utnytter takarealet best. Dette produktet velges derfor videre som grunnlag for dimensjonering.

5.4.2.3 SR-M654230

I tabell 66 som presenterer resultatet for dimensjoneringen av SR.

| SR-M65423 | Årlig behov [kWh/år] | Årlig produksjon [kWh/ år] | Behov som dekkes [kWh/år] | Dekningsgrad [%] | Leveres til nettet [kWh] |
|-----------|----------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|--------------------------|
| Oslo | 4 809 | 3 378 | 3 053 | 63,5 | 325 |
| Bergen | 4 810 | 3 106 | 2 757 | 57,3 | 259 |
| Trondheim | 4 812 | 3 382 | 3 034 | 63,0 | 348 |
| Tromsø | 4 815 | 2 929 | 2 628 | 54,6 | 301 |
| Karasjok | 4 842 | 3 101 | 2 788 | 57,6 | 313 |

Tabell 66 - Resultatverdier for dimensjonering av solcellepanelet SR

I Oslo og Trondheim finner man høyest dekningsgrad for SR solcellepanel. Dette skyldes at byene har høyere solinnstråling enn de øvrige byene, se tabell 67.

| | Årsfluks [W/m ²] |
|-----------|------------------------------|
| Oslo | 113 |
| Bergen | 102 |
| Trondheim | 114 |
| Tromsø | 98 |
| Karasjok | 102 |

Tabell 67 - Årlig solfluks

Man kan stille spørsmålsteget ved at Oslo har noe høyere dekningsgrad, men lavere solfluks enn Trondheim. Dette kan forklares med at optimal vinkel på panelet for Oslo er 39°, men i Trondheim er vinkelen 43° (optimal vinkel angitt i PVGIS). Når takvinkelen er 31°, vil Oslo komme bedre ut til tross for lavere solfluks. Senere i kapitlet skal det gjøres en sammenligning av solfluksverdiene i PVGIS med tilsvarende verdier i NS3031. Verdiene for dekningsgradene er som ventet dersom man sammenligner dette med solfluksen:

- Oslo og Trondheim har høyest solfluks og har dermed høyest dekningsgrad.
- Bergen og Karasjok har like verdier for solfluks og dekningsgradene er derfor også (nesten) helt like.
- Tromsø har lavest årsfluks og dette gjenspeiles i dekningsgraden.

5.4.3 Vurdering

Det ble antatt et areal på taket som panelene kunne plasseres på. I motsetning til solfangerstudiet vil skyggevirksomhet fra karnappet være et tema her. Med valgte plassering er det mulig at skygge vil oppstå på noen av panelene. Som nevnt bør plasseringen vurderes ved å studere solbanen. I denne studien er det kun gjort en forenkling.

Videre kan man vurdere hvor realistisk det er å ha 29 m² med solcellepaneler. Ved å velge så mange paneler utnytter man plassen meget godt, men antageligvis vil det gå med noe areal til ledninger, fester etc. På en annen side er det et areal over karnappet som også kan brukes.

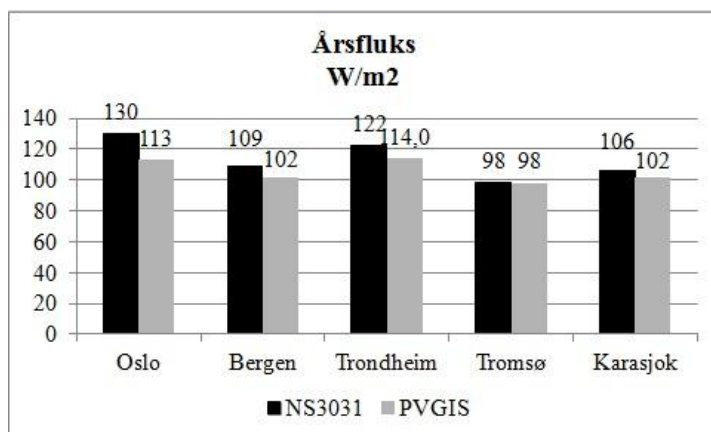
Da det er flere faktorer som påvirker plassering og utnyttelse av arealet vil det være knyttet noe usikkerhet rundt antallet. Her vil igjen klima, solbane og innstråling spille inn. Derfor er det gjort en forenkling ved å velge en så god utnyttelse.

PVGIS anslår en optimal vinkel for panelene i hver by. Man kunne valgt å montere justerbare festeanordninger. Dette vil vært riktig å gjøre i praksis fordi man ønsker en best mulig utnyttelse av panelene. I studien er det likevel valgt å bruke takvinkelen til Sans for alle byene.

Et siste punkt som skal vurderes er økonomi. Det er ikke gjort en økonomisk vurdering på hvor mange paneler som er lønnsomt. Dette bør gjøres for hver by og krever noen forutsetninger som plassering av panelene og solinnstråling. I videre arbeid kan det fokuseres på dette ved å gjøre beregninger med x antall paneler mot y kWh elektrisitetsproduksjon. Sammenstilles dette med reduserte energiutgifter, investeringskostnader og vurderes over panelenes levetid, kan man finne et optimalt antall paneler.

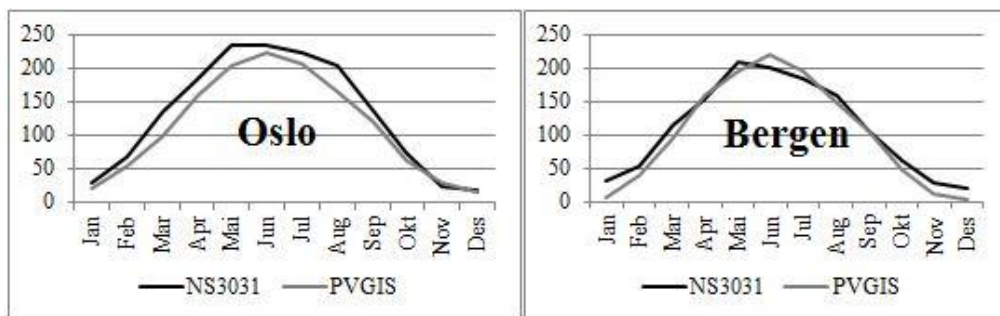
5.4.3.1 Sammenligning av verdier for strålingsfluks

Det er ikke mulig å legge inn verdier for strålingsfluks i PVGIS. Det vil altså være andre verdier enn de som er angitt i NS3031 og som er brukt ellers i rapporten. I figur 25 vises årsfluks for hver av byene i henhold til NS3031 og PVGIS (2007, 2012).

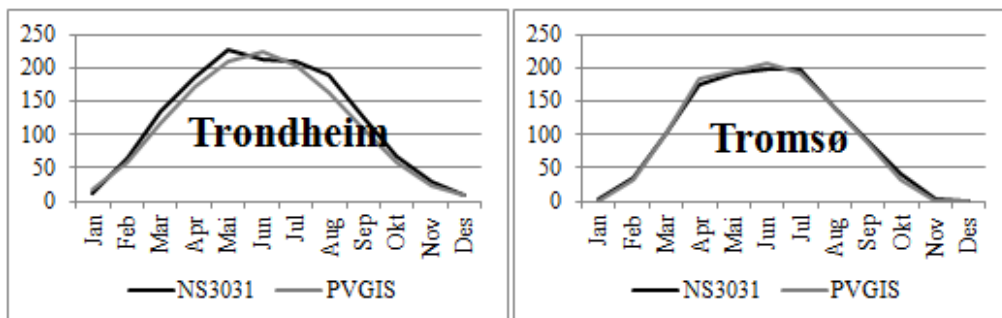


Figur 25 - Sammenligning av årsfluks for PVGIS og NS3031

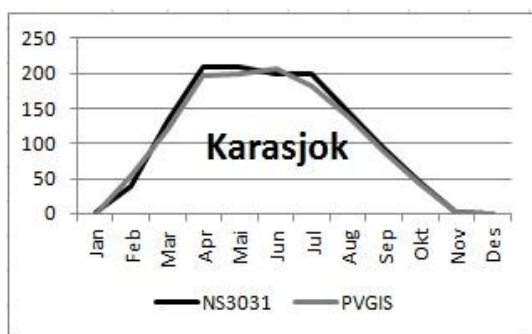
Over året kommer det fram at NS3031 ligger noe høyere enn PVGIS. Ellers er det verdt å merke seg at internt mellom byene er differansene mindre og rangeringen har endret seg noe. Oslo og Trondheim har høyest og nest høyest fluks i NS3031 og Tromsø har lavest. I PVGIS er rekkefølgen på toppen snudd, mens Tromsø fortsatt har lavest verdi. Det er mer interessant å se på hvordan avvikene fordeler seg månedsvis. Figur 26, 27 og 28 viser dette.



Figur 26 - Grafisk sammenstilling av solfluks for PVGIS og NS3031 i Oslo og Bergen



Figur 27 - Grafisk sammenstilling av solfluks for PVGIS og NS3031 for Trondheim og Tromsø



Figur 28 - Grafisk sammenstilling av solfluks for PVGIS og NS3031 for Karasjok

Avlesning av informasjon i diagrammene kan oppsummeres slik:

- NS3031 ligger noe høyere enn PVGIS. Utslaget er størst for Oslo.
- For Tromsø er årsfluksene like og begge kurvene følger hverandre omtrent identisk.
- Kurvene i Karasjok følger hverandre tett, mens i Oslo er avvikene større.
- Til tross for noe avvik mellom kurvene er tendensene stort sett like med topp i mai/juni/juli.
- For Oslo og Trondheim følger kurvene i PVGIS et likt mønster. I NS3031 avviker disse noe fra hverandre.

Det er i utgangspunktet en del usikkerhet i målinger som gjøres av innstråling og det er umulig å få helt nøyaktige tall. Verdiene er noe lavere for PVGIS slik at resultatene for elektrisitetsproduksjonen potensielt blir lavere enn ved bruk av verdier fra NS3031. Forskjellene mellom programmene er heller ikke så store at de vil utgjøre nevneverdige utslag. Det er likevel viktig å visualisere dette for å bli klar over forskjellene.

5.4.4 Oppsummering

I dimensjonering av solcellepaneler må man ta hensyn til størrelsen på taket og vurdere dette opp mot virkningsgraden og toppeffekten på solcellepanelene. For Sans er det et karnapp som skaper noen utfordringer med plasseringen av panelene. Det er i denne studien kun gjort en forenkling av plasseringen og dette vil sannsynligvis ikke være helt realistisk.

I Trondheim og Oslo oppnår man en høyest dekningsgrad ved bruk av solcellepanelet SR-M654230. Dette skyldes at disse byene har høyest fluks. For alle byene er dekningsgraden 100 % om sommeren og det er mulig å levere strøm tilbake til nettet. Om vinteren faller dekningsgraden og blir 0 % for Tromsø og Karasjok i de kaldeste månedene.

Tabell 68 oppsummerer dimensjoneringen av anlegget og viser hvor mange paneler som er nødvendig for å dekke hele elektrisitetsbehovet. Første kolonne viser situasjonen med panelet SR-M654230 hvor det er valgt å bruke 20 paneler for alle byene.

| SR | Dim. | Jan | Feb | Mars | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sept | Okt | Nov | Des |
|-----------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
| Oslo | 20 | 143 | 55 | 31 | 21 | 17 | 16 | 17 | 21 | 27 | 48 | 103 | 183 |
| Bergen | | 547 | 76 | 32 | 21 | 18 | 16 | 18 | 23 | 31 | 65 | 334 | 1396 |
| Trondheim | | 175 | 49 | 27 | 19 | 16 | 16 | 17 | 21 | 30 | 52 | 119 | 336 |
| Tromsø | | - | 98 | 30 | 17 | 17 | 17 | 18 | 24 | 36 | 98 | - | - |
| Karasjok | | - | 53 | 25 | 16 | 17 | 17 | 19 | 24 | 37 | 72 | - | - |

Tabell 68 - Antall paneler av typen SR-M654230 og antall for å dekke hele behovet for Sans

For full dekning er det behovet for 16-19 enheter om sommeren. Man kunne redusert antallet med noen paneler og samtidig sørger for full dekning om sommeren. Derimot med 20 enheter får man nesten full dekning også i august og april, samtidig vil en potensiell overproduksjon kunne føres tilbake til nettet. Uten å gjøre en økonomisk beregning på dette er det vanskelig å si hva som er mest lønnsomt. På bakgrunn av tabell 68 er valget av 20 paneler akseptabelt.

Forskjellen mellom de ulike byene i sommermånedene er heller ikke stor slik at det ikke er nødvendig å gjøre detaljerte vurderinger for hvert klima.

I kapittel 5.6, *vurdering* skal tabell 68 og 59 sammenlignes og vurderes.

5.4.5 Feilkilder

I programmet presenteres noen feilkilder som skal nevnes (Vela Solaris AG, 2012).

- Data som er samlet inn er fra målinger på bakkenivå. Ugunstig plassering av måleinstrumentet eller skitt/snø på panelene kan påvirke målingene og vil gi en underestimert verdi.
- Dataene inneholder både global horisontal og horisontal diffus stråling. Usikkerheten er størst for sistnevnte på grunn av mangel på nøyaktige målingsmetoder og fordi de fleste verdiene som ligger i databasen er estimert basert på andre meteorologiske data.
- Det benyttes langtids gjennomsnittlige verdier og ikke momentane verdier for solinnstråling og omgivende temperatur. Dette gjør at resultatet blir overestimert på inntil 1 %. Det skyldes at temperatur og innstrålingen avhenger av hverandre. En høy innstråling gir høy temperatur som igjen medfører en lavere virkningsgrad i systemet. Dette inkluderes altså ikke når man benytter gjennomsnittlige verdier.

5.5 Levert elektrisitet

Beregning av behov for levert elektrisitet gjøres i NS3031(2007) etter følgende formel:

$$E_{\text{del,el}} = E_{\text{del,spes-el}} + E_{\text{del,er-el}} + E_{\text{del,hp-el}} + E_{\text{del,sol-el}} \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

Leddene representerer elektrisitet til henholdsvis elektrisitetsspesifikt forbruk, elektriske varmesystemer, varmepumpesystemer og termiske solsystemer. Formler og forklaringer på disse er som følger:

- Elektrisitetsspesifikt forbruk er andelen av forbruket som ikke dekkes av solcellepanel (elektrisiteten som dekkes av solcellepanelet utgjør ikke en del av levert energi til bygget) pluss elektrisitet som solcelleanlegget trekker.

$$E_{\text{del,spes-el}} = E_{\text{spes}}(1 - f_{\text{El-sol}}) + E_{\text{spes}} * f_{\text{El-sol}} / \eta_{\text{El-sol}} \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

- Levert elektrisitet til elektriske varmesystemer inkluderer varmebatteriet i ventilasjonsanlegget. Her benyttes en virkningsgrad på 1,00.

$$E_{\text{del,er-el}} = Q_{\text{ventilassjonsvarme}} / \eta = Q_{\text{ventilassjonsvarme}} \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

- Levert elektrisitet til varmepumpesystemer er definert ut ifra følgende formel:

$$E_{\text{del,hp-el}} = (Q_{\text{H,nd}} * f_{\text{H,hp}} + Q_{\text{W,nd}} * f_{\text{W,hp}}) / \eta_{\text{hp}} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

- Levert elektrisitet til termiske solenergisystemer er definert ut ifra følgende formel:

$$E_{\text{del,sol-el}} = (Q_{\text{H,nd}} * f_{\text{H,T-sol}} + Q_{\text{W,nd}} * f_{\text{W,T-sol}}) / \eta_{\text{T-sol}} \quad [\text{kWh}] \quad (9)$$

$Q_{\text{H,nd}}$ og $Q_{\text{W,nd}}$ beskriver årlig netto energibehov for henholdsvis romoppvarming og oppvarming av tappevann. f_{H} og f_{W} beskriver andel av netto energibehov som dekkes av varmepumpe (hp) og solfangeranlegg (T-sol) for henholdsvis romoppvarming og oppvarming av tappevann. $f_{\text{El-sol}}$ er andel av elektrisitetsbehovet som dekkes av solcelleanlegget.

Netto energibehov, Q , varierer fra by til by og verdiene er hentet fra beregningene gjort i kapittel 3.3.6, *tilpasning av enkeltkomponenter*. Disse er presentert i tabell 52 i kapittel 5.1. Virkningsgradene for hvert system finnes i NS3031. Disse gjengis i tabell 69.

| | Systemvirkningsgrad/systemeffektfaktor |
|------------------------------------|--|
| Varmebatteri | 1,00 |
| Varmepumpe - luft/vann, radiator. | 2,08 |
| Varmepumpe - væske/vann, radiator. | 2,26 |
| Solfangeranlegg | 9,03 |
| Solcelleanlegg | 100 |

Tabell 69 - Systemvirkningsgrad og systemeffektfaktor hentet fra NS3031

Beregning av verdier for andelene, f , som dekkes av ulike energikildene skal utdypes.

- Man har ikke informasjon om hvor stor andel av romoppvarming beredning av varmt vann som varmesystemene dekker. Dermed slås leddene i ligning 8 og 9 sammen.
- Med to uavhengige dimensjonerings av solenergianlegg og med to mulige effektdekninger av varmepumpene må det beregnes andeler, f , for 4 ulike situasjoner for alle fem byene. Da trengs energimengden som varmepumpen står for ved 60 % effektdekning. Beregningsmengden blir omfattende da dette må vurderes ut i fra hver enkelt varighetskurve. For å begrense mengden er det valgt å forenkle regnestykket ved å si at beregningsmessig dekker varmepumpen andelen til varmebatteriet. Dette vil gi et lite avvik da varmepumpen vil trekke mindre elektrisitet enn varmebatteriet. Det antas likevel at feilen ikke blir betydelig da varmebatteriet i utgangspunktet står for en liten del av energibehovet.
- For tilfellet med solcelleanlegget står varmepumpen for hele varmebehovet. Varmebehovet hentes fra tabell 52.
- For tilfellet med solfangeranlegget benyttes varmfordelingen mellom varmepumpen og solfangeranlegget som er presentert i tabell 60.
- For solcellepanelene og nettet er andeler beregnet med utgangspunkt i det elektrisitetsspesifikke forbruket med verdier fra tabell 66. Tabell 70 viser dermed de beregnede andelene som energikildene står for.

| | Andel, f | | | | |
|-----------------|------------|--------|-----------|--------|----------|
| | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
| Solfangeranlegg | 0,45 | 0,37 | 0,41 | 0,26 | 0,24 |
| Varmepumpe | 0,55 | 0,63 | 0,59 | 0,74 | 0,76 |
| Solcelleanlegg | 0,63 | 0,57 | 0,63 | 0,55 | 0,58 |
| El. nettet | 0,37 | 0,43 | 0,37 | 0,45 | 0,42 |

Tabell 70 - Energikildenes andel av behov som dekkes

På bakgrunn av verdiene presentert i tabell 69 og 70 samt formlene 5 til 9 kan levert elektrisitet beregnes. Følgende fire tilfeller beskriver hva som bidrar til levert elektrisitet i de ulike systemene. (varmebatteri er nevnt da denne skal være med, selv om den beregningsmessig er inkludert i varmepumpen):

- Elektrisitetsspesifikt forbruk, ventilasjonsvarme, solfangeranlegg, luft/vann varmepumpe, varmebatteri.
- Elektrisitetsspesifikt forbruk, ventilasjonsvarme, solfangeranlegg, væske/vann varmepumpe.
- Elektrisitetsspesifikt forbruk, ventilasjonsvarme, solcelleanlegg, luft/vann varmepumpe, varmebatteri.
- Elektrisitetsspesifikt forbruk, ventilasjonsvarme, solcelleanlegg, væske/vann varmepumpe.

Resultatene presenteres i tabell 71.

| Energisystem | Levert elektrisitet [kWh] | | | | |
|--------------|---------------------------|--------|-----------|--------|----------|
| | Oslo | Bergen | Trondheim | Tromsø | Karasjok |
| A | 7 461 | 7 454 | 7 655 | 8 495 | 9 948 |
| B | 7 321 | 7 295 | 7 496 | 8 274 | 9 661 |
| C | 5 566 | 5 629 | 5 742 | 6 660 | 8 052 |
| D | 5 312 | 5 376 | 5 469 | 6 360 | 7 676 |

Tabell 71 - Oppsummering av levert elektrisitet for de ulike energiforsyningssystemene

Tabell 71 viser hvor mye elektrisitet det elektriske nettet må levere til Sans for ulike energisystemer. C og D har lavere verdier på grunn av solcellepanelene som står for én andel av elektrisitetsbehovet. Videre registrerer man at væske-til-vann varmpumpe krever mindre elektrisitet enn luft-til-vann varmpumpe. Forskjellene mellom disse er kun faktoren i tabell 69. Grunnen til at effektfaktoren er større for væske-til-vann varmpumper er fordi den har årsvarmefaktor. Det kreves mindre elektrisitet til å produsere samme mengde varme.

Lavest strømforbruk oppnås ved bruk av solcelleanlegg og væske-til-vann varmpumpe og mest strømforbruk oppnår man ved solfangeranlegg og luft-til-vann varmpumpe. Sett ut i fra et ønske om å redusere elektrisitetsforbruket blir dermed alternativ D foretrukket. Da kan varmpumpen stå for hele varmebehovet, mens solcellepanelene dekker en del av elektrisitetsforbruket. Dette gir minst mulig tilførsel av elektrisitet via nettet. Man kan da utnytte investeringene best mulig ved at de ulike anleggene ikke står i konflikt med hverandre. Det vil si at de ikke produserer samme type energi. Med solcelleanlegg på taket produseres det kun elektrisitet, mens varmpumpene alene står for varmebehovet. Med solfangeranlegg ville begge anleggene produsere varme og investeringen blir dermed høyere da man har to ulike anlegg for å dekke den samme energitypen.

Som nevnt er økonomi en viktig parameter. For å kunne avgjøre hvilket alternativ som er å foretrekke må derfor dette ses i en slik sammenheng.

5.6 Vurdering

I dimensjonering av solenergisystemer er det brukt to ulike programmer, Polysun og PVGIS. Programmene er utviklet av forskjellige leverandører og det benyttes ulike metoder og klimadata. Dette gjør at grunnlaget for beregningen ikke blir like. Det kan diskuteres hvorvidt denne forskjellen spiller noen rolle. Man vet at solinnstråling ikke er basert på nøyaktige verdier og er enten beregnet eller målt. Det ligger dermed en viss usikkerhet i verdiene i utgangspunktet. Videre vet man at den reelle solinnstrålingen varierer med flere faktorer. I virkeligheten vil man ikke oppleve tilsvarende mengde solfluks som klimadataene viser.

Både for solcelle- og solfangeranlegget ble det valgt en sørlig orientering av vindusfasaden. Beregninger gjort i kapittel tre viser at andre orienteringer kan være vel så gunstige med tanke på oppvarmingsbehovet. Det kunne dermed lønt seg å velge nordlig orientering av vindusfasaden (selvfølgelig med sørvendt solenergianlegg). Da ville man sluppet utfordringer med karnappet og skyggevirksomhet samt at man kunne økt antall solcellepaneler ytterligere (lite sannsynlig at det er ønskelig, men man står friere til å velge).

I oppgaven er det ikke dimensjonert anlegg som er direkte tilpasset hvert klima. Det er valgt antall fangere/paneler i forhold til beregninger gjort i Oslo klima og benyttet dette antallet videre. Det har vært noe usikkerhet i valget av antall enheter på taket da det optimalt sett burde gjøres i sammenheng med økonomiske vurderinger. Da dette ikke er gjort her, fant man det best å velge like mange enheter for alle stedene. Dette gjør det mulig direkte å sammenligne hvordan produksjonen er for alle byene. Det er likevel i tabell 59 og 68 regnet ut hvor mange enheter som er nødvendig for å dekke hele behovet månedvis. Denne kan benyttes til å tilpasse systemene til hvert sted. Derfor er det likevel indirekte gjort en vurdering på optimalt antall.

For solfangerne er det valgt 4 enheter. Dette gjør at behovet dekkes for alle byene i sommermånedene, der overproduksjonen ikke er spesielt høy. Systemet kan dermed tolkes som godt tilpasset både behov og klima. Solcelleanlegget er overdimensjonert med noen få paneler om sommeren. Det ikke er store forskjeller i behovet for hvert klima. Det kan bety at det ikke er mye å hente på å gjøre lokale vurderinger. Derimot er det tidligere nevnt at optimal vinkel for panelene varierer med klimasted. Dette kan enkelt tilpasses uten at det medfører store ekstrakostnader.

Det er mulig å sammenligne tabell 59 og 68 for å vurdere hvilke systemer som utnytter takarealet best og som er mest lønnsomt å ha på taket. Sammenligningen blir litt skjev da man benytter 4 fangere og 20 paneler. Dekningsgraden for solcellene vil dermed komme bedre ut fordi produksjonen er større. Av tabellene kan man derimot vurdere forskjellene basert på full dekning. For solfangeren er behovet på 2-3 fangere som utgjør et areal på 4-6 m². Derimot for solcellene må man ha 16-17 stykker som gir et areal på 23-35 m². Dette gir et tydelig bilde på hvilke systemet som best utnytter plassen. Fra før vet vi at solceller har en virkningsgrad på 15-20 %. Produksjon per areal er helt klart bedre for solfangerne.

For å kunne avgjøre hvilket alternativ som er å foretrekke spiller flere faktorer inn, deriblant er økonomi nevnt som en avgjørende faktor. Videre blir det stadig viktigere med null utslipp av klimagasser og å vurdere prosjektene i et vugge-til-grav perspektiv. Det vil si å vurdere hele husets klimabelastning og energiforbruk fra utvinning av råvarer, transport, bygging, drift, riving og avhending av materialer ved slutten av levetiden. Dermed å si at alternativ D er mest energivennlig blir for tidlig. Basert på levert elektrisitet konkluderes det med at D er å foretrekke.

I kapitlet er det gjort mange forutsetninger og vurderinger underveis som har vært helt nødvendige for å kunne holde beregningsmengden på et overkommelig nivå. Da det er valgt to ulike solenergianlegg som kan kombineres med 2 ulike varmpumper med 2 ulike effektdekninger blir kombinasjonene mange. Dette er en liten svakhet og gjør resultatene generelle og avhengige av en del forutsetninger som er gjort. På forhånd burde det blitt tydeligere definert konkrete situasjoner som skulle dimensjoneres slik at beregningene og resultatene kunne blitt presise uten for mange antagelser underveis. Arbeidet gjort i kapittel fem skal likevel ses på som verdifulle. Det er gjort mange vurderinger som viser hvordan ulike enheter kommer ut i forhold til hverandre. Vakuumsolfangere mot plane solfanger og luft-til-vann mot væske-til-vann varmpumper samt tydeliggjort hvordan levert elektrisitet fordeler seg på alle postene i energiforsyningssystemet.

Kapitlet kan ses på som et innledende arbeid der neste del bør ta for seg økonomi og levetid. Videre bør kombinasjonene reduseres ved å velge konkret energikilder. Ved å ta for seg spesifikke klima i større grad kan denne konkretiseringen enklere gjøres da man bedre får definert rammene rundt dimensjoneringen.

5.7 Oppsummering

I de foregående kapitlene er ulike energisystemer blitt dimensjonert for Sans; solcelleanlegg, solfangeranlegg, varmepumper med varmebatteri og tilknytning til det elektriske nettet. Det er brukt ulike beregningsmetoder avhengig av tilgangen til programmer og metoder. Det er gjort flere antagelser og forutsetninger som har hatt betydning for utfallet. For eksempel antall enheter og plassering av solenergisystemer på taket, valg av produkter og effektdekning for varmepumper. Følgende energisystemer er en del av dimensjoneringen:

- 20 solcellepaneler
- 4 solfangere
- 1 varmepumpe (både luft-til-vann og væske-til-vann) med elektrisk varmebatteri
- Det elektriske nettet

Følgende framgangsmåte ble valgt:

- Et solfangeranlegg ble dimensjonert for å dekke en andel av varmebehovet. Plane fangere ble foretrukket da disse hadde større dekningsgrad og varmeproduksjon.
- To varmepumper ble dimensjonert ut i fra det resterende varmebehovet som solfangeranlegget ikke dekket, én luft-til-vann og én væske-til-vann varmepumpe. Det ble vurdert varmepumper med 60 % og 100 % effektdekning.
- Et solcelleanlegg ble dimensjonert for å dekke en andel av det elektrisitetsspesifikke forbruket.
- Levert elektrisitet ble beregnet på bakgrunn av et energisystem bestående av varmepumpe og solfangeranlegg og for et system av varmepumpe og solcelleanlegg.

På bakgrunn av dette er det mulig å sette opp 4 ulike energiforsyningssystemer for Sans:

- I. 4 vakuumsolfangere, 1 luft-til-vann varmepumpe, tilknytning til strømmettet.
- II. 4 vakuumsolfangere, 1 væske-til-vann varmepumpe, tilknytning til strømmettet.
- III. 20 solcellepaneler, 1 luft-til-vann varmepumpe, tilknytning til strømmettet.
- IV. 20 solcellepaneler, 1 væske-til-vann varmepumpe, tilknytning til strømmettet.

Tabellene 72-76 viser de beregnede energimengdene for henholdsvis varme og elektrisitet.

| Oslo | Varme [kWh] | | | Elektrisitet [kWh] | |
|------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Solfanger | 2 kW luft/vann VP | 2 kW væske/vann VP | Solcellepanel | Lvert el. |
| I | 2 990 | 3 644 | - | - | 7 461 |
| II | 2 990 | - | 3 644 | - | 7 321 |
| III | - | 6 634 | - | 3 053 | 5 566 |
| IV | - | - | 6 634 | 3 052 | 5 312 |

Tabell 72 - Oppsummering av produsert varme og levert elektrisitet for Oslo

| Bergen | Varme [kWh] | | | Elektrisitet [kWh] | |
|--------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Solfanger | 2 kW luft/vann VP | 2 kW væske/vann VP | Solcellepanel | Lvert el. |
| I | 2 442 | 4 160 | - | - | 7 454 |
| II | 2 442 | - | 4 160 | - | 7 295 |
| III | - | 6 602 | - | 2 757 | 5 629 |
| IV | - | - | 6 602 | 2 757 | 5 376 |

Tabell 73 - Oppsummering av produsert varme og levert elektrisitet for Bergen

| Trond-heim | Varme [kWh] | | | Elektrisitet [kWh] | |
|------------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Solfanger | 2 kW luft/vann VP | 2 kW væske/vann VP | Solcellepanel | Lvert el. |
| I | 2 946 | 4 166 | - | - | 7 655 |
| II | 2 946 | - | 4 166 | - | 7 496 |
| III | - | 7 112 | - | 3 034 | 5 742 |
| IV | - | - | 7 112 | 3 034 | 5 460 |

Tabell 74 - Oppsummering av produsert varme og levert elektrisitet for Trondheim

| Tromsø | Varme [kWh] | | | Elektrisitet [kWh] | |
|--------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Solfanger | 2 kW luft/vann VP | 2 kW væske/vann VP | Solcellepanel | Lvert el. |
| I | 2 072 | 5 767 | - | - | 8 495 |
| II | 2 072 | - | 5 767 | - | 8 274 |
| III | - | 7 839 | - | 2 628 | 6 660 |
| IV | - | - | 7 839 | 2 628 | 6 360 |

Tabell 75 - Oppsummering av produsert varme og levert elektrisitet for Tromsø

| Karasjok | Varme [kWh] | | | Elektrisitet [kWh] | |
|----------|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | Solfanger | 4 kW luft/vann VP | 4 kW væske/vann VP | Solcellepanel | Lvert el. |
| I | 2 336 | 7 484 | - | - | 9 948 |
| II | 2 336 | - | 7 484 | - | 9 661 |
| III | - | 9 820 | - | 2 788 | 8 052 |
| IV | - | - | 9 820 | 2 788 | 7 676 |

Tabell 76 - Oppsummering av produsert varme og levert elektrisitet for Karasjok

6. Oppsummering

I denne masteroppgaven er flere ulike studier og beregninger gjort med forskjellige vinklinger. Felles for hele oppgaven er husene som danner grunnlaget for beregningen. Sans og husets beregnede oppvarmingsbehov er benyttet videre i energiforsyningskapitlet. Orion og det beregnede oppvarmingsbehov er vurdert i studien av energiberegningsprogrammene og i studien av ulike former. Under følger en oppsummering av kapittel 3, 4 og 5 på bakgrunn av funn og vurdering gjort i de respektive kapitlene.

Klimaets effekt

Det er store forskjeller i de beregnede oppvarmingsbehovene mellom byene og forskjellene kan forklares med klimadata. Det er tydelig at Trondheim og Bergen er gunstige byer å bygge passivhus i. Dette skyldes milde vintre (lavt varmetap) og moderate temperaturer om sommeren kombinert med en solfluks som ikke er for høy. Dette gir lavt oppvarmingsbehov i forhold til kravene. I følge studien er Oslo og Karasjok mindre gunstige. Når sommertemperatur og solfluksen blir høy (Oslo) og/eller vintertemperaturen for lav (Karasjok), vil oppvarmingsbehovet blir høyere.

Dette er situasjoner som har betydning for valg av solavskjerming og som direkte påvirker behovet for oppvarming. Med gitte klimadata står solavskjermingen for en betydelig del av oppvarmingsbehovet. I Oslo og Trondheim står dette behovet for nesten 30 % av totalt oppvarmingsbehov. Det er installert en høy andel solavskjerming. Solfaktorene ligger rundt 0,15 og dette får konsekvenser for soltilskuddet. Det bør derfor vurderes andre tiltak for temperaturkontroll som i større grad favoriserer oppvarmingsbehovet.

Form og orientering

Formen på husene har en betydning for oppvarmingsbehovet. Å gjøre husene mer kvadratiske gjør at utslaget blir mer gunstig i forhold til kravene. Samtidig er det vist at stort areal på vinduer, dører, gulv og tak gir et stort varmetap, som tilfellet er for Arcturus. Dette huset er det minst kompakte. Sans og Orion har mindre varmetap på grunn av mindre tak-, gulv- og vindusareal. Samtidig kommer disse gunstigere ut fordi et mindre bruksareal gir et snillere krav. Ut ifra et energiperspektiv konkluderes det derfor med at det lønner seg å gjøre husene mest mulig kompakte ved å redusere grunnflate og vindusstørrelse. Dette må naturligvis vurderes opp mot intern kommunikasjon, lysforhold og trivsel.

Orientering av husene og oppbygging av disse har også en betydning. For Sans er det funnet ut at det spiller liten rolle hvilken orientering huset har basert på beregnede verdier for oppvarmingsbehovet. I Bergen derimot kan det lønne seg å velge østvendt vindusfasade. For Orion er utslagene større og det anbefales å velge bort sørlig orientering til fordel for vestvendt. Dette særlig for Bergen, Trondheim og Tromsø. Forklaringene ligger i at man får en mer gunstig plassering av vinduene på fasaden med bedre løsninger for solavskjermingen. Basert på innledende beregninger og en studie gjort i Lindås i Sverige er det mulig å finne en optimal fordeling og plassering av vinduer. Grovt sett er det funnet ut at færre vinduer mot sør er gunstig, flere vinduer mot øst/vest og heller flere vinduer mot nord enn mot sør. Dette kan foreløpig ikke tallfestes, men forklares ut ifra tendensene.

Endringer i husene

Takutstikk, inntrukket vindu, lufting eller å fjerne/flytte vinduer er utprøvde tiltak som ikke har gitt utslag som har vært mulig å forklare på generelt grunnlag. Det er gjort for få studier til å kunne generalisere forsøkene.

Hustyper

I oppgaven er Sans, Orion og Arcturus tilpasset de ulike klimaene. Arcturus blir kun passivhus i Bergen. Karasjok er den eneste byen hvor Sans ikke blir passivhus, mens Orion oppnår standarden kun i Bergen og Trondheim. Dersom solavskjermingen hadde blitt redusert ville man klart kravene for flere av tilfellene.

TEK-sjekk Energi vs. SIMIEN

Beregninger viser at TEK-sjekk Energi kjører sine passivhusevalueringer på en annen måte enn TEK10-vurderinger og simuleringer i SIMIEN. Avvikene i simuleringen er betydelige og dette skyldes at TEK-sjekk regner annerledes på soltilskudd og skyggevirksomhet som gir et annet varmetilskudd. Skal TEK-sjekk Energi kunne brukes til passivhusvurderinger burde det gjøres endringer i beregningsgrunnlaget slik at resultatene samsvarer med SIMIEN og TEK10-simuleringer. Slik programmet fungerer nå vil det være veldig gunstig å bruke TEK-sjekk Energi da resultatene tilsynelatende er veldig gode.

Energiforsyningssystem

Det er dimensjonert fire energiforsyningssystemer til Sans i denne oppgaven. Det er benyttet solfangere, solcellepaneler, væske-til-vann og luft-til-vann varmepumper i ulike kombinasjoner. I tillegg er det regnet ut levert elektrisitet til huset for disse alternativene. Beregningene viser at man får redusert elektrisitetsforbruket mest dersom man benytter solcellepaneler. Da lønner det seg samtidig å bruke væske-til-vann varmepumper fordi da utnytter man varmepumpene mest mulig da den kan stå for hele varmebehovet.

Skal man kombinere solcellepaneler med luft-til-vann varmepumper blir man nødt til å bruke en tilleggsvarmekilde som kan bidra i de kaldeste månedene. Da bør man finne en kilde som er rimelig å bruke under høy belastning.

Å kombinere varmepumper med solfangere vil være mindre gunstig da begge anleggene skal levere varme, mens nettet må stå for hele elektrisitetsbehovet. Det vil være en dyrere investering da man får mindre kWh ut per investert krone. Dette er spesielt for væske-til-vann varmepumper som er en dyrere investering.

7. Feilkilder

Med rapporten foran seg og beregninger og vurderinger lagt bak ser man kunne gjort annerledes. Livet er ikke deterministisk og framtiden kan ikke spås, derimot kan man snu seg og vurdere arbeidet for å ta lærdom av det. Følgende kunne vært løst på andre måter:

- I oppgaven er det benyttet ulike klimadatasett som grunnlag for vurderinger. Det kan være noe forvirrende da disse naturligvis ikke er like. De ulike programmene har ulike kilder og vurderingene må gjøres ut i fra det grunnlaget som er benyttet. Det er forsøkt å sammenligne klimadata underveis for å vise hvordan disse skiller seg ut fra andre verdier. Klimadata er viktige parametre. Ved å synliggjøre disse kan man i større grad se effekten disse har. Optimalt burde man fått tak i klimadata fra Meteornorm som benyttes av flere programmer. Dette var dessverre ikke mulig.
- I kapittel 3 er det gjort følgende vurderinger:
 - Frikjøling som et alternativ til lavere temperatur ble ikke studert eller vurdert. Dette kunne gitt nyttige innspill i debatten om for høye temperaturer.
 - Endringsstudiene ble ikke omfattende nok. Her kunne man gått enda mer systematisk fram og gjort flere endringer med mindre steg for å få et tydeligere bilde av hvert beregningstilfelle. Fokuset i rapporten er ikke hovedsakelig på disse beregningene. Disse er likevel inkludert og kan fungere som innledende studier/grunnlag.
 - Inndataen som lagt inn i SIMIEN kunne vært studert mer for å sikre verdienes kvalitet. Det er veldig mange inndataverdier i SIMIEN og vanskelig å fokusere på alle i et tidlig stadium og samtidig avgjøre hvilke som er viktige. Likevel er vurdering av inndata noe av det viktigste man kan gjøre da det legger føringer for hele beregningssettet. Varmekapasitet, varmelagring og luftskifte mellom soner kunne med fordel blitt viet mer oppmerksomhet.
 - Enkeltkomponenter ble låst til alle hus for å se klimaets effekt. Det kunne lønt seg å ha vurdert klimatilpassede enkeltkomponenter tidligere slik at man kunne gjort mesteparten av beregningen med reelle verdier. Ekstra beregninger viser likevel at vurderingene er gjeldende. Effekten av at Arcturus har en ukurant form og dermed burde hatt høyere lekkasjetall og kuldebroverdi kommer ikke til syne i beregningene. Det antas likevel ikke å ha påvirket vurderingen da Arcturus i utgangspunktet kommer dårligst ut.
 - I dimensjoneringsarbeidet av solenergisystemer begynte man først med solcellene og PVGIS. Senere gikk man over til Polysun og her viste det seg at man også kunne dimensjonere solcelleanlegg. Det kunne derfor vært en fordel å benytte like programmer til beregningene. Da det allerede var gjort beregninger og vurderinger basert på resultater fra PVGIS, ble det valgt ikke å gjøre nye beregninger i Polysun.

8. Videre arbeid

Det er flere av studiene som kan videreføres og andre undersøkelser som kan suppleres.

- Effekten solavskjermingen har på oppvarmingsbehovet har vist seg å være betydelig. Dette tyder på at det vil lønne seg å studere andre avskjermingstiltak som er mer gunstige enn persienner/screens. Et større takutstikk, gunstig beplantning eller frikjøling er noen eksempler. Temperaturkontroll er viktig i passivhus og det må vies mer oppmerksomhet i framtiden.
- Det er antydning at det finnes en optimal plassering og andel av vinduer på passivhus. Dette kan studeres systematisk ved å gjøre flere beregninger og studier. Aktuelle faktorer som må vurderes er energi og temperatur.
- Arcturus ble passivhus kun i Bergen. Dette huset bør jobbes videre med ved å endre på form og vindusstørrelser. Slike hus er gunstige for bevegelseshemmende og bør derfor være et mulig valg blant andre passivhus.
- Det bør gjøres en studie for å finne optimalt antall fangere og solcellepaneler. Dette er en funksjon av solinnstråling, klima og vær, investering, vedlikehold og gevinst i sparte energiutgifter.
- Videre burde man vurdere hvilke energiforsyningssystemer som er mest lønnsomme i en levetidsvurdering. Dette vil slå ulikt ut i forskjellige byer. Økonomi blir en viktig faktor, men også en usikkerhet fordi den varierer med avtaler, serviceavtaler etc.
- I rapporten er det ikke fokusert på klimagassutslipp eller muligheten for å strekke seg videre mot nullhus. Dette er temaer som er aktuelle for framtiden. Det er viktig å ha fokus på dette og alle vurderinger som gjøres bør samtidig kobles opp mot null utslipp av klimagasser og et nullregnskap i energiperspektiv.

9. Referanser

- AALMEN, F. 2010. *Et historisk blikk på kvantefysikkens utvikling - med vekt på striden mellom Bohr og Einstein. Ressurshfte*. [Internett].
http://www.ntnu.no/c/document_library/get_file?uuid=180cedf1-16df-46d0-bd47-69718694f3fd&groupId=10422. [Besøkt 17.04 2012].
- ANDRESEN, I. 2008. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon. Rapport 22. SINTEF BYGGFORSK. Oslo.
- BECKMAN, W. A., KLEIN, S. A. & DUFFIE, J. A. 1977. *Solar Heating Design by the f-chart Method*, John Wiley & Sons, USA.
- BREKKHUS, A. 2011. *Spørsmål og svar fra Enova - mars 2011* [Internett].
<http://www.bygg.no/2011/03/spoersmaal-og-svar-fra-enova-mars-2011>: Byggeindustrien. [Besøkt 16.04 2012].
- BRYN, I. H., PETERSEN, A. J. & GEDSØ, S. 2011. Varmeløsninger og deres dekningsgrader. Rapport. *Lavenergiprogrammet*. Oslo.
- BYGGFORSK 1991. Byggforskserien 472.411 - Solstrålingsdata for energi- og effektberegninger. BYGGFORSK. Oslo.
- BYGGFORSK 2009a. Byggforskserien 451.021 - Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring. BYGGFORSK. Oslo.
- BYGGFORSK 2009b. Byggforskserien 552.403 - Varmepumper i bygninger. Funksjonsbeskrivelse. BYGGFORSK. Oslo.
- BYGGFORSK 2010. Byggforskserien 552.102 - Romoppvarming av boliger. Prinsipper og systemer. BYGGFORSK. Oslo.
- BYGGFORSK 2011a. Byggforskserien 472.212 - Bruksanvisning for energiberegningsprogrammet TEK-sjekk Energi. BYGGFORSK. Oslo.
- BYGGFORSK 2011b. Byggforskserien 552.455 - Væskebaserte solfangere. Funksjon og energiutbytte. BYGGFORSK. Oslo.
- CIENS 2011. Klimatilpasning i Norge - bakgrunn, årsakssammenhenger og forskningsfunn. INNBJØR, L. & LARSEN, K. *CIENS - forskningssenter for miljø og samfunn*. Oslo.
- COIN. 2010. *COIN søker pilotbygg* [Internett].
<http://www.sintef.no/Presserom/Pressemeldinger/COIN-soker-pilotbygg/>: Concrete Innovation Center. [Besøkt 14.05. 2012].
- CTC FERROFIL AS. *SOLFANGERE I KOMBINASJON MED VARMEPUMPE* [Internett].
<http://www.ctc.no/bedrift/solfangere-i-kombinasjon-med-varmepumpe>. [Besøkt 24.05 2012].
- DOKKA, T. H. 2012. *RE: Mailkorrespondanse med Tor Helge Dokka 13.mars 2012, SINTEF Byggforsk/Programbyggerne AS*.
- DOKKA, T. H., ANDRESEN, I. & BUVIK, K. 2010. Løvåshagen Borettslag, Bergen. SINTEF BYGGFORSK. Trondheim.
- ENERGITILSKUDD.NO. 2012. *Hva er en vertikal vindmølle?* [Internett].
http://energitilskudd.no/sporsmaal-og-svar/vis/23_hva-er-en-vertikal-vindmolle. [Besøkt 13.04 2012].
- ERIKSEN, S. E. H., ØYEN, C. F., KASA, S. & UNDERTHUN, A. 2007. Klimatilpasning og fuktsikring i typehussektoren. Lokalkunnskap, beslutningsprosesser, markedspåvirkning og offentlig styring. Rapport 3. SINTEF BYGGFORSK. Oslo.
- FORNYBAR.NO. *Biomasse som energikilde* [Internett].
<http://fornybar.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1804>. [Besøkt 21.03 2012].
- FORNYBAR.NO. *Solceller* [Internett].
<http://www.fornybar.no/sitepageview.aspx?sitePageID=1670>. [Besøkt 18.04 2012].
- HAASE, M. Solar Energy Supply to Buildings. Forelesningsnotat. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.

- KANENERGI & SINTEF BYGGFORSK 2011. Mulighetsstudie. Solenergi i Norge. Oslo.
- KVANDE, T., ALMÅS, A.-J., MCLINNES, H. & HYGEN, H. O. 2012. Klima- og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge. Rapport 3E0019. SINTEF BYGGFORSK. Trondheim.
- LYSE ENERGI AS. *100 % fornybar strøm* [Internett]. <http://www.lyse.no/100-fornybar-stroem/category13839.html>. [Besøkt 14.05 2012].
- MILDE, T. Passivhus til + hus. Installasjonstekniske løsninger. RAMBØLL. Bergen Kommune.
- NGI. *Offshore vindturbiner. Norges Geotekniske Institutt*. [Internett]. <http://www.ngi.no/no/Innholdsbokser/Forside-innhold/Smakebiter-root/Utvalgte-tema/Offshore-vindturbiner/>. [Besøkt 13.04 2012].
- NORDBOHUS AS 2009. Huskatalogen.
- NORSK VINDKRAFTFORENING. *Hva er vindkraft?* [Internett]. <http://www.vindkraft.no/hva-er-vindkraft.aspx>. [Besøkt 13.04 2012].
- NOVAKOVIC, V., HANSEN, S. O., THUE, J. V., WANGENSTEEN, I. & GJERSTAD, F. O. 2007. *ENØK i bygninger - effektiv energibruk*, Trondheim.
- NS 3031 1987. Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data. STANDARD NORGE. Oslo.
- NS 3031 2007. Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data. STANDARD NORGE. Oslo.
- NS 3700 2010. Kriterier for passivhus og lavenergihus - boligbygninger. STANDARD NORGE. Oslo.
- PERSSON, M.-L., ROOS, A. & WALL, M. 2006. Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Elsevier*.
- REGJERINGEN 2012a. Energiutredningen – verdiskaping, forsyningssikkerhet og miljø. OLJE- OG ENERGIDEPARTEMENTET. *Norges Offentlige Utredninger - NOU*, <http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/2012/nou-2012-9/10/1.html?id=675519>.
- REGJERINGEN 2012b. Norsk Klimapolitikk. Stortingsmelding nr. 21, foreløpig utgave. MILJØVERNDEPARTEMENTET. <http://www.regjeringen.no/nb/dep/md/dok/regpubl/stmeld/2011-2012/meld-st-21-2011-2012.html?id=679374>.
- SCHILD, P. 2012. *RE: Mailkorrespondanse med Peter Schild 5.mars 2012, SINTEF Byggforsk*.
- SKOGSTAD, K. 2012. *RE: Mailkorrespondanse med knut Skogstad 26.april 2012, Flexit AS*.
- STENE, J. 2000. Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger. SINTEF ENERGIFORSKNING AS. <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf>.
- STENE, J. 2008a. Dimensjonering av varmpumpeanlegg i bygninger. Presentasjon.: http://www.energy.sintef.no/Prosjekt/Annex32/VarmepumpeINFO/Norsk/6_Dimensjonering.pdf.
- STENE, J. 2008b. Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard. Teknisk rapport A6579. SINTEF ENERGIFORSKNING AS. Trondheim.
- STENE, J. 2010. Fagpresentasjon om varmpumper. <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Introforesning.pdf>. Trondheim.
- STENE, J. & HJERKINN, T. 2010. *Høyeffektive CO2-varmpumper for varmtvannsberedning. Fagartikkel*. [Internett].

- www.vvsforum.no/artikkel/2374/hoeyeffektive-co2-varmepumper-for-varmtvannsberedning.html: VVSforum. [Besøkt 13.04 2011].
- SØRENSEN, B. R. Forelesningsnotater. SMN6194 Varmelære. Termodynamikk. Høgskolen i Narvik.
- SØRNES, K. 2010. *Solfanger* [Internett]. <http://www.zero.no/bygg/solfanger>. [Besøkt 24.05 2012].
- TEK 2010. "Forskrift om endring i forskrift 26.mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift)". KOMMUNAL- OG REGIONALDEPARTEMENTET. www.lovdatabank.no.
- THE EUROPEAN COMMISSION 2012. Performance of Grid-connected PV - User Manual PVGIS. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/PVcalchelp_en.html#Section_5.
- TOKLE, T. & TØNNESEN, J. 1999. Inndeling av Norge i klimasoner. Teknisk rapport A4856. SINTEF ENERGIFORSKNING. Trondheim.
- TRØNDERENERGI. . *Om igjen og om igjen og om igjen* [Internett]. <http://www.tronderenergi.no/varedeklarasjon.aspx>. [Besøkt 14.05 2012].
- TUNMO, T. 2011. *Passivhus vil poppe opp*. Artikkel, *Teknisk Ukeblad*. [Internett]. <http://www.tu.no/bygg/2011/01/13/passivhus-vil-poppe-opp>. [Besøkt 14.05 2012].
- VARMETEMA AS. 2012. *Presentasjon av Sigmasentralen* [Internett]. <http://www.varmetema.no/portal/1101/Produkter.23/Sigmasentral.55>. [Besøkt 04.05 2012].
- VELA SOLARIS AG 2012. Polysun simulation software - User Manual. Polysun 5.9.
- VTEK 2010. Veiledning om tekniske krav til byggverk. DIREKTORAT FOR BYGGKVALITET. <http://byggeregler.dibk.no/dxp/content/tekniskekrav/>.
- VÅGE, M., MARRABLE, H., BURGOLD, J. & NIELSEN, H. K. 2009. Kurs i planlegging og bygging av passivhus. Grunnlagsmateriale for nettbasert kurs. HUSBANKEN. Universitetet i Agder.

Vedlegg 1 - Oppgavetekst



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport

Dato:
20.01.2012

Side 1 av 4 sider

MASTEROPPGAVE (TBA4905)

VÅREN 2012
for
Espen Hobber Nilsen

Mulighetsstudie for passivhuskonseptet benyttet på forskjellige typehus i forskjellige klima i Norge

Study of the passive house concept applied on various house systems in various Norwegian climates

BAKGRUNN

Passivhus-konseptet ble opprinnelig utviklet ved Passivhaus Institut i Tyskland, og det første passivhuset ble bygget i Darmstadt i Tyskland i 1991. Siden da er det bygget ca 21.000 passivhus i Europa, mange i Tyskland og Østerrike og Tyskland, men også mange i andre land. Et passivhus skal ha et veldig lavt oppvarmingsbehov sammenlignet med vanlige hus. Denne besparelsen oppnås i hovedsak gjennom såkalte "passive" tiltak som f.eks. økt isolasjonstykkelse, kompakt bygningskropp, vinduer med lav U-verdi, bruk av solinnstråling etc. Det pågår nå en utvikling i Norge som kan gå mot at passivhus-konseptet, eller en variant av dette, kan bli forskriftskrav i løpet av noen få år. Norsk Standard som definerer kriterier for passivhusboliger ble utgitt i 2010. Allerede i 2011 hadde Nordbohus-kjeden sitt første passivhus innflyttingsklart.

Selv om man allerede har mye erfaring og kunnskap om passivhus, er det fremdeles mye som er uavklart og omdiskutert. I tillegg kan konseptet løses på flere måter, og hvilke måter eller løsninger som er mest effektive mhp økonomi, miljø, energibruk og bruksegenskaper er fremdeles en del av den løpende fagdiskusjonen.

OPPGAVE

Beskrivelse av oppgaven

Hensikten med oppgaven er å undersøke en del aspekter knyttet til krav, begrensinger og mulige løsninger i forbindelse med å benytte passivhuskonseptet på noen av Norbohus sine typehus. Et antall (3-4) av Norbohus sine typehus dimensjoneres ihht NS3700, først i forhold til å plassere de i Oslo-klima, og deretter å plassere de i andre klima. Oppgaven vil innebære å

kartlegge hvilke intervaller i komponentkrav som er aktuelle, spesielt i forhold til hvordan Nordbohus ønsker å standardisere passivhusbyggingen.

For hvert enkelt typehus må det vurderes behov for parameterstudier, f.eks. å variere orienteringen av huset for å studere behovet for solavskjerming.

I tillegg til å vurdere de overnevnte aspektene skal det gjøres en vurdering av hvordan man kan oppfylle kravet i NS3700 til alternativ energiforsyning til elektrisitet og fossile brensler.

Arbeidet knyttes opp mot Nordbohus sitt arbeid rettet mot å utvikle et passivhusbyggesystem, som også gjennomføres i samarbeid med SINTEF Byggforsk.

Deloppgaver og forskningsspørsmål

Følgende delaktiviteter kan inngå i prosjektoppgaven:

- A.** Gjennomføre en litteraturundersøkelse av følgende to tema:
 - a.** Tidligere undersøkelser vedrørende klimaavhengighet av passivhuskonseptet.
 - b.** Energiforsyningssystem for passivhus i nordisk klima. Her er det aktuelt å gjøre en gjennomgang av både norsk og skandinavisk litteratur.

- B.** Mulighetstudie av 3-4 typehus tilpasset passivhuskonseptet plassert forskjellige steder i Norge, med Oslo som referanseklime. Ved hjelp av SIMIEN dimensjoneres husenes enkeltkomponenter ihht NS3031 og NS3700, med spesiell vekt på å vurdere klimaets relative effekt. Behovet for utvendig solavskjerming vurderes også.

- C.** For de samme beregningstilfellene som i delaktivitet B, gjennomføres en vurdering av mulige konsepter for alternativ energiforsyning. Dette vil kunne innebære å se på hvor stort dette energibehovet er i forskjellige klima for de forskjellige typehusene og hvor egnet forskjellige alternative energiforsyningssystemer er for å dekke dette behovet. Dette kan f.eks. gjelde solvarmeanlegg, solcelleanlegg, luft-til-luft- eller luft-til-vann-varmepumper etc., og kriterier i bedømmingen kan være både teknisk egnethet, kapasitet, økonomi, drift etc.

- D.** Mulige ekstra delvurderinger (gjennomføres i samråd med veileder hvis det er tid):
 - a.** Mulighet for å trekke dampsperrer lenger inn i veggen enn anbefalt 25%-punkt
 - b.** Sammenligning mellom "TEK-sjekk Energi" og "SIMIEN"

E. GENERELT

Oppgaveteksten er ment som en ramme for kandidatens arbeid. Justeringer vil kunne skje underveis, når en ser hvordan arbeidet går. Eventuelle justeringer må skje i samråd med veileder og faglærer ved instituttet (samt med ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt).

Ved bedømmelsen legges det vekt på grundighet i bearbeidningen og selvstendighet i vurderinger og konklusjoner, samt at framstillingen er velredigert, klar, entydig og ryddig uten å være unødig voluminøs.

Besvarelsen skal inneholde

- standard rapportforside <http://www.ntnu.no/selvhjelpspakken/ppt-dokmaler/Masteroppgave/>
- tittelside med ekstrakt og stikkord (mal finnes på siden <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>)
- sammendrag på norsk og engelsk, innholdsfortegnelse inklusive oversikt over figurer, tabeller og vedlegg
- hovedteksten
- referanser til kildemateriale som ikke er av generell karakter, dette gjelder også for muntlig informasjon og opplysninger
- oppgaveteksten (signert)
- besvarelsen skal ha komplett paginering (sidennummer)
- Besvarelsen kan evt. utformes som en vitenskapelig artikkel. Arbeidet leveres da også med rapportforside og tittelside og om nødvendig med vedlegg som dokumenterer arbeid utført i prosessen med utforming av artikkelen.

Hva skal innleveres?

- Besvarelsen i original (uinnbundet)
- To innbundne kopier
- Eventuelt: X avtalte tilleggs kopier for formidling til ekstern samarbeidspartner (dekkes av instituttet eller ekstern partner)
- CD med besvarelsen **i digital form** i pdf-format eller word-format med underliggende materiale (for eksempel datainnsamling) i digital form (f. eks. excel))
- En kortfattet (tilsv. 1-2 A4-sider inkl. evt. illustrasjoner) populærvitenskapelig oppsummering av arbeidet, på html-mal gitt av instituttet, beregnet for publisering på internettet. Oppsummeringen bør redegjøre for hensikten med arbeidet og for gjennomføringen og de vesentligste resultater og konklusjoner av arbeidet. Mal finnes på: <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Se forøvrig «Råd og retningslinjer for rapportskrivning ved prosjektarbeid og masteroppgave ved Institutt for bygg, anlegg og transport». Finnes på <http://www.ntnu.no/bat/skjemabank>

Dokumentasjon som med instituttets støtte er samlet inn under arbeidet med oppgaven skal leveres inn sammen med besvarelsen.

Besvarelsen er etter gjeldende reglement NTNUs eiendom. Eventuell benyttelse av materialet kan bare skje etter godkjennelse fra NTNU (og ekstern samarbeidspartner der dette er aktuelt). Instituttet har rett til å bruke resultatene av arbeidet til undervisnings- og forskningsformål som om det var utført av en ansatt. Ved bruk ut over dette, som utgivelse og annen økonomisk utnyttelse, må det inngås særskilt avtale mellom NTNU og kandidaten.

(Evt) Avtaler om ekstern veiledning, gjennomføring utenfor NTNU, økonomisk støtte m.v.
Beskrives her når dette er aktuelt.

Helse, miljø og sikkerhet (HMS):

NTNU legger stor vekt på sikkerheten til den enkelte arbeidstaker og student. Den enkeltes sikkerhet skal komme i første rekke og ingen skal ta unødige sjanser for å få gjennomført arbeidet. Studenten skal derfor ved uttak av masteroppgaven få utdelt brosjyren "Helse, miljø og sikkerhet ved feltarbeid m.m. ved NTNU".

Dersom studenten i arbeidet med masteroppgaven skal delta i feltarbeid, tokt, befaring, feltkurs eller ekskursjoner, skal studenten sette seg inn i "Retningslinje ved feltarbeid m.m.". Dersom studenten i arbeidet med oppgaven skal delta i laboratorie- eller verkstedarbeid skal studenten sette seg inn i og følge reglene i "Laboratorie- og verkstedhåndbok". Disse dokumentene finnes på fakultetets HMS-sider på nettet, se <http://www.ntnu.no/ivt/adm/hms/>.

Studenter har ikke full forsikringsdekning gjennom sitt forhold til NTNU. Dersom en student ønsker samme forsikringsdekning som tilsatte ved universitetet, anbefales det at han/hun tegner reiseforsikring og personskadeforsikring. Mer om forsikringsordninger for studenter finnes under samme lenke som ovenfor.

Innleveringsfrist:

Arbeidet med oppgaven starter **15. januar 2012**.

Besvarelsen i original (uinnbundet) og to innbundne kopier, samt besvarelsen i digital form skal leveres innen **11. juni 2012 kl 1500**.

Faglærer ved instituttet: prof. Stig Geving, Institutt for bygg, anlegg og transport

Veileder(eller kontaktperson) hos ekstern samarbeidspartner: Silje Tveit Eriksen, Nordbohus AS og Tore Kvande, SINTEF Byggforsk

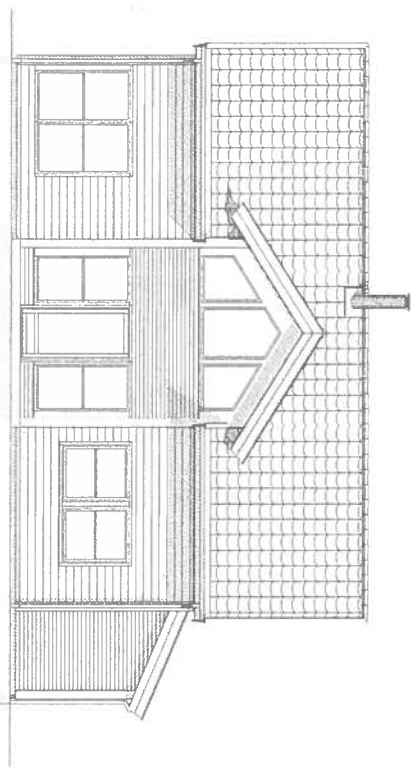
Institutt for bygg, anlegg og transport, NTNU

Dato: 30.01.2011

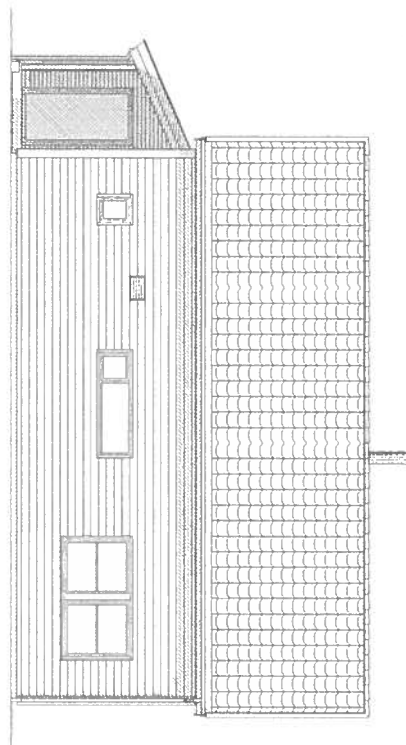
Stig Geving
Faglærer

Vedlegg 2 - Fasadetegning Sans

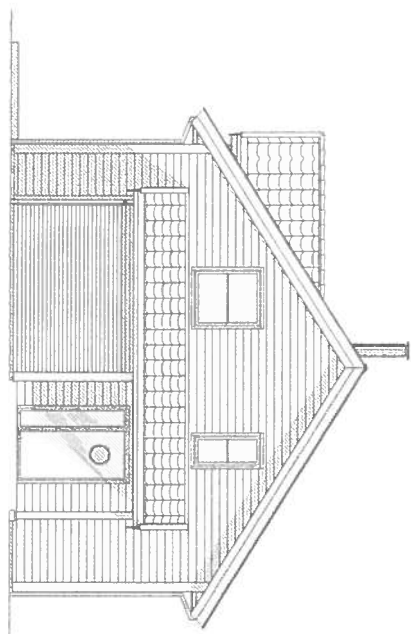
FASADE
Vindusfasade



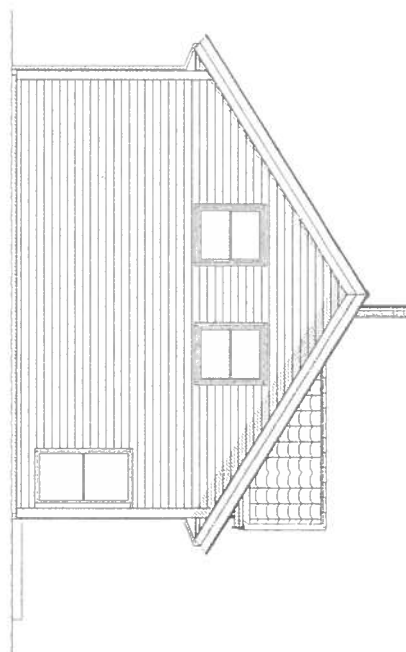
FASADE



FASADE



FASADE



Rev.nr. Rev.:

Tegn.: Dato: Kontr.:



Hustype
SANS

Tegning
FASADER

Titakshaver :
Byggeplass :
Kommune :

Kontr.: RAS
Dato: 01.07.2011

Målestokk : 1 : 100 Dato: 01.07.2011 Arkivnr. : Q438

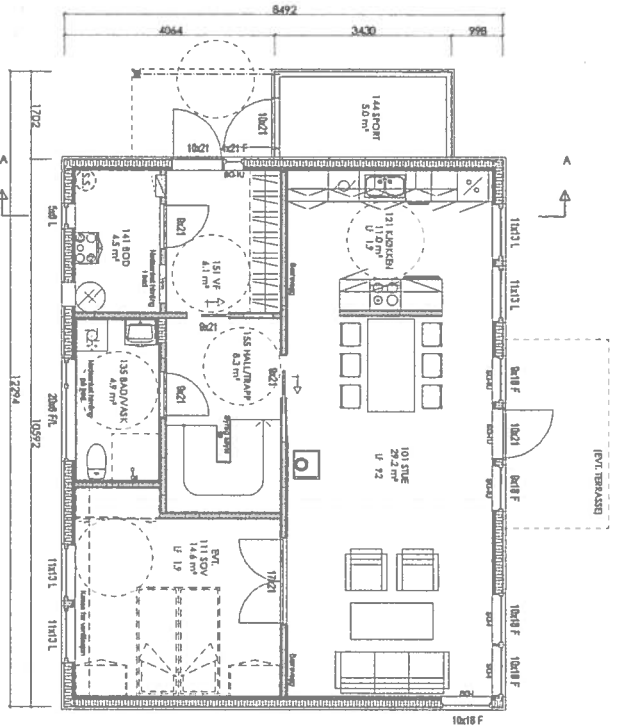
Arkitekt : Karin Remmen

DAK av : RAS

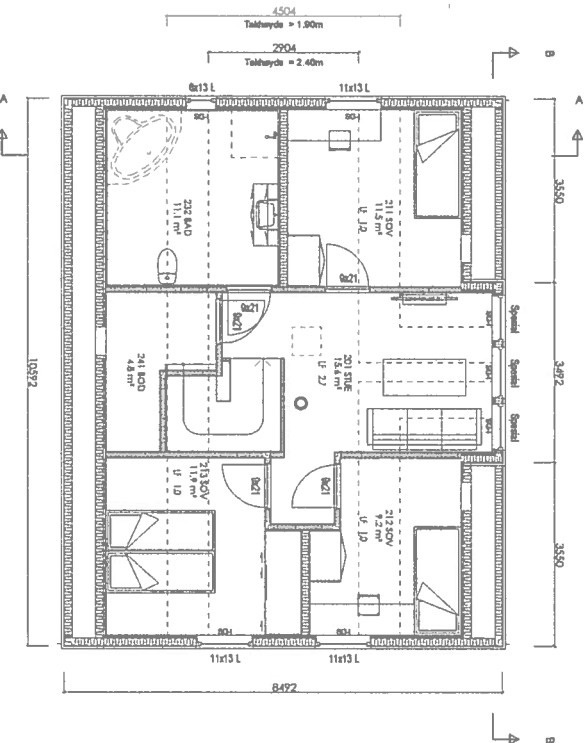
Denne tegning tilhører Nordbohus AS. Etterfølging ktr. lov om årsverk av 12.5.1961.

Nr.
A05+

Vedlegg 3 - Plantegning Sans



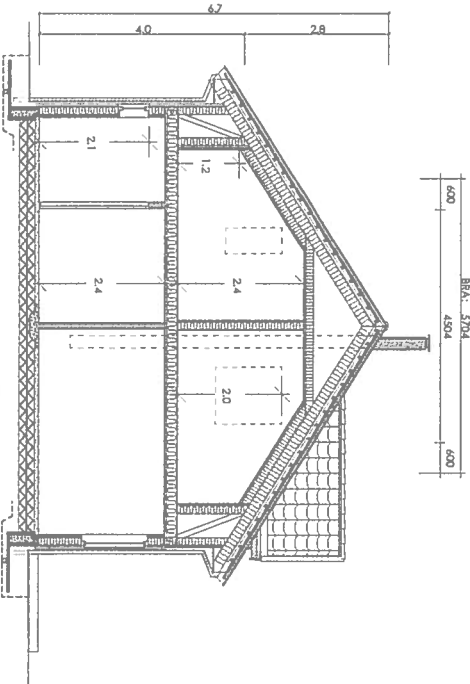
1. ETASJE



2. ETASJE

| | | |
|-----------------------------|--------------------------------|-------|
| SG-I-U | Sikkerhetsglass innside/utside | |
| SG-I | Sikkerhetsglass innside | |
| SG-U | Sikkerhetsglass utside | |
| AREAL | BRA | P-Rom |
| Billegg | | |
| Underetasjer/Kjeller | | |
| Hovedplan 1. etg. | 82.2 | 77.7 |
| Løftplan 2. etg. | 61.6 | 58.6 |
| Garesej/Ulv. bod | 5.0 | |
| Åpent overb. areal | 2.3 | |
| SUM Hovedetasje | 151.1 | 136.3 |
| Løft-bredde ved 1,9m høyde: | 4.504 | |
| Bygd areal, BYA: | 102.6 | |
| Diverse: | | |

Målesetting på utside stenderverk/mur
Romareal på loft er målt helt ut til kneveggene



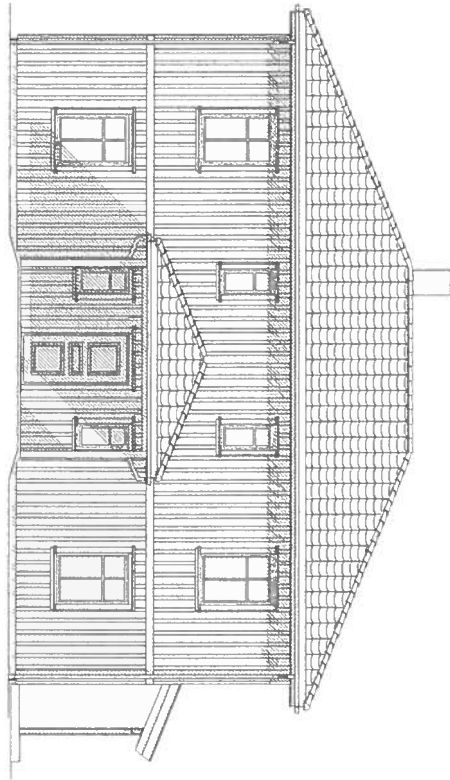
SNITT A-A

For isolasjonsmengder og U-verdier, se varmetapsberegning

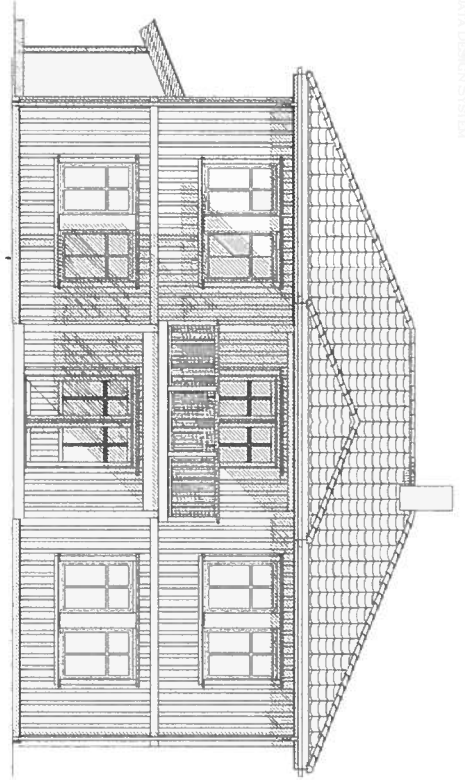
| | | | | |
|--|---|------------------------|------------------|------------------|
| Rev.nr.: A | Rev.: Ny arealtab, kasse for vent, nedforet himling bad /bod, endret isolasjon taksto | Tegn.: HPM | Dato: 01.09.2011 | Kontr.: HPM |
| | | Tiltakshaver : | | Kontr.: RAS |
| | | Byggeplass : | | Dato: 01.07.2011 |
| | | Kommune : | | |
| Hustype | Tegning | Målestokk: 1: 100 | Dato: 01.07.2011 | Arkivnr.: Q438 |
| SANS | PLAN, SNITT | Arkitekt: Karin Remmen | DAK av: RAS | Nr. A01+ |
| Denne tegning tilhører Nordbohus AS. Ettergivning kfr. lov om åndsverk av 12.5.1961. | | | | |

Vedlegg 4 - Fasadetegning Orion

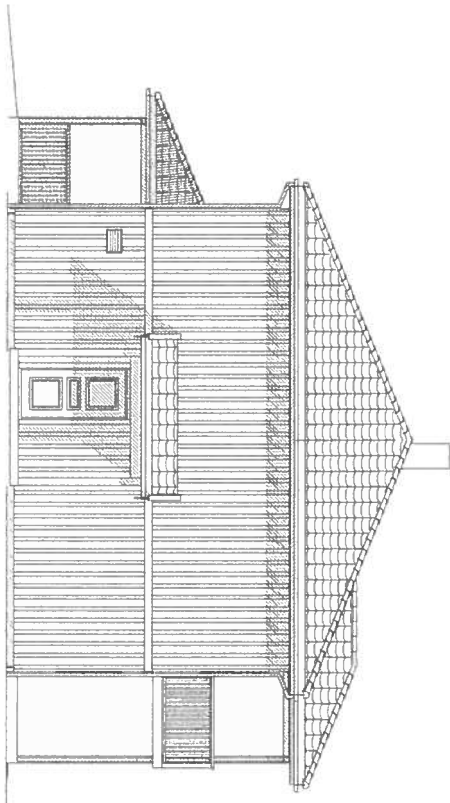
FASADE



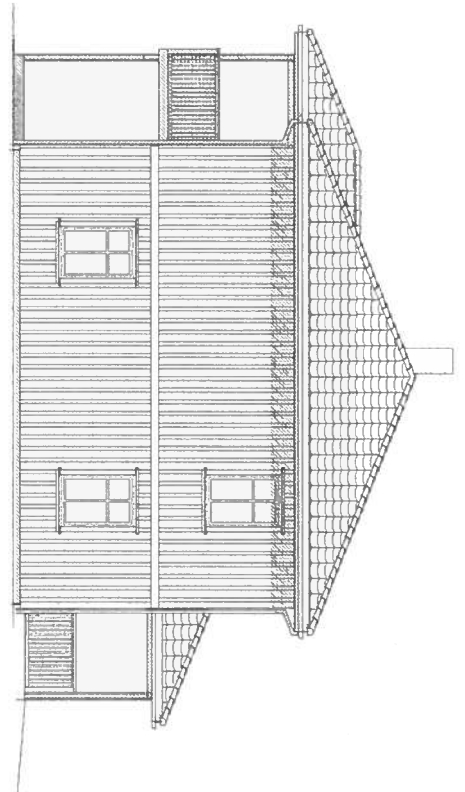
FASADE Vindusfasade



FASADE



FASADE



Rev.nr.: Rev



Hustype
ORION

Tegning
FASADER

Tiltakshaver :
Byggeplass
Kommune .

Målestokk: 1: 100 Dato: 01.07.2011 Arkivnr.: W801

Arkitekt :
DAK av : HPM

Denne tegning tilhører Nordbohus AS. Etterfigning kfr. lov om åndsverk av 12.5.1961.

Tegn.:

Dato:

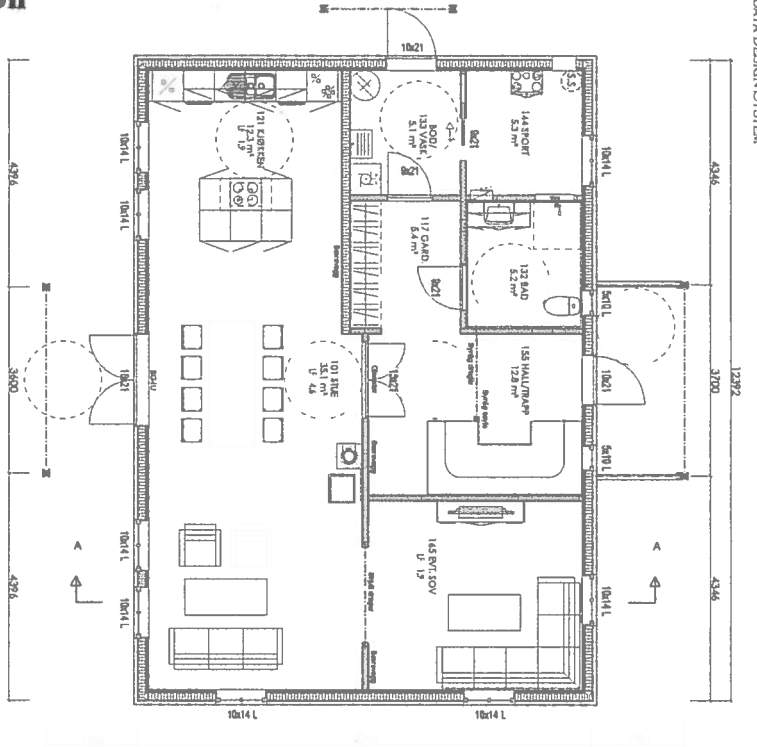
Kontr.:

Kontr.: HPM
Dato: 01.07.2011

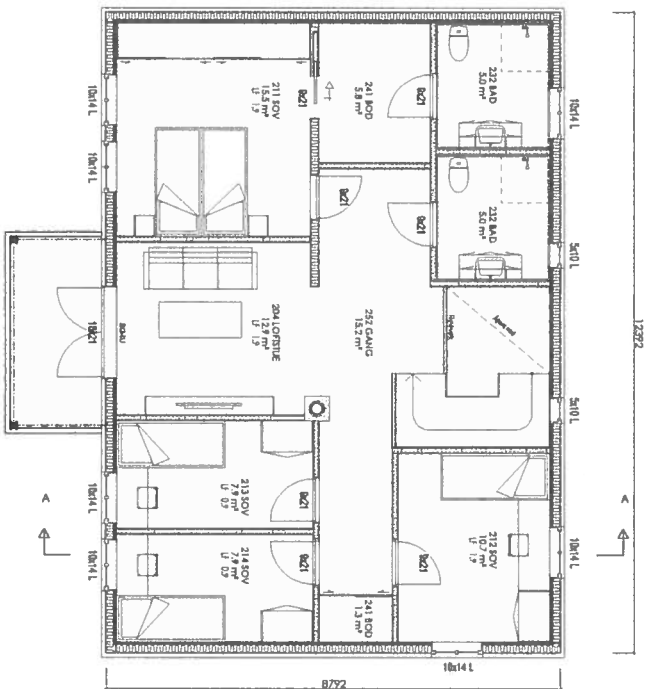
Nr.

A05+

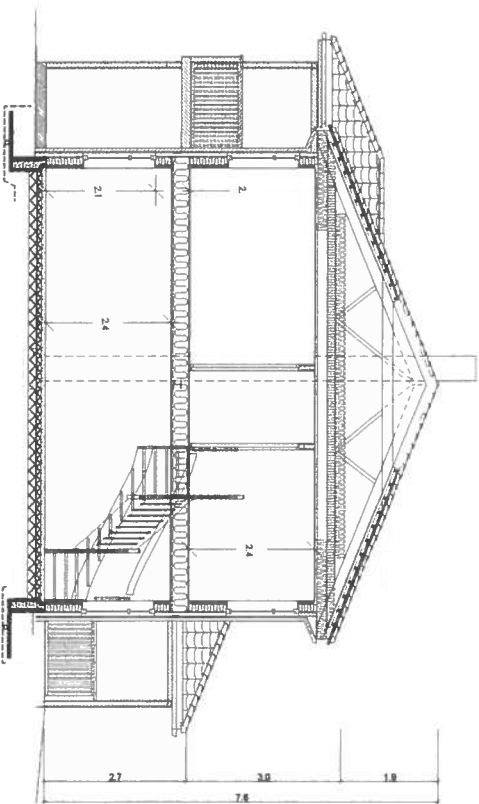
Vedlegg 5 - Plantegning Orion



1. ETASJE



2. ETASJE



SNITT A-A

SG-U Sikkerne lass innside/utside
 SG-I Sikkerne lass innside
 SG-U Sikkerne lass utside

For Isoljonsmengder og U-verdier, se varmeisolasjonsregning

Ålsetting på utside stenderverk/mur

| AREAL | BRA | P-Rom |
|-----------------------------|-------|-------|
| Biltilfthet | | |
| Underetasje/Kylder | | |
| Hovedplan/1. etg. | 100.3 | 95.0 |
| Loftplan/2. etg. | 100.3 | 93.2 |
| Garasj/Ulv. bod | | |
| Åpent overh. areal | 8.7 | |
| SUM Hovedtilfthet | 209.3 | 188.2 |
| Loft-bredde ved 1.8m høyde: | | |
| Bebygd areal, BYA: | 128.2 | |
| Diverse: | | |

Rev.nr.: A Rev.: Ny areal tabell

Tegn.: HPM Dato: 01.09.2011 Kontr.: HPM



Hustype **ORION** Tegning **PLAN, SNITT**

Tiltakshaver : Kontr.: HPM
 Byggeplass : Dato: 01.07.2011
 Kommune : Arkivr.: W801
 Målestokk: 1: 100 Dato: 01.07.2011 Arkivr.: W801
 Arkitekt : DAK av : HPM
 Denne tegning tilhører Nordbohus AS. Etterligning kfr. lov om åndsverk av 12.5.1981.

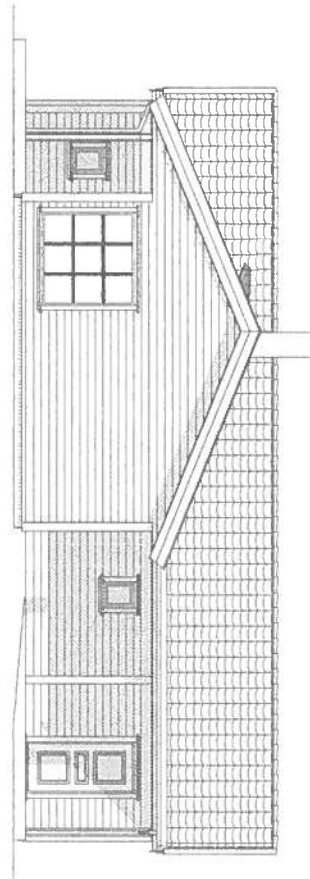
Nr. **A01+**

Vedlegg 6 - Fasadetegning Arcturus

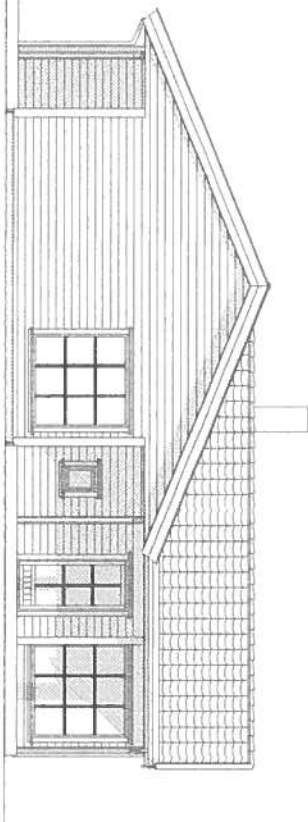
FASADE
Vindusfasade



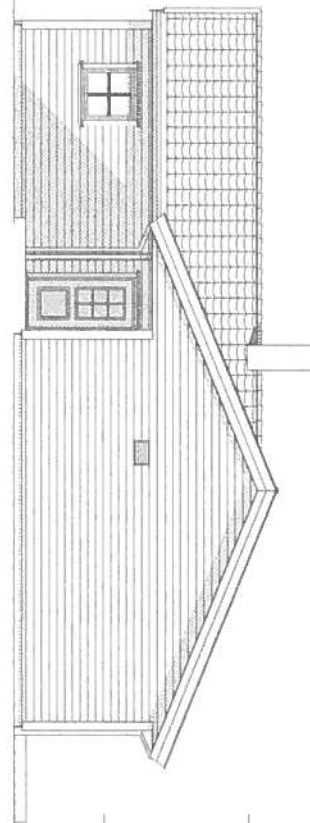
FASADE



FASADE



FASADE



Rev.nr. Rev:

Tegn.: Dato: Kontr.:



Hustype
ARCTURUS

Tegning
FASADER

Tiltakshaver :
Byggeplass :
Kommune :

Målestokk : 1 : 100 Dato: 01.07.2011

Arkivnr. : P307

Arkitekt :

DAK av : HPM

Denne tegning tilhører Nordbohus AS.

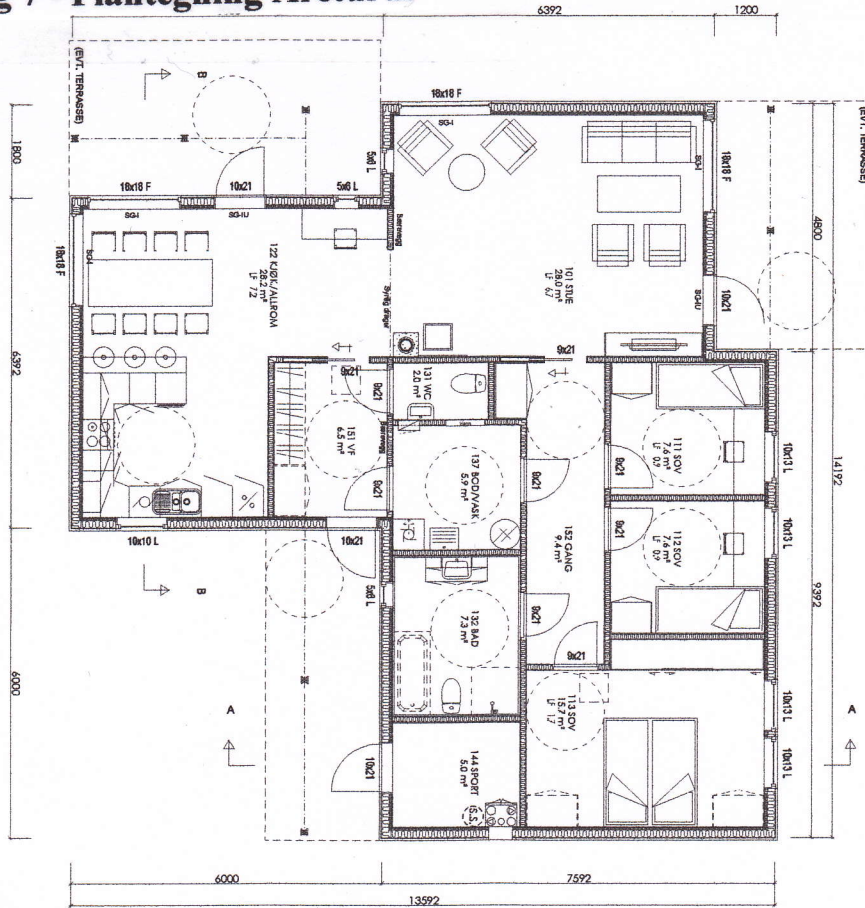
Etterfølging kfr. lov om årsverk av 12.5.1961.

Kontr.: HPM
Dato: 01.07.2011

Nr.
A05+

Vedlegg 7 - Plantegning Arcturus

1. ETASJE

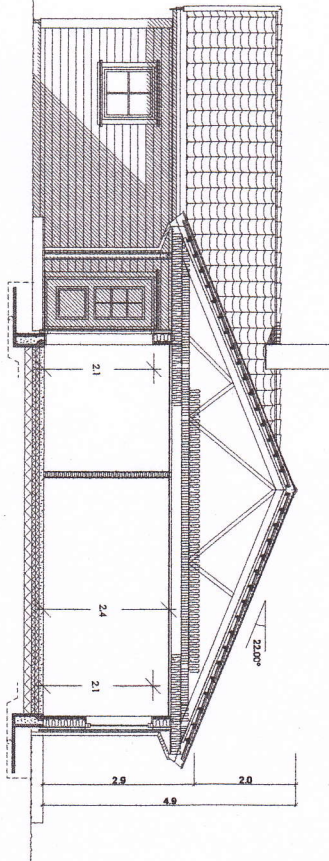


For isolasjonsmengder og U-verdier, se varmetapsberegning

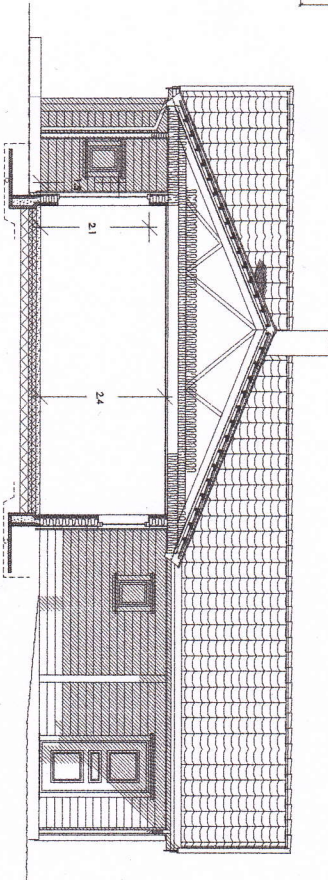
- SG-U Sikkerhetsglass innside/utside
- SG-I Sikkerhetsglass innside
- SG-U Sikkerhetsglass utside

Målesetting på utside stenderverk/mur

SNITT A-A



SNITT B-B



| AREAL | BRÅ | P-Rom |
|-----------------------------|-------|-------|
| Billegg | | |
| Underetasje/Kjeller | | |
| Hovedplan/1. etg. | 129.0 | 124.0 |
| Loftplan/2. etg. | | |
| Garasje/Ulv. bod | | |
| Åpent overb. areal | 12.5 | |
| SUM Hovedlegg | 141.5 | 124.0 |
| Loft-bredde ved 1,9m høyde: | | |
| Bygd areal, BYA: | 165.4 | |
| Diverse: | | |

Rev.nr.: B Endret møblering på sov 111 og sov 112
 A Rev.: Ny arealtabell

Tegn.: HPM HPM Dato: 23.01.12 01.09.11 Kontr.: HPM HPM



Hustype
ARCTURUS

Tegning
PLAN, SNITT

Tiltakshaver :
 Byggeplass :
 Kommune :

Målestokk: 1: 100 Dato: 01.07.11 Arkivnr.: P307
 Arkitekt : DAK av: HPM

Nr.
A01+

Denne tegning tilhører Nordbohus AS. Etterligning kfr. lov om åndsverk av 12.5.1961.

| Nr | Sol-skjerming | Arealandel vindu | Plassering av vindu | Orientering | | | | Klimasteder | | | | | Kommentar |
|----|---------------|------------------|---------------------|-------------|------|-----|------|-------------|------|-----|------|-----|--|
| | | | | Sør | Nord | Øst | Vest | Osl | Tr.ø | Ber | Tr.h | Kar | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | Ja | Ihht. tegning | Ytterst | x | x | x | x | x | S/Ø | x | x | x | Referansehus |
| 2 | Ingen | Ihht. tegning | Ytterst | x | x | x | x | x | S/Ø | x | x | x | Referansehus uten skjerm |
| 3 | Ja | Redusert | Ytterst | x | x | x | x | x | S/Ø | | | | Redusert vindusareal vindusfasade |
| 4 | Ja | Redusert | Ytterst | x | x | x | x | x | S/Ø | | | | Red. vindsuareal motsatt av vindufasade |
| 5 | Ja | Ihht. tegning | Ytterst | x | x | x | x | x | S/Ø | | | | Vinduer flyttet til fasaden "med klokka" |
| 6 | Ja | Ihht. tegning | 10 cm inn | x | x | x | x | x | S/Ø | | | | Sørvinduer trukket inn i vegg |
| 7 | Ja | Ihht. tegning | 10 cm inn | x | x | x | x | x | S/Ø | | | | Alle vinduer trukket inn i vegg |
| 8 | Ja | Ihht. tegning | 20 cm inn | x | x | x | x | x | | | | | Sørvinduer trukket inn i vegg |
| 9 | Ja | Ihht. tegning | 20 cm inn | x | x | x | x | x | | | | | Alle vinduer trukket inn i vegg |
| 10 | Ja | Ihht. tegning | 30 cm inn | x | x | x | x | x | | | | | Sørvinduer trukket inn i vegg |
| 11 | Ja | Ihht. tegning | 30 cm inn | x | x | x | x | x | | | | | Alle vinduer trukket inn i vegg |
| 12 | Ja | Ihht. tegning | Ytterst | x | x | x | x | x | x | x | x | x | Takutstikk |

Vedlegg 9 - Inndata SIMIEN

Noen inndata er allerede presentert i oppgaven, men under følger en fullstendig oversikt over verdier som er valgt. Dimensjoner på soner og hele huset presenteres ikke her, heller ikke spesifikk informasjon om soneinndeling eller informasjon om sonene. Dette kan eventuelt leses fra digital fil. Verdier for enkeltkomponenter er valgt som referanseverdier, tabell 9, eller etter tilpasning av klima, kapittel 3.3.6, og gjengis ikke her.

Bygningskategori: Småhus.

Antall boenheter: 1,0

Skjermingsklasse: Moderat skjerming. Husene har ingen eksakt plassering. Velger derfor en middelvei.

Varmekapasitet møbler og inventar: Disse verdiene er valgt etter sammenligning med andre passivhus eneboliger.

Kjøkken - middels møblert - 4,0 Wh/m²K

Stue - middels møblert - 4,0 Wh/m²K

Sov - middels møblert - 5,0 Wh/m²K

Bad - lett møblert - 2,0 Wh/m²K

Bod - lett møblert - 2,0 Wh/m²K

Trappoppgang - middels møblert - 5,0 Wh/m²K

Varmelagring i innvendig sjikt: Disse verdiene er valgt etter sammenligning med andre passivhus eneboliger.

Fasade - Treplate - 4,0 Wh/m²K

Gulv - 14mm parkett + betong - 41,0 Wh/m²K

Skillekonstruksjon, vegg - standard akkumulerende sjikt - 10 Wh/m²K

Skillekonstruksjon, himling/gulv - tung himling - 63 Wh/m²K - Verdien ble valgt i sammenligning med andre lignende prosjekter. Verdien burde vært lavere og ikke høyere enn verdien for gulv mot grunn, da gulvet er i betong noe himlingen ikke er. Denne ble låst på et tidlig stadium. Alle beregningene har samme verdi, slik at effekten blir lik for alle filer.

Tak - lett himling - 3,0 Wh/m²K

Luftskifte mellom soner på grunn av infiltrasjon: Verdiene for luftskifte mellom soner er valgt etter sammenligning mellom andre konkrete passivhusprosjekter. Følgende verdier er valgt.

Kjøkken - 12 m³/h

Stue - 12 m³/h

Sov - 4 m³/h

Bad - 4,4 m³/h

Bod - 4,4 m³/h

Trapp - 12 m³/h

I påfølgende tabell vises inndata for vinduer, avskjerming og oppvarmingssystemet.

| Parameter | Inndata | Kommentar |
|--|--|--|
| Vindu - 3 lags glass | Solfaktor = 0,45 | Angitt i NS3031. Brukes for vanlig forekommende systemer. Hemisfærisk verdi. |
| Avskjerming - innvendig persienner | Solfaktor (aktivert/ikke aktivert) = 0,40/0,31 | Angitt i NS3031. Brukes for vanlig forekommende systemer. Hemisfærisk verdi. |
| Avskjerming - utvendig screen | Solfaktor (aktivert/ikke aktivert) = 0,40/0,04 | Angitt i NS3031. Brukes for vanlig forekommende systemer. Hemisfærisk verdi. |
| Aktivering av automatisk avskjerming | Solflux = 175 W/m ² | Verdi som er benyttet i NS3031. |
| Konvektiv andel avgitt effekt oppvarmingssystem | Andel = 0,8 | Foreslått verdi hos Programbyggerne. |
| Tur- og returtemperatur vannbårent distribusjonsanlegg. Radiator/gulv | 50 og 30 °C/36 og 30 °C | Veiledende verdier i NS3031 for temperaturdifferanse i en tur-retur væskekrete. Radiator, $\Delta\Theta = 20\text{K}^{*1}$ og gulvvarme, $\Delta\Theta = 6\text{K}^{*2}$ |

*1 Referanse på valgt temperatur gulvvarme: LK Systems. FAQ Gulvvarme [Online] <http://www.lksystems.no/no/LK-Systems-Norge/Gulvvarmeguiden/FAQ-Gulvvarme/>. Side besøkt 15.5.2012.

*2 Referanse på valgt temperatur radiator: FJ Klima Norge AS. 2011. Fujitsu med ny luft/vann varmepumpe [Online] <http://www.mynewsdesk.com/no/pressroom/fj-klima-norge-as/pressrelease/view/fujitsu-med-ny-luft-vann-varmepumpe-612670>. Side besøkt 15.5.2012.

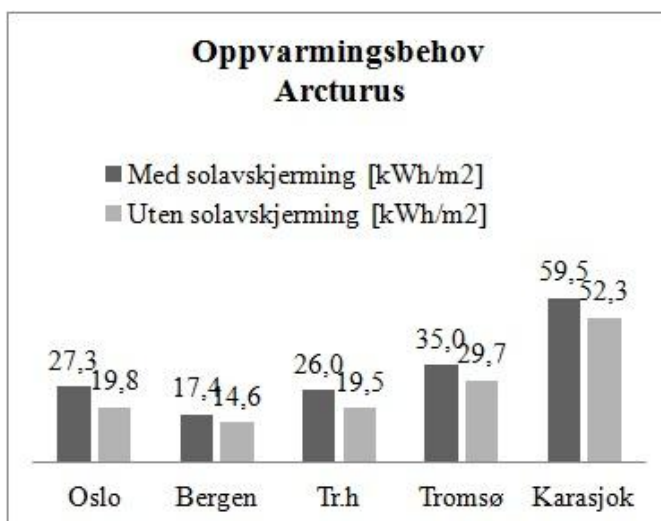
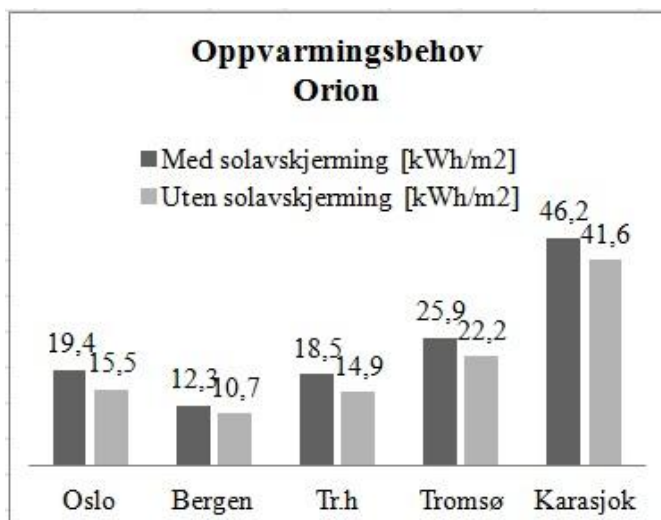
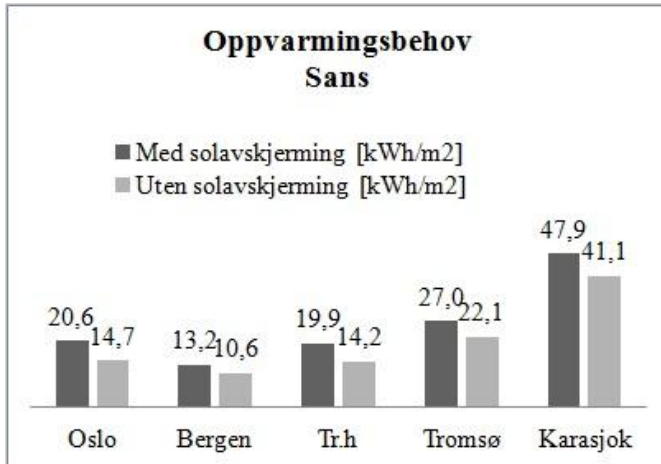
Installert effekt romoppvarming og varmebatteri er justert etter klimasted og beregning. Denne er trimmet for å oppnå tilfredsstillende temperaturer vinterstid og vil variere.

Vedlegg 10 - Oversikt over endringsstudie Oslo vs. Tromsø

| | | | | | Oslo og Tromsø | | | |
|------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|------------|-------------|
| Sans | | | | | Vindufasadens orientering | | | |
| Nr | <i>Solavskjerming</i> | <i>Arealandel vindu</i> | <i>Plassering vindu</i> | <i>Takutstikk</i> | <i>Sør</i> | <i>Nord</i> | <i>Øst</i> | <i>Vest</i> |
| | | | | | [kWh/m2] | [kWh/m2] | [kWh/m2] | [kWh/m2] |
| 1 | Ja | 20,2 | Ytterst | Nei | x | x | x | x |
| 2 | Ja | 17 | Ytterst | Nei | x | x | x | x |
| 3 | Ja | 18,7 | Ytterst | Nei | x | x | x | x |
| 4 | Ja | 20,2 | Ytterst | Nei | x | x | x | x |
| 5 | Ja | 20,2 | Sørvinduer - 10 cm inn | Nei | x | | x | |
| 6 | Ja | 20,2 | Alle vinduer - 10 cm inn | Nei | x | | x | |
| 7 | Ja | 20,2 | Ytterst | 1 m | x | | x | |

Vedlegg 11 - Effekten av solavskjerming

Effekt av solavskjerming for Sans, Orion og Arcturus. Resultatene viser oppvarmingsbehov med og uten solavskjerming for alle byene.



Vedlegg 12 - Inndata Polysun

Første tabell viser alle inndata som er lagt inn programmet Polysun

| Parameter | Valgt verdi |
|--|---|
| Sted | Oslo, Bergen, Trondheim, Tromsø og Karasjok. |
| Mal | 19c – Standard mal – for passivhus. |
| Antall personer | 4 |
| Temperatur på varmt vann | 50 °C – valgt verdi i SIMIEN, velger det samme her. |
| Daglig varmtvannsforbruk | 200 l (tommelfingerregel; 50 l per person per dag (Haase)) |
| Type bygning | Enebolig, passivhus. |
| Omkrets på bygning | 10x8 m ² |
| Antall etasjer | 2 |
| Settpunkttemperatur, dag | 21 °C |
| Maks. effekt oppvarming | Verdier fra SIMIEN-beregning - Varierer med klima |
| Elektrisk oppvarming | Verdier fra SIMIEN-beregning - Varierer med klima |
| Totalt oppvarmingsbehov eks. varmtvann | Verdier fra SIMIEN-beregning - Varierer med klima |
| Varmetap | Verdier fra SIMIEN-beregning - Varierer med klima |
| Teststandard | Europeisk |
| Type fanger | Plan og vakuum |
| Orientering | 0° - sør |
| Helningsvinkel | 30° - gjør det mulig å sammenligne verdier for solfluks med NS3031. |
| Soltilskudd | Lavt |
| Antall fangere | 4 stk |
| Varmtvannstank | Universaltank, 300 l. |

Inndata - PVGIS

Påfølgende tabell viser alle inndata som er lagt inn i programmet PVGIS

| Parameter | Valgt verdi |
|----------------------------|--|
| Solcelleteknologi | Krystallin silikon – aktuelt for småhus. |
| Installert topeffekt panel | Avhenger av produktet – angis for hvert panel. |
| Estimert systemtap | 14 % - anbefalt verdi basert på erfaringstall. |
| Innspent posisjon | Bygningsintegrert (festet til tak). |
| Helning | 30 ° – gjør det mulig å sammenligne verdier for solfluks med NS3031. Takvinkelen er i utgangspunktet 31 °. |
| Orientering | Sør – mest gunstig. |
| Tracking | Ikke valgt – ikke aktuelt for småhus. |

Vedlegg 13 - Produktsøk solcellepanel

Tabellen viser resultatene av søket som ble gjort etter solcellepaneler. Referansene til hvert panel er ført opp under tabellen.

| Merke – type | Leverandør | Toppeffekt, [W _p] | Mål / areal [m / m ²] | Virkningsgrad [%] | Kilde |
|-------------------|------------------------------------|----------------------------------|---|----------------------|----------|
| KYOCERA | GETEK AS | 135 | 1,5X0,668X0,046 / 1,00 | 13,5 | A |
| SOLARTEK | GETEK AS | 235 | 1,655x0,99x0,042 / 1,64 | 14,3 | B |
| REC | GETEK AS | 230 | 1,665x0,991x0,043 / 1,65 | 13,9 | C |
| SUNPOWER | Norsk solenergi AS | 225 W | 1,580x0,940x0,05 / 1,49 | 15,1 | D |
| SUNFLOWER | EgenEnergi | 305 W | 1,97x1,05x0,05 / 2,07 | 14,7 | E |
| Schott | Dynergi | 285 | 1,965x0,993x0,035 / 1,95 | 14,6 | F |
| SSP-185C2 | Shanghai solar panels co., ltd. | 185 | 1,316x0,992x0,046 / 1,31 | 14,2 | G |
| SR-M654230 | Solarit AB | 230 | 1,481x0,992x0,05 / 1,47 | 15,7 | H |
| S 240M60 | Ecokraft | 240 | 1,66x0,99x0,04 / 1,64 | 14,6 | I |

A - http://www.getek.no/brosjyrer/Kyoceramoduler_2011.pdf

B - [http://www.getek.no/brosjyrer/SOLARTEKstandard\(N\)_10-235W.pdf](http://www.getek.no/brosjyrer/SOLARTEKstandard(N)_10-235W.pdf)

C - <http://www.getek.no/brosjyrer/RECSolcellemoduler.pdf>

D - Dataark - Norsk Solenergi AS

E - <http://egenenergi.com/index.php?link=sol>

F - <http://www.schottsolar.com/us/products/photovoltaics/schott-power-poly/>

G - http://www.solarpanels.cn/products/PV_MODULE.htm

H - http://solpanel.se/images/stories/PDFer/solpaneler/sr_m210w.pdf

I - http://www.ecokraft.se/Shop/Page/Private/db_s-class_professional_en_20110201.pdf