



UNIVERSITETET I AGDER

# Energieffektive boliger

Tekniske og økonomiske aspekter

**Line Aasen**

**Veiledere**

Magne Mikal Våge

Bjørn Aune

*Masteroppgaven er gjennomført som ledd i utdanningen ved Universitetet i Agder og er godkjent som en del av denne utdanningen. Denne godkjenningen innebærer ikke at universitetet inntår for de metoder som er anvendt og de konklusjonene som er trukket.*

Universitetet i Agder, 2013  
Fakultet for teknologi og realfag  
Institutt for ingeniørvitenskap

# Sammendrag

Interessen for energieffektive boliger har økt de siste årene. Kravene til nybygg vil økes i årene som kommer, og EU-parlamentet har allerede foreslått krav om plussstandard for alle nybygg innen 2019. I tillegg øker interessen for lokal energiproduksjon fra fornybare energikilder. Solcelleteknologien er i stadig utvikling og den kontinuerlige prisreduksjonen for både solceller, vindmøller, solfangere og varmepumper gjør at lokal energiproduksjon i energieffektive boliger blir mer og mer lønnsomt.

I casestudiet har et passivhus fra Block Watne blitt valgt som utgangspunkt. Med lokalt installerte energikilder oppnår huset nullstandard. I rapporten kommer det fram at et systemoppsett med solceller og solfangere er det mest lønnsomme alternativet for denne boligen. Alternativt vurderte energikilder har vært vindmølle, jordvarmepumpe og luft-vann varmepumpe. På grunn av det lave energibehovet i boligen blir den vurderte vindmøllen samt de to varmepumpene noe overdimensjonert, noe som fører til redusert lønnsomhet.

Et system med solceller og solfangere har i livssyklus kostnadsanalysen fått en nedbetalingstid på 18,9 år og en energikostnad på 0,76 kr/kWh, inkludert vannbåren varme i gulv i bad, toalett, kjøkken og stue i 1.etasje. Prisen for et slikt system er estimert til 254 111 kr. Systemet har en garantert levetid på 20-30 år, noe som betyr at anlegget vil være nedbetalt før levetiden er over. Til sammenligning har de andre vurderte systemene en pris på henholdsvis 309 721 kr og 354 799 kr.

Følsomhetsanalyser utført på systemene viser at dersom systemlevetiden økes, reduseres energikostnaden betydelig. Siden den garanterte levetiden er lavere enn det som ofte er tilfellet, vil dette kunne virke positivt inn på energikostnaden.

Dimensjoneringen av solcelle- og solfangeranlegget er gjort med utgangspunkt i energibehovet til boligen. Energibehovet er simulert i simuleringsprogrammet SIMIEN, hvor husets spesifikasjoner har blitt lagt inn. Det er utført årssimulering, passivhussimulering og energimerkesimulering på huset. Simuleringene har gitt huset energimerke A, men huset tilfredsstiller ikke alle kravene til passivhus grunnet et litt for høyt oppvarmingsbehov. Ved tegning av systemoppsettet i AutoCAD kommer det fram at solcellene får plass på taket, mens solfangerne kan skråstilles på husets vegg.

En veiledende pris for en slik bolig på 158,4 m<sup>2</sup> er estimert til omtrent 4,7 millioner kr inkl. mva. En tradisjonell, sammenlignbar bolig vil ha en pris på drøyt 4,2 millioner kr, noe som gir en prisforskjell på 488 000 kr. En rask estimasjon fører da til at prisforskjellen utjevner seg etter omtrent 24 år, noe som kan tenkes akseptabelt.

Rapporten viser relativt gode muligheter for bygging av energieffektive boliger i Norge. Det produseres idag flere og flere energieffektive ferdighus, noe som også gir større valgfrihet for husbygger. Selv om prisen for en energieffektiv bolig er en del høyere enn for en tradisjonell bolig, fører det lave energibehovet og lokal energiproduksjon til at det på lang sikt er en lønnsom investering.

# Summary

Interest in energy efficient buildings has increased. The requirements for new buildings will be increased in years to come, and the European Parliament has already proposed requirements that all new buildings should have net-zero energy building (NZEB) standard within 2019. In addition, there is an increasing interest in distributed generation. The solar technology is constantly evolving and there is a continuous cost reduction for solar cells, wind turbines, solar collectors and heat pumps, which makes energy efficient buildings more profitable.

In the reports case study, a passive house from Block Watne has been chosen as a basis. With locally installed energy sources, the house achieves NZEB-standard. The report shows that a system setup comprising solar cells and solar collectors are the most profitable solution for this property.

Alternatively considered energy sources have been wind turbine, air-water heat pump and ground heat pump. Due to the reduced energy consumption of the house, the assessed wind turbine and the heat pumps are somewhat oversized, which leads to a less profitable investment compared to a system comprising solar cells and solar collectors.

A system comprising solar cells and solar collectors, results in a payback period of 18.9 years and an energy cost of 0.76 kr/kWh, according to a Life Cycle Cost (LCC) analysis performed for the system. The analysis includes the cost of hydronic floor heating in the bathroom, toilet, kitchen and living room on first floor. The price for such a system is estimated at 254 111 kr. The system has a guaranteed lifespan of 20-30 years, which implies that the system will be repaid before the end of its lifespan.

In comparison, systems comprising solar cells and ground heat pump/water-air pump have system costs of 309 721 kr and 354 899 kr, respectively. This yields energy costs of 1.03 kr/kWh and 1.16 kr/kWh, respectively, for the considered systems.

Sensitivity analyses performed on the three systems indicates a significant reduction of energy cost at increased lifespan. The lifespan can often be increased compared to the guaranteed lifespan, which can yield a positive effect on the energy cost for all the systems.

The system was dimensioned based on a simulation of the buildings energy consumption. The consumption is found by performing various simulations in SIMIEN, where the buildings specifications have been added. The simulations have provided the buildings yearly energy consumption as well as an energy rating. The buildings results have also been compared to the requirements for passive houses.

According to the performed simulations, the building yields energy rating A, but the building does not meet all requirements set for passive houses. This is due to a slightly higher heating demand than allowed in the requirements. A drawing of the system layout performed in AutoCAD shows

that the solar cells can be fitted on the roof, while the solar collectors can be tilted on the house wall.

A suggested price for a 158.4 m<sup>2</sup> house is estimated to approximately 4.7 million kr, including VAT. In comparison, the price of a traditional, comparable house is estimated to approximately 4.2 million kr, including VAT, resulting in a difference of 488 000 kr. According to estimations performed, the prices will be leveled in approximately 24 years.

As of today, the grid operator is obligated to receive electricity from distributed energy sources, although he is not currently obliged to pay for the received electricity. Anyway, many grid operators choose to treat the customers as plus customers, which implies that the customers receive a spot market price for the electricity fed into the grid. The customer is the obliged to have a smart meter that can keep track of the net energy consumption of the house.

Such a plus customer arrangement is of great significance when choosing whether or not to build an energy efficient building in Norway. This is due to the lack of support schemes like feed in tariffs and net-metering, which is available in some European countries.

Regardless of the lack of feed in tariffs and net metering, there is one support scheme for installing distributed energy systems and building energy efficient buildings in Norway. This is through a subsidy scheme offered by Enova, which serves economical benefits when installing selected distributed energy sources, building an energy efficient building or renovating an existing house to meet the requirements for energy efficient buildings. This scheme is of great significance for reducing the cost of building net-zero energy buildings.

The report shows pretty good opportunities for building energy efficient buildings in Norway. Although the price of energy sources has decreased in the past years, the price is still a bit high. In a few years the price will be further reduced, which will yield a better opportunity of investment in distributed energy sources in the future.

The number of prefabricated passive and active houses is increasing, which gives greater opportunities for building of such houses. Although the price of an energy efficient house is somewhat higher than the price for a traditional house, the energy efficient house has a significantly reduced energy demand compared to a traditional house. Along with its distributed generation, the house will be a good investment in the long term.

# Figurer

2.1	Oppbygging av tre-trinns vekselretter med HF transformator	15
2.2	Ulike konfigurasjoner for vekselrettere	16
2.3	Sirkulasjon av luft ved naturlig ventilasjon	22
2.4	Sirkulasjon av luft ved mekanisk ventilasjon	22
2.5	Sirkulasjon av luft ved mekanisk balansert ventilasjon	23
2.6	Tilførsel, avtrekk og varmegjenvinning av luft i varmevekslere	23
2.7	Roterende varmeveksler	24
2.8	Motstrøms varmeveksler	24
2.9	Krysstrøms varmeveksler	25
2.10	Platevarmeveksler	25
2.11	Energimerking av boliger	29
2.12	Kyoto-pyramiden	30
4.1	Plantegninger for Passivhus 2 fra Block Watne	42
4.2	Årlig energibudsjett for boligen	44
4.3	Netto månedlig energibehov for boligen	44
4.4	Varmetapstall for boligen	45
4.5	Evaluering mot NS3700-standard	45
4.6	Energiytelse for boligen	45
4.7	Gjennomsnittlig årlig globalinnstråling i Grimstad ved ulike innstrålingsvinkler	48
4.8	Gjennomsnittlig årlig energiproduksjon fra solfangere ved ulike innstrålingsvinkler	50
4.9	Følsomhetsanalyse for system med solceller og jordvarmepumpe	61
4.10	Følsomhetsanalyse for system med solceller og luft/vann-varmepumpe	63
4.11	Følsomhetsanalyse for system med solceller og solfangere	65
4.12	Utvikling av modulpriser i perioden desember 2001 til mars 2011	66
4.13	Tak med solceller	67
4.14	Fasade med solceller og solfangere	67
4.15	Snittegning av hus med vannbåren varme	68
4.16	3D-tegning av nettilknyttet hus	69
4.17	Plusshusets forbruk og produksjon	72
4.18	Nedbetalingstid for merkostnad	73
5.1	Kapasitet for lokal energiproduksjon i Agder	77
5.2	Spenningsvariasjon i lokale elektrisitetsnett med høy penetrasjon av DG-enheter	78

# Tabeller

2.1	Virkningsgrad for solcellemoduler . . . . .	12
3.1	Høyeste varmetapstall for passivhus og lavenergihus . . . . .	33
3.2	Minstekrav til bygningsdeler og komponenter . . . . .	33
3.3	Effektbehov og energibehov for belysning, utstyr og varmtvann . . . . .	34
3.4	Tillatt spenningsbånd i tilknytningspunkt . . . . .	37
3.5	Tillatte spenningsprang i tilknytningspunkt . . . . .	37
3.6	Krav til vernrespons ved over- eller underspenning . . . . .	37
3.7	Krav til vernrespons ved unormal frekvens i målepunkt . . . . .	37
3.8	Krav til forsinkelse for gjeninnkobling etter feil . . . . .	38
3.9	Tilskudd til privat passivhus eller lavenergibolig . . . . .	40
3.10	Tilskudd til utstyr i privatboliger . . . . .	40
4.1	Spesifikasjoner: Passivhus fra Block Watne . . . . .	42
4.2	Estimasjon av boligens elektrisitetsforbruk . . . . .	46
4.3	Globalinnstråling i Grimstad ved ulike innstrålingsvinkler . . . . .	48
4.4	Elektrisitetsproduksjon ved 27° vinkel . . . . .	49
4.5	LCC-analyse for nettilknyttet vindmøllelegg . . . . .	53
4.6	LCC-analyse for nettilknyttet solcelleanlegg . . . . .	55
4.7	LCC-analyse for jordvarmepumpesystem . . . . .	56
4.8	LCC-analyse for luft/vann-varmepumpesystem . . . . .	57
4.9	LCC-analyse for solfangeranlegg . . . . .	58
4.10	Energiregnskap for system med solceller og jordvarmepumpe . . . . .	59
4.11	LCC-analyse for system med solceller og jordvarmepumpe . . . . .	60
4.12	Energiregnskap for system med solceller og luft/vann-varmepumpe . . . . .	62
4.13	LCC-analyse for system med solceller og luft/vann-varmepumpe . . . . .	62
4.14	Energiregnskap for system med solceller og solfangere . . . . .	64
4.15	LCC-analyse for system med solceller og solfangere . . . . .	64
4.16	Forventede "turn-key" systempriser . . . . .	66
4.17	Økonomisk beregning ved bygging av nullhus . . . . .	69
4.18	Diverse avgifter og gebyrer til kommunen . . . . .	70
4.19	Økonomisk beregning ved bygging av tradisjonell bolig fra Block Watne . . . . .	71
4.20	Årlig energikostnad for nullhuset . . . . .	73
6.1	Livssyklus kostnadsanalyser for vurderte energikilder . . . . .	84
6.2	Livssyklus kostnadsanalyser for vurderte systemer . . . . .	84

# Ordforklaringer

AC	Alternating Current: Vekselstrøm
a-Si	Amorphous Silicon: Tynnfilm solcelle
BRA	Bruksareal: Boligens disponible areal
CdTe	Cadmium Telluride: Tynnfilm solcelle
CIGS	Copper Indium Gallium Selenium: Tynnfilm solcelle
COP	Coefficient of Performance: Ytelseskoeffisient for varmepumper
DC	Direct Current: Likestrøm
EMC	Electromagnetic Compability: Elektromagnetisk kompatibilitet
GETEK	Gaustad Energiteknikk: Leverandør av komponenter for alternativ energiforsyning
GTO	Gate Turn-Off thyristor
GW	Gigawatt = 1000 MW
IEA	International Energy Agency
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
KILE	Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi
kW	Kilowatt = 1000 W
LCC	Life Cycle Costing: Livssyklus kostnadsanalyse
LED	Light Emitting Diode: Lysdiode
mA	Milliampere = 0,001 A
mc-Si	Multi Crystal Silicon: Multikrystallinske solceller
MOSFET	Metal-Oxide Semiconductor power Field Effect Transistor
MPPT	Maximum Power Point Tracker
MW	Megawatt = 1000 kW
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System: Simuleringsverktøy for simulering av solinnstråling og energiproduksjon fra solceller
PWM	Pulse-Width Modulation: Puls-bredde modulasjon
RCMU	Residual Current Monitoring Unit
sc-Si	Single Crystal Silicon: Monokrystallinske solceller
SFP	Specific Fan Power: Spesifikk vifteeffekt for ventilasjonsanlegg
SIMIEN	SIMulering av Inneklima og ENergibruk i bygninger: Simuleringsprogram for energisimulering i bygninger
TWh	Terrawattimer = 1000 MWh
U-verdi	Varmegjennomgangskoeffisient/Varmeisolasjonsevne
Wafer	Tynn skive av halvledermateriale, silisiumkrystall
Wp	Watt-peak: Toppeffekt
ZEB	Zero Emission Building: Nullutslippsbygg/Nullenergihus
ZERO	Zero Emission Resource Organisation: Forskningscenter for miljøvennlig energi

# Forord

Denne rapporten er skrevet som min avsluttende oppgave på masterstudiet i fornybar energi ved Universitetet i Agder. Oppgaven gir 30 studiepoeng.

Oppgaven er gitt av Bjørn Aune ved Helgelandskraft AS, avdeling Mosjøen, og videre omformulert av undertegnede. Helgelandskraft AS er et kraftkonsern med divisjonene nett, produksjon og marked. Selskapet er lokalisert i flere kommuner på Helgeland, med hovedkontor i Mosjøen. De øvrige avdelingskontorene ligger i Brønnøysund, Sandnessjøen og Mo i Rana.

Energieffektive boliger er et fremtidsrettet og aktuelt tema, og undertegnede synes dermed det var spennende å fordype seg på området. Oppgaven er på mange måter en veileder for de som ønsker å bygge en energieffektiv bolig, og mange av problemstillingene rundt dette blir besvart i oppgaven. I tillegg framkommer det spesielt mye informasjon om hvilke energikilder som kan være aktuelle ved bygging av slike boliger. De økonomiske aspektene er gjennom hele oppgaven svært sentrale.

Mange personer har under oppgaveskrivingen vært behjelpelig med sin ekspertise på områdene oppgaven omhandler. Min interne veileder gjennom oppgaven, Magne Mikal Våge, takkes for sine gode råd og veiledning gjennom oppgavens periode. En takk rettes også til ekstern veileder ved Helgelandskraft AS, Bjørn Aune, for god oppfølging og hjelp denne våren. En stor takk går også til prosjektleder Stein Bergsmark ved Universitetet i Agder for god oppfølging, veiledning og hjelp med rapportskrivning. Videre rettes en takk til Roald Rasmussen ved Skanska Arendal for god informasjon om prosjektet NZEB Skarpnes. En takk rettes også til byggherre ved Norges første nullhus i Froland, Wenche Nordli, for informasjon om erfaringer fra prosjektet.

Det rettes også en stor takk til alle som har bidratt med informasjon om priser. Uten deres kunnskap hadde det blitt vanskelig å finne eksakte prisoverslag i oppgaven. Det rettes dermed stor takk til Lillian Lykken Gaustad og Knut Erik Nilsen ved GETEK AS for besvarelse av både tekniske og økonomiske spørsmål. En takk rettes også til Asbjørn Rødland ved Block Watne i Kristiansand, Matthias Ader ved Parat Varme AS, Susanne Wold og Morten Haukland ved Brødrene Dahl AS Mo i Rana, Eivind Bakken ved YIT AS Mo i Rana og Torkel Aasen ved ASV Solar.

Grimstad, 3.juni 2013

Line Aasen



# Innhold

<b>Figurer</b>	<b>iv</b>
<b>Tabeller</b>	<b>v</b>
<b>Ordforklaringer</b>	<b>vi</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemdefinisjon	2
1.2.1 Hovedmål	2
1.2.2 Delmål	2
1.3 Forutsetninger og avgrensninger	2
1.3.1 Forutseninger	2
1.3.2 Avgrensninger	3
1.4 Litteraturstudie	3
1.4.1 Energieffektive bygg i Norge	3
1.4.2 Energieffektive bygg i utlandet	4
1.4.3 Klimamål	5
1.4.4 Lokal energiproduksjon	5
1.4.5 Vekselretteren	6
1.5 Problemløsning	7
1.6 Rapportstrukturen	7
<b>2 Teoretisk bakgrunn</b>	<b>9</b>
2.1 Lokal energiproduksjon	9
2.2 Solceller	9
2.2.1 Krystallinske silisiumceller	10
2.2.2 Tynnfilmceller	11
2.2.3 Virkningsgrader	12
2.2.4 Effekttap i solceller	12
2.3 Vindkraft	13
2.3.1 Vindmøller	13
2.4 Vekselretter	14
2.4.1 Vekselretterens oppbygging	15
2.4.2 Konfigurasjoner	16
2.5 Solfanger	17
2.6 Varmepumpe	18
2.6.1 Luft-luft varmpumpe	18
2.6.2 Luft-vann varmpumpe	18
2.6.3 Vann-vann varmpumpe	19

2.7	Fjernvarme	20
2.8	Vannbåren varme	20
2.9	Ventilasjon	21
2.9.1	Naturlig ventilasjon	21
2.9.2	Mekanisk ventilasjon	22
2.9.3	Mekanisk balansert ventilasjon	22
2.10	Varmegjenvinning	23
2.10.1	Regenerative varmevekslere	23
2.10.2	Rekuperative varmevekslere	24
2.10.3	Omluft	25
2.11	Energibesparende apparater	25
2.11.1	Hot-fill-apparater	26
2.11.2	Eco Bubble-teknologi	26
2.11.3	LED-belysning	26
2.12	U-verdi	27
2.13	Energieffektive boliger	27
2.13.1	Lavenergihus	27
2.13.2	Passivhus	28
2.13.3	Aktivhus	28
2.13.4	Nullhus	28
2.13.5	Plusshus	28
2.14	Energimerking	29
2.14.1	Energimerking av boliger	29
2.14.2	Energimerking av hvitevarer	29
2.15	Planlegging og bygging av energieffektive boliger	30
<b>3</b>	<b>Krav og rammebetingelser</b>	<b>32</b>
3.1	NS3700: Kriterier for passivhus og lavenergihus	32
3.1.1	Varmetapstall	33
3.1.2	Minstekrav til bygningsdeler og komponenter	33
3.1.3	Internt varmetilskudd	33
3.2	Tekniske krav	34
3.2.1	Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg	34
3.2.2	Krav til vekselretteren	34
3.2.3	Netteiers krav	36
3.3	Nettregime	38
3.3.1	Tilknytningsplikt	38
3.3.2	Anleggsbidrag	39
3.4	Insentiver og støtteordninger	39
3.4.1	Støtte fra Enova	39
3.4.2	Plusskunder	40
3.4.3	Grunnlån fra Husbanken	40
<b>4</b>	<b>Casestudie - Et nullhus</b>	<b>41</b>
4.1	Passivhus fra Block Watne	41
4.2	Energiforbruk i boligen	43
4.2.1	SIMIEN	43
4.2.2	Simulering av årlig energibehov	43
4.2.3	Evaluerings mot NS3700-standard	45
4.2.4	Elektrisitetsforbruk i boligen	46

4.3	Solinnstråling og energiproduksjon	47
4.3.1	Solinnstråling	47
4.3.2	Elektrisitetsproduksjon fra solceller	49
4.3.3	Energiproduksjon fra solfangere	49
4.4	Valg av energikilder	50
4.4.1	Livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse)	51
4.4.2	Følsomhetsanalyse	52
4.4.3	LCC-analyse av vindmølle-system	52
4.4.4	LCC-analyse av solcelleanlegg	54
4.4.5	LCC-analyse av jordvarmepumpesystem	56
4.4.6	LCC-analyse av luft/vann-varmepumpesystem	57
4.4.7	LCC-analyse av solfangeranlegg	58
4.5	Systemvalg	59
4.5.1	System 1: Solceller og jordvarmepumpe	59
4.5.2	System 2: Solceller og luft/vann-varmepumpe	61
4.5.3	System 3: Solceller og solfangere	63
4.6	Systemoppsett - System 3: Solceller og solfangere	66
4.7	Økonomiske aspekter ved bygging av nullhus fra Block Watne	69
4.8	Merkostnad ved bygging av nullhus	71
4.8.1	Nedbetalingstid for merkostnad	71
4.9	Praktiske aspekter ved bygging av nullhus fra Block Watne	74
4.9.1	Planleggings- og byggeprosess	74
<b>5</b>	<b>Nettmessige konsekvenser ved distribuert utbygging</b>	<b>76</b>
5.1	Dagens nett	76
5.1.1	Tilgjengelig nettkapasitet i Agder-området	76
5.2	Utfordringer og aktuelle løsninger	78
5.2.1	Nettutviklingsplan for Sørlandet	79
5.2.2	Smart Grid	79
<b>6</b>	<b>Resultater</b>	<b>81</b>
6.1	Energieffektive boliger	81
6.2	Kriterier for passivhus og lavenergihus	82
6.3	Tekniske krav	82
6.4	Nettregime	82
6.5	Insentiver og støtteordninger	83
6.6	Casestudie	83
6.6.1	Energiforbruk i boligen	83
6.6.2	Valg av energikilder	84
6.6.3	Systemvalg	84
6.6.4	Systemoppsett	85
6.6.5	Økonomiske aspekter ved bygging av nullhus	85
6.7	Nettmessige konsekvenser ved distribuert utbygging	86
<b>7</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>87</b>
7.1	Ressursgrunnlag og energiproduksjon	87
7.2	Casestudie	88
7.3	Nettmessige konsekvenser	89
7.4	Tilrettelagt for bygging av energieffektive boliger?	89

<b>8 Konklusjon</b>	<b>90</b>
8.1 Bakgrunn . . . . .	90
8.2 Casestudie . . . . .	90
8.3 Nettmessige konsekvenser . . . . .	91
8.4 Marked for energieffektive boliger i Norge? . . . . .	91
8.5 Fremtidig arbeid . . . . .	91
<b>Bibliografi</b>	<b>92</b>
<b>Tillegg</b>	<b>94</b>
<b>A Proven vindturbin</b>	<b>94</b>
<b>B Solartek solcellemoduler</b>	<b>99</b>
<b>C SMA Windy Boy vekselretter</b>	<b>103</b>
<b>D SMA Sunny Tripower vekselretter</b>	<b>108</b>
<b>E Fronius IG vekselretter</b>	<b>113</b>
<b>F Ochsner Europa EWP jordvarmepumpe</b>	<b>116</b>
<b>G Toshiba KWSmart luft/vann-varmepumpe</b>	<b>119</b>
<b>H Solfangerpakke fra ASV Solar</b>	<b>122</b>
<b>I Passivhus fra Block Watne</b>	<b>125</b>
<b>J Passivhusevaluering i SIMIEN</b>	<b>128</b>
<b>K Årssimulering i SIMIEN</b>	<b>134</b>

# Kapittel 1

## Innledning

Oppgaven som presenteres i denne rapporten er gitt av Bjørn Aune ved Helgelandskraft AS, avdeling Mosjøen. Oppgaven er formulert i samarbeid mellom studenten og oppgavestiller, der undertegnede har stått relativt fritt til å formulere oppgaven selv.

I dette kapitlet blir oppgavens bakgrunn, problemdefinisjon, forutsetninger og avgrensninger presentert. Det gis også en kortfattet litteraturstudie som omhandler oppgavens problemområde.

### 1.1 Bakgrunn

Økende interesse for energiproduksjon og energieffektivitet har ført til at oppgavens problemområde anses som svært spennende. De fornybare energiressursene som Norge sitter på, kan utnyttes langt bedre enn de gjør i dag. Utnyttelsen av ressursene er dermed svært viktig for gjennomføringen av verdens og Norges fornybarløfter som framkommer i EUs ambisiøse mål for 2020. Målene, som er kjent som 20-20-20-målene, omfatter en reduksjon av klimagasser til 20 % i forhold til 1990-nivået, 20 % reduksjon av energiforbruk ved økt energieffektivitet, og at 20 % av det totale energiforbruket skal dekkes av fornybar energiproduksjon [7].

Siden Norge allerede innehar en svært høy fornybarandel gjennom energiproduksjon fra vannkraft, har det blitt satt høye mål for Norges fornybarandel innen 2020. Dette innebærer at Norge skal øke sin fornybarandel fra dagens 62 % til 67,5 % innen 2020 (Kilde: OED). Disse målene kan nås dersom de fornybare energiressursene blir bedre utnyttet, samt at flere blir flinkere til å redusere energiforbruket.

Dette er i hovedsak bakgrunnen for oppgaven. Energieffektive boliger kombinerer både energieffektivitet og fornybar energiproduksjon, og dersom interessen for energieffektive boliger økes, kan de langsiktige målene være innen rekkevidde. Undertegnede håper dermed at oppgaven kan påpeke de positive aspektene ved energieffektive hus, som forhåpentligvis kan stimulere til økt interesse for dette.

### 1.2 Problemdefinisjon

I dette avsnittet presiseres oppgaven i et hovedmål, samt flere delmål. Oppgaven skal i hovedsak være en veiledning for bygging av energieffektive boliger i Norge. Den skal utforske tekniske og økonomiske utfordringer ved bygging og dimensjonering av hus og energiforsyning, samt at den skal samle erfaringer fra lignende og eksisterende boligprosjekter. Siden oppgaven er rettet mot ordinære samfunnsborgere, skal oppgaven informere om mulighetene og utfordringene i et slikt prosjekt og forhåpentligvis også stimulere til økt interesse for energieffektive boliger. Dermed står de økonomiske aspektene svært sentralt i oppgavens problemløsning.

#### 1.2.1 Hovedmål

- Kartlegge hvilke problemstillinger som må behandles dersom man skal bygge en energieffektiv bolig, samt hvilke muligheter som finnes i Norge.

#### 1.2.2 Delmål

- Klargjøre hvilke krav som stilles ved bygging av lavenergihus og passivhus.
- Kartlegge hvilke støtteordninger som finnes for bygging av energieffektive boliger i Norge, samt hvilke støtteordninger som finnes for distribuert generering.
- Utarbeide et casestudie om hvordan man må gå fram dersom man skal bygge en energieffektiv bolig i Norge.
- Se på kostnaden av å bygge en energieffektiv bolig i Norge i dag, samt kostnadene for utstyr i form av fornybare energikilder som huset skal benytte.
- Vurdere i hvor stor grad det er tilrettelagt for bygging av energieffektive boliger i Norge i dag, både teknisk og økonomisk.
- Hvis tid, utarbeide et casestudie om hva som må til for å heve standarden fra nullhusstandard til plussstandard.

### 1.3 Forutsetninger og avgrensninger

I oppgaven har det blitt tatt hensyn til noen forutsetninger for lokasjon og informasjon for den energieffektive boligen som tas som utgangspunkt i oppgavens casestudie. Her har også noen avgrensninger vært naturlig å innføre. Disse forutsetningene og avgrensningene presenteres i de to påfølgende seksjonene.

#### 1.3.1 Forutseneringer

- Huset antas å være lokalisert i Agder.
- Relevant informasjon hentet fra offentlige instanser, programmer og nettsider antas å være korrekte for beregningene de blir benyttet i.

### 1.3.2 Avgrensninger

- Behandler hus i form av private boliger med maksimalt BRA 200 Kvm.
- Den økonomiske analysen tar for seg et nøkkelferdig hus med unntak av innvendig inventar som møbler, belysning og hvitevarer.
- Oppgaven tar ikke for seg valg av ulike bygningsmaterialer og u-verdier i utstrakt grad.
- Effekttap som kan innvirke på effektiviteten til husets energiforsyningsanlegg, neglisjeres i simuleringer og beregninger.

## 1.4 Litteraturstudie

De siste årene har minstekravene til byggestandard økt, fra tidligere TEK97 og TEK07 til nåværende TEK10. For å øke byggestandarden ytterligere, finnes det nå nye standarder, blant annet passivhus- og lavenergistandardene NS3700 og NS3701, som gjelder for henholdsvis boliger og yrkesbygg. Passivhusstandard er enda ikke et lovfestet krav, men EU-parlamentet har allerede foreslått at plusshusstandard bør bli et krav for alle nybygg innen 2019 [1].

I Norge har utviklingen gått langsommere enn i land med relativt like klimaforutsetninger, som for eksempel Tyskland. Her er det til nå bygd en del lavenergihus, passivhus, aktivhus, nullhus og plusshus. De ulike begrepene for energieffektive boliger presenteres i seksjon 2.13. Selv om utviklingen har gått en del langsommere enn i andre europeiske land, finnes det en del eksempler på energieffektive bygg i Norge. Et utvalg norske og utenlandske energieffektive bygg presenteres i det følgende.

### 1.4.1 Energieffektive bygg i Norge

I Norge har Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) og Sintef Byggforsk fått store bevilgninger til forskning på Zero Emission Buildings, nullutslippsbygg eller nullenergibygg på norsk [1]. Norge har per i dag mange bygg som produserer fornybar energi, og noen av anleggene dekker også hele energiforbruket ved hjelp av egenprodusert energi. Det er per i dag relativt få energieffektive boliger som dekker hele energibehovet med egenprodusert energi, men noen eksempler kan nevnes.

Det første plusshuset i Norge ble bygget i Stavanger i 1988 [1]. Det benytter seg av energi fra solfangere, solceller og vindmøller. Siden bygget ikke fikk levert elektrisitet til nettet, måtte vindmøllen demonteres [1]. I dag er energiloven endret, noe som gjør at nettselskapene er pliktig til å ta imot elektrisitet fra alle produsenter av fornybar energi [1].

Et eksempel på et norsk lavenergibygg er Ciens-bygget i forskningsparken i Oslo som bruker om lag halvparten av normalt energibehov [1]. Bygget benytter seg av 120 m<sup>2</sup> solceller på taket, samt jord-til-luft varmepumpe til oppvarming/kjøling [1].

Et annet eksempel på et norsk lavenergibygg er FN-kontoret Grid Arendal som fikk renoverert bygget i 2006 og som nå bare har et energiforbruk på om lag 100 kWh/m<sup>2</sup> [1]. Dette er oppnådd ved tiltak som ekstra isolasjon, vannbåren varme, solfangere og store vinduer som reduserer behovet for

oppvarming på dagtid [1].

Et annet spennende prosjekt blir kalt "Framtidens Aktivhus", og er et forsøksprosjekt i Stjørdal i Nord-Trøndelag. Prosjektet er et samarbeid mellom flere aktører og skal gi nyttig informasjon om aktivhus i nordiske klima. Siden huset er Norges første aktivhus vil prosjektet kunne gi nyttig erfaring om både byggeprosess og videre om hvordan huset vil være i funksjon. Huset vil bli overvåket de to første leveårene for å gi nyttig data om energiforbruk og andre ytelsesmålinger [14].

Huset er bygd for å inneha godt dagslys, god luftkvalitet og et hyggelig bomiljø [14]. Huset har blant annet naturlig ventilasjon, automatisk styrte takvinduer, solskjerming, LED-belysning og tykk isolasjon i vegger, tak og gulv [14]. Bioenergi blir brukt til oppvarming, samt at omtrent 50 % av boligens varmtvannsforbruk blir levert av solfangere plassert på sør-østvendt fasade og en del av husets balkongrekkverk [14]. Boligen er utstyrt med et automatisk styringssystem som gir beboerne mulighet til å styre varme, ventilasjon og belysning fra stort sett alle rom i huset [14].

Norges første nullhus ble påbegynt i Froland i Aust-Agder i 2010, og sto innflyttingsklar i september 2012. Huset benytter solceller, solfangere og biopeis til oppvarming og elektrisitetsproduksjon. Siden byggestart har byggeprosessen blitt oppdatert gjennom en blogg på hjemmesiden nullhus.com. Her kan man blant annet se hvor mye elektrisitet boligens solcelleanlegg har produsert etter at det ble aktivt etter nyttår 2013.

For tiden jobbes det med to spennende prosjekter knyttet til plusshus. Powerhouse har sammen med Skanska, Snøhetta, ZERO, Hydro og Entra Eiendom satt i gang et samarbeid om å bygge Norges første energipositive kontorbygg på Brattørkaia i Trondheim [1]. Bygget vil bli kalt Powerhouse One og vil bli et kontorbygg med miljøvennlig teknologi og tekniske løsninger.

I tillegg til det planlagte kontorbygget i Trondheim, har de samme aktørene bestemt at et ordinært kontorbygg på Kjørbo i Sandvika skal rehabiliteres og oppnå standard som plusshus. Når bygget er ferdig rehabilitert, skal det være i stand til å produsere mer energi enn det forbruker [1]. Bygget skal produsere elektrisitet ved hjelp av solceller, og den årlige elektrisitetsproduksjonen skal være 200 000 kWh [1]. Det årlige forbruket skal i følge Powerhouse være på 100 000 kWh, noe som vil føre til at en betydelig mengde elektrisitet kan mates ut på elektrisitetsnettet [1]. Da det tas i betraktning at det går med energi til produksjon av materialer, vil det totale regnestykket for livsløpszyklus gi et lite energioverskudd, noe som fører til at bygget oppnår tittelen plusshus.

Skanska har i tillegg til de nevnte prosjektene satt i gang byggingen av Norges første boligfelt bestående av 40 boliger, fordelt på småhus og boligblokker. Boligene er lokalisert på Skarpnes i Arendal og har byggestart sommeren 2013. Boligene skal bygges etter passivhusstandard, men ved hjelp av solceller, solfangere, varmepumper og energibrønner oppnår boligene nullhusstandard. Alle boligene har vannbåren varme, med 1 eller 2 radiatorer i hvert bygg.

#### 1.4.2 Energieffektive bygg i utlandet

Det finnes en rekke eksempler på utenlandske lavenergi boliger og plusshusløsninger. Den tyske arkitekten og miljøaktivisten Rolf Disch er en pioner innen plusshus, og det var han som bygde det første plusshuset i verden [10]. Hans mål var å vise at man kunne designe og bygge bygninger som produserer mer energi de forbruker, og det beviste han med sin private bolig Heliotrope som han



bygde i 1994 [10].

Heliotrope er en sylindrisk, roterende bygning som forflytter seg etter sola, noe som gjør at solenergien kan utnyttes fullt ut [10]. På taket er det montert 54 m<sup>2</sup> høyeffektive monokrystallinske solceller som kan roteres både horisontalt og vertikalt for bedre solinnstråling [10]. Boligen er isolert med vakuumisolasjon som har lavere u-verdi enn tradisjonell isolasjon, noe som betyr bedre isolasjon og mindre varmetap i bygget [10]. Trelags isolerte vinduer gir også minimalt med varmetap. Balkongrekkverket er benyttet som solfangere som produserer varmt vann til bygningen og det varme vannet benyttes også til romoppvarming [10]. Regnvannet blir samlet opp og filtrert, mens avfall og søppel blir behandlet på stedet [10]. Boligen benytter seg også av varmevekslere og ventilasjon med varmegjenvinning som gir et friskt inneklima og lavt energiforbruk [10]. Energibehovet for boligen er kun 21 kWh/m<sup>2</sup> [10]. Boligen produserer 4-6 ganger energiforbruket, og mater inn overskuddsenergien til elektrisitetsnettet [10].

Etter suksessen med Heliotrope, bygde Disch "Sun Ship", som er en rekke boliger og kontorbygg i den tyske byen Freiburg. Bygget består av 59 boliger og penthouseleiligheter, et supermarked, et apotek og en kafé [11]. Bygget strekker seg 125 meter langs hovedveien og fungerer også som lydmur for byen på andre siden av bygget. Solceller montert på taket genererer 420000 kWh per år, og alle byggene klassifiseres som plussus [11].

Det finnes også mange andre eksempler på plussus i utlandet, som for eksempel testsenteret for fasadeelementer i Tyskland, tilhørende datterselskapet til Hydro Byggesystemer, Wilkona [1]. Bygget genererer energi fra solceller på taket og benytter jordvarmepumpe [1].

Også i krevende klimatiske forhold i Antarktis finner man et eksempel på plussus. Her benytter den belgiske forskningsstasjonen Princess Elisabeth små vindturbiner, solceller og terminske solfangere til å generere energi [1]. Dette sies å være den første polare forskningsstasjonen med plussusstandard [1]. Dette viser at plussus er mulig også i kalde og krevende områder.

### 1.4.3 Klimamål

Det har de siste tiårene vært økt bekymring for global oppvarming og klimaforandringer [7]. Kyoto-protokollen som ble vedtatt i Tokyo 11. desember 1997, trådte i kraft 16. februar 2005 [7]. I denne internasjonale avtalen, settes det bindende mål for 37 land og EU, om å redusere klimagassutslippene [7]. Industrilandene er i avtalen forpliktet til å redusere utslippene med 5 % sammenlignet med 1990-nivået, i løpet av femårsperioden 2008-2012 [7].

EU har satt ambisiøse mål for å redusere klimagassutslippene. Disse målene er kjent som 20-20-20 målene, og skal etter planen være oppfylt innen 2020 [7]. Målene omfatter en reduksjon av klimagasser med 20 % sammenlignet med 1990-nivået, 20 % reduksjon av energiforbruket gjennom økt energieffektivitet, og 20 % fornybar energiproduksjon [7].

### 1.4.4 Lokal energiproduksjon

De nye klimamålene har gitt økt oppmerksomhet på fornybar energiproduksjon. Dette har også gitt økt fokus på å produsere energi nær forbrukssted, som for eksempel fra solceller, solfangere og vindmøller i liten skala, montert på boligens fasade eller tak.

Solceller er per i dag den raskest voksende fornybare energiteknologien [7]. Første generasjons solceller har til nå vært de tradisjonelle solcellene på markedet, men forskning og utvikling har ført til at andre- og tredjegerasjons solceller i dag er de mest spennende solcellene på markedet. Den første krystallinske solcellen av silisium ble utviklet i 1954, ved Bell Laboratories i USA [7]. Denne hadde kun 6 % virkningsgrad [7]. Til sammenligning har dagens krystallinske solceller en virkningsgrad på 15-19% [7].

Andre generasjons solceller ble utviklet på 1990-2000-tallet, og har en mindre kostbar produksjonsprosess enn første generasjons solceller [7]. De går ofte under navnet tynnfilmteknologier, noe som gjenspeiles i materialbehovet. Disse cellene er veldig fleksible, men har en del lavere virkningsgrad enn krystallinske solceller [7]. Virkningsgraden ligger for tiden i området 6-12 % [7].

Tredje generasjons solceller er enda på forskningsstadiet, men de er antatt å få en betydelig høyere virkningsgrad enn både første og andre generasjons solceller [7]. Disse cellene er per i dag ikke spesielt kommersielt tilgjengelig, men høye produksjonsvirkningsgrader på opptil 40 % gir lovende forhåpninger for tredje generasjons solceller [7]. I dag ligger den kommersielle modulvirkningsgraden i området 4-6 % [7].

Mens det norske solcellemarkedet fortsatt er dominert av frittstående solcelleanlegg på hytter og i andre små installasjoner, er det globale markedet dominert av nettilknyttede anlegg [7]. På grunn av den raske utviklingen, har prisen på solceller og solcelleanlegg blitt kraftig redusert de siste årene [7]. Samtidig har levetiden til solcellesystemer økt [7]. Til tross for den raske utviklingen globalt, har ikke det norske markedet hatt like positiv utvikling. Forsatt er prisen på solcellesystemer litt for høy til at solcellesystemer er betydelig utbredt på boliger og større anlegg. Det ventes derimot at interessen vil øke i tiden framover.

Vindmøller har historisk blitt benyttet langt tilbake i tid. Allerede før år null skal vindmøller ha blitt benyttet til vannpumping i Kina og Midtøsten [24]. I senere tid har vindmøller vært mye brukt til kverning av korn. På slutten av 1800-tallet kom elektrisitetsproduserende vindturbiner [24]. Vindturbiner kan ha et relativt ubegrenset antall blader, men utvikling og optimalisering har ført til at de trebladete vindturbinene nå er mest utbredt [24].

I Norge er ikke vindkraft noe nytt begrep. Vindressursene har i Norge historisk sett blitt brukt til automatisering av jordbruk, pumping av vann og etter hvert til elektrisitetsforsyning [24]. Allerede i 1893-1896 ble en av verdens første offshore turbiner benyttet, for produksjon av elektrisk lys på Nansens Fram-ekspedisjon [24].

#### 1.4.5 Vekselretteren

En vekselretter er en sentral komponent i et nettilknyttet produksjonsanlegg. Den brukes til å konvertere likestrøm, som produseres av fornybare energikilder, til vekselstrøm som forbrukes av de fleste av husets apparater.

Det ble tidlig i historien behov for å konvertere mellom likestrøm og vekselstrøm, og vekselrettere og likerettere ble dermed oppfunnet. Likeretteren ble utviklet først, slik at man kunne omgjøre vekselstrøm til likestrøm [7]. Få år etter ble vekselretteren oppfunnet [7]. Det har vært stor utvikling i like- og vekselrettertechnologien i løpet av det siste århundret [7]. Introduksjonen av tyristoren i 1957 har hatt stor betydning for både kraftelektronikken generelt, og vekselretteren spesielt [7].

Idag brukes tyristorer ikke i mindre vekselrettere, som i stedet bruker MOSFET eller IGBT, noe som forklares nærmere i seksjon 2.4.1. Dagens vekselrettere er svært effektive, med 98,6 % som høyeste oppnådde virkningsgrad [7].

### 1.5 Problemløsning

Arbeidet er basert på en teoretisk studie der relevante artikler, bøker, magasiner og internett er benyttet. Lover og forskrifter er tilgjengelig på nett, mens Norsk Standard er tilgjengelig gjennom dagslån hos universitetsbiblioteket. Disse er benyttet som kilder i oppgaven.

Relevante simuleringsprogram og tegneprogram har blitt benyttet. SIMIEN har blitt brukt til å simulere boligens energiforbruk. PVGIS har blitt benyttet til simulering av solinnstråling og energiproduksjon fra solceller. Videre har AutoCAD og SketchUp blitt brukt til å illustrere systemoppsettet for boligen.

De nevnte hjelpemidlene er benyttet i oppbyggingen av oppgavens casestudie, som omhandler tekniske og økonomiske aspekter ved bygging av et passivhus fra Block Watne. Her har simuleringsverktøyene, samt prisinformasjon blitt benyttet til valg og dimensjonering av energiforsyning i boligen. I den økonomiske delen av oppgaven har regneark i Excel blitt benyttet, og flere livssyklus kostnadsanalyser og følsomhetsanalyser er utført. De økonomiske aspektene står svært sentralt i oppgaven, og dermed har prisinformasjon stått sentralt i oppgavens problemløsning. Prisinformasjonen er hentet ved henvendelser direkte til de fleste av aktørene, noe som har gitt relativt eksakte prisoverslag i oppgaven.

Siden informasjon og erfaringer knyttet til allerede oppsatte energieffektive boliger står sentralt i oppgaven, opprettet undertegnede kontakt med Roald Rasmussen i Skanska Arendal. Rasmussen er prosjektleder for NZEB Skarpnes, som prosjekterer Norges første boligfelt med passivhusstandard. Prosjektet har byggestart sommeren 2013, og har dermed foreløpig ingen erfaringer utover prosjektering. Siden undertegnede ser det som svært viktig med erfaringer fra eksisterende boliger, har en litteraturstudie på eksisterende energieffektive boliger i Norge og utlandet blitt utført. I tillegg har byggherre i Norges første nullhus i Froland, Wenche Nordli, blitt kontaktet, og relevante erfaringer fra dette prosjektet er dermed benyttet i oppgaven.

### 1.6 Rapportstrukturen

**Kapittel 2** omhandler grunnleggende teori, og gir leseren bedre kunnskap om de sentrale begrepene oppgaven omhandler. Her fremkommer ulike teknologier for fornybar energiproduksjon, som kan være relevante for energiforsyning i energieffektive boliger, samt komponenter i nettilknyttede produksjonsanlegg. En innføring i de ulike klassifiseringene innenfor energieffektive boliger gis, og videre gis en innføring i hvordan en energieffektiv bolig bør planlegges og bygges.

**Kapittel 3** omhandler krav og rammebetingelser som gjelder ved bygging av passivhus og lavenergihus, samt hvilke tekniske krav som gjelder ved installasjon av elektriske lavspenningsanlegg. Til slutt presenteres de ulike insentivene og støtteordningene som gjelder for energieffektive hus og fornybar energiproduksjon i Norge.

**Kapittel 4** presenterer en casestudie for prosjektering av et tenkt nullhus i Grimstad. I casestudiet er det innhentet informasjon for et ferdigtegnert passivhus fra Block Watnes. Fornybare energikilder fra ulike aktører er deretter dimensjonert og valgt for å gi huset nullhusstandard. Relevant informasjon om passivhuset fra Block Watne er lagt fram, og en simulering av boligens energiforbruk er utført. Her legges boligens årlige energibehov fram, samt at den evalueres mot NS3700-standard for passivhus og lavenergihus.

Videre legges informasjon om solinnstråling og energiproduksjon i Grimstad fram, basert på simulering i PVGIS. Etter dimensjonering av husets energiforsyningsanlegg, blir flere livssyklus kostnadsanalyser lagt fram. Disse legger grunnlaget for systemvalg og systemoppsett som legges fram videre i casestudiet. Føslomhetsanalyser for systemene legges også fram. Etter systemvalg og systemoppsett, blir de økonomiske aspektene ved bygging av nullhus og tradisjonelle boliger lagt fram. Til slutt blir noen praktiske aspekter ved bygging av hus generelt og nullhus spesielt, lagt fram.

**Kapittel 5** belyser noen av de nettmessige utfordringene som følger med en større distribuert utbygging, og til slutt presenteres noen av alternativene som finnes for å løse utfordringene.

**Kapittel 6** gir en oppsummering av de avdekkede resultatene fra rapporten. Her står resultatene fra casestudiet i Kapittel 4 sentralt.

**Kapittel 7** fremlegger en diskusjon basert på resultatene i Kapittel 6. Diskusjonen omhandler potensialet for og utfordringene ved bygging av energieffektive boliger i Norge, både teknisk og økonomisk. Diskusjonen svarer på en del av delmålene som ble presentert tidligere i Kapittel 1.

**Kapittel 8** gir et kort sammendrag av problemstillingen, og presenterer konklusjoner basert på resultater og diskusjon. I tillegg gis forslag til videre arbeid.

# Kapittel 2

## Teoretisk bakgrunn

Dette kapittelet inneholder grunnleggende teori og beskrivelser som gir leseren bedre kunnskap om de ulike begrepene som oppgaven omhandler. Først blir ulike teknologier for energiproduksjon presentert. Deretter presenteres ulike komponenter som benyttes i nettilknyttede anlegg. Videre presenteres ulike klassifiseringer innenfor energieffektive boliger, samt hvilke kriterier som gjelder for disse. Til sist gis en innføring i hvordan man bør gå fram dersom man skal bygge en energieffektiv bolig, samt hvordan boliger og utstyr energimerkes for enklere veiledning for kunden.

### 2.1 Lokal energiproduksjon

Hovedandelen av dagens elektrisitetsproduksjon finner sted i store sentrale anlegg, ofte drevet av kullkraft, kjernekraft, store solcelleanlegg eller vannkraftanlegg. Elektrisiteten overføres da over store avstander, noe som gir effekttap og høyere kostnader.

Begrepet distribuert generering viser til elektrisitetsproduksjon fra mange små energikilder, og er en fellesbetegnelse for alle typer enheter som mater elektrisitet ut på distribusjonsnett. Det kjennetegnes også ved at forbruket som regel finner sted på samme sted som produksjon. Ved lokal energiproduksjon, vil effekttapet reduseres og forsyningssikkerheten økes, og man eliminerer da kostnadene og kompleksiteten knyttet til overføring og distribusjon. Et slikt produksjonsanlegg kan ha en energikapasitet som strekker seg fra mindre enn 1 kW til 100 MW, men store produksjonsanlegg kan ha en energikapasitet som overstiger 1 GW.

I de 2 neste seksjonene blir aktuelle teknologier som kan benyttes i distribuerte genereringsanlegg presentert. Deretter følger en beskrivelse av noen aktuelle oppvarmingsalternativer for en energieffektiv bolig.

### 2.2 Solceller

Solceller er laget for å ta imot fotoner fra sollyset og konvertere disse til elektrisk energi [7]. For å oppnå større total effekt, samtidig som modulene oppnår en praktisk størrelse, kobles ofte 60-72 celler sammen [7]. Dette danner solcellemoduler. En slik sammenkobling gir en nominell effekt på 120-300  $W_p$  for krystallinske silisiumceller og 60-120  $W_p$  for tynnfilmmceller [7]. Nominell effekt

avhenger av størrelse og virkningsgrad på modulene. Ytterligere større effekt oppnås ved å koble sammen flere slike moduler. En slik sammenkobling av flere moduler blir kalt solcellepanel.

Den største fordelen med solceller, er at når man først har installert systemet har man gratis drivstoff i form av sollys hele systemets levetid. Installasjonskostnaden er derimot et svært negativt aspekt med slike system, fordi den ofte overstiger systemets økonomiske gevinst, avhengig av hvilke støtteordninger som er tilgjengelig. Det er derfor ikke veldig utbredt å benytte seg av solkraft for å dekke hele boligens energiforbruk. Med teknologiens raske utvikling, reduserte pristrender og økende systemlevetid, vil teknologien mest sannsynlig bli betraktelig mer utbredt i tiden framover. Dagens norske marked består i stor grad av såkalte frittstående solcelleanlegg på hytter og fritidsboliger uten nettilknytning [7]. Det finnes per i dag få nettilknyttede anlegg, men det ventes at det vil være en økende trend framover [7].

Solcellemoduler kategoriseres i to hovedkategorier, definert ved valg av halvleder. Dagens kommersielle solcellemoduler er enten laget av krystallinsk silisium eller tynnfilmmaterialer. I de neste avsnittene blir de ulike solcellemodul-teknologiene presentert.

### 2.2.1 Krystallinske silisiumceller

Historisk sett er krystallinsk silisium det mest brukte halvledermaterialet for solcellemoduler [7]. Til tross for relativt dårlig lysabsorberingsevne, gir krystallinsk silisium imidlertid solceller med den høyeste kommersielle virkningsgraden [7]. Den gjennomsnittlige modulvirkningsgraden for krystallinske solcellemoduler har de siste 10-12 årene steget betraktelig, men den teoretiske modulvirkningsgraden på 31 % setter en liten begrensning på teknologiens videre utvikling [7]. Dette på grunnlag av at cellene krever en del mer materiale enn moduler laget av tynnfilmmaterialer, noe som gir høyere produksjonskostnader [7]. Krystallinske solcellemoduler deles inn i ytterligere to kategorier, monokrystallinske og multikrystallinske solceller.

#### Monokrystallinske solceller (sc-Si)

Monokrystallinske solceller har høyest kommersiell virkningsgrad i dagens solcellemarked [7]. Til tross for den høye virkningsgraden, gir den krevende produksjonsprosessen solcellemoduler med høy investeringskostnad [7]. Dette har ført til at modulene stort sett bare benyttes der kravene til høy virkningsgrad er viktig [7].

For å produsere krystallene må silisium smeltes i en smeltedigel og krystalliseres på nytt. Den oftest benyttede prosessen kalles Czochralski-prosessen som innebærer å dyppe et frøkrystall i det smeltede silisiumet [7]. Deretter roteres og dras frøkrystallen oppover i en tilpasset hastighet, slik at den vokser og til slutt danner en sylindrisk enkrystall med en diameter på 10-15 cm, og en lengde på 1,0-1,5 m [7]. Deretter kuttet den sylindriske krystallen i såkalte wafers.

På grunn av enkrystallens sirkulære form, går mye av silisiummaterialet tapt ved tilkutting av de firkantede cellene. Kombinert med den energikrevende prosessen gir dette kostbare solcellemoduler [7]. Til gjengjeld får solcellemodulene en veldig høy virkningsgrad sammenlignet med solcellemoduler som ikke produseres med denne metoden. Dette kommer av at cellene blir mye renere enn andre typer, fordi urenheterne som ellers ville oppstått ved støping blir igjen i smelten når krystallen dras opp [7].

## Multikrystallinske solceller (mc-Si)

Multikrystallinske solcellemoduler er historisk sett de mest brukte solcellemodulene på det kommersielle markedet [7]. De har en mye mer kostnadseffektiv produksjonsprosess enn de monokrystallinske modulene, men de oppnår ikke så høy virkningsgrad som disse [7].

Produksjonen av slike solcellemoduler kan skje på flere forskjellige måter, men den vanligste metoden skjer ved støping av smeltet silisium [7]. Ved støping i blokk vil silisiumet avkjøles fra kanten av støpeblokken og innover, noe som gjør at blokken størkner i mange forskjellige retninger [7]. Dette gir enhetskrystaller som strekker seg i flere forskjellige retninger i cellene. En slik usystematisk orientering gir såkalte korn og korn grenser, som gir de ulike fargeforskjellene man kan se i multikrystallinske solcellemoduler [7]. Slike korn grenser gir defekter og urenheter som reduserer ytelsen og virkningsgraden til solcellemodulene [7]. Dette fordi grensene mer eller mindre stenger for ladningsbærerstrømmen i cellene [7]. Kornene øker også rekombinasjonen av elektron-hull-par, noe som også fører til effekttap i cellene [7].

Til tross for effekttapene og den lavere virkningsgraden, har de på grunn av den rimeligere produksjonsprosessen oppnådd et høyt kommersielt produksjonsvolum [7].

### 2.2.2 Tynnfilmceller

Tynnfilmceller er tynnere og mer fleksible enn de krystallinske solcellene, noe som gir lavere materialkostnader [7]. De er lett å integrere i bygninger, men har noe lavere kommersiell virkningsgrad enn krystallinske solceller [7]. Det finnes mange forskjellige tynnfilmceller, og teknologien er i stadig utvikling. Virkningsgraden er også i ferd med å øke, men de fleste tynnfilmcellene har per i dag et godt stykke før de har en produksjonsvirkningsgrad på høyde med krystallinske solceller [7]. Mange av tynnfilmteknologiene er per i dag ikke i kommersiell produksjon, men høye og stadig økende laboratorievirkningsgrader lover godt for utviklingen av disse teknologiene [7]. De mest brukte materialene i tynnfilmceller er amorf silisium (a-Si), copper indium gallium diselenide (CIGS) og cadmium telluride (CdTe) [7].

### Amorf silisium (a-Si)

Amorf silisium er den mest brukte tynnfilmteknologien i dagens marked, til tross for at de har den laveste virkningsgraden av de kommersielle tynnfilmteknologiene [7]. Kvaliteten på cellene kan forbedres ved å tilsette 5-10 % hydrogen, noe som øker båndgapet og dermed også cellenes absorberingsevne [7]. Cellene kan da ta opp fotoner med høyere energi, noe som gjør at man kan benytte seg av et tynnere og dermed mindre kostbart materiale. Til tross for litt lav virkningsgrad, virker cellene bedre enn krystallinske solceller i diffuse og svake lysforhold [7]. Dette oppnås fordi man kan sette flere celler oppå hverandre og dermed la hver av cellene absorbere hver sin del av lys-spekteret [7]. De øverste cellene kan da ta opp den energirike, blå delen av lysspekteret som penetrerer skylaget. Dette kan øke den totale virkningsgraden til cellene [7].

### Copper indium gallium diselenide (CIGS)

CIGS har oppnådd den høyeste laboratorievirkningsgraden av tynnfilmteknologiene [7]. Det forventes at produksjonskostnadene reduseres betraktelig når de går ut i kommersiell produksjon [7]. Som andre tynnfilmteknologier, er også disse cellene mottakelige for diffus solinnstråling, noe som gjør at de fungerer godt i overskyet vær [7].

### Cadmium telluride (CdTe)

CdTe har i likhet med CIGS et stort potensial for prisreduksjon ved masseproduksjon. Slike celler har svært god lysabsorberingsevne, noe som kommer av et nærmest ideelt båndgap [7]. De er dermed svært mottakelige for diffus og svak solinnstråling i likhet med de nevnte tynnfilmteknologiene [7].

### 2.2.3 Virkningsgrader

Gjennomsnittlig modulvirkningsgrad for solcellemoduler har de siste årene vært i rask utvikling. Tabell 2.1 viser gjennomsnittlige modulvirkningsgrader for de nevnte modulteknologiene. Som en ser ligger laboratorievirkningsgraden en del høyere enn produksjonsvirkningsgraden, noe som sier en del om potensialet for framtidig utvikling.

Tabell 2.1: Virkningsgrad for solcellemoduler [12]

Modultype	Produksjonsvirkningsgrad	Laboratorievirkningsgrad
sc-Si	15-20 %	25 %
mc-Si	13-15 %	21 %
a-Si	7 %	10 %
CIGS	12 %	20 %
CdTe	10 %	16 %

Som man ser er det de såkalte førstegenerasjons solceller, altså krystallinske solceller, som har den høyeste produksjonsvirkningsgraden i dagens solcellemarked. De såkalte andre generasjons- og tredje generasjons solceller, også kjent som tynnfilmteknologier, kommer foreløpig et stykke etter. Tredje generasjons solceller ser derimot ut til å gå mot en svært bra langsiktig virkningsgrad, med laboratorievirkningsgrader på rundt 40 % allerede oppnådd [7]. Det er noen uenigheter om hva som er realistisk på langsiktig basis, men det er ikke utenkelig at man etter hvert som teknologien utvikler seg kan oppleve virkningsgrader på 30-60 % [7]. Den teoretiske virkningsgraden for krystallinsk silisium er som nevnt 31 %, mens tredje generasjons tynnfilmceller har en teoretisk virkningsgrad på nærmere 90 % [7].

### 2.2.4 Effekttap i solceller

Den innstrålte solenergien kan på grunn av ulike tapsmekanismer ikke utnyttes fullt ut i solcellemodulene. Tapene kan kategoriseres i optiske og elektriske tap.



Optiske tap skyldes faktorer som refleksjon og skygger. Refleksjonstap er et resultat av at fotoner reflekteres ved overflaten, ettersom at solcellemodulene ikke klarer å absorbere alt sollyset [7]. Skyggetap kan komme av skyer, snø, løv og annet smuss. I tillegg kan omkringliggende bygninger, trær, piper eller andre faste gjenstander kaste skygge over panelene. Generelt gjelder det at strengens minste strøm er gjeldede, noe som gjør at hvis en av modulene blir utsatt for skygge, vil strømmen i hele strengen påvirkes [7]. Dette kan føre til en betydelig reduksjon i elektrisitetsproduksjon.

Elektriske tap er delt inn i rekombinasjonstap og ohmske tap. Ohmske tap er et resultat av den indre resistansen til solcellene [7]. Dette kan føre til spenningsfall og dermed effekttap [7]. Rekombinasjonstap oppstår vanligvis på grunn av urenheter og defekter i krystallstrukturen, eller ved halvlederoverflaten [7]. Dette fører til strøm- og spenningstap og dermed effekttap.

I tillegg til nevnte tapsfaktorer vil det også forekomme effekttap som følge av degradasjon av solcellemodulene. Lysdegradasjon har en betydelig påvirkning på energiproduksjonen hos amorf silisium-celler. En degradasjon på 10-15 % de første 1000 timene må forventes for disse modulene [7]. I CdTe- og CIGS- moduler (tynnfilm) kan dette ikke oppstå, men det kan i stedet oppstå kortslutninger ved korn grensene i halvlederlaget [7]. Her anslår man et virkningsgradstap på 0,25-0,5 % per år [7]. Krystallinske solcellemoduler brytes ned omtrent 2 % i begynnelsen av levetiden som følge av lysdegradering, mens den langsiktige degraderingen for disse modulene er 0,2 % per år [7].

## 2.3 Vindkraft

Vindkraft er konvertering av vindenergi til en nyttig form for energi, for eksempel ved hjelp av vindmøller for produksjon av elektrisk kraft. Store vindparker består av flere hundre individuelle vindturbiner som er koblet til distribusjonsnett. Offshore vindparker kan utnytte hyppigere og kraftigere vinder enn det som er tilgjengelig på landbaserte installasjoner, og har mindre visuell påvirkning på landskapet. Byggekostnadene er derimot høye. Samtidig har offshore vindparker problemer når det kommer til vedlikehold, fordi det må være relativt rolig sjø for å kunne arbeide på vindparkene. Ved urolig sjø kan det medføre lange perioder med driftsstans, noe som fører til redusert inntekt og energiproduksjon. Selv om vindkraft er en populær form for energiproduksjon, er utbygging av vindparker sjelden velkommen av estetiske årsaker.

Vindenergi er veldig konsistent fra år til år, men har betydelig variasjon over kortere perioder. Interessen for småskala vindkraft er blitt større de siste årene, men det er foreløpig en teknologi som er lite brukt i Norge. Det er uansett en rimelig og effektiv måte å dekke deler av elektrisitetsbehovet på. Småskala vindkraftanlegg kan både forekomme som frittstående og nettilknyttede anlegg. I nettilknyttede anlegg kan overskuddskraften mates inn i elektrisitetsnett. Kostnaden for et vindmølleanlegg varierer i stor grad, men overstiger gjerne 20 000 kr/kW [17].

### 2.3.1 Vindmøller

En vindmølle konverterer kinetisk energi fra vinden til mekanisk energi. En vindturbin består av turbinblader, generator, tårn og nacelle [17]. Nacellen, også kalt maskinhuset, inneholder generator, gir, akslinger og lagre [17]. Nacellen plasseres i toppen av tårnet for horisontalakslede vindmøller, mens den ofte plasseres på bakken for vertikalakslede vindmøller. Generatoren omdanner den mekaniske rotasjonen i bladene til elektrisk energi, og har ofte et turtall på 1000-1500 omdreininger

per minutt [17]. Siden dette er mye høyere enn vindturbinens turtall, er det vanlig å benytte gir mellom generator og hovedaksling [17].

Det finnes to hovedtyper vindmøller, definert ved rotorretningen. Hver av hovedtypene har tilhørende undertyper.

### Horisontalakslede vindmøller

Horisontalakslede vindmøller er de eldste og mest vanlige vindmøllene [17]. Disse vindmøllene har rotorakslingen og den elektriske generatoren på toppen av tårnet, og turbinen må rettes direkte mot vinden [17]. De er dermed det beste alternativet ved jevne vindforhold og lite turbulens, og ved en klar vindretning [17]. Små vindmøller rettes i riktig retning ved hjelp av en vindhane, mens store turbiner generelt bruker en vindsensor koblet med servomotor [17]. De fleste vindmøller har girkasse som gir raskere rotasjon som er mer egnet til å drive en elektrisk generator [17]. Det finnes både tobladede og trebladede vindturbiner.

Turbiner som brukes i vindparker for kommersiell produksjon av elektrisitet er vanligvis trebladet og rettet mot vinden ved hjelp av datastyrte motorer [17]. Disse kan ha tårn som rager opptil 130 meter opp i luften og dermed har slike turbiner også svært stort vingespenn [17]. Hastigheten på vingespissen er ofte veldig høy, og alle turbinene er dermed utstyrt med beskyttelsesfunksjoner for å unngå skader ved høye vindhastigheter. De kan for eksempel være utstyrt automatisk vridning av bladene som bremser hastigheten på bladene når vinden kommer over en viss hastighet [17].

### Vertikalakslede vindmøller

Vertikalakslede vindmøller har rotorakslingen vertikalt rettet, og trenger ikke å ha turbinen rettet mot vinden for å være effektiv [17]. De kan dermed ta inn vind fra alle kanter og fungerer dermed best der vindretningen er veldig varierende, for eksempel med kastvinder og turbulens [17]. Dette kan for eksempel være tilfellet for bygningsintegrerte vindmøller, der nær bebyggelse, trær og kupert terreng kan gi varierende vindforhold.

Ulempene er den lave rotasjonshastigheten med det påfølgende høye dreiemomentet som gir høyere kostnader for drivverk, lavere virkningsgrad og høy dynamisk last på bladene [17]. På vertikalakslede vindmøller kan generator og girkasse plasseres på bakken, noe som forbedrer tilgjengeligheten for vedlikehold [17]. Når en turbin monteres på taket, omdirigerer som regel bygningen vinden over taket, noe som kan doble vindhastigheten mot turbinen. For bygningsintegrerte vindmøller kan støy være en negativ konsekvens, og bygningsstrukturen kan være for svak til å ta imot belastningen fra vindmøllen [17].

## 2.4 Vekselretter

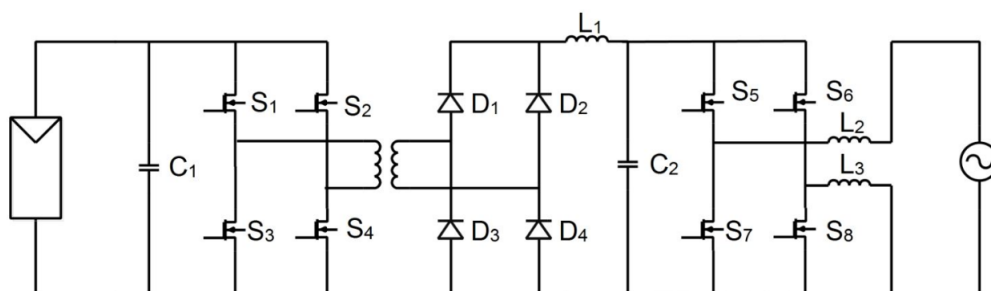
Vekselrettere er sentrale komponenter i nettilknyttede produksjonsanlegg. Fornybare produksjonsanlegg, som solcellesystemer og vindmøller, produserer som regel likestrøm (DC) som ikke kan benyttes av husets apparater. Likestrøm er ikke anbefalt for distribusjon over lange distanser, og kan samtidig ikke sendes ut på distribusjonsnettet som kun distribuerer vekselstrøm (AC). For å konvertere likestrøm til vekselstrøm benyttes dermed vekselrettere, eller invertere på engelsk.

En vekselretter må være i stand til å konvertere likestrøm til vekselstrøm, og samtidig synkronisere spenning og frekvens med verdiene på distribusjonsnettet [7]. Vekselrettere har også ulike verninnetninger integrert, som beskyttelse mot feil polaritet [7]. Dessuten må nettilknyttede vekselrettere ha anti-øydriftsbeskyttelse, som sørger for å avbryte energiproduksjonen ved strøbrudd i distribusjonsnettet [7].

For produksjonsanlegg med effekt lavere enn  $5 \text{ kW}_p$ , blir enfase vekselrettere benyttet [7]. Der som systemet er større enn  $5 \text{ kW}_p$ , benyttes ofte trefase vekselrettere [7]. Enfase vekselrettere blir uansett i økende grad benyttet også for systemer større enn  $5 \text{ kW}_p$ .

### 2.4.1 Vekselretterens oppbygging

Vekselrettere er bygd opp ved hjelp av avansert kraftelektronikk, i mange små blokker med ulike funksjoner [7]. Selve sammensetningen av komponentene kan variere, men mange av de samme blokkene inngår oftest i de ulike konfigurasjonene [7]. Den viktigste funksjonsblokken i en vekselretter, er H-broen. Her konverteres likestrøm til vekselstrøm. Figur 2.1 viser oppbygningen av en tre-trinns vekselretter med høyfrekvent (HF) transformator som gir galvanisk skille, noe som er påbudt i visse typer installasjoner.



Figur 2.1: Oppbygging av trestadig vekselretter med HF transformator [7]

H-broen kan i Figur 2.1 ses til venstre, med bryterne  $S_1$ - $S_4$ . Disse 4 bryterne veksler mellom å være åpne og lukket, og  $S_1$  og  $S_4$  er åpne samtidig, mens  $S_2$  og  $S_3$  er lukket. Intervallet mellom åpning og lukking av bryterne bestemmer frekvensen på den leverte spenningen [7]. Spenningsamplituden i vekselretteren forandres enten med en transformator eller en DC-DC boost-konverter, eller begge [7]. En DC-DC boost-konverter består av transistor, spole, diode og kondensator, og er i praksis en regulator som øker spenningen samtidig som effekten holdes uendret [7].

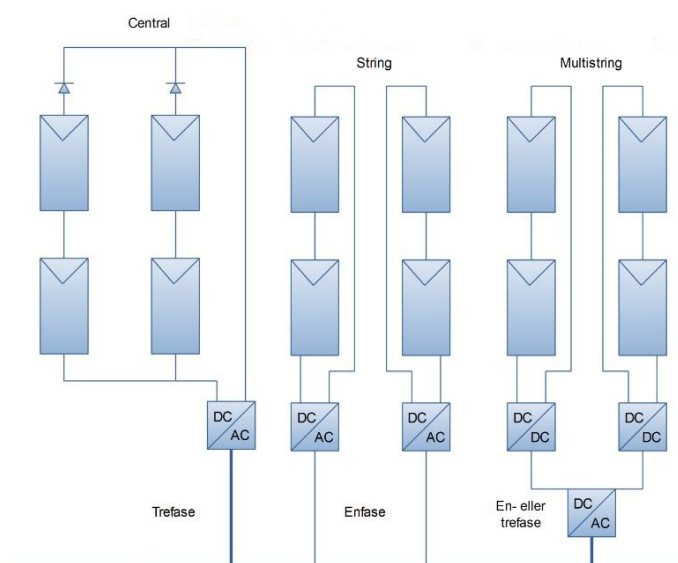
Bryterne i vekselretterne er laget av ulike halvlederelementer. Avhengig av systemstørrelse og effektnivå, blir følgende halvlederelementer ofte brukt: MOSFET (metal-oxide semiconductor power field effect transistors), Bipolare transistorer, GTO (gate turn-off thyristor) eller IGBT (insulated gate bipolar transistor) [7]. Bryterne styres med pulsbredde modulasjon (PWM) og gir sinusformet spenning som er synkronisert med distribusjonsnettets spenning og frekvens.

Figur 2.1 viser at spenningen først blir omgjort til vekselstrøm i H-broen. Videre går spenningen gjennom en transformator. I diodene  $D_1$ - $D_4$  blir spenningen omgjort til likestrøm igjen. Til slutt blir spenningen igjen omgjort til vekselstrøm, filtrert for å fjerne harmoniske komponenter fra modulasjonsprosessen, og kan benyttes direkte i boligens apparater, eller sendes ut på distribusjonsnettet.

Modulasjonsfrekvensen varierer i de ulike vekselretterne, og man deler ofte inn i høyfrekvente og lavfrekvente transformatorer. Lavfrekvente transformatorer med 50 Hz frekvens, benyttes ofte til å matche spenningen til distribusjonsnettet [7]. Slike transformatorer benyttes sjelden i dagens vekselrettere. Høyfrekvente transformatorer med frekvens i området 10-50 kHz blir i dag ofte benyttet, fordi det høyfrekvente konseptet tillater reduksjon av transformatorstørrelsen. Høyfrekvente transformatorer behøver betydelig mindre plass og veier mye mindre enn lavfrekvente transformatorer.

### 2.4.2 Konfigurasjoner

Det er normalt å kategorisere vekselretterne i tre kategorier, etter konfigurasjon: sentral-, string- og multistring- vekselrettere. Figur 2.2 viser de tre vekselretterkonfigurasjonene som fins.



Figur 2.2: Ulike konfigurasjoner for vekselrettere [7]

Sentral vekselrettere kobles sammen med flere parallelle strenger. Slike vekselrettere har høy virkningsgrad og lav kostnad, men ingen optimal metode for å maksimere elektrisitetsproduksjonen [7]. Dette kommer av at de kun har en MPPT (maximum power point tracker) i systemet. MPPT finner optimalt punkt for elektrisitetsproduksjon ved at de kontinuerlig søker etter beste kombinasjon av strøm og spenning fra panelene, for dermed å gi optimal effekt og energiproduksjon.

String vekselrettere kobles sammen i en streng, der hver streng har sin egen vekselretter med MPPT. Slike vekselrettere passer ved lav effekt på under  $5 \text{ kW}_P$ , og benytter seg dermed av enfase forbindelser [7].

Multistring vekselrettere består, som navnet tilsier, i hovedsak av en string vekselretter med to eller tre innganger [7]. Separerte MPPTer benyttes her i hver streng, og konfigurasjonen tilbyr dermed uavhengig MPPT. Ulempen med konfigurasjonen, er den totrinns konverteringen som fører til lavere topeffektivitet enn string vekselretterne. De har uansett et bredt spenningsområde, og kan brukes både som enfase og trefase forbindelse.

## 2.5 Solfanger

Det mest effektive bruksområdet for solenergi er oppvarming av luft og vann. Dette kan gjøres ved bruk av en solfanger. Det finnes passive og aktive solfangersystemer. Dersom solinnstrålingen absorberes og benyttes uten pumper eller vifter, sies det at systemet er passivt. Hvis solvarmen blir oppsamlet i en væske, normalt vann eller luft, som deretter forflyttes av pumper eller vifter, sies det at systemet er aktivt [9].

Hoveddelen av et solfangersystem er selve solfangeren, hvor solinnstrålingen absorberes og energien overføres til væsken. Solinnstrålingen kan konsentreres ved bruk av speil eller linser, noe som vil gi høyere temperatur i systemet. Slike systemer behøver mer plass og flere bestanddeler, og vil dermed ha en høyere pris. Solfangere som ikke konsentrerer solinnstrålingen vil ha en lavere kostnad og er som regel foretrukket. Slike solfangere vil ha en enklere drift og vedlikehold, og er foretrukket til å varme væsker til mindre enn 80°C [9].

De enkleste solfangerne har en beholder for alt vannet som skal varmes. De mer elegante fangerne varmer bare en liten andel av vannet, mens systemet akkumuleres i en separat lagringstank. Det finnes mange eksempler på veldig enkle solfangere, for eksempel passiv oppvarming av vann gjennom sorte beholdere. Dette er veldig enkle og billige løsninger, men gir ikke vann med spesielt høy temperatur. Effektiviteten i slike system er nedsatt på grunn av konveksjon av varme, for eksempel på grunn av vind.

For å få bedre utnyttelse av et solfangersystem, kan solfangeren skånes for vind slik at konveksjonstapene reduseres. Dette kan oppnås ved å innkapsle fangeren med en transparent overflate. Glass blir ofte brukt som overflate, men klar polythene kan også benyttes. Polythene er billigere i investering, men må renses og byttes ut oftere på grunn av degradasjon [9].

Dersom vannet skal brukes til oppvarming av varmtvann i bolighus eller lignende, vil aktive solfangersystem med sirkulasjon være av størst interesse. Solfangeren vil da bare varme en liten andel av vannet, mens vannet går videre i en isolert vanntank for lagring. En lagringstank på 100-200 L vil kunne oppbevare en dags forbruk av varmtvann [9].

I et slikt system behøves kun en liten pumpe med en pumpehastighet som gir vannet 5-10 °C temperaturøkning hver gang det passerer fangeren [9]. Pumpen kan enten drives av elektrisitet fra husets elektrisitetsnett eller fra små solcellepanel montert ved siden av solfangeren. Pumpen slås av automatisk dersom temperaturen på vannet ut fra solfangeren er mindre enn 5 °C mer enn vannet i lagringstanken [9]. Dette forhindrer unødvendig bruk av pumpen.

De to mest brukte solfangertypene til oppvarming av vann i bolighus, er platefangere og vakuumbfangere. Platefangere egner seg best til oppvarming av vann til lav temperatur i klima der utetemperaturen ikke er altfor lav. Fangeren består av en lysabsorberende, sort bakside, omringet av varmeisoleret bakside, isolerte sidevegger og transparent overflate. Mellom lagene strømmes flytende væske gjennom rør, ofte luft, vann eller frostvæske.

Vakuumbfangere er de mest effektive solfangerne til bruk i kaldt klima. Slike fangere inneholder vakuumbør som er bedre isolert enn vanlige rør, noe som reduserer konveksjon og konduksjon av varme til utsiden. Dermed får slike fangere høy virkningsgrad i kalde klima og er å anbefale der kravet til høy vanntemperatur er viktig.

## 2.6 Varmepumpe

En varmpumpe er en enhet som bruker en liten andel energi til å forflytte varme fra et sted til et annet. Varmepumper blir ofte brukt til å dra varme ut fra lufta eller bakken utenfor bygninger, for oppvarming av luft eller vann. Prinsippet som benyttes for at dette skal være mulig, er at når trykket i en gass øker, blir gassen varmere. Når trykket reduseres, blir gassen kaldere. Ved kompresjon og ekspansjon av gassen kan man dermed forflytte varme fra relativt kalde omgivelser ute, til varmere omgivelser inne.

Varmepumper benyttes ikke bare til oppvarming av luft, men kan også brukes til avkjøling av bygninger. Da vil prosessen være motsatt rettet, og varmpumpen vil da fungere som aircondition. Den største fordelen med varmpumper er nettopp det at man ikke behøver separate systemer for oppvarming og kjøling av huset. Virkningsgraden til varmpumper oppgis som en såkalt ytelseskoefisientfaktor, COP. Denne beskriver hvor mye varme en varmpumpe kan tilføre, og er et forholdstall mellom tilført elektrisk energi til varmpumpen og elektrisk energi avlevert fra varmpumpen. Varmepumper virker best i klima som ikke er for kaldt, og virker dårligst på dager når det trengs som mest. Det finnes flere typer varmpumper, klassifisert ut fra hvilke medium varmen trekkes mellom. Disse beskrives i følgende seksjoner.

### 2.6.1 Luft-luft varmpumpe

Luft-luft varmpumper overfører varme fra lufta på utsiden til lufta innendørs. Luft-luft varmpumper er de mest brukte og også de billigste. Disse virker på en motsatt måte som aircondition ved oppvarming av bygget, men kan også benyttes som aircondition ved avkjøling av bygget.

Luft-luft varmpumper er relativt billige og enkle å installere, og de er derfor blitt veldig populære. De har derimot begrensninger fordi de benytter luft fra utsiden, som i perioder kan ha relativt lav temperatur i kalde klima. Virkningsgraden reduseres i takt med temperaturforskjellen, og på kalde dager har slike varmpumper lavest virkningsgrad. En typisk ytelseskoefisient eller varmfaktor for slike varmpumper ligger på 2,5-2,8 i normalt, kaldt klima, men i veldig milde klima kan denne være så høy som 4-6 [16]. Dette vil si at man eksempelvis kan trekke ut 2,5 ganger mer energi enn man tilfører til varmpumpen ved kalde klima.

Ved veldig kalde temperaturer blir varmfaktoren og dermed også virkningsgraden til varmpumpen så lav at det ikke er lønnsomt å benytte varmpumpen, og det er dette som er den store ulempen med luft-luft varmpumper. Det er uansett forskjell på slike varmpumper, og noen er bedre egnet for nordisk klima enn andre. Luft-luft varmpumper vil uansett senke energiforbruket til oppvarming betraktelig, og det er fullt mulig å benytte seg av andre former for energi i tider da det er for kaldt ute.

### 2.6.2 Luft-vann varmpumpe

Luft-vann varmpumper har mange likheter med luft-luft varmpumper, men de overfører varmen til en varmekrets, som for eksempel gulvvarme for romoppvarming. Man kan også overføre varmen til varmtvannstanken for produksjon av varmtvann. Luft-vann varmpumper er godt egnet dersom man har en eksisterende vannbåren varmfordeling i huset, mens kostnaden for å etterinstallere et slikt anlegg er høy. Jordvarmpumper er uansett et bedre alternativ enn luft-vann varmpumper

når det kommer til effektivitet.

Ytelseskoeffisienten til luft-vann varmepumper er relativt lik den for luft-luft varmepumper, og varmepumpene har dermed veldig like egenskaper.

### 2.6.3 Vann-vann varmepumpe

Vann-vann varmepumper overfører varme fra vann, jord eller berg og overfører denne varmen til et vannbårent varmesystem i huset. Det finnes hovedsakelig fire typer vann-vann varmepumper; jordvarmepumpe, bergvarmepumpe grunnvarmepumpe og sjøvarmepumpe.

#### Jordvarmepumpe

Jordvarmepumper henter varme fra jorda eller lignende kilder og overfører varmen til luft eller vann. Jordvarmepumper har høyere virkningsgrad enn luftvarmepumper. Dette er fordi de henter varmen fra jorda som har en relativt konstant temperatur gjennom året. Dette betyr at temperaturforskjellen blir lavere, noe som fører til en høyere virkningsgrad. Jordvarmepumper har typisk en varmefaktor på 3,4-4,0 [16]. Ulempen med jordvarmepumper er kostnaden for installasjon som krever brønnboring og ekstra rør til å lede varmen opp fra jorda. I tillegg stiller slike varmepumper et krav til stort uteareal på 200-600 m<sup>2</sup> [15], noe som ikke alle disponerer. En jordvarmepumpe kan dekke opptil 80-90 % av boligens energibehov [15].

#### Bergvarmepumpe

En bergvarmepumpe henter varme fra berget, som har en jevn temperatur gjennom året. Varmen hentes opp fra et 80-150 meters borehull med diameter på 11-15 cm [15]. Dybden på hullet tilpasses energibehovet i boligen. Dersom varmebehovet er stort, kan man bore dypere hull, eventuelt flere hull på skrå ut fra et punkt [15]. En bergvarmepumpe kan dekke så mye som 80-90 % [15] av varmebehovet i boligen, og i motsetning til luftvarmepumper er varmekilden temperaturstabil hele året.

Slike varmepumper vil ikke ha behov for stort uteareal, noe som gir mulighet for installasjon på små eiendommer. Et viktig krav derimot er at det ikke bør være mer enn 10 meter ned til fjell [15]. Et annet viktig aspekt er investeringskostnaden som for slike varmepumper er betydelig, ofte mellom 60 000-120 000 kr for hele anlegget [15]. Det bør derimot også overveies at det er en sikker løsning med lang levetid, noe som gjør at investeringskostnaden lettere kan aksepteres. En bergvarmepumpe passer dermed godt for boliger med høyt varmebehov der besparelsen blir stor nok til å forsvare installasjonskostnaden.

Avgitt effekt fra en slik varmepumpe varierer mellom 3,5-15 kW [15], avhengig av klima, dybde på borehull og varmefaktor på varmepumpen. En avgjørende faktor for hvor mye varme man kan trekke ut fra berget, er hvilken berggrunn man har. Her vil borehull i kvartsitt gi nesten tre ganger mer varme enn borehull i kalkstein [15]. Samtidig vil oppsprukket fjell gi betydelig mer varme, på grunn av det sirkulerende grunnvannet som oppstår ved en sprekk [15].

## Sjøvarmepumpe

En sjøvarmepumpe henter varme fra sjøen som har en stabil temperatur gjennom året. Ved å legge slanger med frostsikker væske, kan man dekke opptil 80-90 % av boligens årlige energibehov [15]. Selve rørene er ofte rundt 200 meter, men avstanden fra huset til sjøen bør ikke overstige 100 meter [15]. Ytelsen og investeringskostnaden på en sjøvarmepumpe vil være som for en bergvarmepumpe og egner seg dermed for boliger med et høyt energiforbruk.

## 2.7 Fjernvarme

Dersom fjernvarme er tilgjengelig i infrastrukturen rundt boligen, kan fjernvarme være et alternativ for oppvarming av boligen. Dette er en fleksibel, miljøvennlig og forsyningssikker løsning, og gir både tappevann og vannbåren varme til boligene i området. Siden fjernvarme kommer fra sentrale anlegg som forsyner varme til store boligfelt, vil tilgjengelighet være et av de største hinderene ved vurdering av om boligen skal forsynes av fjernvarme. Ikke alle boligfelt og byer har tilgang til fjernvarme, men dersom det er tilgjengelig vil det kunne være et greit alternativ til for eksempel solfangere eller varmepumper. Vannet må uansett distribueres over lange avstander, og dermed kan store varmetap i overføringen føre til at fjernvarme kan være en dårlig løsning hvis avstandene er for store. I tillegg kan energibehovet i en energieffektiv bolig være for lavt til at løsningen blir økonomisk lønnsom, sammenlignet med produksjon av varmtvann med solfangere, varmepumper eller elektrisitet.

I et fjernvarmeanlegg blir varmtvannet produsert av for eksempel spillvarme fra industrianlegg, avfallsforbrenning, varmepumper, biobrensel, deponigass, elektrisitet, fyringsolje, naturgass eller lignende. Det varme vannet distribueres gjennom rørledninger fram til boligfeltene det forsyner. Her overføres varmen til boligens varmesystem på lignende måte som for et solfanger- eller varmepumpesystem, gjennom rør eller radiatorer for oppvarming av bolig og tappevann. Det lunkne vannet går deretter i retur til fjernvarmeanlegget hvor vannet varmes opp igjen.

Siden fjernvarme krever at rørene graves ned i bakken fram til kundene, er det ikke nødvendigvis en økonomisk lønnsom investering for investor. Dette kommer av at gravearbeidet ofte kan være kostbart dersom det ikke kombineres med andre arbeider, som for eksempel graving av grøfter til ledninger og kabler til andre formål. Uansett kan fjernvarme være økonomisk lønnsomt dersom man for eksempel får energiforsyningen fra industrien, der spillvarmen uansett ville gått til spille. Da har man i teorien gratis energiforsyning i det lange løp, og investeringen kan enkelt betales over tid med inntekt av salg til kundene.

## 2.8 Vannbåren varme

Mange av de nevnte oppvarmingsalternativene kan kombineres med vannbåren varme. Både solfangere, vannvarmepumper og bioenergikjeler kan være gode kilder for varmtvann, som videre kan føres gjennom et vannbårent varmesystem for oppvarming av boligen. Samtidig kan olje, gass og elektrisitet benyttes, noe som gir stor valgfrihet når det kommer til valg av energikilde. Vannbårne varmesystemer er generelt kostbare å installere, og egner seg best dersom man skal bygge nytt hus. Vannbårne varmesystemer kan også være aktuelt ved større rehabilitering av hus.



Vannet i slike systemer kan enten sirkulere gjennom radiatorer i ulike rom, eller gjennom varmerør i gulvene. Tradisjonelt har radiatorer vært mest brukt til vannbåren varme, men de siste årene har det blitt mer vanlig med gulvvarme. Gulvvarme har mange fordeler, blant annet at det gir en god varmekomfort ved lavere innetemperatur, sammenlignet med varme fra andre varmekilder. Dette kan gi et lavere energiforbruk i boligen siden man kan senke innetemperaturen med et par grader uten at det går ut over komforten. En annen fordel med vannbåren gulvvarme, er at det krever lav temperatur på vannet, ca 25-35 °C [18], noe som gjør at varmtvann fra solfangere, varmepumper og bioenergikilder er godt egnet. Radiatorsystemer krever gjerne høyere vanntemperatur, ofte rundt 60-80 °C [18].

Installasjonen av vannbåren gulvvarme er enkel i nybygg, fordi varmerørene lett kan støpes ned i betong eller legges under gulvplatene med aluminiumsplater for god varmeoverføring. Ved etterinstallering av vannbåren varme kan radiatorer være løsningen siden de kan monteres på vegger på samme måte som panelovner. Både radiatorer og gulvvarme har gode muligheter for varmeregulering, men dersom det er langt ned til varmerørene som er tilfellet i betonggulv, vil det kunne være vanskeligere ved raske temperaturvekslinger.

## 2.9 Ventilasjon

Ventilasjonssystemets oppgave er å tilføre frisk luft til boligen, samt å fjerne forurenset, brukt luft. Dette innebærer også fjerning av lukt, røyk og andre luftforurensninger. Ventilasjonssystemet sørger for at nytt og friskt oksygen kommer inn, og reduserer konsentrasjonen av avgasser som oppstår ved utilstrekkelig omskiftning av luft [20]. I boliger bygd etter gamle forskrifter, utgjør ventilasjonen 1/3 av energibruken, noe som fører til at det er viktig å finne energieffektive måter for utskiftning av luften [20]. Dette kan gjøres ved å gjenvinne noe av varmen fra den brukte luften, noe som beskrives nærmere i Seksjon 2.10.

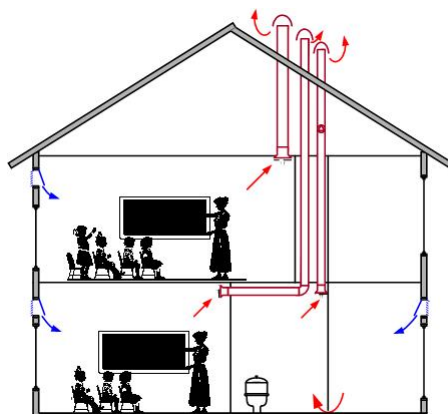
Det er viktig at utskiftningen av luften ikke fører til trekk som regnes som ubehagelig og en følelse av at innelufta ikke er nok varm. Trekk kompenseres tradisjonelt for ved å øke innetemperaturen selv om romtemperaturen i seg selv er nok høy. Dette fører til unødvendig energibruk. Problemet løses gjerne ved å benytte riktig ventilasjonstype, samt å dimensjonere og regulere ventilasjonen riktig [20].

Ventilasjonen kan kategoriseres i tre underkategorier, kategorisert etter anleggets drivkraft. Disse presenteres i de neste seksjonene.

### 2.9.1 Naturlig ventilasjon

Den tradisjonelle metoden for ventilasjon er naturlig ventilasjon. Naturlig ventilasjon kan for eksempel være ventiler i yttervegger eller vinduer. Luften vil da sirkulere gjennom boligen på grunn av oppdrift. Dette oppstår fordi den varme luften er lettere enn den kalde, og vil dermed stige opp mot taket. I tillegg vil trykket utenfor bygningen føre til at luften trenger gjennom utettheter ved gulvet og ut gjennom utettheter nærmere taket [20]. Drivkraften øker ved store temperaturforskjeller mellom inne- og utetemperatur, samt ved store høydeforskjeller mellom tak og gulv [20]. Vind skaper også økt drivkraft på grunn av trykket som skapes på lo-siden og suget som skapes på le-siden av bygget [20]. Naturlig ventilasjon er ikke anbefalt for energieffektive boliger, fordi man ikke har mulighet for varmegjenvinning [20]. I tillegg kan ventilasjonsmetoden

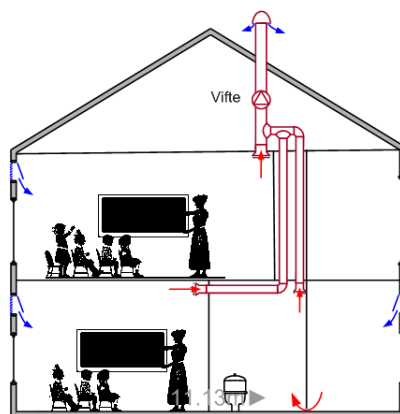
gi dårligere luftkvalitet dersom uteluften er forurenset. Figur 2.3 viser hvordan luften sirkulerer i et naturlig ventilasjonsanlegg.



Figur 2.3: Sirkulasjon av luft ved naturlig ventilasjon [20]

### 2.9.2 Mekanisk ventilasjon

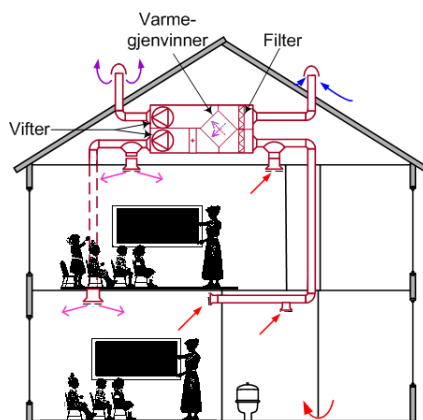
I et mekanisk ventilasjonssystem er det elektriske vifter som skaper drivkraft. Luften transporteres vanligvis inn gjennom kanaler i rommet gjennom sjakter, og går deretter ut gjennom avtrekkssystem i taket [20]. I mekaniske ventilasjonssystemer er det gode muligheter for varmegjenvinning, men trekk kan være et problem [20]. Figur 2.4 viser hvordan luften sirkulerer i et mekanisk ventilasjonsanlegg.



Figur 2.4: Sirkulasjon av luft ved mekanisk ventilasjon [20]

### 2.9.3 Mekanisk balansert ventilasjon

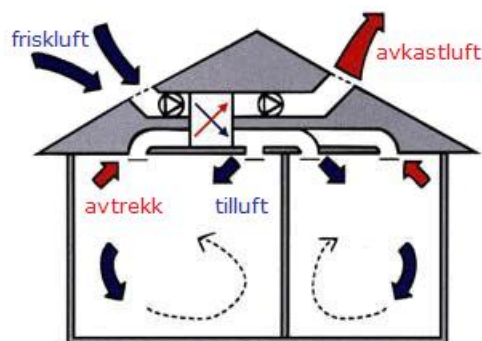
Et mekanisk balansert ventilasjonsanlegg renser luften, gjenvinner energien fra avtrekksluften og forvarmer tilluften slik at den kan tilføres med behagelig temperatur [20]. Den tilførte luften kan behovsstyres slik at man får en tilpasset luftmengde etter behov. I et balansert ventilasjonssystem kan 60-90 % av varmen gjenvinnes fra avtrekksluften, noe som fører til et svært redusert energiforbruk sammenlignet med naturlig ventilasjon [20]. For bedre inneklimate kan man montere filtre for å minske forurensning. Ulempen med balanserte systemer er støy og at viftene bruker en del energi [20]. Figur 2.5 viser hvordan luften sirkulerer i et mekanisk balansert ventilasjonsanlegg.



Figur 2.5: Sirkulasjon av luft ved mekanisk balansert ventilasjon [20]

## 2.10 Varmegjenvinning

Formålet med varmegjenvinning er først og fremst å redusere energiforbruket. Dette lar seg gjøre ved å ta ut en andel av avtrekksluften og tilføre denne til inntaksluften. I de fleste metoder for varmegjenvinning (ikke for omluft) skjer dette uten fysisk kontakt mellom inn- og utløpsluft. Luften forurenses dermed ikke. Dette gir en frisk og ren luft, samtidig som den tilførte varmen til inneluften reduserer behovet for energitilførsel. I tillegg til omluft finnes det to hovedtyper varmevekslere, regenerative og rekuperative. Figur 2.6 viser prinsippet bak tilførsel, avtrekk og varmegjenvinning av luften i et bygg.



Figur 2.6: Tilførsel, avtrekk og varmegjenvinning av luft i varmevekslere [20]

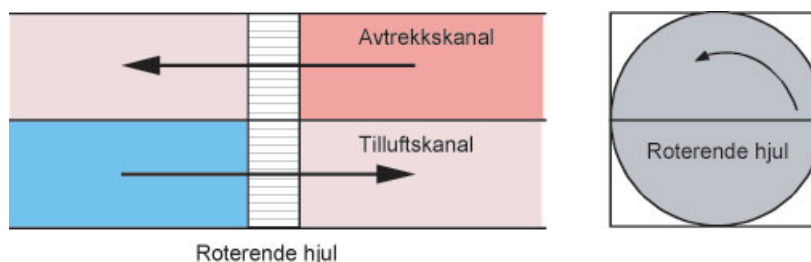
### 2.10.1 Regenerative varmevekslere

I regenerative varmevekslere blir varmen tilført ved at to varmeakkumulerende flater vekselvis bringes i kontakt med avtrekksluft og inntaksluft [20]. Det finnes to typer regenerative varmevekslere; roterende varmevekslere og kammervarmevekslere.

#### Roterende varmevekslere

I roterende varmevekslere overføres varmen fra avtrekksluften ved at den ene halvparten av et rotorhjul blir oppvarmet fra luften i avløpskanalen [20]. Deretter tilføres denne varmen til tilluften.

Ved å endre turtallet kan virkningen økes eller reduseres. En ulempe med slike varmevekslere er at de to kanalene må plasseres på samme sted, noe som kan føre til nedsatt brannsikkerhet [20]. Figur 2.7 viser prinsippet for roterende varmevekslere.



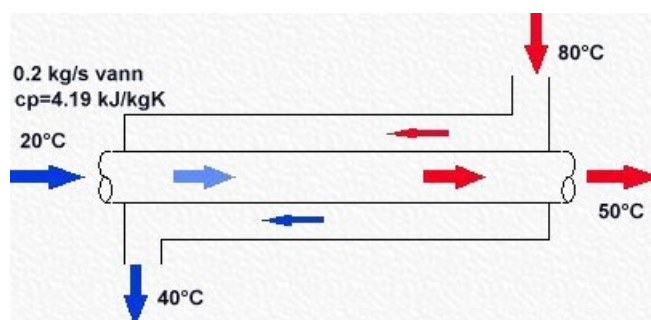
Figur 2.7: Roterende varmeveksler [20]

### Kammervarmveksler

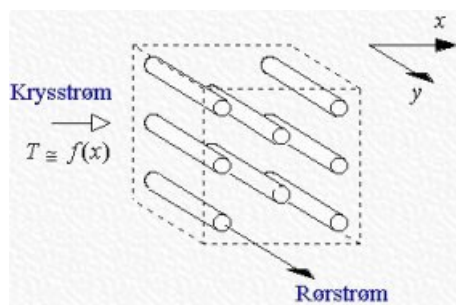
Kammervarmvekslere består av to separate varmevekslerkassetter og et spjeldhus med periodisk bevegelse [20]. Hver kassett består av parallelle og korrugerte plater som tar opp varme fra avtrekksluft og avgir varme til tilluft [20]. Siden spjeldet er den eneste bevegelige komponenten i varmeveksleren, har den høy driftssikkerhet. Som for roterende varmevekslere er ulempen nedsatt brannsikkerhet [20].

### 2.10.2 Rekuperative varmevekslere

Rekuperative varmevekslere overfører varme enten via en skillevegg eller ved hjelp av en væske. To av de mest brukte måtene for å få luftstrømmene til å møtes, er motstrøms og krysstrøms varmevekslere. I krysstrøms varmevekslere transporteres mediene 90 grader i forhold til hverandre, mens de går i motsatt retning i motstrøms varmevekslere [20]. De mest vanlige er motstrøms varmevekslere. Figurene 2.8 og 2.9 viser prinsippene for varmegjenvinning for henholdsvis motstrøms og krysstrøms varmevekslere.



Figur 2.8: Motstrøms varmeveksler[20]

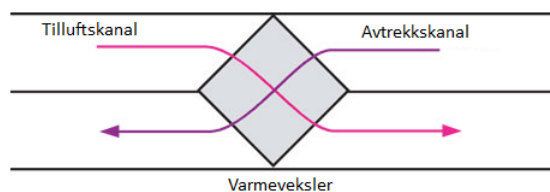


Figur 2.9: Kryssstrøms varmeveksler [20]

En underkategori av rekuperative varmevekslere er plate- og rørvarmevekslere.

### Plate- og rørvarmeveksler

I platevarmevekslere danner flate eller korrugerte plater et skille mellom tilluft- og avtrekksluft [20]. Varmen overføres gjennom varmeledning. Rørvarmevekslere virker i prinsippet på samme måte som platevarmevekslere, men består av rør der tilluften kommer inn, mens avtrekksluftens rør er utenpå [20]. Varmetransporten skjer da mellom rørveggene. Figur 2.10 viser prinsippet for platevarmevekslere.



Figur 2.10: Platevarmeveksler [20]

### 2.10.3 Omluft

Omluft er også en form for varmegjenvinning, men er ikke anbefalt. Prinsippet innebærer å bruke en del av den brukte luften om igjen, uten å skifte den ut. Det gir redusert energiforbruk, men på grunn av sjelden utskiftning av luften fører det til dårlig innelima. Det er dermed ikke egnet for mennesker med allergi og/eller astma.

## 2.11 Energibesparende apparater

For å redusere boligens energiforbruk, er det noen tiltak som er relativt enkle og gjennomføre. Dette kan for eksempel være å benytte seg av apparater som har et redusert energiforbruk sammenlignet med tradisjonelle alternativer, som energibesparende vaskemaskiner og oppvaskmaskiner. I tillegg har bruk av LED-belysning blitt mer og mer utbredt i løpet av de siste årene. Slik teknologi behøver nødvendigvis ikke å koste noe spesielt mye mer ved innkjøp enn tradisjonelle apparater, og vil være med på å redusere boligens energiforbruk.

### 2.11.1 Hot-fill-apparater

Vaskemaskiner og oppvaskmaskiner bruker 70-90 % av den tilførte elektrisiteten til å varme opp vannet [23]. Siden solfangere og varmepumper har betraktelig høyere virkningsgrad enn solceller, kan man i teorien spare mye energi og kostnader ved å tilføre varmtvann til apparatene, i stedet for kaldt vann fra springen. Her kan såkalte ”hot-fill”-apparater være interessante. ”Hot-fill”-konseptet går ut på å tilføre apparatene varmt vann fra et eksisterende oppvarmingsanlegg, for eksempel solfangere, varmepumper eller fjernvarmeanlegg. Det er bevist at dette vil redusere energiforbruket betraktelig, og elektrisitetsforbruket spesielt [23].

Reduksjonen av energiforbruk er uansett begrenset på grunn av rørledningene i boligen. På grunn av avstanden til varmtvannstank og oppvarmingsanlegg, vil det bestandig gå en stund før varmtvannet når fram til apparatene. Dette kommer av at det bestandig vil være lagret en del kaldt vann i rørene, avhengig av hvor lang distanse det er til varmtvannstanken. Ved store avstander kan man dermed risikere at hovedandelen av vannet som tilføres apparatene er kaldt eller bare romtemperert, noe som setter en begrensning på energieffektiviteten til systemet.

Det vil uansett være energibesparende dersom man uansett har installert et solfanger- eller varmepumpesystem i boligen. Solfangere er betydelig billigere og mer effektive enn solceller, og alternativet blir da å varme vannet med elektrisitet. Noen energieffektive boliger installerer dermed ”hot-fill”-apparater i boliger med fornybare oppvarmingsystemer.

### 2.11.2 Eco Bubble-teknologi

Et alternativ til bruk av hot-fill vaskemaskiner, er Samsungs nye Eco Bubble-teknologi. Denne teknologien gir i følge Samsung en energibesparelse på opptil 70 %, og vaskemaskinen har energimerking A+++ (Kilde:Samsung). Vaskemaskinen vasker med kaldt vann og luft, og gir samme vaskeresultat som ved vask på 40°C (Samsung). Vaskemiddel og skyllemiddel tilføres vaskemaskinen som vanlig, men i stedet for at dette skylles direkte inn i vaskemaskinen, passerer det via en pumpe som tilsetter luft (Samsung). Luften gjør at vaskemiddelet løses opp mer effektivt, og danner et skum som gjør vasken ren på en mer skånsom og effektiv måte (Samsung). Samtlige av Samsungs Eco Bubble-vaskemaskiner oppfyller EUs nye energideklarasjon, og er et veldig godt alternativ i energieffektive boliger (Samsung).

### 2.11.3 LED-belysning

Fra og med 1.september 2012 er det ikke lengre tillat å produsere eller importere vanlige glødelamper [32]. De tradisjonelle glødepærer er fra nå av erstattet med LED-pærer (Light Emitting Diode), halogen, sparepærer og lysrør. Grunnen til endringen, er blant annet at de tradisjonelle glødepærene benytter 80 % av den tilførte energien til varme og ikke til lys [32]. LED-pærer som nå erstatter glødepærene, har omtrent 50 ganger lengre levetid, og omtrent 80 % lavere energiforbruk [32]. Dette kan oppnås fordi LED-pærene ikke produserer varme, og bruker dermed all energi til lys.

Mange har i lang tid vegret seg for å skifte til LED-belysning, fordi LED-belysning i første del av sin levetid ikke gav like behagelig og lun belysning som glødelampene. Utviklingen har imidlertid nå ført til at dette ikke er noe stort problem lengre, og produktene har blitt mye bedre enn de var tidligere. Det blålige lyset som opplevdes i LED-pærer av eldre dato, er ikke lengre til stede noe som gir et mye mer behagelig lys.

LED-belysning vil fortsatt være en del mer kostbart enn de tradisjonelle glødelampene, men til gjengjeld har de mye lengre levetid enn glødelampene. Sammen med det betydelig reduserte energiforbruket er dette med på å rettferdiggjøre den økte prisen. Pris og kvalitet hører også sammen når det gjelder LED-pærer, og i lengden lønner det seg å investere i litt dyrere pærer. Dette fordi disse ofte har lengre levetid enn de billigere variantene. Det anbefales dermed å sammenligne levetiden når man kjøper pærene. Det er også viktig å velge pærer med lavt kvikksølvnivå, da kvikksølv vil være helsefarlig for mennesker og dyr [32].

## 2.12 U-verdi

U-verdi, også kalt varmegjennomgangskoeffisient eller varmeisolasjonsevne, sier noe om konstruksjoners varmeisolerende evne. Det er definert som:

”Varmestrømtettheten gjennom konstruksjonen i stasjonær tilstand når temperaturforskjellen er 1 K mellom lufta på de to sidene av konstruksjonen” [8]

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (2.1)$$

der  $R_T$  = den totale varmemotstanden til bygningskomponenten.

U-verdien angir altså den mengde energi som per tidsenhet passerer en kvadratmeter av konstruksjonen ved en temperaturforskjell på én grad mellom konstruksjonens to sider. Store verdier angir stor varmeledning og dårlig isolerende evne.

## 2.13 Energieffektive boliger

Bygninger står for om lag 40 % av verdens energiforbruk [1]. En reduksjon av energiforbruket i bygninger vil dermed medføre svært positive konsekvenser for verdens totale energiforbruk. Energieffektive hus kan dermed være et steg i riktig retning for å oppnå denne reduksjonen. Allerede viser flere og flere interesse for energisparing, og de seneste årene har også interessen for hus som genererer mer energi enn de forbraker blusset opp. I årene som kommer vil det sannsynligvis innføres krav om at alle nybygg skal oppfylle kravene for passivhusstandard og EU-parlamentet har allerede foreslått at plusshusstandard blir et krav for nybygg innen 2019 [1].

### 2.13.1 Lavenergihus

En lavenergi bolig er en bolig som har et redusert energibehov sammenlignet med en tradisjonell bolig. For å oppfylle kravene for en lavenergi bolig kan det iverksettes tiltak som for eksempel å øke tykkelsen på isolasjon i vegger og tak, samt å sette inn godt isolerte vinduer. I tillegg bør boligen benytte elektrisk utstyr og belysning med lavt energibehov. En slik bolig har som regel store vindusareal rettet mot sør, mens minst mulig av vinduene er rettet mot nord. Ved å iverksette slike tiltak kan en gjennomsnittlig bolig senke sitt energibehov fra om lag 160 kWh/m<sup>2</sup> til om lag 100 kWh/m<sup>2</sup> [2]. Dermed kan en lavenergi bolig redusere energibehovet relativt mye per år ved å gjennomføre slike tiltak.

### 2.13.2 Passivhus

Et passivhus vil normalt ha et energibehov tilsvarende 25 % av energibehovet for en tradisjonell bolig [4]. Hovedkravene for å oppnå passivhusstandard er at det årlige energibehovet til romoppvarming ikke må overstige  $15 \text{ kWh/m}^2$  per år, samt at det maksimale effektbehovet til romoppvarming ikke må overstige  $10 \text{ W/m}^2$  [4].

Ordet passivhus kommer fra at man her tar i bruk passive tiltak for å redusere energibehovet. De viktigste tiltakene kan for eksempel innebære og tette huset ekstra godt, benytte seg av ekstra varmeisolasjon og energieffektive vinduer, benytte seg av energieffektive hvitevarer og belysning, samt å installere systemer som benytter seg av varmegjenvinning.

På grunn av den tette bygningskroppen, vil inneklimate kunne bli redusert og tørr luft kan være et problem. På grunn av de store vinduarealene, tett byggekropp og lite solskjerming, kan også for høy varme bli et problem i slike hus. For et passivhus er det vektlagt at varmebehovet i størst mulig grad skal dekkes av lokalt produsert fornybar energi.

Sintef Byggforsk er positive til utviklingen av passivhus i Norge, og mener at passivhusstandard bør innføres for nybygg allerede i perioden 2013-2015 [5].

### 2.13.3 Aktivhus

Et aktivhus har mange av de samme konseptene som passivhus, som for eksempel god isolasjon, lufttetthet og god lysinntrengning. Den store forskjellen ligger i ventilasjonssystemet i huset. I motsetning til i passivhus, har aktivhus et automatisk kontrollert system som drar inn frisk luft når det er behov og trekker for persienner når sola blir for intens. Slike hus kan dermed ikke bli like godt isolert som passivhus, men på grunn av ventilasjonen blir inneklimate forbedret sammenlignet med passivhus.

### 2.13.4 Nullhus

Nullhus har mange likheter med lavenergiboliger, passivhus og aktivhus. Det viktigste kravet for et nullhus er at det ved passive og aktive tiltak skal få det totale energiregnskapet til å gå i null gjennom året. I tillegg til passive, energibesparende tiltak, legges det til grunn at et slikt bygg skal produsere egen fornybar energi ved hjelp av for eksempel solfangere, vindmøller, solcellepaneler, bioenergi eller jordvarme.

Til tider vil en slik bolig ha overskudd av egenprodusert energi, og denne overskuddsenergien mates inn i elektrisitetsnettet. I tider ved større forbruk enn produksjon, kjøpes elektrisiteten av nettselskapet. I tillegg skal et nullhus være klimanøytralt gjennom hele livsløpsyklusen, fra bygging til riving.

### 2.13.5 Plusshus

Plusshus er på de fleste måter veldig likt et nullhus, men den store forskjellen er at slike hus ikke bare er konstruert for å få energiregnskapet til å gå i null, men det skal produsere mer energi



enn det forbruker. Overskuddsenergien skal mates inn i elektrisitetsnettet. I tillegg til å gå i overskudd av egenprodusert energi, skal en slik bygning være energipositiv i hele sin totale levetid og dermed ha en positiv livsløpssyklus. Dette innebærer at energien som blir brukt til produksjon av byggematerialer, drift samt riving av bygget skal dekkes av byggets energiproduksjon.

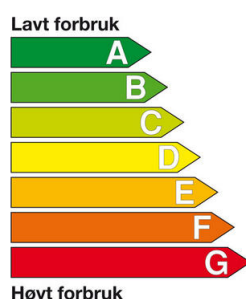
## 2.14 Energimerking

Energimerking er et virkemiddel for å gi kjøpere en bedre oversikt over energibehovet og energibruket til hvitevarer og boliger. Både boliger og hvitevarer bør energimerkes, og de neste seksjonene gir et innblikk i hva energimerkeordningen går ut på.

### 2.14.1 Energimerking av boliger

Energimerking av boliger trådte i kraft 1. juli 2010 med bakgrunn i EUs bygningsdirektiv [21]. I dag er det obligatorisk å ha energiattest for boligen dersom man skal selge eller leie ut en bolig, samt hvis man skal bygge bolig [21]. Man kan selv energimerke boligen ved for eksempel å logge seg inn på Energisystemet på nettsiden [www.energimerking.no](http://www.energimerking.no) [21]. Her kan man selv fylle inn data om boligen, og man vil da motta en energikarakter og en oppvarmingskarakter som henviser til boligens energistandard. Energiattesten gir boligen en av sju karakterer på skalaen A-G, der A er beste karakter.

Figur 2.11 gir en grafisk fremstilling av energimerkene, og viser at karakter A henviser til lavt energiforbruk, mens G henviser til høyt energiforbruk.



Figur 2.11: Energimerking av boliger [22]

### 2.14.2 Energimerking av hvitevarer

For å bevisstgjøre kundene om energibruken til hvitevarer, er det nå, for de fleste hvitevarer, påbudt å påføre energimerking på produkter som skal selges eller leies ut. Energimerkingen gjelder kjøleskap/fryser, oppvaskmaskin, vaskemaskin, tørketrommel, kombinerte vask-/tørkemaskiner, lyskilder, stekeovner og klimaanlegg [21].

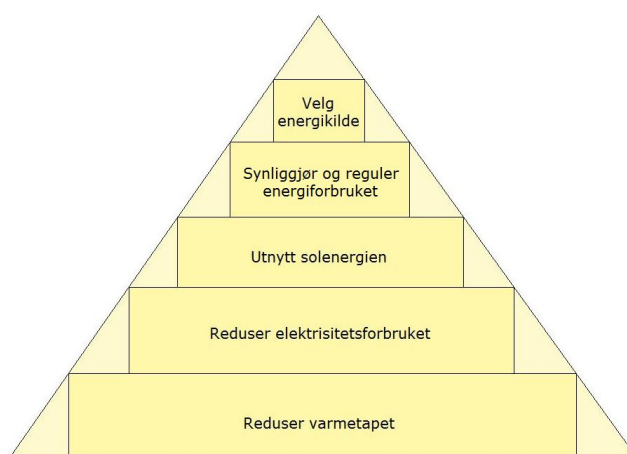
For hvitevarer gjelder samme energimerkegradering som i figur 2.11. På grunn av den raske utviklingen av energieffektive hvitevarer, er det nå uansett vanlig å tilføre energimerke A enda bredere gradering. Nå finner man for eksempel ikke bare hvitevarer energimerket med energimerke A, men de fleste hvitevarer har nå også alternativene A+, A++ og A+++ som er betydelig mer

energieffektive enn hvitevarer merket med A.

Energiforbruket til et A++ -merket apparat er for eksempel 20 % mindre enn for et A+ -merket apparat, og 40 % mindre enn for et A-merket apparat [21]. For et bedre perspektiv, har et A++ -merket apparat hele 72 % lavere energiforbruk enn et E-merket apparat [21]. For nærmere forklaring på forskjell i energiforbruk for ulike energimerkede hvitevarer, anbefales det å gå inn på <http://www.energimerking.no/no/Energimerking-av-hvitevarer>.

## 2.15 Planlegging og bygging av energieffektive boliger

Når man skal planlegge og bygge en energieffektiv bolig bør man følge en metode som kan illustreres av Kyoto-pyramiden. Denne pyramiden er illustrert i Figur 2.12.



Figur 2.12: Kyoto-pyramiden

Hvis man skal følge pyramiden, begynner man på bunnen og jobber seg oppover. De neste seksjonene presenterer hva trinnene i pyramiden består av, og hvordan man kan gå fram dersom man skal bygge en energieffektiv bolig.

### Reduser varmetapet

Det første trinnet i pyramiden er det aller viktigste når man skal bygge en energieffektiv bolig. Trinnet innebærer å gjøre huset så kompakt som mulig, samt å gjøre det så arealeffektivt som mulig [19]. For eksempel kan mange vinkler på huset føre til at man får en lite arealeffektiv bolig med tilhørende varmetap i husets hjørner. Færre hjørner fører til færre kuldebroer og dermed mindre varmetap, samtidig som et mer arealeffektivt bygg fører til en rimeligere bygningsteknisk løsning [19]. Huset bør dermed være så firkantet som mulig.

Neste tiltak kan være å sørge for at boligen blir vindtett slik at lekkasjetallet blir lavest mulig. Dette fører til at mindre varme går tapt til omgivelsene utenfor huset og fører dermed til lavere energiforbruk til oppvarming. Det er spesielt viktig å tette rundt vinduer og dører, samt overgangene mellom vegger og tak/gulv [19]. Det er også viktig å sørge for en godt isolert bygningskropp, og ekstra tykk isolasjon i vegger, gulv og tak, samt eliminasjon av unødvendige kuldebroer er svært viktig for et redusert varmetap i boligen [19].

For å oppnå redusert varmetap i boligen er det også viktig å benytte et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning. Kravet for passivhusstandard er at minst 75 % av varmen gjenvinnes i ventilasjonsanlegget [19]. Dette fører til at varmetapet reduseres betraktelig sammenlignet med varmetapet i boliger med tradisjonelle ventilasjonssystem.

Et siste tiltak er å benytte seg av superisolerende vinduer som har betydelig bedre varmeisolasjon enn tradisjonelle vinduer [19]. For å tilfredsstille passivhusstandard er det nødvendig med trelags energiruter med isolert karm og ramme. Slike ruter har dessuten argon mellom de tre lagene som isolerer mye bedre enn tradisjonelle tolags vinduer som var standard før [19].

### **Reduser elektrisitetsforbruk**

Trinn to består i å redusere elektrisitetsforbruket til lys og elektrisk utstyr i boligen. Dette kan gjøres ved å benytte hvitevarer med energimerke A, A+, A++ eller A+++ som ikke har spesielt mye høyere kostnad enn andre modeller, men som har et betydelig lavere energiforbruk. Til belysning anbefales sparepærer, LED eller lysstoffrør som har et betydelig lavere energiforbruk enn tradisjonelle glødelamper.

### **Utnytt solenergien**

Det tredje trinnet i pyramiden består i å utnytte solenergien som er tilgjengelig. Dette kan innebære passive tiltak som å orientere huset mest hensiktsmessig i forhold til solen slik at man kan dra nytte av den tilgjengelige solenergien [19]. Ved å vende de mest varmekrevdene rommene i huset mot sør, samt at de fleste vinduene vender mot sør, kan man i stor grad dra nytte av varmen fra sola. Man må uansett ta hensyn til at det om sommeren faktisk kan bli for varmt, og at man dermed må ha solskjerming for å unngå den verste solinnstrålingen i den varmeste årstiden [19]. I tillegg til de passive tiltakene, kan aktive tiltak som installasjon av solfangere være med på å utnytte solenergien maksimalt [19]. Varmepumpeanlegg kan også være et alternativ til solfangeranlegg. Det samme kan solceller være for produksjon av elektrisitet til boligen.

### **Synliggjør og reguler energiforbruket**

Ved installasjon av enkle og forståelige styringssystemer er beboerne selv i stand til å styre boligens systemer og energiforbruk [19]. Siden informasjonen er lett tilgjengelig vil beboerne bli mer bevisste på boligens energiforbruk. Slike systemer kan også kombineres med systemer for behovsstyring av oppvarming, belysning, utstyr og ventilasjon [19].

### **Velg energikilder**

Det siste trinnet går ut på å velge energikilder som er hensiktsmessig i forhold til økonomi, varme/elektrisitetsbehov og infrastruktur. Her er de nevnte energikildene i begynnelsen av Kapittel 2 de mest aktuelle. Valget bør i stor grad avhenge av hvilket/hvilke energikilder som har lavest livsløpskostnad, samt at systemets størrelse henger godt sammen med energiforbruket i bygningen [19]. Samtidig kan fjernvarme være aktuelt dersom det allerede er tilgjengelig i området.

## Kapittel 3

# Krav og rammebetingelser

Når man skal bygge en enenergieffektiv bolig er det en del krav og rammebetingelser som gjelder, både når det gjelder bygging av hus og ved installasjon av energikilder. Det er også en del tekniske krav som må følges. I Norge finnes det noen støtteordninger ved bygging av energieffektive boliger og ved installasjon av fornybare energikilder. Noe av dette blir beskrevet i dette kapitlet.

### 3.1 NS3700: Kriterier for passivhus og lavenergihus

NS3700 ble fastsatt i april 2010, og er en norsk standard som inneholder kriterier for passivhus og lavenergihus. Standarden bygger på den tyske passivhusstandarden, men det er gjort nasjonale tilpasninger på grunn av klimaforskjeller og forskjeller i byggeskikk og konstruksjons- løsninger [25]. Standarden inneholder den norske definisjonen på passivhus og lavenergihus med krav til energibehov, beregningskriterier, kriterier som kan brukes for sertifisering, og krav til dokumentasjon for boliger som kan klassifiseres som lavenergi- eller passivhus [25]. Den omfatter blant annet definisjoner, krav til varmetap, oppvarmingsbehov og energiforsyning samt minstekrav til bygningskomponenter og lekkasjetall [25].

I tillegg til NS3700:2010 som gjelder for boligbygninger, finnes det en standard for yrkesbygninger; NS3701:2012. Begge disse standardene er utarbeidet av Standard Norges komite SN/K 34 "Energi i bygninger" med støtte fra Enova SF og Husbanken.

Standarden angir tre nivåer av energieffektive boligbygninger:

- Passivhus
- Lavenergihus klasse 1
- Lavenergihus klasse 2

I følgende seksjoner presenteres kun et utdrag fra NS3700: Kriterier for passivhus og lavenergihus. Disse opplysningene antas som de mest relevante ved bygging av energieffektive boliger. Det anbefales uansett å sette seg inn i alle de oppgitte kravene ved bygging, og denne informasjon kan fåes ved kjøp eller lån av NS3700.

### 3.1.1 Varmetapstall

Varmetallet til en bolig indikerer bygningens varmetap til omgivelsene, og sier dermed noe om hvor energieffektiv boligen er. Et lavt varmetapstall indikerer en energieffektiv bolig, og tallet bør dermed være så lavt som mulig. Tabell 3.1 viser det høyeste varmetapstallet for passivhus og lavenergihus, med oppvarmet del av BRA,  $A_{fl}$ , i størrelsesorden 100-250 m<sup>2</sup>.

Tabell 3.1: Høyeste varmetapstall for passivhus og lavenergihus [W/(m<sup>2</sup> · K)] [25]

100 m <sup>2</sup> ≤ A <sub>fl</sub> < 250 m <sup>2</sup>	
Passivhus	0,55
Lavenergihus klasse 1	0,75
Lavenergihus klasse 2	0,95

### 3.1.2 Minstekrav til bygningsdeler og komponenter

Minstekravene til bygningsdeler og komponenter blir beskrevet som såkalte U-verdier, som ble forklart i Seksjon 2.12. Tabell 3.2 viser minstekravene for passivhus og lavenergihus.

Tabell 3.2: Minstekrav til bygningsdeler og komponenter [25]

Egenskap	Passivhus	Lavenergihus klasse 1	Lavenergihus klasse 2
U-verdi yttervegg	≤ 0,15	≤ 0,18	≤ 0,22
U-verdi tak	≤ 0,13	≤ 0,13	≤ 0,18
U-verdi gulv	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,18
U-verdi vindu og dør	≤ 0,80	≤ 1,20	≤ 1,60
Normalisert kuldebroverdi, $\psi$ "	≤ 0,03	≤ 0,04	-
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	≥ 80%	≥ 70%	-
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	≤ 1,5	≤ 2,0	-
Lekkasjetall ved 50 Pa, $n_{50}$	≤ 0,60	≤ 1,0	≤ 3,0

SFP er spesifikk vifteeffekt med benevning [kW/(m<sup>3</sup>/s)]

U-verdier har benevning [W/(m<sup>2</sup>·K)]

Lekkasjetall har benevning [h<sup>-1</sup>]

### 3.1.3 Internt varmetilskudd

For at energibehovet i passivhus og lavenergihus ikke skal overgå det tillatte, må man benytte seg av energieffektiv belysning og utstyr med et enkelt styringssystem, som gir lavt internt varmetilskudd [25]. For passivhus og lavenergihus skal det ved energibehovsberegningen benyttes effektbehov og tilhørende varmetilskudd fordelt på belysning, utstyr og varmtvann, som gitt i Tabell 3.3 [25].

Tabell 3.3: Effektbehov og energibehov fra belysning, utstyr og varmtvann [25]

	Netto effektbehov [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]	Årlig netto energibehov [ $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ ]
Belysning	1,95	11,4
Utstyr	3,00	17,5
Varmtvann	5,10	29,8

## 3.2 Tekniske krav

Det er viktig at installasjonen av et nettilknyttet produksjonsanlegg oppfyller gjeldende forskrifter for elektriske anlegg. Dette er på grunn av sikkerheten til mennesker og dyr i området. Forskriftene er fastsatt i "Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg" som trådte i kraft 1. januar 1999 [26]. For å opprettholde spenningskvaliteten i nettet, er det i tillegg viktig at anlegget oppfyller kravene fastsatt av netteier. Et innblikk i noen av kravene som gjelder for et fornybart produksjonsanlegg, gis i påfølgende seksjoner.

### 3.2.1 Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg

Et elektrisk lavspenningsanlegg er per definisjon et anlegg med høyeste nominell spenning til og med 1000 V AC eller 1500 V DC [26]. Forskriften om elektriske lavspenningsanlegg vil dermed gjelde for et fornybart produksjonsanlegg på en energieffektiv bolig. Denne forskriften erstatter forskriften for elektriske bygningsinstallasjoner av 20. desember 1989 [26].

Forskriften gjelder for de som til enhver tid påvirker sikkerheten til anlegget og utstyr tilknyttet dette, fra prosjektering og gjennom hele anleggets levetid [26]. Forskriften gjelder dermed for de som prosjekterer, installerer, eier og bruker anlegget. Formålet med forskriften er å oppnå forsvarlig elsikkerhet ved prosjektering, utførelse, endringer, vedlikehold av elektriske lavspenningsanlegg og ved bruk av elektrisk utstyr tilkoblet slike anlegg [26]. Arbeid utført på det elektriske anlegget skal utføres av kvalifisert personell [26].

Forskriften omhandler sikkerhetskrav, blant annet krav til vern og andre beskyttelsestiltak. Her kommer det fram at mennesker og dyr skal være beskyttet mot farer ved direkte og indirekte berøring som kan oppstå som følge av feil [26]. Det skal ikke være noen farer for antennelse av brennbare materialer på grunn av for høy temperatur eller elektriske lysbuer [26]. Mennesker, dyr og elektrisk anlegg skal også være beskyttet mot overstrøm, feilstrøm, overspenning og underspenning [26].

### 3.2.2 Krav til vekselretteren

Tilknytningen av lokal energiproduksjon skal ikke medføre uakseptabel leveringskvalitet i nettet. Den viktigste og den mest kritiske komponenten i et nettilknyttet system er dermed vekselretteren. Det er satt ekstra krav til denne i et elektrisk anlegg, blant annet krav til sikkerhet, EMC og vern. Kravene til sikkerhet og EMC er definert i ulike standarder, mens krav til vern er satt av netteier. De mest grunnleggende kravene er knyttet til overvåking av spenning og frekvens, samt utilsiktet øydrift.

Vekselrettere gjennomgår omfattende testing før de blir merket, og designes med bakgrunn i ulike standarder, som IEC- og EN-standarder [7]. I Europa møter CE-merkede vekselrettere sikkerhetsstandardene, mens UL-merking er gjeldende i USA [7].

### Antiøydriftbeskyttelse

En vekselretter tilknyttet lavspenningsnett må ha antiøydriftbeskyttelse. Dette innebærer at produksjonsanlegget skal kunne frakobles umiddelbart fra lavspenningsnettet ved strømbrudd, for å hindre at uønsket elektrisitet mates inn på nettet [7]. Dette er på grunn av bekymringene knyttet til utilsiktet øydrift, som øker risikoen for ulykker.

Utilsiktet øydrift er en ikke-planlagt og ikke ønskelig tilstand der en del av nettverket isoleres fra resten av systemet og fortsetter å operere [7]. Det lokale produksjonsanlegget fortsetter dermed å levere strøm til linjene, og under strømbrudd skaper dette store problemer for personer som arbeider på linjene [7]. Ved utilsiktet øydrift er ikke disse personene klar over at det er strøm på linjene. Dermed kan det skje uheldige ulykker ved berøring, som i verste fall kan resultere i dødsfall. I tillegg til personulykker, kan utilsiktet øydrift skade sluttbrukernes elektriske utstyr [7]. Risikoen for overspenning ved gjeninnkobling er også et problem ved øydrift [7].

### Krav til transformatorløse vekselrettere

Vekselrettere er ikke alltid utstyrt med transformator. Disse kalles transformatorløse vekselrettere, og det stilles strengere krav til disse. Dette er fordi de mangler galvanisk skille mellom DC- og AC-siden [7]. De er i stedet dermed utstyrt med jordfeilbrytere.

Transformatorløse topologier dekkes per i dag ikke av alle standarder. Dette gjelder for eksempel for standarden UL 1741 som gjelder i USA [7]. I Tyskland er transformatorløse topologier derimot svært vanlig, og standarden VDE 0125 definerer krav til RCMU (residual current monitoring unit) for transformatorløse vekselrettere [7]. En RCMU må være sensitiv til både AC- og DC-strøm, og skal hindre at DC-strøm blir matet inn i nettet [7]. En slik RCMU oppdager overflødig strøm, og ved feildetektering kobler den vekselretteren fra lavspenningsnettet [7].

### Krav til vern

Per i dag eksisterer det ingen universelle forskrifter for vern [7]. I Tyskland har man utarbeidet en egen standard, VDE 0126, som inneholder retningslinjer for tilkobling og drift av lokale kraftverk på det offentlige lavspenningsnettet [7]. I denne beskrives blant annet kravene til frakobling på grunn av spennings- eller frekvensvariasjon, antiøydriftbeskyttelse, DC-mating inn på lavspenningsnettet og transformatorløse vekselrettere [7].

I forskriften beskrives grenseverdiene for frekvensvariasjon, som er svært like de som i dag er gjeldende i Norge, beskrevet i Seksjon 3.2.3:

- $F_{min} = 47,5 \text{ Hz}$
- $F_{max} = 50,2 \text{ Hz}$
- $V_{AC,min} = 80 \% U_N$

- $V_{AC,max} = 115 \% U_N$
  - Frakobling innen 200 ms
  - Automatisk gjeninnkobling etter 5 s ved feilvarighet  $<3$  sek
  - Automatisk gjeninnkobling etter 30 s ved feilvarighet  $>3$  sek
- Spenningsøkning i område 110-115 %  $U_N$ : frakobling innen 10 min

### 3.2.3 Netteiers krav

Kravene for tilknytning av lokale produksjonsanlegg settes i dag av netteier. Grunnet manglende standardiserte vilkår og retningslinjer for tilknytning av fornybare produksjonsanlegg til lavspent distribusjonsnett, begynte Agder Energi for et par år tilbake å utarbeide en rammeavtale for lavspent tilknytning av slike produksjonsanlegg. Denne er i hovedsak basert på den tyske standarden VDE 0126, som nevnt i seksjon 3.2.2, samt egne erfaringer med småkraft. I denne rammeavtalen fra 2011 beskrives de tekniske funksjonskravene for lavspent tilknytning av socelleanlegg. Rammeavtalen beskriver hvilke forhold innmatingskunden, anlegget og nettselskapet må forholde seg til. Et utdrag av rammeavtalen presenteres videre.

#### Krav for tilknytning

Søknaden om tilknytning til lavspentnettet skal skje skriftlig. Etter skriftlig søknad er sendt, skal nettselskapet innen rimelig tid gi skriftlig tilbakemelding på forespørselen [27]. Kunden har etter signering av rammeavtalen 3 år på å koble anlegget til nettet, før avtalen forfaller [27].

Tilkoblingen skal utføres av nettselskapet, der nettselskapet kan beslutte at det skal betales tilknytningsgebyr og anleggsbidrag, som beskrives nærmere i Seksjon 3.3.2 [27]. Alle kostnader forbundet med etablering av anlegget skal dekkes av innmatingskunden [27]. Nettselskapet kontrollerer og avgjør hva slags måler, måleromkobler og målerterminal som skal benyttes [27]. Samtidig installerer, drifter og eier nettselskapet måleren, og må også dekke kostnadene knyttet til dette [27].

Dersom eier av anlegget bryter kravene til drift og vedlikehold av anlegget, kan nettselskapet koble fra anlegget etter nærmere varsel [27]. Ved vesentlige brudd på avtaleforhold eller gjeldende offentlige, rettslige regelverk, kan frakobling skje uten nærmere varsel [27].

Avtaleforholdet kan sies opp av begge parter med 6 måneders skriftlig varsel [27]. Dersom anlegget skal legges ned eller innstilles, kan innmatingskunden imidlertid si opp avtalen med 3 måneders varsel [27].

#### Krav til spenningskvalitet

Nettselskapet stiller flere krav til spenningskvalitet. Det er viktig å overholde disse kravene slik at effekten som mates inn på lavspentnettet overholder kravene til spenning og effektflyt. Det settes blant annet krav til tillat spenningsbånd. Disse er satt for å unngå uakseptable stasjonære spenningsvariasjoner hos sluttbruker. Tillatt spenningsbånd er presentert i Tabell 3.4.



Tabell 3.4: Tillatt spenningsbånd i tilknytningspunkt [27]

Spenningsnivå	Tillatt spenningsbånd i tilknytningspunkt
230 V	207 V – 253 V
400 V	360 V – 440 V

Grensene for tillatte spenningsprang er gitt i Tabell 3.5. Grensene er oppgitt i prosent av nettets nominelle spenning,  $U_N$ .

Tabell 3.5: Tillatte spenningsprang i tilknytningspunkt [27]

Spenningsprang i tilknytningspunkt	Tillatt antall per døgn
$\Delta_{Stasj.}$ (Maksimalt 3 %)	24
$\Delta_{Max}$ (Maksimalt 5 %)	24

### Krav til vern

Anlegget skal i følge rammeavtalen utkobles umiddelbart dersom det forårsaker forstyrrelser i tilknyttet avgang, som for eksempel effektpendlinger og spenningsavvik [27]. Det skal også utkobles dersom det oppstår utilsiktet øydrift, eller dersom det oppstår feil internt i anlegg, vern, brytere, bryterutspoler eller lignende [27].

Ved over- eller underspenning skal anlegget frakobles i henhold til Tabell 3.6. Frakoblingstiden menes som tiden fra over- eller underspenning oppstår til innmating fra produksjonsanlegget opphører [27].

Tabell 3.6: Krav til vernrespons ved over- eller underspenning [27]

Spenningsområde i % av $U_N$	Tillatt forsinkelse
$U_N \gg 115$ V	0,2 sek
$U_N > 110$ V	60 sek
$U_N < 90$ V	60 sek
$U_N \ll 85$ V	0,2 sek

Ved unormal frekvens i målepunkt skal anlegget frakobles i henhold til kravene angitt i Tabell 3.7

Tabell 3.7: Krav til vernrespons ved unormal frekvens i målepunkt[27]

Frekvensområde	Maksimum frakoblingstid
$f > 50,2$ Hz	0,2 sek
$f < 47$ Hz	60 sek

I følge rammeavtalen skal gjeninnkobling etter feil skje i følge Tabell 3.8.

Tabell 3.8: Krav til forsinkelse for gjeninnkobling etter feil [27]

Feilvarighet	Tillatt gjeninnkobling etter
< 3 sek	5 sek
> 3 sek	30 sek

### Krav til vekselretter

Det anbefales at det benyttes vekselretter med galvanisk skille, altså vekselretter med transformator. Vekselrettere uten galvanisk skille må være utstyrt med RCMU. Denne skal detektere feilstrøm og frakoble vekselretteren ved feilstrøm større enn 30 mA [27].

## 3.3 Nettregime

Inntektssystemet og inntektsrammene for nettselskapene er fastsatt i et lands nettregime, og i Norge fastsettes dette av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). ”Lov om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m.”, også kalt energiloven, trådte i kraft 1.januar 1991 [33]. I følge denne loven er alle nettkonsesjonærer forpliktet til å gi tilgang til elektrisitetsnettet til de som ber om det [33]. Tarifieringen, som fastsettes av NVE, gir effektiv drift og utvikling av nettet [33]. Selv om NVE fastsetter reglene for tarifiering, er det nettselskapene som kalkulerer og innkrever tariffer i det området de eier, basert på kostnadene for nødvendige nettutbygginger [33].

### 3.3.1 Tilknytningsplikt

I energiloven er det i kapittel 3 fastsatt regler for elektriske anlegg. I dette kapitlet finner vi blant annet §3-4 som omhandler tilknytningsplikten for elektriske anlegg. I paragrafen, som bygger på §3-3, heter det blant annet at: ”Alle som innehar konsesjoner for nettanlegg etter dette kapittel, har plikt til å tilknytte nye anlegg for produksjon av elektrisk energi og nye anlegg for uttak av elektrisk energi som ikke omfattes av §3-3, og om nødvendig investere i nettanlegg. Den samme plikten gjelder ved produksjons- og forbruksøkninger som medfører behov for investeringer i nett. Plikten til å foreta nødvendige investeringer i nettanlegg etter denne bestemmelsen gjelder alle konsesjonærer der tilknytningen utløser et investeringsbehov” [33].

Dette innebærer at netteier er pliktet å gi tilgang til nettet til de som ønsker det. Før tilknytning må en vurdering utføres på om tilknytningen er driftsmessig forsvarlig. Dette betyr at leveringskvaliteten til eksisterende kunder må opprettholdes for at tilknytningstillatelse kan gis. Det gis normalt ikke tilknytningstillatelse før nødvendige utbedringer og investeringer er gjennomført.

Tilknytningsplikten gjelder kun dersom utbygger godtar anleggsbidraget til nettselskapet. Dette blir beskrevet i neste seksjon.

### 3.3.2 Anleggsbidrag

I §17-5 i ”Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntekstramme for nettvirksomheten og tariffer” av 11.mars 1999, beskrives reglene for anleggsbidrag [34]. Anleggsbidraget betales til netteier og skal dekke anleggskostnadene ved nye nettilknytninger eller ved forsterkning av nettet til eksisterende kunder [34]. I følge reglene er ikke nettselskapet pålagt å kreve inn anleggsbidrag, men dersom nettselskapet krever anleggsbidrag for nye tilknytninger, må også eksisterende kunder betale anleggsbidrag dersom tilknytningen utløser forsterkninger av nettet [34].

Nettselskapene kan kreve at inntil 100 % av de nødvendige anleggskostnadene må dekkes av kunden(e) [34]. Formålet med dette er blant annet å synliggjøre kostnadene, og at kunden skal overveie nettilknytningen mot alternative tiltak [34]. Dersom kunden godtar anleggsbidraget, er nettselskapet pålagt å knytte kunden til nettet [34].

## 3.4 Insentiver og støtteordninger

I Norge er det Enova som har ansvaret med å gi økonomisk støtte til utbygging av fornybar energi. Dette skjer blant annet gjennom investeringstilskudd til nye anlegg. I tillegg finnes det et nyoppstartet norsk-svensk elsertifikatmarked som skal gi økonomiske fordeler for produsenter av fornybar energi. Denne ordningen forutsetter derimot en energiproduksjon på minimum 1 MWh per år, noe som dermed ikke vil gjelde for mindre husinstallasjoner. Husbanken kan også tilby grunnlån til bygging av ny bolig.

### 3.4.1 Støtte fra Enova

Enova har startet en tilskuddsordning som skal bidra til økonomisk hjelp ved installasjon av energieffektive tiltak i privatboliger, samt rehabilitering av borettslag og sameier. I dette avsnittet vil kun støtte til privatboliger fremlegges.

Enova gir økonomisk tilskudd til utstyr i eksisterende boliger, som for eksempel installasjon av varmepumpe, solfanger eller pellets-kamin. Det gis også tilskudd til bygging av passivhus og lavenergi- og lavenergihus, samt rehabilitering av eksisterende boliger [3]. Det er noen forutsetninger for å få tilskudd, men dersom man følger disse er det relativt enkelt å få tilskudd til energieffektive løsninger [3]. Det man blant annet må huske på er å sende inn søknad om tilskudd før man begynner å bygge eller installere utstyret, og man kan ikke motta annen offentlig støtte til tiltaket [3]. Det henvises til nettsidene til Enova for nærmere informasjon om forutsetninger for tilskuddsordningen.

Tabell 3.9 viser hvilke tilskudd som gis til bygging av passivhus eller lavenergi-bolig, eller rehabilitering av eksisterende bolig til slik standard. I tillegg kan det også gis 25 000 NOK i støtte til bruk av energirådgiver for kvalitetssikring [3]. Ut fra tabellen ser man at det gis mer tilskudd til passivhus enn lavenergi-bolig.

Tabell 3.9: Tiskudd til privat passivhus eller lavenergibolig [3]

Type bolig	Tilskudd
Passivhus nybygg	450 NOK/m <sup>2</sup>
Lavenergibolig nybygg	300 NOK/m <sup>2</sup>
Rehabilitering til passivhus	700 NOK/m <sup>2</sup>
Rehabilitering til lavenergibolig	600 NOK/m <sup>2</sup>

Tabell 3.10 viser hvor mye man kan få i tilskudd til utstyr i privatboliger.

Tabell 3.10: Tilskudd til utstyr i privatboliger [3]

Utstyr	Tilskudd (% av dokumentert kostnad)	Maksimum beløp
Solfanger	20%	10 000
Varmestyringssystem	20%	4 000
Luft/vann-varmepumpe	20%	10 000
Væske/vann-varmepumpe	20%	10 000
Pelletsamin	20%	4 000
Pelletskjel	20%	10 000

### 3.4.2 Plusskunder

En plusskunde er en sluttbruker som både mottar energi fra elektrisitetsnettet og som også produserer elektrisk energi [13]. Plusskunden vil også til tider produsere mer energi enn han selv forbruker, og mater denne overskuddsenergien til elektrisitetsnettet [13]. Produksjonen kan ikke overstige normalt forbruk, men i enkelte tider med overskuddsenergi kan kunden mate elektrisitet inn i distribusjonsnettet [13]. Plusskunder har fått en generell dispensasjon fra enkelte krav i dagens forskrifter, og alle sluttbrukere med egen kraftproduksjon som ikke overstiger forbruket kan bli plusskunde [13]. Plusskunden må selv dekke alle kostnader knyttet til installasjon, men nettselskapet betaler kostnadene knyttet til oppsett og kjøp av ny måler [13]. Plusskunden mottar spotpris fra nettselskapet for energien han leverer, og prisen på dette settes av NoorPool Spot [13]. Nettleien vil være den samme for kunden, men siden energiuttaket reduseres vil kundens årlige kostnader reduseres.

### 3.4.3 Grunnlån fra Husbanken

Husbanken tilbyr grunnlån som blant annet kan brukes til å bygge ny bolig, forbedre eksisterende boliger, ombygging av bygninger til bosted eller kjøp av nye og brukte utleieboliger for prioriterte grupper [6]. Ved søknad stilles det krav til kvalitet, miljø og universell utforming [6]. Kriteriene kan finnes i husbankens ”Veileder til Husbankens grunnlån” [6] eller på husbankens hjemmesider. Dersom prosjektet tilfredsstiller kravene kan det gis grunnlån på 80 % av prosjektkostnadene eller salgsprisen ved bygging av nytt hus [6]. Ved lån til forbedring av eksisterende bygg kan grunnlånet utgjøre inntil 100 % av kostnadene [6].

## Kapittel 4

# Casestudie - Et nullhus

I følgende kapittel presenteres en casestudie. Utgangspunktet for casestudiet er prosjektering av et nullhus, med tenkt plassering i Grimstad. I casestudiet er det innhentet informasjon fra Block Watne, som leverer ferdigtegnede passivhus. For å gi boligen nullhusstandard, har boligens energiforsyning blitt lagt stor vekt på. Boligens energiforbruk er estimert ved simulering i SIMIEN, med utgangspunkt i klimaet ved husets plassering, Grimstad, og husets spesifikasjoner og egenskaper. På grunnlag av analysen, samt livssyklus kostnadsanalyser, er husets energikilder valgt. Disse kostnadsanalysene har lagt grunnlaget for systemvalget og systemoppsettet som presenteres senere i kapittelet.

I slutten av kapittelet fremlegges det en forenklet økonomisk beregning på planlegging, tilrettelegging og bygging av et nullhus fra Block Watne. Til slutt fremlegges noen praktiske aspekter som man må ta hensyn til når man bygger nullhus.

### 4.1 Passivhus fra Block Watne

For å gjøre oppgaven så realistisk som mulig, er det lagt stor vekt på å velge korrekte spesifikasjoner og priser. Ved valg av bolig var det dermed viktig å finne en leverandør av passivhus eller aktivhus, som leverer en bolig som ved installasjon av fornybare energikilder, kan oppgraderes til nullhusstandard. Ved relativt grundige søk er det klart at det er to husprodusenter som skiller seg ut som leverandør av slike boliger; Aktivhus AS og Block Watne. Aktivhus AS leverer 6 ulike aktivhus, samt 2 ulike hytter med aktivhusstandard.

Aktivhus AS er lokalisert i Oslo, og har, med all respekt, ikke like lang erfaring med husbygging som Block Watne har. Siden Block Watne har lokale distriktskontorer både i Arendal og Kristiansand, er passivhuset fra Block Watne det mest naturlige valget.

Block Watne leverer to passivhus, som ikke har betydelige ulikheter. Den største forskjellen er at Passivhus 1 har litt større bruksareal enn Passivhus 2. I tillegg er planløsningen litt ulik i de to passivhusene. I oppgaven har det minste passivhuset blitt valgt. Dette huset leveres som komplett bolig med unntak av: grunn, betong og rør/elektrisk i betong, malerarbeid, parkett, flis, membran og hvitevarer.

Block Watne bruker generelt gode produkter som Porsgrund eller Grohe bad, HTH kjøkken og

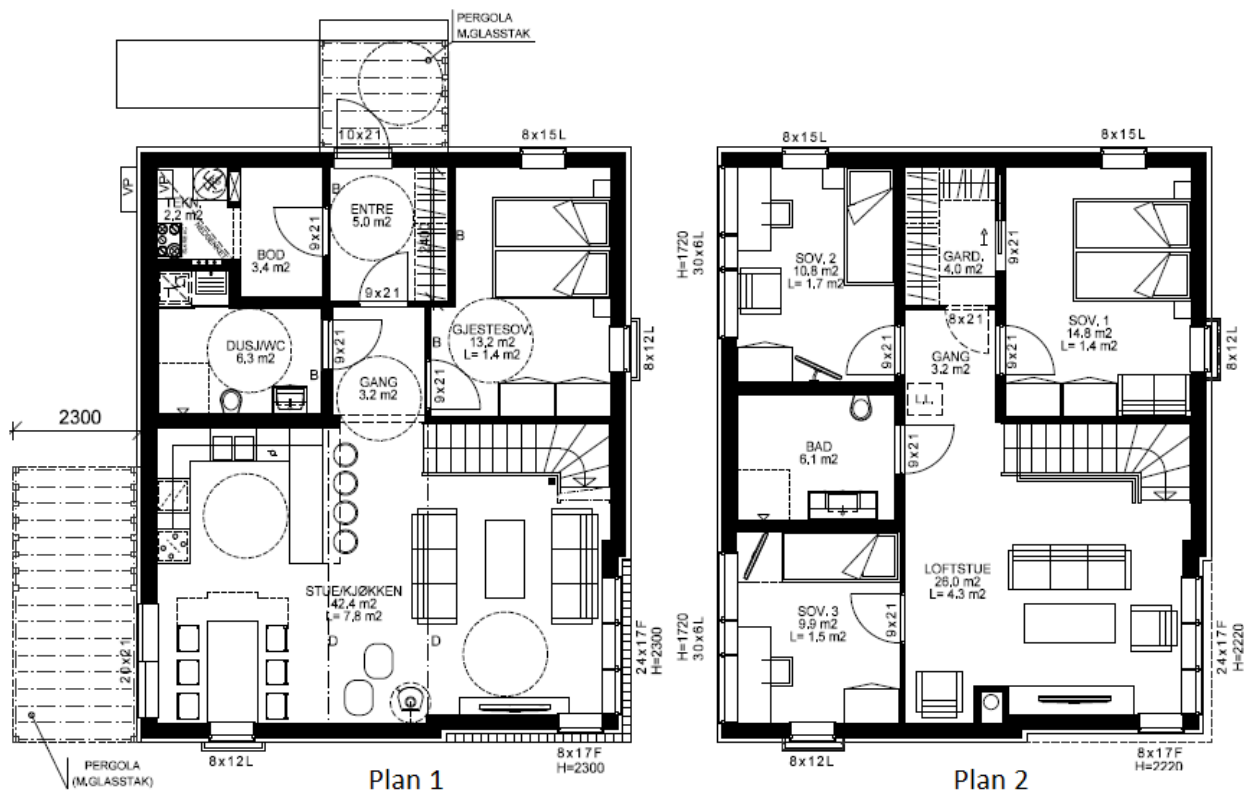
baderomsinnredning, Boen parkett (tilvalg), balansert ventilasjon osv.

Spesifikasjoner og priser for begge passivhusene er innhentet, og den mest relevante informasjonen for Passivhus 2 er lagt fram i Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Spesifikasjoner: Passivhus 2 fra Block Watne

Egenskap	Verdi
Boligens bruksareal	158,4 m <sup>2</sup>
U-verdi tak	0,09 W/(m <sup>2</sup> · K)
U-verdi vegg	1,15 W/(m <sup>2</sup> · K)
U-verdi gulv	0,09 W/(m <sup>2</sup> · K)
U-verdi vindu og dør	0,8 W/(m <sup>2</sup> · K)
SFP-faktor ventilasjonsanlegg	1,1 [kW/(m <sup>3</sup> /s)]
Årsgjennomsnittlig temperaturviskningsgrad for varmegjenvinner	88 %
Lekkasjetall	0,60 h <sup>-1</sup>
Arealandel vinduer og dører	18,7 %
Pris	2 451 000 kr (inkl. mva)

Figur 4.1 viser plantegningene for passivhus 2 fra Block Watne.



Figur 4.1: Plantegninger for Passivhus 2 fra Block Watne (Kilde: Block Watne)

## 4.2 Energiforbruk i boligen

Boligens energiforbruk er varierende og avhenger blant annet at geografisk beliggenhet, årstid, værforhold og bygningskonstruksjon. I tillegg vil bruksmønsteret til beboerne være avgjørende for hvor mye energi i form av elektrisitet og varme boligen vil forbruke. For å beregne noe av energibehovet til boligen, kan man benytte seg av simuleringsprogrammet SIMIEN.

### 4.2.1 SIMIEN

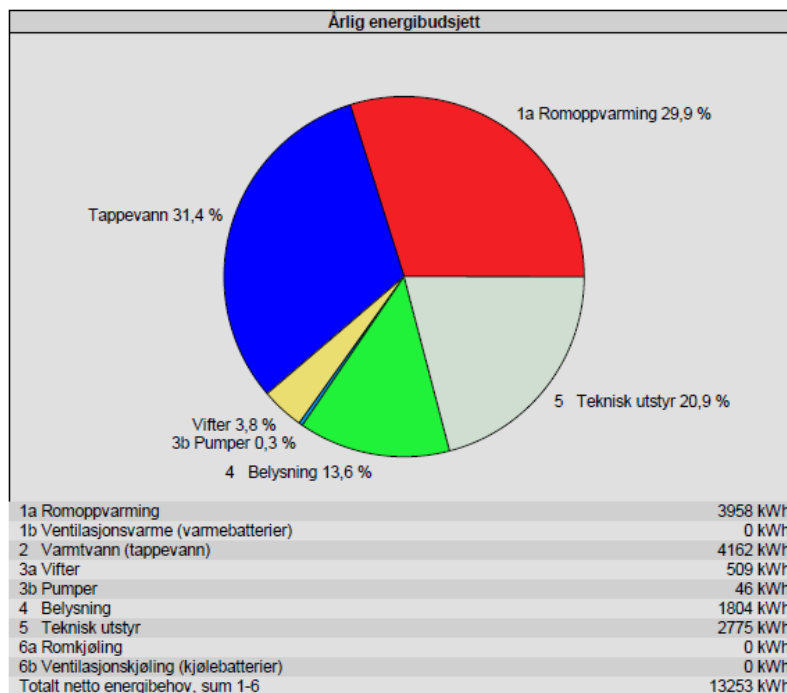
SIMIEN (SIMulering av Inneklimate og ENergibruk i bygninger) er et databasert program som brukes til å simulere det forventede energibehovet til en bygning. Behovet kan beregnes på grunnlag av programmets innlagte klimadata for aktuelt sted, samt manuelt innlagte opplysninger. Opplysninger om bygningskategori, arealer, ventilasjonssystem, oppvarmingssystem, u-verdier og driftsstrategi må legges inn i programmet manuelt av brukeren. Samtidig må faktorer som påvirker boligen utenfra, for eksempel trær, fjell eller omkringliggende bygninger, implementeres. Simuleringen kan gjennomføres på månedsbasis eller for et helt år, og resultatene benyttes til å estimere boligens energibehov.

I tillegg til simulering på måneds- eller årsbasis, kan det også gjøres evalueringer mot gjeldende byggeforskrifter, som TEK07, TEK10 og NS3700. Evaluering mot NS3700-standard kan gjøres både mot forskrifter for lavenergihus og passivhus. En får da et resultat som forteller om boligen oppfylder kravene gitt i byggeforskriftene, samt på hvilke(t) område(r) boligen eventuelt ikke tilfredsstiller kravene. Man kan også gjennomføre en energimerkesimulering, der boligen mottar et energimerke fra A-G, avhengig av hvor stort energiforbruket i boligen er. Energimerking av boliger ble forklart i Seksjon 2.14.1.

### 4.2.2 Simulering av årlig energibehov

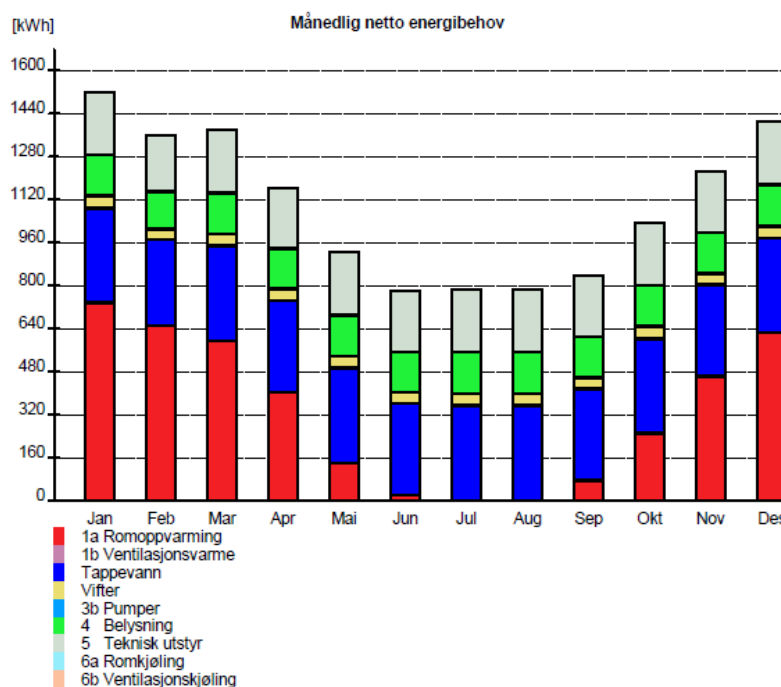
Ved simulering i SIMIEN har informasjon for passivhuset fra Block Watne blitt benyttet. Gulvarealer, takareal, vindusarealer og dørarealer er blitt hentet fra plantegningene som er utgitt av Block Watne. Oppvarmingssystem, balansert ventilasjon og internlaster er lagt inn i programmet ut ifra et tenkelig bruksmønster for boligen. Det samme er alle U-verdier, lekkasjetall, SFP-faktor, virkningsgrad for varmegjennvinner og kuldebroverdi, ut ifra informasjon innhentet fra Block Watne, fremstilt i Tabell 4.1. Ved simulering av energibehovet i boligen, er Torungen i Arendal det nærmeste klimastedet som er tilgjengelig for simulering i SIMIEN. Siden Arendal regnes å ha svært likt klima som Grimstad, velges dette som klimasted for simuleringen. Etter at verdiene var lagt inn i programmet, kunne boligen simuleres. Det ble gjort simulering mot NS3700-standard og TEK10-standard. Det ble også utført en årssimulering og en energimerkesimulering. Utvalgte resultater blir presentert i følgende figurer.

Figur 4.2 viser det årlige energibudsjettet til boligen. Her vises et sektordiagram for de ulike energipostene i boligen. Her kan man se at hovedandelen av energibehovet går til romoppvarming og tappevann, og boligen vil ha et oppvarmingsbehov på 8 120 kWh/år. Det samlede elektrisitetsbehovet til boligen er simulert til 5 134 kWh.



Figur 4.2: Årlig energibudsjett for boligen

Figur 4.3 viser energibehovet fordelt over månedene i året. Som en ser er det kun oppvarmingsbehovet som endrer seg over året, og det er så og si ingen oppvarmingsbehov i månedene juni, juli og august.

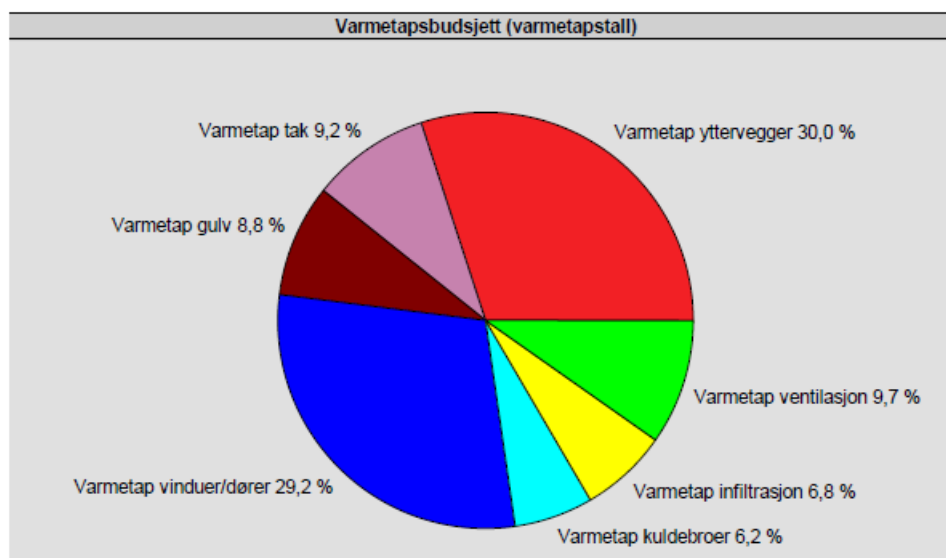


Figur 4.3: Netto månedlig energibehov for boligen

Figur 4.4 viser at omtrent 60 % av varmetapet til boligen framkommer som tap i vegger, vinduer og



dører. Resten av tapene fordeles over varmetap i tak, gulv, kuldebroer, infiltrasjon og ventilasjon.



Figur 4.4: Varmetapstall for boligen

#### 4.2.3 Evaluering mot NS3700-standard

For å se om boligen oppfylder kravene til passivhusstandard, er en evaluering mot NS3700 blitt utført. Figur 4.5 viser evalueringen mot NS3700 for passivhus. Som en ser oppfylder ikke boligen alle kravene til passivhusstandard. Den oppfylder derimot kravene til lavenergibolig. Grunnen til at boligen ikke oppfylder kravene til passivhusstandard, er på grunn av for høyt oppvarmingsbehov. Dette framkommer i Figur 4.6. Denne boligen har i følge simuleringen et oppvarmingsbehov til romoppvarming på 25 kWh/m<sup>2</sup>, mens kravet er 19,9 kWh/m<sup>2</sup>. Kravet for lavenergihus er 37,3 kWh/m<sup>2</sup>. Boligen er dermed godt innenfor kravene for lavenergibolig.

Resultater av evalueringen		Beskrivelse
Evaluering mot NS 3700		
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall	
Energiytelse	Bygningen tilfredstiller ikke krav til energiytelse	
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller minstekrav til enkeltkomponenter	
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i NS3700 (tabell A.1)	
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller ikke alle krav til passivhus	

Figur 4.5: Evaluering mot NS3700-standard

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	25,0 kWh/m <sup>2</sup>	19,9 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk el./fossile energibærere	8,7 kWh/m <sup>2</sup>	72,3 kWh/m <sup>2</sup>

Figur 4.6: Energiytelse for boligen

Til slutt er det utført en energimerkesimulering for boligen. Her viser simuleringen, ikke overraskende, at boligen har energimerking A.

#### 4.2.4 Elektrisitetsforbruk i boligen

Det er utfordrende å estimere boligens elektrisitetsforbruk på grunn av varierende bruksmønster for beboerne i boligen. Det er tilnærmet umulig å fastslå et generelt bruksmønster på vaskemaskiner, oppvaskmaskiner, tv, komfyr, pc osv, noe som gjør det vanskelig å være eksakt i boligens elektrisitetsforbruk. Det er derimot mulig å estimere hva som kan være et tenkelig mønster for elektrisitetsforbruk, noe som er presentert i Tabell 4.2.

Elektrisitetsforbruket kan estimeres ved hjelp av effektforbruket til utstyret som finnes i boligen, samt hvor mange timer utstyret anslås å være slått på. Estimeringen har blitt utført på grunnlag av retningslinjer gitt av Enova for energibruk i boliger, samt energisimulering i SIMIEN. Avvik vil forekomme, og dette er kun en veiledende estimering. Ved en grov sammenligning gjort mot eksisterende boliger, anses dette uansett som et akseptabelt estimat.

Tabell 4.2: Estimasjon av boligens elektrisitetsforbruk

Apparat	Effektforbruk [W]	Varighet/dag	Wh/dag	kWh/år
Lys (LED)	15x35 stk = 525 W	8 t	4 200	1 533
Kjøleskap m/frys (A+++)	-	-	410	149,6
Komfyr	2200	1 t	2 200	803
Kjøkkenvifte	60	1 t	60	21,9
Vaskemaskin (A+++)	-	1/2 vask	450	165,25
Oppvaskmaskin (A+++)	-	1 vask	900	328,5
Bærbar PC	60	3 t	180	65,7
LED TV (ca 46")	75	3 t	225	82,1
Mikrobølgeovn	800	0.4 t	200	73
Kaffetrakter	1500	0.5 t	750	273,8
Ventilasjon, pumper og vifter	-	-	2 880	1 050,2
Totalt	-	-	12 455	4 546

Som Tabell 4.2 viser, er det estimerte elektrisitetsbehovet ca 12,5 kWh/dag eller 4 546 kWh/år. I tillegg til disse komponentene vil også apparater som støvsuger, hårføner, musikkanlegg osv. være naturlige apparater i husholdningen, og disse fører til et økt elektrisitetsbehov i forhold til det estimerte behovet i Tabell 4.2. Tørketrommel kan også være et naturlig apparat i hjemmet, men den er svært energikrevende og anses ikke som en nødvendighet siden boligen skal ha et så lavt energiforbruk som mulig.

De fleste av de angitte apparatene har beste tilgjengelige energimerking, noe som fører til lavest mulig elektrisitetsforbruk. Det anbefales dessuten å benytte minst mulig elektrisitet til oppvarming av vann, fordi vannoppvarming kan utføres mer energieffektivt ved bruk av for eksempel solfangere eller vann-varmepumper. Vaskemaskin og oppvaskmaskin kan med fordel forsynes av varmt vann fra solfangere eller varmepumper og dermed fungere som et "hot-fill"-apparat som beskrevet i Seksjon 2.11.1. Dette vil redusere elektrisitetsforbruket i boligen.

Ved sammenligning med kravene til belysning og utstyr i NS3700, ser det estimerte energibehovet ut til å stemme veldig bra. Kravet for belysning og utstyr for en bolig på 158 m<sup>2</sup>, bygget etter passivhusstandard, ligger på ca 12,5 Wh/dag eller 4 562 kWh/år. Hvis man tar med apparater som støvsuger, hårføner, stereo osv, ser det ut som at estimasjonen kan være relativt grei. Simulering i

SIMIEN viser et elektrisitetsforbruk på 5 134 kWh/år.

For å være sikker på at elektrisitetsproduksjonen er tilstrekkelig, antar jeg i videre beregninger at elektrisitetsforbruket i boligen er 13,5 kWh/dag eller 4 927 kWh/år.

### 4.3 Solinnstråling og energiproduksjon

Solinnstrålingen vil variere og avhenger blant annet av geografi, årstid og værforhold. Energiproduksjonen til et solcelleanlegg avhenger blant annet av solinnstrålingen og vinklingen av modulene. Ved prosjektering og valg av energikilder, er det viktig å vite hvor mye energi man kan få fra sola ved den aktuelle lokasjonen.

Dette kan enkelt gjennomføres med en simulering i det nettbaserte verktøyet PVGIS. Verktøyet baserer seg på langtidsdata, og representerer en gjennomsnittlig tiårsperiode fra 1981-1990. PVGIS er tilgjengelig på følgende nettside:

<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Verktøyet er veldig brukervennlig og krever bare en minimal mengde data. Resultatene presenteres i oversiktlige tabeller og grafer. Programmet krever informasjon om beliggenhet, modulteknologi, modulstørrelse, modulvinkel og monteringsmetode. Det er også mulighet for å simulere moduler med tracking, dvs moduler som varierer vinkelen gjennom dagen og året for optimal energiproduksjon.

Programmet tar hensyn til effekttap knyttet til refleksjon og temperatur. I tillegg må brukeren selv summere opp andre tap i en tapsfaktor som legges inn i programmet. Denne er som standard satt til 14 %, og inneholder tapene knyttet til faktorer som skitt på modulene, skygger, tap i vekselretter, kabling osv.

#### 4.3.1 Solinnstråling

Ved simulering av solinnstråling har PVGIS blitt benyttet. Simuleringen har gitt månedlige innstrålingsdata for Grimstad, samt total årlig energiproduksjon fra en 1 kW<sub>p</sub> solcellemodul. Ut ifra simuleringen har det vært mulig å finne den optimale vinklingen på solcellemodulene, ved å sammenligne energiproduksjonen ved ulike modulvinklinger.

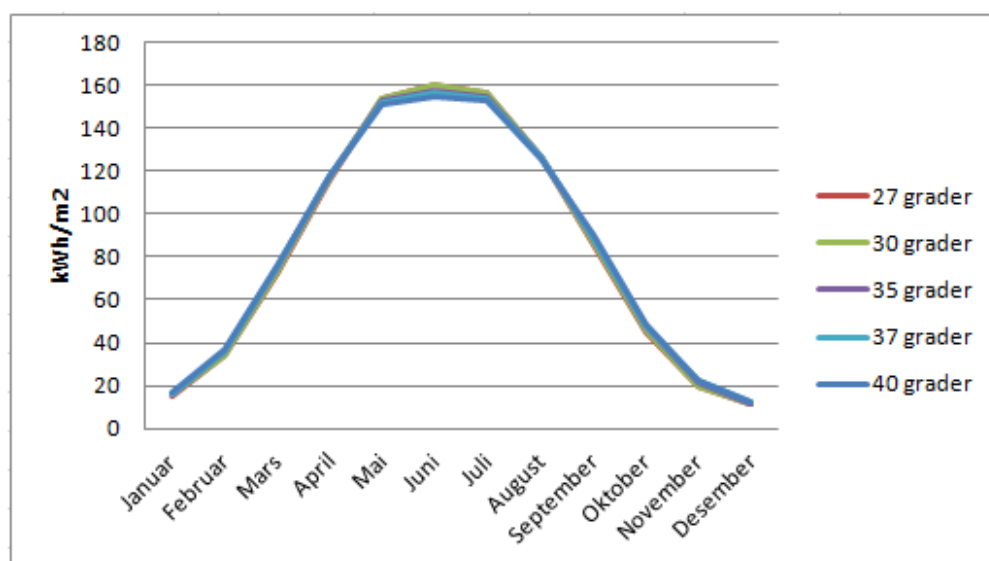
Tabell 4.3 gir en oversikt over månedlige solinnstrålingsdata for Grimstad, samt den årlige energiproduksjonen fra en 1 kW<sub>p</sub> solcellemodul.

Simuleringen viser at det ikke er stor forskjell ved ulik vinkling av modulene, og ved 35°, 37° og 40° vinkling av modulene vil man oppnå samme energiproduksjon. PVGIS estimerer 37° som optimal vinkling, men her står man altså litt fritt i å velge. Vinklingen kan derfor i noe grad avhenge av takvinklingen.

Tabell 4.3: Globalinnstråling i Grimstad ved ulike innstrålingsvinkler [kWh/m<sup>2</sup>]

Vinkel	27°	30°	35°	37°	40°
Januar	15	15,5	16,1	16,4	16,7
Februar	33,5	34,4	35,7	36,2	36,8
Mars	72,3	73,4	75	75,5	76,2
April	116	117	118	118	118
Mai	154	154	153	152	151
Juni	160	160	158	157	155
Juli	157	157	155	154	153
August	127	127	127	127	126
September	86,3	87,4	88,9	89,4	89,9
Oktober	45,4	46,4	47,8	48,3	48,9
November	19,7	20,3	21,3	21,6	22,1
Desember	10,5	10,9	11,4	11,6	11,9
<b>Total årlig globalinnstråling</b>	<b>997</b>	<b>1000</b>	<b>1010</b>	<b>1010</b>	<b>1010</b>

Figur 4.7 gir en grafisk framstilling av energiproduksjonen fra solinnstrålingen i Grimstad, ved systemstørrelse  $1\text{kW}_p$ .



Figur 4.7: Gjennomsnittlig årlig globalinnstråling i Grimstad ved ulike innstrålingsvinkler [kWh/m<sup>2</sup>]

Som en kan se fra Figur 4.7, er det minimale forskjeller i energiproduksjonen gjennom året. Den største forskjellen som framkommer er at det ser ut som at energiproduksjonen ved optimal vinkel på 37° vil gi en litt lavere toppproduksjon i sommermånedene, og at produksjonen er litt mer fordelt på vår/høstmånedene sammenlignet med de andre månedene. Siden passivhuset fra Block Watne har en takvinkel på 27°, velges denne i videre arbeid.

### 4.3.2 Elektrisitetsproduksjon fra solceller

Tabell 4.4 viser daglig, månedlig og årlig elektrisitetsproduksjon til et  $1 \text{ kW}_p$  solcelleanlegg ved  $27^\circ$  vinkel. Som man kan se vil et  $1 \text{ kW}_p$  solcelleanlegg produsere ca 762 kWh.

Tabell 4.4: Elektrisitetsproduksjon ved  $27^\circ$  vinkel [kWh] (systemstørrelse  $1 \text{ kW}_p$ )

Måned	$E_d$	$E_m$
Januar	0,38	11,7
Februar	0,97	27,1
Mars	1,88	58,3
April	3,05	91,6
Mai	3,79	117
Juni	3,99	120
Juli	3,75	117
August	3,05	94,5
September	2,20	66,1
Oktober	1,15	35,6
November	0,52	15,7
Desember	0,26	8,13
<b>Årlig gjennomsnitt</b>	<b>2,09</b>	<b>63,5</b>
<b>Total årlig elektrisitetsproduksjon</b>		<b>762</b>

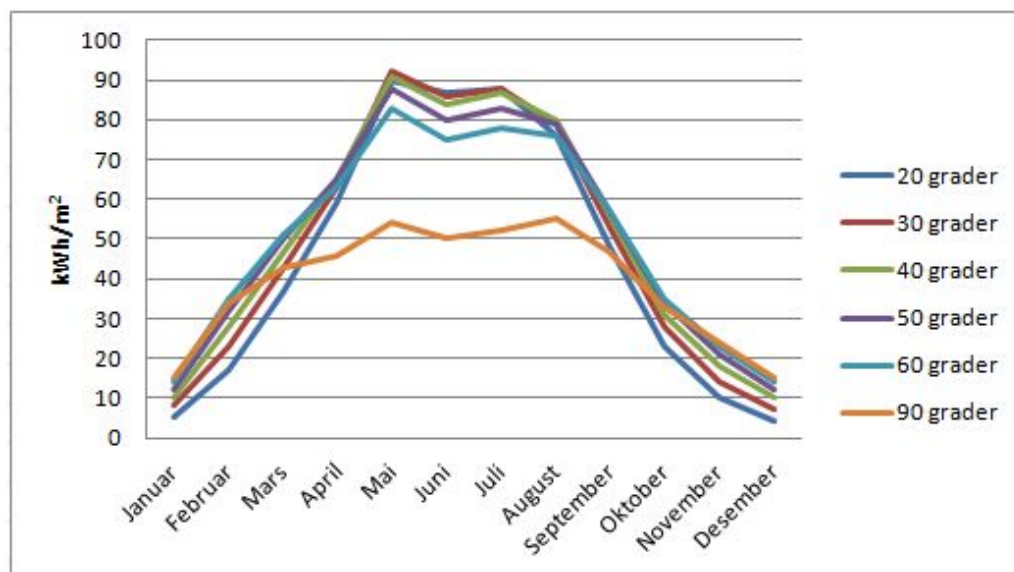
$E_d$ : Gjennomsnittlig daglig elektrisitetsproduksjon for gitt system [kWh]

$E_m$ : Gjennomsnittlig månedlig elektrisitetsproduksjon for gitt system [kWh]

### 4.3.3 Energiproduksjon fra solfangere

For å estimere energiproduksjonen fra solfangere, er ASVSolar sitt regneark for varmfangstberegning blitt benyttet. Figur 4.8 viser den månedlige energiproduksjonen fra en solfanger på  $1 \text{ m}^2$ . Figuren viser energiproduksjonen ved  $20\text{-}90^\circ$ .

Som figuren viser, er det ikke mye forskjell på energiproduksjonen ved  $30^\circ$  og  $40^\circ$ . Når solfangerne skråstilles mer enn dette, begynner det å bli store forskjeller, og ved  $90^\circ$  er energiproduksjonen nær halvert. En skråstilling ved  $30^\circ$  gir god energiproduksjon, og denne vinkelen velges dermed for solfangerne.



Figur 4.8: Gjennomsnittlig årlig energiproduksjon fra solfangere ved ulike innstrålingsvinkler [kWh/m<sup>2</sup>]

#### 4.4 Valg av energikilder

For å velge energikildene som boligen skal benytte, har livssyklus kostnadsanalyser (LCC) blitt utført. I beregningene er ikke luft-luft varmepumpe, bergvarmepumpe, grunnvarmepumpe og sjøvarmepumpe vurdert. Dette er på grunn av den høye installasjonskostnaden og det lave energiforbruket til boligen, som gjør nedbetalingstiden til anlegget altfor lang.

I de utførte livssyklus kostnadsanalysene er det lagt til grunn at elektrisitetsforbruket i boligen ligger på omtrent **4 927 kWh/år**, mens oppvarmingsbehovet ligger på omtrent **8 120 kWh/år**. Disse tallene bygger på den utførte simuleringen i SIMIEN, som fremkommer i Seksjon 4.2.

I alle systemene er det lagt til grunn at det skal installeres vannbåren varme i alle bad, samt stue, kjøkken, gang og entre i 1. etasje. Dette utgjør 63 m<sup>2</sup>. Det legges også til grunn at det i alle tilfeller skal installeres 1 radiator i loftstuen i 2. etasje. Dersom dette ikke er tilstrekkelig, anbefales det å benytte seg av biopeis, pelletskamin, panelovn eller varmeovn i vintermånedene. Eventuelt kan man installere en luft-luft varmepumpe som vil være en relativt billig investering med stort energiutbytte. Dette er ikke tatt med i beregningene.

Generelt er det mye å spare ved å importere energikilder som solceller, vindmøller, solfangere og varmepumper fra utlandet. Dette er ikke tatt med i betraktning i oppgaven. Det er i stedet valgt å konsentrere seg om lett tilgjengelige varer distribuert av norske leverandører. Dette er også på grunn av garanti og sikkerhet ved kjøp.

Spesielt bør solcellemodulene være produsert for det norske klimaet, hvor det til tider kan være mye snø. Modulene må her være lisensiert for klimaet, og da er ikke alltid billige kinesiske moduler å foretrekke. Det er dermed en fordel å velge solcellemoduler fra norske leverandører.

Her er Gaustad Energiteknikk AS, GETEK, et godt valg. De er lokalisert i Hommelvik i Sør-

Trøndelag og har gjennom mange år opparbeidet seg stor kompetanse innen alternativ energiforsyning. GETEK leverer blant annet solcellemoduler med tilbehør, vindturbiner, mastepakker, styresentraler, vekselrettere, aggregater, regulatorer og batteri, for å nevne noe.

GETEK leverer solcellemoduler fra tre anerkjente leverandører; SolarTEK, REC og KYOCERA. Modulene er godt tilpasset det norske klimaet, og oppfyller kravene til effekttoleranse, kvalitet, driftsikkerhet og mekanisk styrke som forventes.

GETEK leverer både horisontalakslede og vertikalakslede vindturbiner fra leverandørene Ampair, Proven og SVIAB. Alle de tre er anerkjente leverandører med mange års forskning, utvikling og markedsføring bak seg. I tillegg leverer GETEK en egenprodusert vertikalakslet vindturbin for ekstreme forhold.

De leverer også som sagt tilbehør til solcellemoduler og vindturbiner. Vekselretterne som GETEK leverer, kommer fra de tre anerkjente leverandørene Studer, SMA og Fronius. Dette er vekselrettere med høy virkningsgrad og god kvalitet. Vekselretterne kommer i flere ulike kvaliteter, effektklasser og prisklasser, der man ofte får det man betaler for. Vekselretteren fra SMA er her et svært godt valg for profesjonelle systemer, og de leverer ulike vekselrettere for vindturbiner og solcelleanlegg.

I tillegg til lokal leveranse av solcellemoduler, vindturbiner og vekselrettere, er det i oppgaven lagt vekt på at også varmpumper, solfangere og gulvvarmesystemer skal komme fra norske leverandører. Varmepumpene kommer fra henholdsvis Toshiba og Parat Varme, der sistnevnte er leverandør av komplette produkter for vannbåren varme. Parat Varme er importør av varmpumper, olje og gasskjeler, solvarmesystemer og biomassekjeler fra Viessmann, samt varmpumper fra Ochsner, varmevekslere fra Funke og reguleringsventiler fra Frese.

I oppgaven tenkes det at den lokale installatøren Varmepumpe Agder skal levere og installere det vannbårne gulvvarmesystemet. Det er dermed valgt lokale leverandører og installatører der det er mulighet for det, og der prisen er forsvarlig.

Følgende to seksjoner inneholder forklaringer på hva en LCC-analyse og en følsomhetsanalyse er. Deretter legges 5 LCC-analyser fram, som videre legges til grunn for systemvalg for boligen. I LCC-analysene er energikildene valgt fra leverandørene GETEK, Toshiba, Parat Varme, Varmepumpe Agder og Bettum Solvarme. Dette er nærmere spesifisert i LCC-analysene.

### 4.4.1 Livssyklus kostnadsanalyse (LCC-analyse)

Den totale kostnaden for energikilder og systemer kan estimeres ved hjelp av en LCC-analyse. En slik analyse omfatter alle kostnader i anleggets levetid. Dette innebærer ikke bare investeringskostnader, men også drifts- og vedlikeholdskostnader og utskiftningskostnader. En slik analyse gjøres for utforming av system, for å finne det mest kostnadseffektive systemdesignet.

Analysen tar også hensyn til tidsverdien av penger. Dette består i å finne dagens verdi av eventuelle kostnader som forventes i løpet av systemets levetid. Tidsverdien av penger påvirkes av inflasjonsprosenten og diskonteringsrenten. Inflasjonsprosenten er et mål på nedgangen i verdien av penger, det vil si at hvis den er 3 % per år, vil produktet koste 3 % mer neste år [7]. Diskonteringsrenten er et mål for hvor mye renter som kan opptjenes på lagrede prinsipper, og er sentralbankens diskontosats [7]. Verdien av penger øker på grunn av rentene som kan tjenes, og dersom penger er investert i en konto med positiv rente, vil summen øke fra år til år [7]. Verdien av penger over tid

vil bare øke dersom diskonteringsrenten er høyere enn inflasjonen [7].

Ligning 4.1 er benyttet til å beregne nåverdien av investeringen [7]:

$$Nåverdi = C_0 \cdot k \left( \frac{1 - k^n}{1 - k} \right) \quad (4.1)$$

der

$$k = \frac{1+i}{1+d}$$

og  $C_0$  er dagens kostnad for produktet,  $n$  er systemets levetid,  $d$  er diskonteringsrenten og  $i$  er inflasjonsprosenten.  $k$  er normalt i størrelsesorden 0,95-1,05 [7].

Nedbetalingstiden kan beregnes ut fra formel 4.2 [7]:

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{\text{total systemkostnad}[kr]}{\text{verdi av årlig total energiproduksjon}[kr/\text{år}]} \quad (4.2)$$

Energikostnaden kan beregnes ut fra formel 4.3 [7]:

$$\text{Energikostnad} = \frac{\text{årlig LCC}[kr]}{\text{årlig energiutbytte}[kWh]} \quad (4.3)$$

#### 4.4.2 Følsomhetsanalyse

De valgte parametrene i LCC-analysen kan i noen tilfeller vise seg å være unøyaktige eller ukorrekte. Det er dermed normalt å utføre en følsomhetsanalyse for å finne energikostnaden dersom endringer i parametrene inntreffer. Dette utføres ved å endre en av parametrene i analysen, mens de andre forblir konstante. Parametre som kan endres på kan for eksempel være investeringskostnad, systemlevetid eller rente.

Følsomhetsanalysen kan utføres i et excel-regneark ved at parametrene endres mellom for eksempel -75 % og 75 % i forhold til utgangsparametrene. Etter at energikostnaden er beregnet ut fra de prosentvise endringene, lages et stjernediagram. Alle grafene legges i samme diagram, med energikostnad på y-aksen og prosentvis endring på x-aksen.

En slik analyse sier ingenting om sannsynligheten for at et avvik skal inntreffe, men forteller hvor store endringene er dersom det skjer endringer.

#### 4.4.3 LCC-analyse av vindmølle-system

For å beregne lønnsomheten og mulighetene for installasjon av vindmøller, har en kort beregning blitt utført. Det beregnede elektrisitetsbehovet til boligen, som vil være omtrent 5 000 kWh/år, skal dekkes av vindmøllen for at energiregnskapet skal gå i null. For at en vindmølle skal klare å produsere så mye elektrisitet, må man benytte seg av en vindmølle i størrelsesorden 2-6 kW.

Et eksempel på en kommersiell vindmølle som lett kan anskaffes for norske kunder, kan være



Proven 6 kW, distribuert av GETEK. Dette er en trebladet, selvregulerende medvindsturbin med en rotordiameter på 5,5 meter. Navhøyden på en slik turbin er 9 meter. Det fremgår dermed at størrelsen på vindturbinen i de fleste tilfeller allerede setter begrensning på om en bolig vil kunne ha mulighet for å installere vindkraft. En 9 meter høy vindmølle vil i de aller fleste tilfeller være problematisk å installere på boliger, og vil være nærmest umulig i boligfelt. Dermed kan vindmøller i denne størrelsesorden kun være aktuelt i landlige strøk, med stor avstand til annen bebyggelse.

Når dette er sagt, følger en livssyklus kostnadsberegning (LCC) på et slikt vindmølleanlegg, basert på priser gitt av GETEK. Proven 6kW vil kunne ha en energiproduksjon på 6000-12000 kWh/år, avhengig av vindhastighet og omkringliggende bygninger og trær. Alternativet til denne vindturbinen, er Proven 2,5 kW som har en energiproduksjon på 2500-5000 kWh. Med denne turbinen er man altså ikke garantert en energiproduksjon som tilfredsstillende behovet i boligen. En beregning utført på denne vindturbinen gir en kostnadsreduksjon på omtrent 100 000 kr sammenlignet med kostnaden for Proven 6 kW. Med en 6 kW vindmølle er man garantert en energiproduksjon som dekker elektrisitetsbehovet, og dermed er denne valgt i beregningen.

LCC-analysen er gjennomført i Excel, hvor følgende forutsetninger er benyttet:

- Systemlevetid: 25 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringsrate: 6 %
- Årlig energiutbytte: 6 000 kWh

Energiproduksjonen til anlegget er beregnet ut ifra middelveier for vindstyrke i Agder-området, som i følge NVE ligger på rundt 5-6 m/s. Energiproduksjonen ved denne vindstyrken vil i et slikt system ligge litt i overkant av det som er den ønskelige energiproduksjonen for anlegget. Man vil dermed ha mulighet for å selge noe av overskuddsenergien og dermed redusere noe av nedbetalingstiden til anlegget.

Med anbefaling fra GETEK har valg av vekselretter falt på SMA Windy Boy 5000A, som er en galvanisk isolert vekselretter med virkningsgrad på opp til 96,1 %. Mastepakke og styresentral er også valgt fra GETEK. Installasjonskostnaden er beregnet ut fra gjeldende satser i GETEKs prisliste og er en omtrentlig beregnet kostnad. Fraktkostnaden er gitt av GETEK med bagrunn i vekt og størrelse på forsendelsen. Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader er beregnet på bakgrunn av veiledning fra IEA, og beregnes som 0,5 % av investeringskostnadene per år.

Tabell 4.5 viser LCC-analysen for det aktuelle vindmølleanlegget, dersom man antar et energiutbytte på 6 000 kWh.

Tabell 4.5: LCC-analyse for nettilknyttet vindmølleanlegg

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Vindgenerator	167 419	1	167 419
Mastepakke	71 537	1	71 537
Styresentral	25 157	1	25 157
Vekselretter	47 987	1	47 987
Installasjon	10 000	1	10 000
Frakt	10 000	1	10 000
Årlig drift og vedlikehold	1 736	16.64	28 871
LCC			375 971
Årlig LCC			15 039

Nedbetalingstiden til et slikt system beregnes ut fra formel 4.2. Verdien av årlig energiproduksjon kan forenklet settes til 1 kr/kWh, fordi elektrisitet fra nettet har en kostnad på omtrent 1 kr/kWh inkludert nettleie. Med en systemkostnad på 375 971 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 62,7 år.

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{375\,971 \text{ kr}}{6\,000 \text{ kr/år}} = 62,7\text{år}$$

Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 6000 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energikostnad} = \frac{15\,039 \text{ kr}}{6\,000 \text{ kWh}} = 2,51\text{kr/kWh}$$

Som en kan se ut fra beregningene, vil nedbetalingstiden til et slikt vindmølleanlegg være omtrent 63 år. Med en garantert systemlevetid på 25 år, vil det være en altfor lang nedbetalingstid for systemet for at det skal være en lønnsom investering. Energikostnaden på 2,51 kr er også veldig høy sammenlignet med dagens gjeldende elektrisitetspriser.

I beregningen er lavest mulig mastepakke valgt for å redusere prisen og energiutbyttet i anlegget. Dersom mast på 15 meter hadde blitt valgt, kunne nok energiutbyttet blitt en del større, men siden dette ikke er nødvendig har den mest prisgunstige løsningen blitt valgt. Dersom en antar et energiutbytte, for anlegg med 15 meter mast, på nærmere 10 000 kWh/år, hadde nedbetalingstiden blitt 37,6 år og energikostnaden 1,5 kr/kWh. Ulempen med dette er at man ikke er garantert å få solgt overskuddsenergien til distribusjonsnettet, og man risikerer dermed å sitte igjen med ubrukt elektrisitet som man da ikke får noe igjen for økonomisk.

Dersom man hadde valgt Proven 2,5 kW med 11 meter mast, hadde man ved maksimalt energiutbytte på 5 000 kWh/år fått en nedbetalingstid på 52 år, og en energikostnad på 2,08. Med et garantert årlig energiutbytte på 2 500-5 000 kWh, er man uansett ikke garantert å dekke energibehovet, og dermed kan dette i verste fall være en dårlig løsning for nullhus.

#### 4.4.4 LCC-analyse av solcelleanlegg

Med utgangspunkt i boligens forventede elektrisitetsforbruk, samt simuleringsdata fra PVGIS, kan man enkelt beregne systemstørrelsen på det aktuelle anlegget. Dersom man benytter seg av polykrystallinske solcellemoduler, vil 28 stk Solartek 235W moduler fra GETEK kunne gi en elektrisitetsproduksjon på 5 060 kWh/år, altså litt i overkant av hva som beregnes som boligens elektrisitetsforbruk. Disse er dermed valgt som grunnlag for LCC-analyse av solcelleanlegget. I tillegg har GETEK anbefalt vekselretter fra SMA for anlegget; SMA Sunny Tripower 7000tl, som er en trefase vekselretter med virkningsgrad på opptil 98 % og effekt på 7 175 W. Valg av festebraketter har falt på WR-1 festesystem, som passer for montering på vegg eller skrått tak. GETEK har også gitt veiledning om fraktkostnad og installasjonskostnad for anlegget.

Solcellemodulene kan fås som pakkeløsning fra GETEK, da med god pakkepris sammenlignet med hvis man skulle sette sammen pakken selv. Pakken kommer da med 28 Solartek 235W solcellemoduler, Fronius vekselretter, samt festebraketter og kabler. Vekselretteren har 94,3 % virkningsgrad,

noe som ikke er spesielt høyt sammenlignet med andre vekselrettere på markedet. Prisdifferensen er uansett såpass stor at det vil lønne seg å benytte seg av pakketilbudet. Eventuelt kan man helt sikkert få en god pris på en solcellepakke som inneholder for eksempel SMA Sunny Tripower 7000tl, som er den vekselretteren GETEK har anbefalt. Denne koster ca 65 000 kr, noe som er en betydelig andel av prisen på solcelleanlegget.

Beregning har blitt utført for begge tilfeller, og prisdifferensen er betydelig. Pris uten pakketilbud er beregnet til 236 173 kr inkludert tilbehør, frakt og installasjon. Pris med pakketilbud er beregnet til 167 004 kr. Her er pris for solcellepakken beregnet ut fra veiledende pris per Wp, som hos GETEK ligger på 20-27 kr/Wp inkl. mva. På grunnlag av størrelsen på anlegget og sammenligning med ferdige pakkepriser, har en pris på 21 kr/Wp blitt benyttet i beregningen.

Tabell 4.6 viser LCC-analysen utført på grunnlag av pakkepriser gitt av GETEK. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 25 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 5 060 kWh

Tabell 4.6: LCC-analyse for nettilknyttet solcelleanlegg

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Solcellepakke	138 180	1	138 180
Installasjon	6000	1	6000
Frakt	10 000	1	10 000
Årlig drift og vedlikehold	771	16.64	12 824
LCC			167 004
Årlig LCC			6 680

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 5 060 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 5 060 kr/år. Med en systemkostnad på 167 004 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 33,0 år.

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{167\,004 \text{ kr}}{5\,060 \text{ kr/år}} = 33,0 \text{ år}$$

Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 5 060 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energikostnad} = \frac{6\,680 \text{ kr}}{5\,060 \text{ kWh/år}} = 1,32 \text{ kr/kWh}$$

Beregningene viser at nedbetalingstiden til solcelleanlegget vil være 33 år, noe som ikke er så veldig galt med tanke på at anlegget har en garantert systemlevetid på omtrent 25 år. Sammenlignet med nedbetalingstiden for vindmølleanlegget, er det en betydelig forskjell, og investering av solcelleanlegg vil helt klart være det mest økonomisk lønnsomme valget. Energifrisen på 1,32 kr/kWh er heller ikke så veldig mye høyere enn dagens gjeldende elektrisitetspriser.

#### 4.4.5 LCC-analyse av jordvarmepumpesystem

Med utgangspunkt i simulert oppvarmingsbehov for boligen, kan jordvarmepumpesystemet dimensjoneres. Siden det antas at gravearbeidet uansett må utføres ved bygging av boligen, er ikke kostnadene for dette tatt med i beregningen. For et oppvarmingsbehov på drøye 8 100 kWh/år, kan man benytte seg av en varmepumpe i størrelsesorden 1-10kW. Valget har da falt på Ochsner Europa Mini EWP, som er en 3kW varmepumpe. Denne kan kobles med en varmtvannstank opptil 500L, og anbefales som varmforsyning i passivhus.

Varmepumpen kan leveres som pakkeløsning med 500L tank av Parat Varme AS. Da leveres den med 75 meter Cu kollektorledning, som maksimalt kan levere 1 700 driftstimer per år. Det vil si at pumpen maksimalt kan levere 5 100 kWh per år med 75 meter Cu kollektorledning. Siden energibehovet er drøye 8 100 kWh, må kollektorledningen være lengre, og Parat Varme anbefaler da å doble kollektorledningslengden.

Varmepumpe Agder leverer gulvvarmesystem og viftekonvektor, der prisen for gulvvarme er for ferdig lagt gulvvarme i betonggulv. Installasjonskostnaden er gitt av Parat Varme og gjelder pris for VVS-installatør. Ved installasjon av jordvarmepumpe, støtter Enova 20 % av dokumentert kostnad, og dette er dermed tatt med i beregningen.

Tabell 4.7 viser LCC-analysen for jordvarmepumpesystemet. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 25 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 8 120 kWh

Tabell 4.7: LCC-analyse for jordvarmepumpesystem

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Jordvarmepumpe	45 000	1	45 000
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	26 875	1	26 875
Frakt	3 000	1	3 000
Støtte fra Enova	-9 000	1	-9 000
Årlig drift og vedlikehold	447,5	14.32	6 409
LCC			95 902
Årlig LCC			4 795

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 8 120 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 8 120 kr/år. Med en systemkostnad på 95 902 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 11,8 år.

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{95\,902 \text{ kr}}{8\,120 \text{ kr/år}} = 11,8 \text{ år}$$

Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiut-

byttet fra systemet. Med et energiutbytte på 8 677 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energi kostnad} = \frac{4\,795 \text{ kr}}{8\,120 \text{ kWh/år}} = 0,59 \text{ kr/kWh}$$

#### 4.4.6 LCC-analyse av luft/vann-varmepumpesystem

For å beregne kostnadene for installasjon av luft/vann-varmepumpe, har priser gitt av Toshiba, Bettum Solvarme og Varmepumpe Agder AS blitt benyttet. Toshiba leverer KWSmart varmepumpe på 7,1 kW med to varmevekslere som kan gi varme til både tappevann og oppvarming. Installasjonskostnaden for varmepumpen er estimert ut fra en arbeidstid på 15 timer. 750L varmtvannstank kan kjøpes hos for eksempel Bettum Solvarme. Varmepumpe Agder leverer gulvvarmesystem og viftekonvektor, der prisen for gulvvarme er for ferdig lagt gulvvarme i betonggulv. Med i beregningen er også støtte fra Enova, som for dette systemet blir maksimal støtte på 10 000 kr.

Tabell 4.8 viser LCC-analysen for luft/vann-varmepumpesystemet. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 20 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringsrate: 6 %
- Årlig energiutbytte: 8 120 kWh

Tabell 4.8: LCC-analyse for luft/vann-varmepumpesystem

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Luft/vann-varmepumpe	79 000	1	79 000
Varmtvannstank	22 005	1	22 005
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	9 000	1	9 000
Støtte fra Enova	-10 000	1	-10 000
Årlig drift og vedlikehold	605	11,59	7 012
<b>LCC</b>			<b>128 042</b>
Årlig LCC			8 536

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 8 120 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 8 120 kr/år. Med en systemkostnad på 128 042 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 15,8 år.

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{128\,042 \text{ kr}}{8\,120 \text{ kr/år}} = 15,8 \text{ år}$$

Energi kostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 8 120 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energikostnad} = \frac{8\,536 \text{ kr}}{8\,120 \text{ kWh/år}} = 1,05 \text{ kr/kWh}$$

#### 4.4.7 LCC-analyse av solfangeranlegg

Ved beregning av livssyklus kostnader for solfangeranlegget, har priser fra ASV Solar og Varmepumpe Agder blitt benyttet. ASV Solar selger komplette solfangersystemer med 14,4m<sup>2</sup> solfangere med beslag, 840L varmtvannstank, styringsenhet, pumpe, 4 kraner og rørledninger. Varmepumpe Agder leverer gulvvarme og viftekonvektor, og prisen for gulvvarme er for ferdig installerte ledninger i betonggulv. Installasjon av solfangere støttes av Enova med 20 % av installasjonskostnaden, og dette er også tatt med i beregningen.

Tabell 4.9 viser LCC-analysen utført på solfangeranlegget. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 30 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 8 391 kWh

Tabell 4.9: LCC-analyse for solfangeranlegg

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Solfangerpakke	47 800	1	47 800
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	6000	1	6000
Frakt	3 000	1	3 000
Støtte fra Enova	-9 560	1	-9 560
Årlig drift og vedlikehold	354	18,59	6 586
LCC			77 444
Årlig LCC			2 581

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 8 391 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 8 391 kr/år. Med en systemkostnad på 77 444 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 9,2 år.

$$\text{Nedbetalingstid} = \frac{77\,444 \text{ kr}}{8\,391 \text{ kr/år}} = 9,2 \text{ år}$$

Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 8 391 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energikostnad} = \frac{2\,581 \text{ kr}}{8\,391 \text{ kWh/år}} = 0,31 \text{ kr/kWh}$$

## 4.5 Systemvalg

Ved valg av system er de utførte LCC-analysene for de ulike energikildene lagt til grunn. Det er også utført et energiregnskap, siden jord- og vann-varmepumpene krever elektrisitet til drift. I disse systemene må denne ekstra elektrisiteten dekkes av elektrisitet fra solceller for at energiregnskapet skal gå i null. Kostnadene, nedbetalingstiden og energikostanden for de ulike systemene tar i betraktning denne ekstra kostnaden, og i de neste tre seksjonene legges LCC-analyser fram for de tre systemene.

Systemer med vindmøller er ikke vurdert. Dette på grunn av den høye kostnaden, samt utfordrende installasjonen i byggefelt som følger med installasjon av vindmøller. Dermed er alle systemene satt sammen med solceller.

### 4.5.1 System 1: Solceller og jordvarmepumpe

Ved installasjon av system med solceller og jordvarmepumpe, er det viktig å huske på at jordvarmepumpen vil forbruke elektrisitet i samsvar med varmepumpens COP. Denne energimengden må produseres av solcellene for at energiregnskapet skal gå i null over året. Den valgte varmepumpen har en COP på 4,4, det vil si at den forbruker en elektrisitetsmengde tilsvarende

$$\frac{8\,120\text{ kWh}}{4,4} = 1846\text{ kWh}$$

som dermed må produseres av solcellene. Solcellene må dermed produsere  $4\,927\text{ kWh} + 1\,846\text{ kWh} = 6\,773\text{ kWh}$ . Dette oppnås ved installasjon av 8,93 kW, eller 38 Solartek 235 W moduler, som vil produsere 6 860 kWh. Tabell 4.10 viser energiregnskapet for løsningen med solceller og jordvarmepumpe.

Tabell 4.10: Energiregnskap for system med solceller og jordvarmepumpe

	Oppvarming	Elektrisitet
Simulert elektrisitetsforbruk	8 120 kWh	4 927 kWh
Forbruk jordvarmepumpe		1 846 kWh
Energiproduksjon		
- Solceller		7 050 kWh
- Jordvarmepumpe	8 120 kWh	
Sum produksjon	8 120 kWh	6 860 kWh
Sum forbruk	8 120 kWh	6 773 kWh
Balanse	0 kWh	87 kWh

Kostnaden for de 10 ekstra modulene må dermed også tas med i LCC-analysen av systemet, noe som øker kostnaden for systemet. Med 38 solcellemoduler vil arealbehovet også øke sammenlignet med arealbehovet for de 28 solcellemodulene som kreves for et system uten ekstra elektrisitetsbehov fra varmepumpe. Det må dermed også vurderes om takarealet er tilstrekkelig for installasjon av de 38 solcellemodulene. Med et takareal på  $50\text{ m}^2$  er det ikke plass til solcellemodulene, som har et areal på  $63\text{ m}^2$ . Det er dermed vanskelig å benytte seg av systemløsning 1.

Tabell 4.11 viser LCC-analysen utført på system med solceller og jordvarmepumpe. Følgende

forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 20 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 14 980 kWh

Tabell 4.11: LCC-analyse for system med solceller og jordvarmepumpe

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Solcellepakke	187 530	1	187 530
Jordvarmepumpe	45 000	1	45 000
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	32 875	1	32 875
Frakt	9 000	1	9 000
Støtte fra Enova	-9 000	1	-9 000
Årlig drift og vedlikehold	1 445	14,32	20 698
LCC			309 721
Årlig LCC			15 486

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 14 980 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 14 980 kr/år. Med en systemkostnad på 309 721 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 20,7 år.

$$Nedbetalingstid = \frac{309\,721 \text{ kr}}{14\,980 \text{ kr/år}} = 20,7 \text{ år}$$

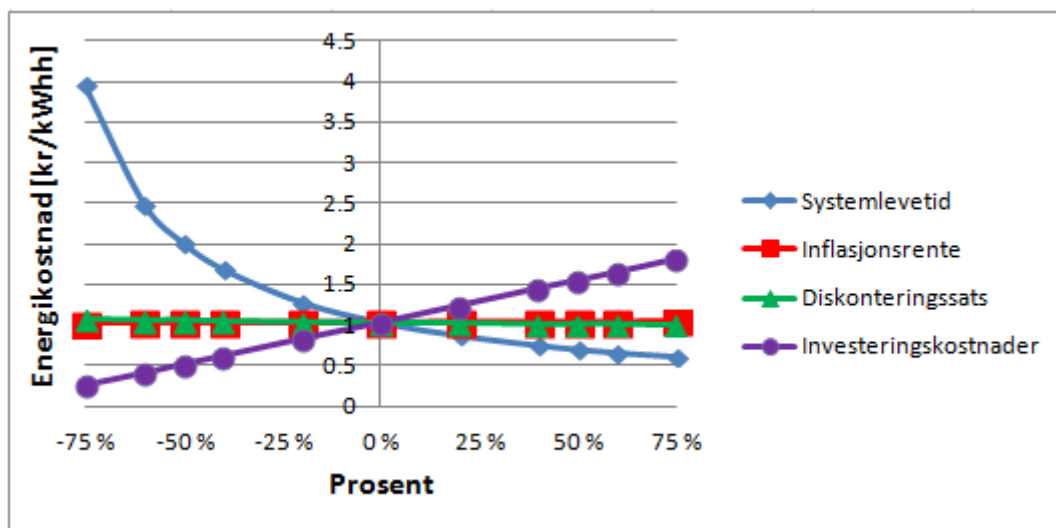
Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 14 980 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$Energikostnad = \frac{15\,486 \text{ kr}}{14\,980 \text{ kWh/år}} = 1,03 \text{ kr/kWh}$$

### Følsomhetsanalyse for system 1

Det er utført en følsomhetsanalyse på systemet, som beskrevet i Seksjon 4.4.2. Figur 4.9 viser følsomhetsanalysen som er utført på system 1. Her er systemlevetiden, inflasjonsrenten, diskonteringssatsen og investeringskostnadene endret mellom -75 % og 75 % i forhold til utgangsparametrene.





Figur 4.9: Følsomhetsanalyse for system med solceller og jordvarmepumpe

Følsomhetsanalysen viser at det, ikke uventet, er store forskjeller i energikostnad ved ulike systemlevetider og investeringskostnader, mens det er svært lite endring ved ulike inflasjonsrenter og diskonteringssetser.

Den beskjedne endringen av energikostnaden ved ulike inflasjonsrenter og diskonteringsrenter kommer av at disse rentene kun påvirker nåverdien av fremtidige drift- og vedlikeholdskostnader, noe som ikke endrer seg betydelig ved små endringer i rentene.

Siden investeringskostnaden kan tenkes relativt konstant ved kjøp av valgt system, er det systemlevetiden som vil ha mest innvirkning på energikostnaden. Det er dermed ønskelig med lengst mulig systemlevetid.

#### 4.5.2 System 2: Solceller og luft/vann-varmepumpe

Ved installasjon av system med solceller og luft/vann-varmepumpe, vil varmepumpen forbruke elektrisitet i samsvar med varmepumpens COP. Denne energimengden må produseres av solcellene for at energiregnskapet skal gå i null over året. Den valgte varmepumpen har en COP på 4,0, det vil si at den forbruker en elektrisitetmengde tilsvarende

$$\frac{8\,120\text{ kWh}}{4,0} = 2030\text{ kWh}$$

som dermed må produseres av solcellene. Solcellene må dermed produsere  $4\,927\text{ kWh} + 2\,030\text{ kWh} = 6\,957\text{ kWh}$ . Dette oppnås ved installasjon av 9,165 kW, eller 39 Solartek 235 W moduler, som vil produsere 7 050 kWh. Tabell 4.12 viser energiregnskapet for løsningen med solceller og jordvarmepumpe.

Tabell 4.12: Energiregnskap for system med solceller og luft/vann-varmepumpe

	Oppvarming	Elektrisitet
Simulert elektrisitetsforbruk	8 120 kWh	4 927 kWh
Forbruk jordvarmepumpe		2 030 kWh
Energiproduksjon		
- Solceller		7 050 kWh
- Luft/vann-varmepumpe	8 677 kWh	
Sum produksjon	8 120 kWh	7 050 kWh
Sum forbruk	8 120 kWh	6 957 kWh
Balanse	0 kWh	93 kWh

Kostnaden for de 11 ekstra modulene må dermed også tas med i LCC-analysen av systemet, noe som øker kostnaden for systemet. Med 39 solcellemoduler vil arealbehovet også øke sammenlignet med arealbehovet for de 28 solcellemodulene som kreves for et system uten ekstra elektrisitetsbehov fra varmepumpe. Det må dermed også vurderes om takarealet er tilstrekkelig for installasjon av de 39 solcellemodulene. Da takarealet på boligen er 50 m<sup>2</sup> er det ikke plass til solcellemodulene, som har et areal på 64 m<sup>2</sup>. Det er dermed også vanskelig å benytte seg av systemløsning 2.

Tabell 4.13 viser LCC-analysen utført på system med solceller og luft/vann-varmepumpe. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 20 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 15 350 kWh

Tabell 4.13: LCC-analyse for system med solceller og luft/vann-varmepumpe

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Solcellepakke	192 465	1	192 465
Luft-vann-varmepumpe	79 000	1	79 000
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	15 000	1	15 000
Frakt	9 000	1	9 000
Støtte fra Enova	-10 000	1	-10 000
Årlig drift og vedlikehold	1 655	14,32	23 711
LCC			354 799
Årlig LCC			17 740

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 15 350 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 15 350 kr/år. Med en systemkostnad på 354 799 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 23,1 år.

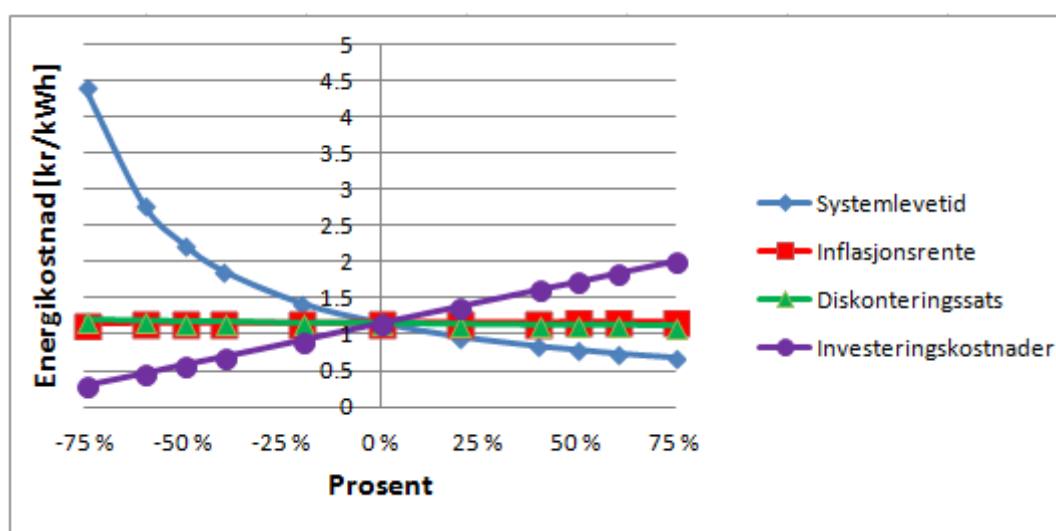
$$Nedbetalingstid = \frac{354\,799 \text{ kr}}{15\,350 \text{ kr/år}} = 23,1 \text{ år}$$

Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 15 350 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$\text{Energikostnad} = \frac{17\,740 \text{ kr}}{15\,350 \text{ kWh/år}} = 1,16 \text{ kr/kWh}$$

### Følsomhetsanalyse for system 2

Det er utført en følsomhetsanalyse på systemet, som beskrevet i Seksjon 4.4.2. Figur 4.10 viser følsomhetsanalysen som er utført på system 2. Her er systemlevetiden, inflasjonrenten, diskonteringsrenten og investeringskostnadene endret mellom -75 % og 75 % i forhold til utgangsparametrene.



Figur 4.10: Følsomhetsanalyse for system med solceller og luft/vann-varmepumpe

Følsomhetsanalysen viser at det er store forskjeller i energikostnad ved ulike systemlevetider og investeringskostnader, mens det er svært lite endring ved ulike inflasjonsrenter og diskonteringsrenter.

Også for dette systemet vil den beskjedne endringen av energikostnad ved ulike rentesatser komme av de små endringene i drifts- og vedlikeholdskostnadene ved endring av rentesats. Det gjelder også her at en forlenget levetid vil gi betydelige endringer i energikostnaden.

### 4.5.3 System 3: Solceller og solfangere

Ved installasjon av system med solceller og solfangere, trenger man ikke å installere flere solcellemoduler på grunn av ekstra forbruk som for varmepumpene. Dermed blir LCC-analysen basert på LCC-analysene til solcellene og solfangerne, uten ekstra kostnader. Tabell 4.14 viser energiregnskapet for systemet med solceller og solfangere. Det man må huske på er at med en begrensning på 50 m<sup>2</sup> takareal, er det ikke plass til 28 solcellemoduler (46 m<sup>2</sup>) og 14,4 m<sup>2</sup> solfangere. Man må dermed finne en alternativ løsning for plassering av solfangerne. De kan for eksempel monteres på vegg med skråstilt festesystem.

Tabell 4.14: Energiregnskap for system med solceller og solfangere

	Oppvarming	Elektrisitet
Simulert elektrisitetsforbruk	8 120 kWh	4 927 kWh
<b>Energiproduksjon</b>		
- Solceller		5 060 kWh
- Solfangere	8 391 kWh	
Sum produksjon	8 391 kWh	5 060 kWh
Sum forbruk	8 120 kWh	4 927 kWh
Balanse	271 kWh	133 kWh

Tabell 4.15 viser LCC-analysen utført på system med solceller og solfangere. Følgende forutsetninger er benyttet i analysen:

- Systemlevetid: 25 år
- Inflasjonsrente: 2,5 %
- Diskonteringssats: 6 %
- Årlig energiutbytte: 13 451 kWh

Tabell 4.15: LCC-analyse for system med solceller og solfangere

	Initialkostnad	Nåverdifaktor	Nåverdi
Solcellepakke	138 180	1	138 180
Solfangerpakke	47 800	1	47 800
Gulvvarmesystem	18 018	1	18 018
Viftekonvektor	5 600	1	5 600
Installasjon	12 000	1	12 000
Frakt	13 000	1	13 000
Støtte fra Enova	-9 560	1	-9 560
Årlig drift og vedlikehold	1 173	16,64	19 513
LCC			254 111
Årlig LCC			10 164

Nedbetalingstiden til systemet beregnes ut fra formel 4.2. Med en årlig energiproduksjon på 13 451 kWh, blir verdien av årlig total energiproduksjon 13 451 kr/år. Med en systemkostnad på 254 111 kr, blir nedbetalingstiden beregnet til 18,9 år.

$$Nedbetalingstid = \frac{254\,111 \text{ kr}}{13\,451 \text{ kr/år}} = 18,9 \text{ år}$$

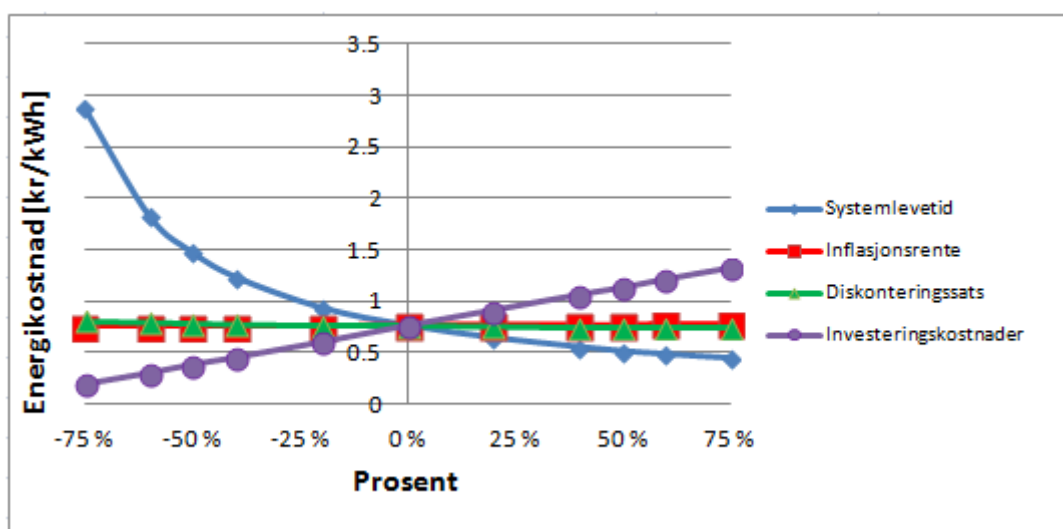
Energikostnaden, altså prisen per produsert energienhet [kr/kWh], avhenger av det årlige energiutbyttet fra systemet. Med et energiutbytte på 13 451 kWh/år, blir energikostnaden som beregnet fra formel 4.3:

$$Energikostnad = \frac{10\,164 \text{ kr}}{13\,451 \text{ kWh/år}} = 0,76 \text{ kr/kWh}$$

Siden det både er mulighet for installasjon av system 3, og det er den mest økonomiske løsningen, vil dette være det beste alternativet for boligen. I videre arbeid er dermed system 3 med solceller og solfangere benyttet.

### Følsomhetsanalyse for system 3

Det er utført en følsomhetsanalyse på systemet, som beskrevet i Seksjon 4.4.2. Figur 4.11 viser følsomhetsanalysen som er utført på system 3. Her er systemlevetiden, inflasjonrenten, diskonteringsrenten og investeringskostnadene endret mellom -75 % og 75 % i forhold til utgangsparametrene.



Figur 4.11: Følsomhetsanalyse for system med solceller og solfangere

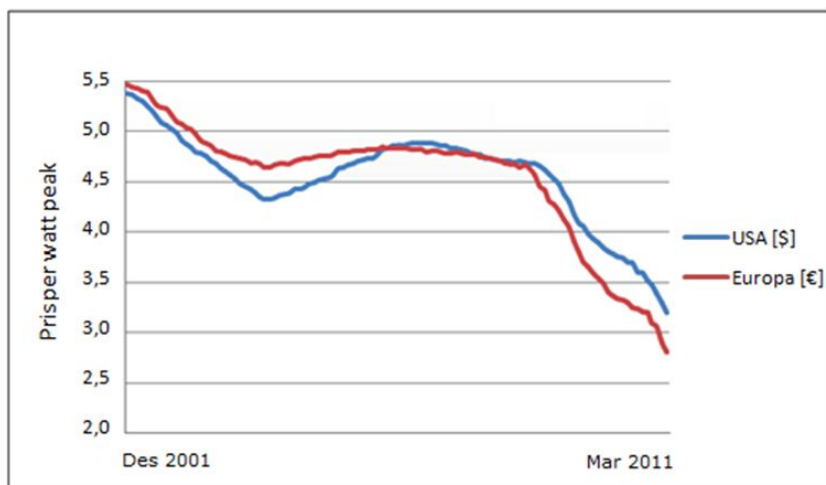
Følsomhetsanalysen viser at det er store forskjeller i energikostnad ved ulike systemlevetider og investeringskostnader, mens det er svært lite endring ved ulike inflasjonsrenter og diskonteringsrenter.

Også for dette systemet vil den beskjedne endringen i energikostnad ved ulike rentesatser være begrunnet med de små endringene i drifts- og vedlikeholdskostnadene ved endring av rentesats. Det gjelder også her at en forlenget levetid vil gi betydelige endringer i energikostnaden.

### Framtidsutsikter for solcelleteknologien

Følsomhetsanalysen viser som nevnt at energikostnaden blir betydelig redusert dersom systemlevetiden forlenges eller dersom investeringskostnaden reduseres. Det er dermed spennende å gi et kort innblikk i hvilke teknologiendringer som er foreslått i årene som kommer. Siden solcellemoduler har kortere levetid enn solfangere, vil det være mest aktuelt å se på utviklingen innenfor solcelleindustrien. Dette fordi solcellene i systemet vil fungere som en slags flaskehals med tanke på en prisreduksjon for systemet. I tillegg er hovedandelen av investeringskostnaden forbundet med kostnaden for solcellemoduler. Det forventes også en lignende teknologitrend for solfangere.

Prisen for solcellemoduler har de siste årene blitt kraftig redusert. Figur 4.12 viser at modulprisene har gått ned 45 % i både Europa og USA i tiårsperioden mellom 2001 og 2011.



Figur 4.12: Utvikling av modulpriser i perioden desember 2001 til mars 2011 [7]

Det er antatt at prisene for solcellemoduler vil fortsette å reduseres i årene som kommer, noe IEA presenterer i sitt veikart fra 2010. I dette veikartet presenteres såkalte "turn-key" priser, som er priser for ferdig installerte solcellesystemer. IEA anslår her hvordan prisene vil fortsette å reduseres i tiden fram mot 2050. Som en ser fra Tabell 4.16, anslås det at prisene vil reduseres betydelig i årene som kommer. I følge tabellen vil systemprisene reduseres med 56 % i perioden 2008-2020, 33 % i perioden 2020-2030 og 56 % i perioden 2020-2050 [7].

Tabell 4.16: Forventede "turn-key" systempriser [7]

	2008	2020	2030	2050
Systempris i boligsektor [euro/ $W_p$ ]	4,11	1,85	1,23	0,82

I tillegg til den forventede prisreduksjonen, forventes det også at levetiden til solcellemoduler vil øke i årene som kommer. Levetiden ligger idag rundt 25-30 år, og den forventes å øke til 35-40 år innen 2020 [7].

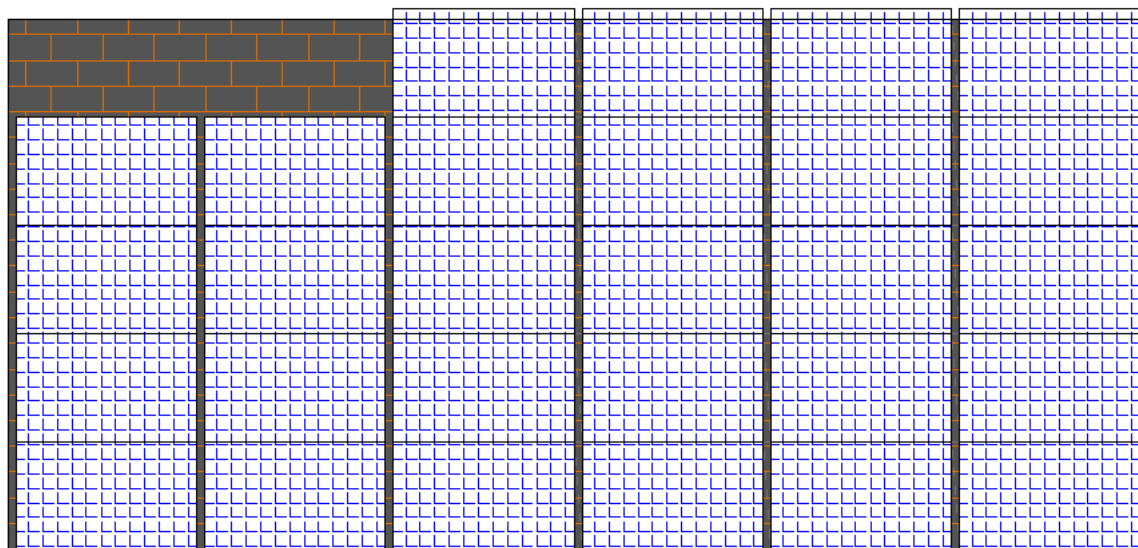
Den anslåtte prisreduksjonen vil i kombinasjon med den antatte økningen i levetid føre til en redusert energikostnad i følge følsomhetsanalysen. I følge den utførte følsomhetsanalysen, vil en reduksjon i investeringskostnad på 20 % føre til en energikostnad på 0,6 kr/kWh, mens en reduksjon på 40 % vil føre til en energikostnad på 0,45 kr/kWh. Den anslåtte prisreduksjonen for solcellemoduler på 33 % kan dermed føre til en betydelig prisreduksjon for systemet med solceller og solfangere.

En økt levetid fra 25 år til 35 år vil i følge følsomhetsanalysen medføre en energikostnad på 0,55 kr/kWh. Dermed vil også en økt levetid for solcellemodulene føre til en betydelig redusert energikostnad.

## 4.6 Systemoppsett - System 3: Solceller og solfangere

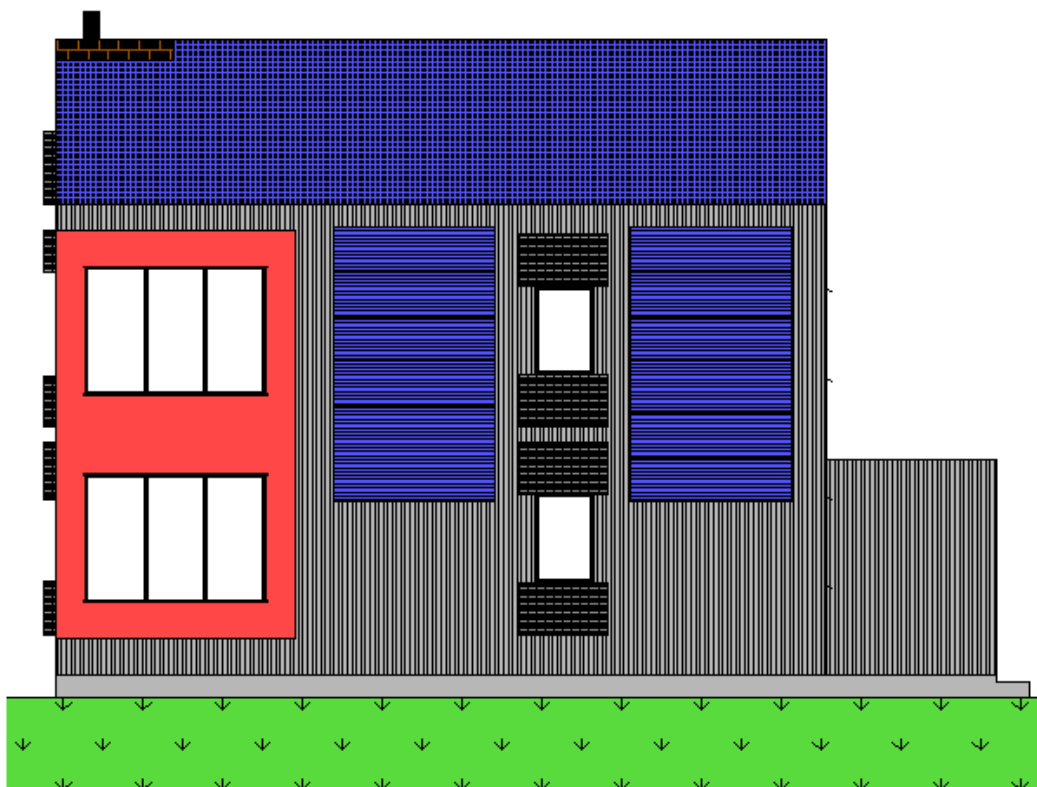
For å illustrere hvordan solcellene og solfangerne i system 3 kan tenkes å plasseres, har huset blitt tegnet i AutoCAD. Her har eksakte mål fra plantegninger blitt benyttet. For å se om alle solcellemodulene får plass på taket, er taket tegnet med solceller i AutoCAD. Her er det klart at

alle modulene får plass på taket. Dette kan ses i Figur 4.13. Dersom det er ønskelig, kan man installere 2 solcellemoduler til på den siste delen av taket, siden denne delen uansett vil stå ubrukt. Dette vil ikke gi veldig mye høyere kostnad enn om man installerer 28 solcellemoduler.



Figur 4.13: Tak med 28 solcellemoduler, tegnet i AutoCAD

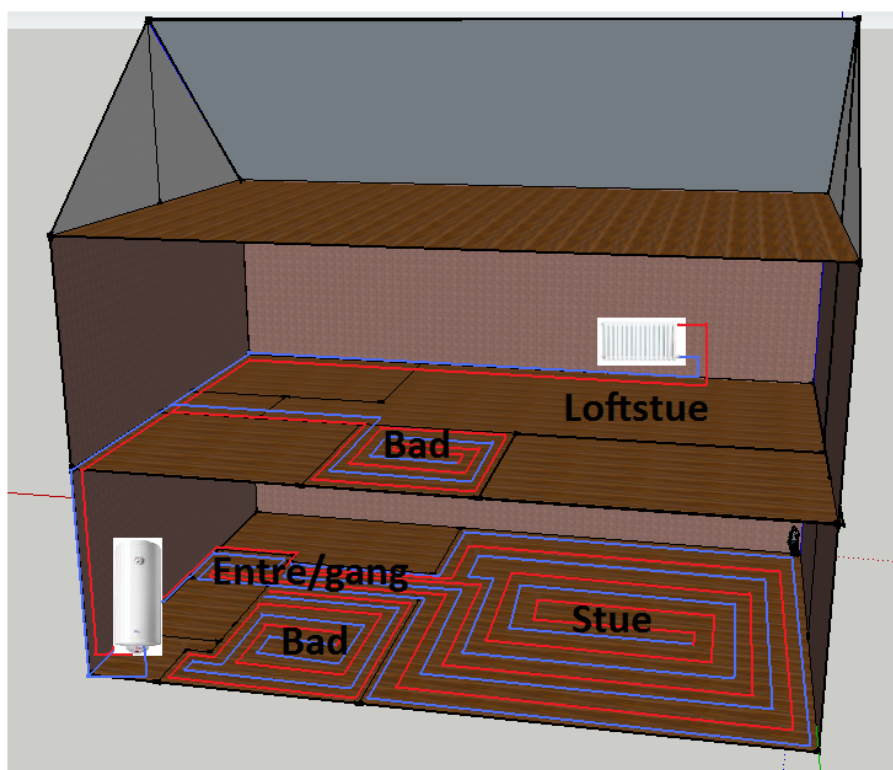
Siden det ikke er plass til solfangerne på taket, må disse plasseres skråstilt på veggen. Plasseringen av disse vises i Figur 4.14.



Figur 4.14: Fasade med solceller og solfangerer, tegnet i AutoCAD

Som man kan se passer det godt å plassere de to solfangermodulene på hver sin side av de to vinduene på midten av husets langvegg. Siden solfangerne plasseres på veggen, vil de ikke være like effektive sammenlignet med plassering på tak. Dette er uansett den eneste løsningen med arealbegrensningen som følger med huset. Vinkelen på solfangerne kan velges selv, men 30° har her blitt valgt.

Tegneprogrammet Sketch Up har blitt benyttet til å tegne tredimensjonale tegninger av huset. Figur 4.15 viser en snittegning av huset med vannbåren varme i gulvene i stue, bad, entre og gang. I loftstuen i 2-etasje er det installert en radiator.

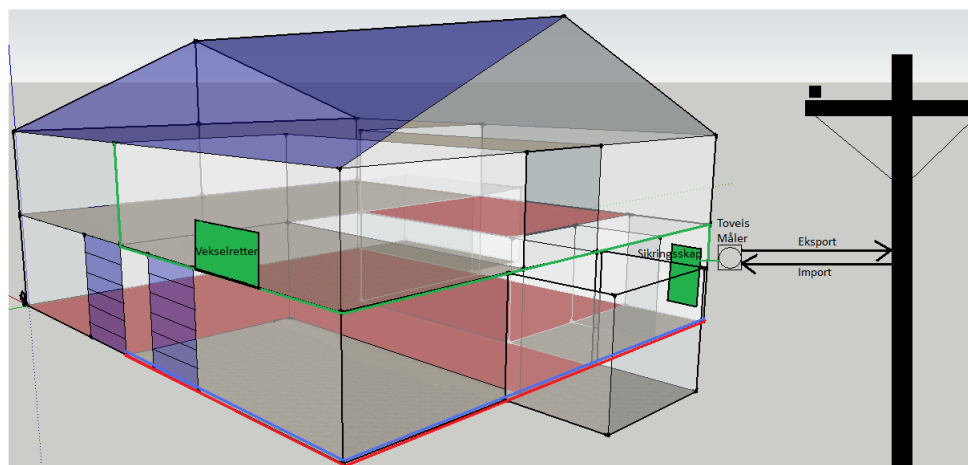


Figur 4.15: Snittegning av hus med vannbåren varme, tegnet i Sketch Up

Videre viser Figur 4.16 en tredimensjonal tegning av huset, med toveis måler for eksport og import av elektrisitet til og fra distribusjonsnett. Her kan man se at elektrisiteten fra solcellepanelene blir omgjort til vekselstrøm i vekselretteren, og blir deretter ført videre gjennom en toveis måler montert i husets tekniske rom. Elektrisiteten blir benyttet i husets elektriske krets, og i tider ved overproduksjon mates overskudds elektrisiteten inn på distribusjonsnett. Dersom solcelleanlegget ikke produserer tilstrekkelig med elektrisitet, kjøpes elektrisitet på tradisjonelt vis fra distribusjonsnett.

Figur 4.16 viser også den vannbårne kretsen i huset. Det varme vannet kommer her fra solfangerne på veggen av huset, og føres videre til varmtvannstanken i huset. Deretter går det varme vannet til bruksvann og vannbårent varmesystem i gulv og radiator i huset. Det kalde vannet går videre tilbake til solfangerne og varmes opp igjen. Den røde markeringen på gulvet i noen rom i huset, indikerer rommene med vannbårent varmesystem. Dette kan ses nærmere i Figur 4.15.





Figur 4.16: 3D-tegning av huset tilknyttet distribusjonsnettet, tegnet i Sketch Up

## 4.7 Økonomiske aspekter ved bygging av nullhus fra Block Watne

I følgende seksjon framlegges en forenklet økonomisk beregning ved oppsett av passivhuset fra Block Watne. Tabell 4.17 viser den forenklete økonomiske beregningen for huset, der alt fra grunnarbeid til ferdig oppsatt hus med solceller og solfangere er tatt med.

De oppsatte prisene er på ingen måte eksakte, og er veiledende basert på erfaringer fra snekkere, rørleggere, elektrikere og andre aktører. I tillegg er prisene sammenlignet med informasjon om kostnader ved husbygging, innhentet fra undertegnede familie og bekjente. I pristimatet er ikke kostnader for byggleidelse, innvendig interiør, møbler, parkett, fliser, hvitevarer, maling og lignende tatt med. Prisen inkluderer heller ikke tomtearbeid som går utover selve grunnarbeidet, som for eksempel opparbeiding av parkeringsplass, hage, busker og lignende. Dette på grunn av individuelle ønsker hos hver husbygger.

Tabell 4.17: Økonomisk beregning ved bygging av nullhus

	Pris [kr, inkl. mva]
Hus, eks. garasje	2 541 000
Kranbil for løft av vegger og drager	5 000
Tomt	600 000
Grunnarbeid	400 000
Grunnmur	200 000
Snekker	250 000
Elektrisk arbeid, inkl. alt av deler og utstyr	190 000
Rørleggerarbeid, inkl. alt av deler og utstyr	150 000
Diverse*	173 000
Fornybare energikilder, inkl. støtte fra Enova	254 111
Støtte fra Enova, passivhus nybygg	-71 280
<b>Totalpris</b>	<b>4 691 831</b>

\* Diverseposten inkluderer diverse tilkoblingsgebyrer og avgifter som skal betales til kommunen.

Budsjettet for dette er gitt i Tabell 4.18. Prisene er hentet fra anbudshjelpen sin budsjettkalkulator på nett, og kan antas som veiledende priser. Disse brukes siden det er utfordrende å få eksakte priser fra alle aktørene, og at dette ikke anses som en viktig del av oppgaven.

Tabell 4.18: Diverse avgifter og gebyrer til kommunen

	Pris [kr, inkl. mva]
Tilknytningsavgift vann/avløp	75 000
Byggesaksomkostninger	15 000
Utstikking av hjørner	2 000
Situasjonskart	1 700
Nabovarsel	300
Tilknytningbegyr for kabel tv	5 000
Tilknytningskostnader til E-verket	12 500
Byggestrøm m/byggeskap	10 000
Dokumentavgift og tinglysningsavgift på tomt	16 500
Utvendig rørleggerarbeid	35 000
<b>Totalpris diverse</b>	<b>173 000</b>

Pris for hus eks. garasje er, som nevnt i Seksjon 4.1, pris for komplett bolig med unntak av grunn, betong og rør/elektrisk i betong, malerarbeid, parkett, flis, membran og hvitevarer. Prisene for innvendig interiør, parkett, fliser og hvitevarer er ikke tatt med i de økonomiske beregningene på grunn av individuelle ønsker som varierer fra husbygger til husbygger. Pris for frakt av huset er tatt med. Det samme er kjøkkeninnredning, badinnredning og balansert ventilasjon.

Tomtepris forutsetter at det er tilrettelagt for vei, vann, kloakk, avløp, strøm og annen nødvendig infrastruktur. Prisen for tilkobling av dette er gitt i Tabell 4.18. Prisen for grunnarbeid inkluderer transport av maskiner, bortkjøring/tilkjøring av masse, sprengning, graving og planering, grøftarbeid, rør og singel. Denne prisen avhenger i stor grad av hvordan tomta er utformet og hvor mye som må gjøres, samt hvor mye masse som må tilføres. Prisen er dermed svært veiledende.

Pris for kranbil for løft av vegger og drager er gitt en timespris på 1000 kr, samt fem timers arbeid. Snekkerarbeid innebærer at snekker setter opp råbygg samt utfører en andel av innvendig snekkerarbeid. Det resterende arbeidet utføres av husbygger selv.

Pris for rørlegger er innhentet fra Brødrene Dahl, Mo i Rana, og inkluderer installasjon samt alt nødvendig utstyr og innredning som klosetter, dusj, stoppekraner, vasker, sluk, rør og lignende.

Prisen for elektriker er gitt av YIT AS, og inkluderer installasjon samt alt nødvendig utstyr som sikringsskap, stikkontakter, ledninger og lignende. Denne prisen avhenger av hvilken standard husbygger vil ha, og i følge YIT kan denne prisen ligge mellom 130 000-170 000 kr eks. mva. Det har dermed blitt estimert en pris på 190 000 kr for dette inkl. mva.

I tillegg til støtte fra Enova, som reduserer utgiftene med omtrent 80 000 kr, er ikke inntekter ved salg av overskuddsenergi tatt med i beregningene. Ved salg av overskuddsenergi til nettselskap, vil de langsiktige elektrisitetsutgiftene reduseres sammenlignet med et hus uten nullhusstandard. Dette vil føre til at den opprinnelig høyere byggeprisen for et nullhus, inntjenes i langsiktig perspektiv.

Siden huset tilfredsstillter kravene for grunnlån fra Husbanken, kan det gis grunnlån på 80 % av salgsprisen. Dette er ikke tatt med i de økonomiske beregningene. Dette er blant annet på grunn av ulike forutsetninger når det gjelder egenkapital og lignende for husbygger.

## 4.8 Merkostnad ved bygging av nullhus

For å fastslå omtrentlig merkostnad for et nullhus sammenlignet med kostnaden for en tradisjonell bolig, har en enkel økonomisk beregning blitt utført for et sammenlignbart, tradisjonelt hus fra Block Watne. Dette huset har et litt større areal enn passivhuset fra Block Watne, men begge husene har mange likheter. Det tradisjonelle huset fra Block Watne er 178,0 m<sup>2</sup>, har 4 soverom og må bygges på flat tomt. Det har i likhet med passivhuset to etasjer, to bad, to stuer, vaskerom, hall og bod.

Tabell 4.19 viser den økonomiske beregningen for huset "Asker" fra Block Watne. Det antas her at generelle kostnader som grunnarbeid, grunnmur, snekker, rørlegger og kommunale avgifter er lik for de to husene.

Diverseposten er, som for den tidligere beregningen i Tabell 4.18, tilkoblingsgebyrer og avgifter som skal betales til kommunen.

Siden pris for varmtvannstank er tatt med for nullhuset, er også prisen for dette tatt med i prisen for den tradisjonelle boligen for et mer eksakt prisoverslag.

Tabell 4.19: Økonomisk beregning ved bygging av tradisjonell bolig fra Block Watne

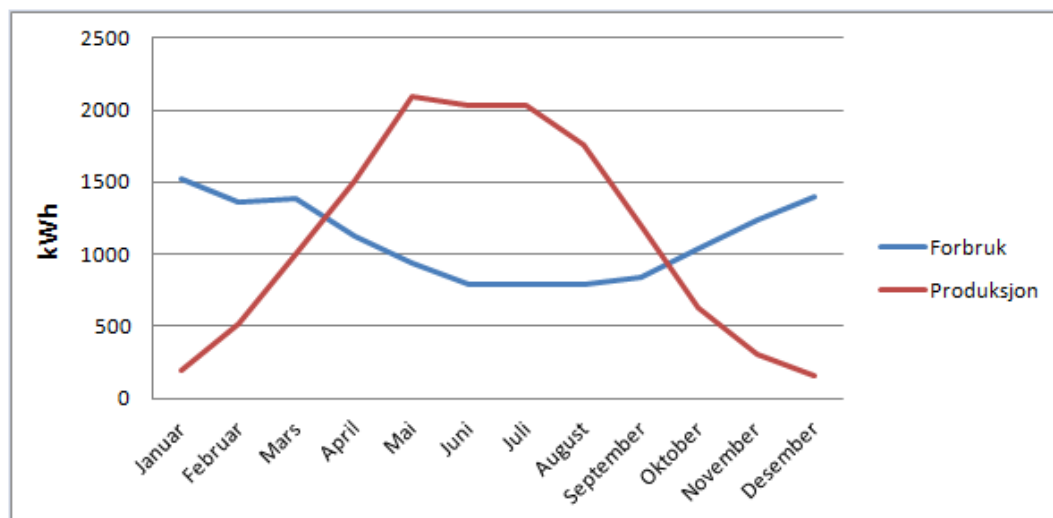
	Pris [kr, inkl. mva]
Hus, eks. garasje	2 214 000
Kranbil for løft av vegger og drager	5 000
Tomt	600 000
Grunnarbeid	400 000
Grunnmur	200 000
Snekker	250 000
Elektrisk arbeid, inkl. alt av deler og utstyr	190 000
Rørleggerarbeid, inkl. alt av deler og utstyr	150 000
Diverse*	173 000
Varmtvannstank	22 005
<b>Totalpris</b>	<b>4 204 005</b>

Som en ser ut fra de to beregningene får passivhuset en pris på 487 826 kr mer enn det tradisjonelle huset. Dette er 11,5 % merkostnad for "Passivhus 2" sammenlignet med "Asker" fra Block Watne.

### 4.8.1 Nedbetalingstid for merkostnad

Nullhuset vil ha et stokastisk forbruksmønster, noe som fører til at det vil være noe utfordrende å estimere eksakt hvor stor grad boligen vil kjøpe og selge elektrisitet til og fra nettet i løpet av

et år. Figur 4.17 illustrerer husets forbruks- og produksjonsmønster. Ut fra dette kan den årlige energikostnaden for nullhuset estimeres.



Figur 4.17: Plusshusets forbruk og produksjon

Her er det tatt utgangspunkt i boligens månedlige elektrisitetsforbruk som tidligere er simulert i SIMIEN. Dette er tidligere vist i Figur 4.3. Boligens elektrisitetsproduksjon er estimert ved bruk av PVGIS og ASV Solar sitt regneark for varmefangstberegning. Her er det antatt en vinkel på 27° for solcellene og 30° for solfangerne. Tilsvarende kurver for produksjon fra solceller og solfangerne er tidligere vist i Figur 4.7 og Figur 4.8.

For å estimere hvor lang tid det vil ta å nedbetale merkostnaden for nullhuset, er det blitt utført noen enkle beregninger. I beregningene er husets elektrisitetsforbruk og produksjon lagt til grunn, samt kvartalspriser for 2011 fra statistisk sentralbyrå (SSB). I beregningen er differansen mellom forbruk og produksjon på månedsbasis lagt til grunn. Dette fordi det i praksis er det månedlige energiregnskapet nettselskapet tar betalt eller betaler for.

Dersom energiregnskapet er positivt, vil energidifferansen være positiv, men dette fører ikke nødvendigvis til et positivt økonomisk regnskap. På grunn av de månedlige variasjonene i både forbruk, produksjon og spotpris, vil ikke differansen alene være avgjørende for om huseieren går i pluss eller minus, økonomisk sett. Den årlige energikostnaden baserer seg dermed her på de månedlige differansene multiplisert med kvartalsprisene for elektrisitet gitt av SSB. Dermed kan en årlig energikostnad for nullhuset estimeres.

Tabell 4.20 viser regnskapet for nullhusets årlige energikostnad.

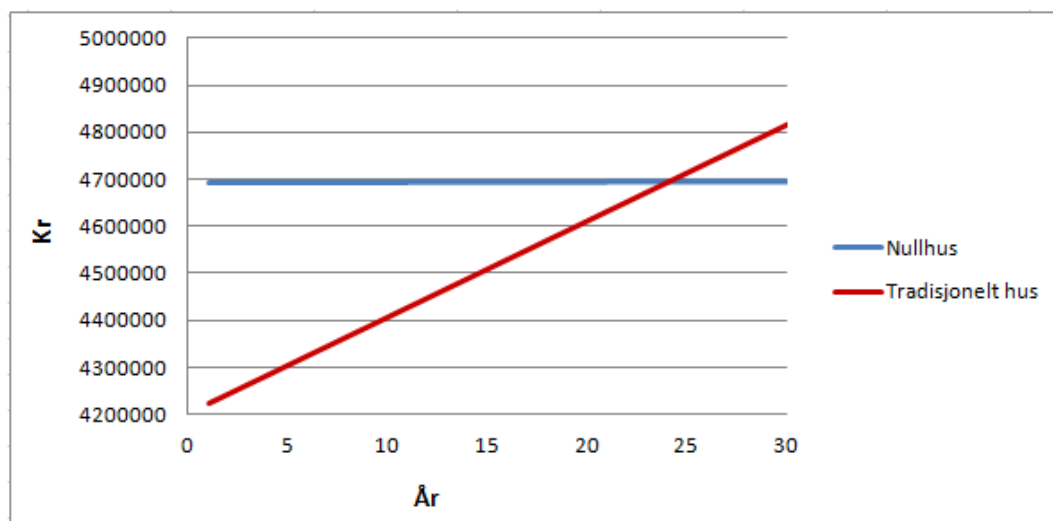
Som en ser ut fra beregningen i Tabell 4.20 vil nullhuset ha en årlig energikostnad på 132 kr. Grunnen til den lave kostnaden er at prisvariasjonene over året er gunstig i forhold til husets produksjon og forbruk.

Tabell 4.20: Årlig energikostnad for nullhuset

	Forbruk	Produksjon	Pris SSB	Differanse	Elektrisitetskostnad
Januar	1 520	189,2	1,173	-1 331	-1 561
Februar	1 360	513	1,173	-847	-993,5
Mars	1 390	1 509	1,173	-388	-455
April	1 130	1 509	1,053	379	399
Mai	940	1 091	1,053	1 151	1 212
Juni	790	2 032	1,053	1 242	1 308
Juli	790	2 032	0,892	1 242	1 108
August	790	1 755	0,892	965	861
September	840	1 197	0,892	357	318
Oktober	1 040	630	0,898	-410	-368
November	1 240	305	0,898	-935	-840
Desember	1 400	153	0,898	-1 248	-1 120
<b>Totalt</b>	<b>13 230</b>	<b>13 407</b>	<b>1,004</b>	<b>177,7</b>	<b>-131,7</b>

Den tradisjonelle boligens elektrisitetsforbruk er kalkulert ved hjelp av SIMIEN til 19 800 kWh/år. I 2011 lå den gjennomsnittlige elektrisitetsprisen ifølge SSB på 1,004 kr/kWh inkludert nettleie, kraftpris og avgifter, og denne tas dermed som utgangspunkt i videre beregning. Beregningen tar også utgangspunkt i en månedlig fastpris på 49 kr gjennom Los AS.

Figur 4.18 viser den antatte tiden for nedbetaling av nullhusets merkostnad.



Figur 4.18: Nedbetalingstid for merkostnad

Her er det antatt at elektrisitetsprisen forblir uendret i årene framover, noe som ikke vil være tilfelle. Ifølge IEA vil elektrisitetsprisen stige noe i tiden framover, noe som er ytterligere fordelaktig for nullhuset og nedbetalingstiden. Da det er usikkert hvor mye elektrisitetsprisen vil endre seg, antas en elektrisitetspris på 1 kr/kWh for det tradisjonelle huset. I tillegg vil prisen utjevne seg en del når en tar hensyn til at prisen vil være den samme for begge husene.

Siden nullhuset ikke har høy nok elektrisitetsproduksjon, er det ikke kvalifisert for elsertifikater.

Dermed vil dette ikke spille inn på husets nedbetalingstid.

Som Figur 4.18 viser, vil merkostnaden for et slik nullhus kunne være nedbetalt i løpet av omtrent 24 år. Dette er noen år før levetiden til nullhusets energisystem er over, noe som er veldig positivt.

## 4.9 Praktiske aspekter ved bygging av nullhus fra Block Watne

Ved husbygging er det generelt en del praktisk som må tas hensyn til. I tillegg er det noen spesielle aspekter man må ta hensyn til ved bygging av nullhus. Dette gjelder for eksempel plassering av huset på tomta. Et nullhus må plasseres i riktig vinkel i forhold til området solforhold. Før bygging må man derfor vurdere om huset kan plasseres optimalt med tanke på tomtens utforming, samt omkringliggende boliger, fjell og trær.

For det første kan omkringliggende boliger, fjell og trær føre til skygge på solcellepanelene og solfangermodulene på tak og vegg. Dette kan føre til betydelige effekttap, som beskrevet i Seksjon 2.2.4. I tillegg er det ikke gitt at kommunen godtar at huset plasseres slik husbygger ønsker. Dette kan for eksempel være på grunn av at området er tilrettelagt for at boligen må plasseres i samme vinkel som de omkringliggende boligene. Dermed kan det være vanskelig å få dispensasjon dersom omkringliggende boliger er plassert i en annen retning enn ønskelig.

Et annet viktig aspekt ved bygging av nullhus, er om det finnes ferdigtegnede hus med ønskede spesifikasjoner. Dersom dette ikke er tilfelle, må huset arkitekttegnes og dette fører til betydelig økte kostnader.

Andre praktiske aspekter ved bygging av nullhus er terreng og grunnforhold på hustomta. Dersom terrenget er utfordrende, kan det føre til høye kostnader for grunnarbeid. Hustomta er også avgjørende for plasseringen av huset, valg av hustype og tilrettelegging av infrastruktur, som vei, vann og kloakk. Høyere kostnader for dette kan måtte påregnes dersom atkomst og infrastruktur gir økte utfordringer. Sol- og vindforhold er også svært avgjørende for bygging av nullhus.

Videre er det svært viktig at husbyggingen ikke motstrider en eventuell byggeklausul. Dersom det er byggeklausul på tomten, innebærer det at man forplikter seg til å bygge hus fra en spesiell husleverandør, og byggearbeidet på tomten må utføres av en spesifikk entreprenør. Siden det ikke finnes mange ferdigtegnede passivhus, bør man dermed ikke kjøpe hustomt med byggeklausul. Dersom tomten er begrenset av byggeklausul, er man nødt til å kjøpe seg fri, noe som kan føre til høyere kostnader.

### 4.9.1 Planleggings- og byggeprosess

Før man i det hele tatt kan begynne å bygge, er det en del praktiske aspekter som må vurderes og godkjennes av kommunen. Det første man må gjøre er å motta et kart fra kommunen. Dette inneholder tomtegrensene, veier og annen bebyggelse. I tillegg må husbygger ha et målebrev som viser grensene for grunneiendommen. Målebrevet inneholder både en tekstdel og en kartdel, og gir nøyaktig beliggenhet og grenser for grunneiendom eller festegrund.

Husbygger må deretter utføre en behovsanalyse som baserer seg på husbyggers arealbehov, kostnadsramme og husvalg. Kostnadsrammen beregnes oftest ut fra hvor stort huslån man kan få fra

banken. Husbygger bør etter behovsanalysen velge hus og motta hustegninger fra byggefirma.

Deretter er det viktig at husbygger ser gjennom reguleringsplanen for tomta. Denne viser formålet den enkelte tomten kan benyttes til. Tomten kan for eksempel være regulert som friområde, trafikkområde, fellesområde eller lignende. Dersom byggingen er i strid med reguleringsplanen, må det dermed søkes om dispensasjon eller reguleringsendring. Dette kan forlenge behandlingstiden betraktelig.

Før innsending av byggesøknad, må husbygger sende ut nabovarsel. Dette varselet gir naboer mulighet til å uttale seg om tiltaket, og dersom det er seriøse innvendinger mot bygging, tas dette med i byggesøknaden. Naboene har en frist på 2 uker til å komme med merknader. I byggesøknaden skal det også vedlegges en situasjonsplan som viser plasseringen av huset på tomta. Planen skal vise tiltakets plassering med eksakte, utvendige mål, samt forslag til høyde på grunnmur.

Etter at disse opplysningene er anskaffet, sendes byggesøknad inn til kommunen. Kommunen er forpliktet å behandle søknaden innen 12 uker dersom søknaden er fullstendig og uten merknader fra naboer. Dersom kommunen gir byggetillatelse, har naboer eller andre med rettslig klageinteresse klage innen 3 uker. Dersom kommunen ikke endrer vedtak, blir klagen sendt til fylkesmannen.

Etter byggetillatelse mottar husbygger tilbud fra byggefirma, og undertegner kontrakt. Deretter mottar husbygger et skjøte på hustomten. Dette er en kontrakt som inneholder eiendommens betegnelse, selgers og kjøpers navn, kjøpesum, underskrifter og eventuelle rettigheter, heftelser og forpliktelser. Etter at skjøtet er underskrevet, skal tiltaket tinglyses, og husbyggeren kan begynne å bygge.

## Kapittel 5

# Nettmessige konsekvenser ved distribuert utbygging

En større distribuert utbygging vil være svært positivt for miljøet, men det kan også føre med seg en del nettmessige konsekvenser. Dersom interessen blir stor for energieffektive boliger og installasjon av lokal energiproduksjon, må nettet være i stand til å motta og distribuere denne elektrisiteten uten å kollapse. Som nevnt tidligere er netteier pliktet til å ta imot elektrisitet fra lokal energiproduksjon, men dersom svært mange velger å produsere lokal energi, kan det medføre langsiktige utfordringer for netteier.

Dette kapitlet belyser noen av de nettmessige utfordringene som følger med en større distribuert utbygging, og til slutt presenteres noen av alternativene som finnes for å løse utfordringene.

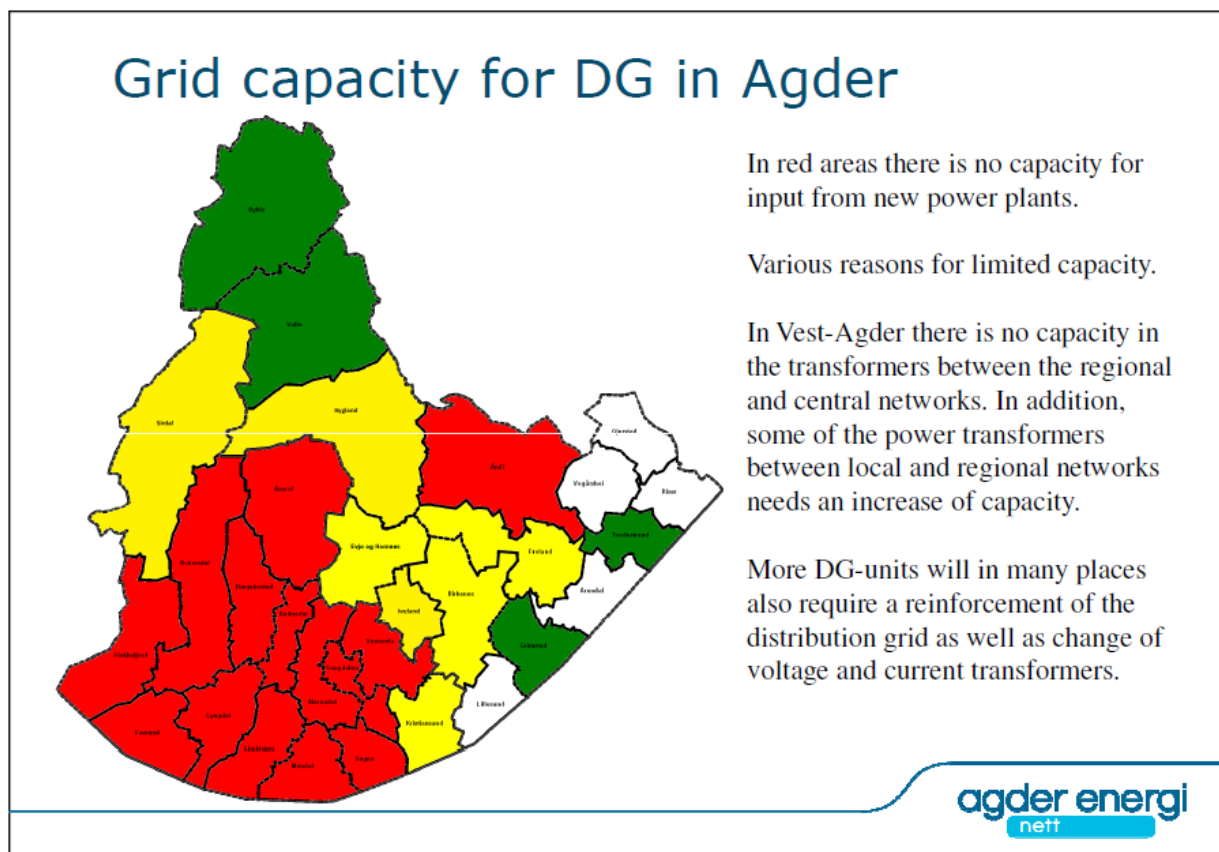
### 5.1 Dagens nett

Utfordringene kommer hovedsakelig som følge av utformingen av elektrisitetsnettet. Dagens elektrisitetsnett ble designet for enveiskommunikasjon av elektrisitet og kommunikasjon mellom netteier og sluttbruker. Fram til nå har dette vært tilstrekkelig, men med et økende antall distribuerte produksjonsanlegg, står netteierne nå ovenfor en utfordring. Dette gjør at vi nå må forsterke eller ombygge nettet, slik at det kan tåle den elektrisitetsflyten som følger med en slik utbygging.

#### 5.1.1 Tilgjengelig nettkapasitet i Agder-området

Før utfordringer og aktuelle løsninger presenteres, kan det være greit å illustrere hvordan kapasiteten i nettet ser ut i Agder-området per dags dato. Dette kan gi et innblikk i hvor store utfordringer netteier kan komme til å møte i tiden framover. Siden Agder Energi er den aktuelle netteieren i området hvor huset tenkes bygd, benytter jeg her en grafisk framstilling lagd av Agder Energi. Figur 5.1 viser hvor det fortsatt er ledig kapasitet, hvor kapasiteten er begrenset og hvor det ikke lengre er kapasitet uten videre nettutbygging. Dette markeres på kartet med henholdsvis grønt, gult og rødt.





Figur 5.1: Kapasitet for lokal energiproduksjon i Agder (Kilde: Agder Energi nett)

Som vi ser ut fra figuren er er svært lite kapasitet i store deler av fylket. Et unntak er blant annet Grimstad kommune, der det foreløpig er ledig kapasitet. Uansett er det tydelig at det behøves en del utbygging eller forsterkning av nettet i Agder-fylkene.

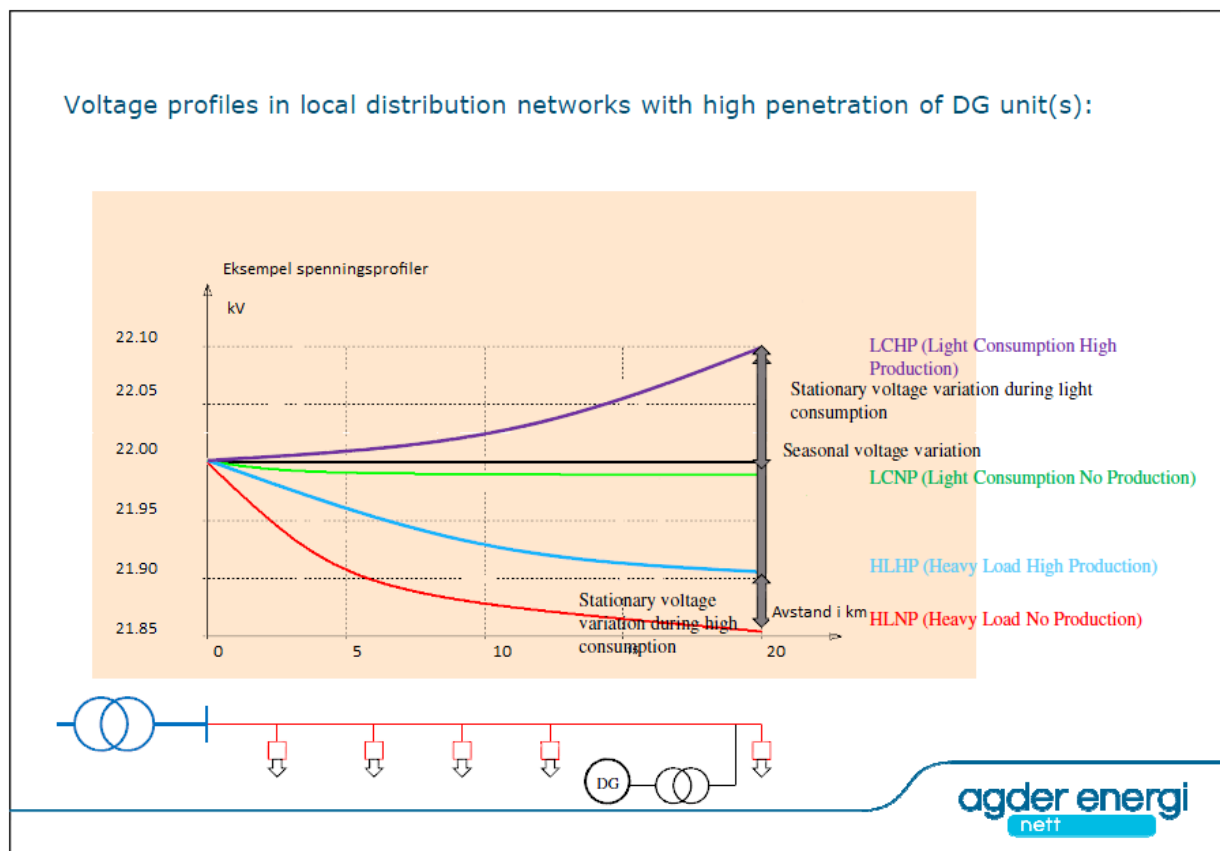
Det er varierende grunner til den begrensede kapasiteten. I Vest-Agder er det ingen ledig kapasitet i transformatorer mellom regional- og sentralnettet. I tillegg behøver noen av transformatorene mellom lokal- og regionalnettet en kapasitetsøkning.

En annen spennende illustrasjon knyttet til nettmessige konsekvenser ved distribuert utbygging, er vist i Figur 5.2. Her kan man se spenningsvariasjonen i nettet ved flere ulike produksjons- og lastsituasjoner. Med spenning på y-aksen og avstand langs kraftlinjen på x-aksen, kan man i figuren se spenningsvariasjonen i de ulike situasjonene.

Som en kan se vil en kombinasjon av lett forbruk og ingen produksjon gi en nær upåvirket spenning langs kraftlinjen. Ved lett forbruk og høy produksjon ser man derimot en betydelig spenningsvariasjon, der spenningen blir høyere desto lengre avstanden blir. Det motsatte skjer ved situasjoner med høyt forbruk og høy produksjon og situasjoner med høyt forbruk og ingen produksjon. Her faller spenningen betraktelig desto lengre man kommer ut på linjen.

Siden kravene til spenningskvalitet må opprettholdes, kan høy penetrasjon av DG-enheter bli en utfordring. Grunnen til at lokal energiproduksjon kan medføre utfordringer, er blant annet den ukontrollerbare produksjonsprosessen som medfølger mange av de fornybare energikildene. Dette innebærer for eksempel at solceller og vindmøller produserer energi når forholdene ligger til rette

for det, og ikke når det er størst behov for elektrisitet. Dette gjør at forholdet mellom produksjon og forbruk ikke stemmer overens, noe som gir spenningsvariasjoner.



Figur 5.2: Spenningsvariasjon i lokale elektrisitetsnett med høy penetrasjon av DG-enheter (Kilde: Agder Energi nett)

## 5.2 utfordringer og aktuelle løsninger

Noen av utfordringene når man kobler til fornybare energikilder, er å opprettholde spenningskvalitet, redusere kortslutningsstrøm og håndtere uønsket øydrift. I tillegg til en ren utbygging og forsterkning av nettet, er en av løsningene å innføre elektrisitetsnett som kan håndtere toveiskommunikasjon av elektrisitet og kommunikasjon. Et slikt nett kan kalles et Smart Grid eller smart nett på norsk. Begge løsningene vil medføre en del økonomiske utgifter, som i praksis må betales av sluttbruker.

I Norge vil det i første omgang være tilstrekkelig med en forsterkning av det eksisterende nettet. En del av konseptet Smart Grid vil uansett være aktuelt, noe som allerede er presentert i form av avanserte måle- og styringssystemer (AMS). De neste seksjonene vil presentere Statnetts nettutviklingsplan for Sørlandet i korte hovedtrekk, samt en kortfattet presentasjon av begrepet Smart Grid.

### 5.2.1 Nettutviklingsplan for Sørlandet

Statnett utarbeider årlig en nettutviklingsplan for kraftnettet i Norge. Denne beskriver hvilke investeringer som planlegges å utføres i de ulike delene av Norge de neste 15 årene. I denne planen beskrives det at hovedutfordringene for kraftsystemet på Sørlandet er forsyningssikkerheten vest- og østover i landet, tilknytning av ny fornybar energiproduksjon, nye utenlandsforbindelser, driftsutfordringer under spenningsoppgradering og transformator kapasitet mot regionalnettet [31].

Det planlegges en del ny fornybar produksjon på Sørlandet i årene som kommer [31]. På grunn av de gode vindforholdene på Sørlandet, er det godt tilrettelagt for lokalisering av ny vindkraftproduksjon [31]. I tillegg er det ventet at det vil bli installert en del installasjoner i småkraft [31].

På Sørlandet vil nettet hovedsakelig behøve en spenningsøkning på eksisterende nett fra 300 kV til 420 kV [31]. Dette vil øke forsyningssikkerheten og kapasiteten i området, og sikrer gode forbindelser mellom Østlandet, Sørlandet og Vestlandet. Det foreligger også planer om økt transformator kapasitet i eksisterende stasjoner. Økt transformator kapasitet i Agderfylkene vil føre til økt forsyningssikkerhet til Kristiansand [31].

### 5.2.2 Smart Grid

Det er mange ulike definisjoner på begrepet Smart Grid. En av definisjonene kan være som følger: ”Smart Grid er et nettverk som tillater toveiskommunikasjon mellom elektrisitetsnettet og dets kunder, med økt pålitelighet og minimale nettverkstap”.

Smart Grid er ikke en spesifikk teknologi, men et samlebegrep på en gruppe konsepter knyttet til et mer moderne kraftnett som benytter seg av digital teknologi [28]. Tanken bak Smart Grid er at det skal bidra til å utvikle et mer intelligent og mottakelig energisystem, som er mer miljøvennlig, mer pålitelig og sikrere [28].

Et smartere nett vil kunne gi en effektiv og pålitelig overføring og distribusjon, hvor endring av effektflyt vil kunne skje automatisk [28]. Med en bedre styring av balansen mellom tilbud og etterspørsel vil Smart Grid kunne bidra til å møte utfordringene knyttet til periodisk produksjon og økt etterspørsel [28]. Et slikt intelligent nett vil kunne møte økt forbruker etterspørsel uten å legge til infrastruktur, samt tilby en økt integrering av fornybar energi og lokal energiproduksjon [28].

Smart Grid muliggjør en toveis flyt av elektrisitet og informasjon. Den vil levere informasjon i sann- tid og balansere tilbud og etterspørsel på enhetsnivå [28]. Smart Grid muliggjør en mer energieffektiv husholdning. Forbrukerne trekkes aktivt inn i styringen av kraftsystemet, og den enkelte forbruker vil kunne kontrollere sitt eget forbruk [28]. Hjemmeautomatisering vil for eksempel kunne plukke opp signaler som indikerer når en kan dra nytte av de beste energiprisene [28].

Smart Grid er i dag høyt på dagsorden i Europa, og ses på som et viktig virkemiddel for å nå fornybarmålet i 2020. Dens utrulling vil starte gradvis over perioden 2010-2030 [28].

### Avanserte måle- og styringssystemer (AMS)

Smart Grid -systemet krever en oppgradering av måle- og styringssystemene knyttet til elektrisitetsnettet. Disse kalles avanserte måle- og styringssystemer (AMS) som for eksempel kan komme i form av smartmeter eller Phasor Measurement Units (PMU). Slike smarte målere vil bli en av de mest synlige endringene folk vil komme til å se som en del av Smart Grid. Graden av smartheit til en måler er knyttet til mengden av kommunikasjon som er brukt, omfanget av målingene, detaljnivået, og dens evne til å gi informasjon lokalt til forbrukeren [28].

Økt informasjon fra forbrukerne er viktig for en smart drift av kraftsystemet, og vil gjøre det mye lettere for nettselskapene å spore leveringskvaliteten hos den enkelte forbruker [28]. AMS muliggjør også at nettselskapene kan fjernstyre og begrense effektuttakene på forbrukernivå [28]. Forbrukerne på sin side vil få økt informasjon om priser og eget forbruk, og det vil bli lettere å bytte strømleverandør [28].

Ifølge Olje- og energidepartementet (OED) skal AMS være på plass innen utgangen av 2016 i Norge. Innføringen av AMS vil være en tidkrevende og kostbar prosess [28]. Alle de gamle målerne må erstattes med målere basert på moderne teknologiske løsninger [28].

#### Smartmeter

Smart meter er et mer avansert målesystem enn tradisjonelle målere. En slik måler vil gi informasjon om energiforbruket til kunden slik at han kan holde kontroll over energiforbruket. Kunden mottar også informasjon om elektrisitetskostnader gjennom døgnet. Målerne er programmert til bare å fakturere den energien som kunden trekker fra elektrisitetsnettet, mens forbruket av egenprodusert elektrisitet ikke blir fakturert [30].

Netteier har også fordeler med et slikt målesystem, fordi målerne gir informasjon om spenningsverdier, fasevinkler og frekvens [30]. Netteier kan dermed kontrollere lastfaktor, topplastbehov og derfra utvikle prisstrategier [30].

Et slikt system inkluderer et smartmeter, kommunikasjonsinfrastruktur og kontrollenheter. Systemet anvender utstyr og sensorer for å identifisere parametre og for å overføre opplysninger og kontrollsignaler. Systemet kan kommunisere med andre systemer i rekkevidde, og det kan samle diagnostisk informasjon om elektrisitetsnettet og husholdningsapparater [30]. Systemet kan også programmeres til å lage en driftsplan for husholdningsapparater på kundens betingelser og ønsker, slik at apparatene drives ved de mest prisvennlige tidene på døgnet [30].

#### Phasor measurement units

En Phasor Measurement Unit (PMU) er en enhet som kan måle elektriske bølger i elektrisitetsnettet ved bruk av tidssynkronisering [29]. Enheten gir netteier et øyeblikksbilde av elektrisitetsnettet, som kan gi målinger ved ulike punkt i kraftsystemet [29]. Dette gir et visuelt bilde av de eksakte vinkeldifferansene flere steder i distribusjonsnettet [29]. Innføring av slike måleenheter vil forbedre elektrisitetsnettet og øke mulighetene for lokal energiproduksjon.

# Kapittel 6

## Resultater

I påfølgende delkapitler oppsummeres oppgavens viktigste resultater. Resultatene er hovedsakelig hentet fra oppgavens casestudie, men den viktigste informasjonen fra kapittel 2 og 3 er også tatt med.

### 6.1 Energieffektive boliger

Interessen for energieffektive boliger har økt de siste årene. I årene som kommer vil det sannsynligvis innføres krav om at alle nybygg skal oppfylle kravene for passivhusstandard. EU-parlamentet har allerede foreslått at plusshusstandard skal være et krav for nybygg innen 2019 [1].

Energieffektive boliger deles inn i flere kategorier, klassifisert etter oppvarmingsbehov samt hvilke tiltak som iverksettes for å redusere energibehovet. I alle energieffektive boliger fører tiltak som økt isolasjonstykkelse og godt isolerte vinduer til lavere energibehov enn for tradisjonelle boliger.

Innenfor energieffektive boliger stilles det lavest krav til lavenergihus. Her innføres tiltak som økt isolasjonstykkelse, godt isolerte vinduer, bruk av energieffektive apparater og store vinduer rettet mot sør. Slike tiltak fører til at energibehovet reduseres fra omlag 160 kWh/m<sup>2</sup> til 100 kWh/m<sup>2</sup> [2].

Passivhus har normalt et energibehov tilsvarende 25 % av energibehovet til en tradisjonell bolig [4]. Et passivhus har gjennomført de samme tiltakene som for en lavenergi bolig, men kravene til energibehov er strengere. Det årlige energibehovet i et passivhus skal ikke overstige 15 kWh/m<sup>2</sup> for romoppvarming, og det maksimale effektbehovet må ikke overstige 10 W/m<sup>2</sup> [4]. Et av de viktigste tiltakene i et passivhus er god tetting av bygningskropp, samt god isolasjon. På grunn av den tette bygningskroppen, kan innklimaet i et passivhus bli dårlig, og tørr luft kan være et problem.

I et aktivhus har man benyttet mange av de samme konseptene som for passivhus. Den store forskjellen ligger i innklimaet, som er bedre i et aktivhus. Dette kommer av at et aktivhus har et automatisk kontrollert ventilasjonssystem som drar inn frisk luft når det er behov. Selv om innklimaet er bedre i et aktivhus, fører den mindre tette bygningskroppen til at det ikke blir like godt isolert som et passivhus.

Et nullhus er i hovedsak et lavenergihus, passivhus eller aktivhus der energibehovet dekkes av

lokal produsert energi. Kravet for et nullhus er at det ved passive eller aktive tiltak skal få det totale energiregnskapet til å gå i null gjennom året. Det må dermed produseres energi fra for eksempel solceller, vindmøller, solfangere, jordvarme eller bioenergi. En slik bolig vil til tider ha overskudd av egenprodusert elektrisitet. Denne overskuddsenergien mates inn i elektrisitetsnettet. Ved høyere forbruk enn produksjon kjøpes elektrisiteten fra nettselskapet. Eieren av en slik bolig får dispensasjon fra enkelte krav i dagens forskrifter, og kan bli en såkalt plusskunde.

Et plusshus er svært likt et nullhus, men har et større krav til energiproduksjon. I et slikt hus skal ikke energiregnskapet bare gå i null, det skal også produseres et overskudd av elektrisitet. Overskuddsenergien mates inn på elektrisitetsnettet. Siden en slik energiproduksjon ikke oppfyller kravene til plusskundeordningen, er det satt strengere krav og konsesjonsplikt til slike anlegg.

## 6.2 Kriterier for passivhus og lavenergihus

Kravene for passivhus og lavenergihus er fastsatt i NS3700. Standarden ble utgitt i april 2010, og bygger på den tyske passivhusstandarden. Denne standarden angir tre nivåer av energieffektive boliger; passivhus, lavenergihus klasse 1 og lavenergihus klasse 2. Standarden gir eksakte verdier for blant annet varmetap, U-verdier, kuldebroverdi, ventilasjonsanlegg, lekkasjetall og varmetilskudd.

## 6.3 Tekniske krav

Kravene til et fornybart produksjonsanlegg beskrives i "Forskrift om elektriske lavspenningssystemer" som trådte i kraft 1.januar 1999. Det stilles ekstra store krav til vekselrettere i slike anlegg. Dette er på grunn av sikkerhet, EMC og vern. Som vern mot ulykker og skader ved utilsiktet øydrift, må alle vekselrettere ha anti-øydriftsbeskyttelse.

Vekselrettere er ikke alltid utstyrt med transformator. Det stilles større krav til transformatorløse vekselrettere, og disse er i stedet utstyrt med jordfeilbrytere. En RCMU oppdager overflødig strøm, og ved feildetektering frakobles vekselretteren fra lavspenningssystemet.

Kravene for tilknytning av lokale produksjonsanlegg settes idag av netteier. Skriftlig søknad om tilknytning må sendes, og netteier kan beslutte at det skal betales tilknytningsgebyr og anleggsbidrag. Netteier skal installere, drifte og eie måleren, og skal også dekke kostnadene knyttet til dette. Netteier setter krav til spenningskvalitet, vern og vekselretter, og dersom innmatingskunden ikke overholder kravene kan avtaleforholdet sies opp med skriftlig varsel.

## 6.4 Nettregime

I Norge fastsettes inntekstrammene for nettsekskapene av Norges vassdrags- og energidirektorat. Dette kommer fram i den såkalte energiloven som trådte i kraft 1.januar 1991. I følge energiloven er alle nettkonsesjonærer pliktet til å gi tilgang til elektrisitetsnettet til de som ber om det. NVE fastsetter regler for tariffing, mens nettselskapene kalkulerer og innkrever tariffer i det området de eier.

Før tilknytning gis må det utføres en vurdering på om tilknytningen er driftsmessig forsvarlig,

noe som innebærer at leveringskvaliteten i nettet ikke må svekkes av tilknytningen. Dersom kunden ikke godtar eventuelle anleggsbidrag, gjelder ikke tilknytningsplikten. Anleggsbidraget skal dekke eventuelle oppgraderinger eller utbygginger som nettselskapet må gjøre ved tilknytning.

## 6.5 Insentiver og støtteordninger

Det er ikke mange støtteordninger for fornybar energiproduksjon i Norge, men noen former for støtte finnes. I Norge er det Enova som har ansvaret med å gi økonomisk støtte til utbygging av fornybar energi. Enova gir tilskudd til utstyr i privatboliger med 20 % av dokumentert kostnad, eller inntil 4 000 kr for varmestyringssystemer og pellets-kamin og inntil 10 000 kr for solfanger, luft/vann-varmepumpe, væske/vann-varmepumpe og pelletskjel. I tillegg gir Enova tilskudd til bygging eller rehabilitering av passivhus og lavenergibolig.

I tillegg til støtte fra Enova, tilbyr Husbanken grunnlån til blant annet bygging av ny bolig eller forberdning av eksisterende boliger. Dersom boligen tilfredsstiller kravene gitt i "Veileder til Husbankens grunnlån", kan det gis grunnlån på inntil 80 % av prosjektkostnadene, eller inntil 100 % ved forbedring av eksisterende bygg.

## 6.6 Casestudie

I casestudiet har både tekniske og økonomiske aspekter lagt grunnlaget for hva slags systemoppsett boligen skal ha. Et passivhus fra Block Watne har blitt valgt som utgangspunkt, og de installerte energikildene gir boligen nullhus-standard. Boligens energiforbruk har lagt grunnlaget for systemdimensjoneringen av husets energiforsyning. Dette har blitt gjort i det databaserte simuleringssystemet SIMIEN. Videre har livssyklus kostnadsanalyser (LCC-analyser) blitt utført både for de ulike energikildene og for tre ulike systemvalg. Disse analysene har lagt grunnlaget for boligens systemoppsett. Videre har det blitt satt opp en omtrentlig kostnad for nullhuset, inkludert byggekostnader, energikilder og økonomisk støtte.

### 6.6.1 Energiforbruk i boligen

For å simulere boligens energiforbruk har simuleringssystemet SIMIEN blitt benyttet. Her har alle husets verdier, som arealer, u-verdier, varmetapstall, kuldebroverdi o.l. blitt lagt inn. Simuleringen har gitt resultater for oppvarmingsbehov og elektrisitetsbehov i boligen. Boligens har i følge simuleringen et årlig oppvarmingsbehov på 8 120 kWh per år. Elektrisitetsforbruket til boligen er estimert til 4 927 kWh/år, basert på simulering i SIMIEN samt estimasjon på grunnlag av tenkelig bruksmønster og husholdningsapparatenes elektrisitetsforbruk.

En evaluering mot NS3700-standard viser at boligen ikke tilfredsstiller alle kravene til passivhus, mens den er godt innenfor kravene til lavenergiboliger. Grunnen til at boligen ikke oppfyller kravene til passivhusstandard, er at det har litt for høyt oppvarmingsbehov. Det oppnår derimot energimerke A i energimerkesimuleringen.

### 6.6.2 Valg av energikilder

Ved valg av energikilder har de økonomiske aspektene stått sentralt. Det er blitt utført LCC-analyser som tar for seg alle installasjonskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader gjennom systemenes levetid. På grunn av ulik systemlevetid for de ulike energikildene, har en årlig livssyklus-kostnad blitt beregnet, slik at kostnadene lettere kan sammenlignes.

De 5 LCC-analysene gir relativt store økonomiske forskjeller, og det har dermed vært relativt åpenbart hvilket systemvalg som er det mest økonomiske. Tabell 6.1 viser en oppsummering av livssyklus-kostnadene for de 5 vurderte energikildene.

Tabell 6.1: Livssyklus kostnadsanalyser for vurderte energikilder

Energikilde	LCC	Årlig LCC	Nedbetalingstid	Energikostnad
Vindmøllesystem	375 971 kr	15 039 kr	62,7 år	2,51 kr/kWh
Solcelleanlegg	167 004 kr	6 680 kr	33,0 år	1,32 kr/kWh
Jordvarmepumpesystem	95 902 kr	4 795 kr	11,8 år	0,59 kr/kWh
Luft/vann-varmep.	128 042 kr	8 536 kr	15,8 år	1,05 kr/kWh
Solfangeranlegg	77 444 kr	2 582 kr	9,2 år	0,31 kr/kWh

Som en ser ut fra kostnadsanalysene har de to valgte energikildene, solceller og solfangere, en relativt mye lavere livssyklus-kostnad. I tillegg er nedbetalingstiden og energikostnaden til disse energikildene relativt mye lavere enn for de andre energikildene.

### 6.6.3 Systemvalg

Etter at LCC-analysene for de vurderte systemene var utført, var det enkelt å se at et system med solceller og solfangere ville være det mest økonomiske alternativet. Siden både jordvarmepumpe og luft/vann-varmepumpe drives av elektrisitet, må denne energimengden for et nullhus komme fra ekstra monterte solceller. Dette utgjør henholdsvis installasjon av 10 og 11 solcellepaneler ekstra, i forhold til ved installasjon av system med solceller og solfangere. Kostnadene for installasjon av de ulike systemene er vist i Tabell 6.2. System 1 består av solceller og jordvarmepumpe. System 2 består av solceller og luft/vann-varmepumpe. System 3 består av solceller og solfangere.

Tabell 6.2: Livssyklus kostnadsanalyser for vurderte systemer

System	LCC	Årlig LCC	Nedbetalingstid	Energikostnad
System 1	309 721 kr	15 486 kr	20,7 år	1,03 kr/kWh
System 2	354 799 kr	17 740 kr	23,1 år	1,16 kr/kWh
System 3	254 111 kr	10 164 kr	18,9 år	0,76 kr/kWh

Som vi ser har systemet med solceller og solfangere en relativt mye lavere kostnad enn de andre alternativene. I tillegg er de praktiske aspektene en fordel i system 3. Dette er blant annet på grunn av arealbegrensningen på husets tak, som gjør at det i praksis ikke er plass til solcellepanelene i system 1 og 2. Dermed var det et enkelt systemvalg.



Uavhengig av hvilket system som velges, har en følsomhetsanalyse utført på systemene vist at energikostnaden reduseres betraktelig ved økt systemlevetid. Energiforbruket endres beskjedent ved ulike inflasjonsrenter og diskonteringsrenter, mens den naturligvis endres betydelig ved ulike investeringskostnader.

#### 6.6.4 Systemoppsett

Systemoppsettet har blitt illustrert i tegneprogrammet AutoCAD, der eksakte mål fra plantegninger har blitt benyttet. Her kommer det fram at alle solcellemodulene får plass på taket, og det er også plass til å montere 2 solcellepaneler ekstra, dersom det er ønskelig. Dette vil ikke gi noe spesielt høyere kostnad, og vil gi huset et litt mer estetisk uttrykk. I tillegg vil det kunne gi litt ekstra elektrisitet dersom elektrisitetsforbruket viser deg å være høyere enn kalkulert.

Siden solcellemodulene benytter hele det tilgjengelige takarealet, har solfangerne blitt plassert skråstilt på husveggen. Dette er ikke noe problem, så lenge huset plasseres i riktig vinkel og at solfangerne skråstilles med mest optimal vinkel. De to solfangermodulene får plass på hver sin side av de to små vinduene på husveggen, noe som gir huset et relativt estetisk bra utseende.

For å illustrere huset tredimensjonalt med vannbårent rørsystem, varmtvannstank, radiator, solceller og solfangere, har huset blitt tegnet i tegneprogrammet SketchUP. Det har blitt tegnet både snittegning og en tegning der tilkobling til distribusjonsnettets vises. I sistnevnte tegning vises plassering av solfangere, solceller, vekselretter, vannbåren varme, sikringsskap og toveis måler. Denne viser prinsippet bak overføring av elektrisitet til og fra distribusjonsnettets.

#### 6.6.5 Økonomiske aspekter ved bygging av nullhus

De utførte LCC-analysene har blitt tatt med videre i den økonomiske beregningen for bygging av passivhuset fra Block Watne. Her er prisene innhentet fra kvalifiserte fagpersoner, samt erfaringer fra undertegnede familie og bekjente. Prisene er ikke eksakte, men gir en veiledende pris for oppsett av et slikt hus. Det er utfordrende å få beregningen eksakt på grunn av geografiske prisforskjeller samt at prisene gitt av kvalifiserte fagpersoner også kun er veiledende.

Det kan uansett tenkes at et slikt hus vil kunne koste omtrent 4,7 millioner kr inkl. mva. Dette er pris for bolig, tomt, snekkerarbeid, rørleggerarbeid, elektrikerarbeid, grunnarbeid, energikilder og diverse kommunale avgifter. Prisen inneholder ikke kostnader for byggleidelse, innvendig interiør, møbler, parkett, fliser, hvitevarer, maling og lignende. Dette grunnet individuelle ønsker som er forskjellig fra husbygger til husbygger. Prisen inkluderer derimot kjøkkeninnredning, badinnredning, balansert ventilasjon, dusj, toaletter, sluker, rør, sikringsskap, stikkontakter og lignende.

En slik bolig vil i utgangspunktet være noe mer kostbar enn en tradisjonell bolig. En økonomisk beregning for en tradisjonell bolig fra Block Watne har vist at denne boligen vil kunne få en pris på ca 4,2 millioner. Dette vil si at nullhuset fra Block Watne får en pris på 487 826 kr mer enn den tradisjonelle boligen. Et nullhus vil dermed ha en del høyere kostnad, men på grunn av et svært lavt energiforbruk, samt produksjon av egen elektrisitet, vil boligen på lang sikt få en pris som konkurrerer med tradisjonelle boligpriser. Beregninger viser at prisforskjellen kan utjevnes etter omtrent 24 år, noe som omtrent er levetiden til husets energiforsyningsanlegg.

## 6.7 Nettmessige konsekvenser ved distribuert utbygging

En større distribuert utbygging vil kunne føre med seg en del nettmessige utfordringer. Dagens elektrisitetsnett er designet for enveiskommunikasjon av elektrisitet og kommunikasjon mellom netteier og sluttbruker. Ved en større distribuert utbygging vil ikke dagens elektrisitetsnett være tilstrekkelig. Kapasiteten i Agder-området er allerede begrenset, og nettutviklingsplaner viser at det må gjøres en del forsterkninger i nettet i årene som kommer.

I tillegg til en ren utbygging og forsterkning av nettet, vil det i årene som kommer også bli aktuelt å innføre avanserte måle- og styringssystemer (AMS). AMS skal i følge OED være på plass innen utgangen av 2016 i Norge. Dette innebærer at alle gamle målere må erstattes med målere basert på moderne teknologiske løsninger.

# Kapittel 7

## Diskusjon

I dette kapitlet vurderes det i hovedsak om det er tilrettelagt for bygging av energieffektive boliger i Norge. Det legges her størst vekt på de økonomiske aspektene ved bygging av slike hus, samt ressursgrunnlaget for fornybar energiproduksjon. Resultatene fra casestudiet er her sentrale.

### 7.1 Ressursgrunnlag og energiproduksjon

De fornybare energiressursene bør utnyttes langt bedre enn de gjør idag. Fornybarløftene som Norge har inngått, er ambisiøse og målene krever at vi utnytter ressursene mye bedre enn vi gjør idag. Det er også viktig at vi reduserer energiforbruket. Bygninger står idag for om lag 40 % av verdens energiforbruk, og en reduksjon av energiforbruket er derfor viktig for at Norge skal kunne oppfylle 20-20-20-målene.

Norge står allerede i en særstilling når det gjelder bruk av fornybar energi, og med en fornybarandel på omtrent 62 %, må Norge øke andelen til 67,5 % innen 2020. Størsteparten av den eksisterende fornybarandelen kommer fra vannkraft, og det produseres til sammenligning svært lite elektrisitet fra solceller og vindmøller.

Store deler av Norge er relativt godt egnet til produksjon av solkraft. Sør i landet er solinnstrålingen nesten sammenlignbar med solinnstrålingen i Danmark og Nord-Tyskland. Nord i landet gjør den kalde lufta at solcellene får høyere virkningsgrad, selv om solinnstrålingen er mer beskjeden enn i sør. Dette gjør at Norge er godt egnet for produksjon av solstrøm. Prisene for solcellemoduler er derimot en del høyere enn i resten av Europa, og færre støtteordninger fører også til at det foreløpig er dårligere tilrettelagt enn i andre europeiske land. Solceller vil produsere elektrisitet store deler av året, med dårligst produksjon i vintermånedene. Det er uheldigvis da man har mest bruk for det, men solcellepanelene vil relativt tidlig i januar begynne å produsere elektrisitet igjen. Den kalde lufta i denne perioden gjør gunstig nok at solcellepanelene får høyere virkningsgrad, noe som er positivt.

Kysten av Norge er godt egnet til energiproduksjon fra vindmøller. Det er derimot mest aktuelt å bygge store vindparker på grunn av stort arealforbruk og miljømessige utfordringer. Det er også ugunstig med vindmøller i boligfelt, både på grunn av estetikk, støy og effekttap grunnet omkringliggende bygninger, trær og fjell. For å få tilstrekkelig effekt og energiproduksjon fra vindturbiner, må vindmøllemasten være svært høy, noe som ikke egner seg i boligområder. Det er

dermed ikke spesielt vanlig å installere vindmøller for energiproduksjon til enkeltboliger. I tillegg er den høye prisen for vindturbiner et svært ugunstig aspekt, siden solceller med samme effekt kan fås til relativt mye lavere pris.

Det er svært lønnsomt å installere solfangere på boliger. Et lite areal kan være nok til å produsere nok varmtvann til både vannbåren oppvarming og til tappevann. Prisen for solfangere er idag relativt lav, noe som gjør solfangere til en god løsning. Dersom man skal ha vannbårent varmesystem, er det en stor fordel om man skal innstallere dette i en ny bolig. Dette på grunn av en relativt høy kostnad for vannbårent system i gulv. Solfangere vil produsere varmtvann store deler av året, men vil gi lite eller ingen produksjon i de kaldeste vintermånedene. Da må man heller benytte seg av elektrisitet for oppvarming av vannet. Det er likevel en energivennlig og god løsning.

Alle former for varmepumper kan være et godt alternativ til solfangere. Avhengig av tomteforhold må man da bestemme hvilken varmepumpe som er best egnet, og hvor stort energiforbruk man har. Siden en energieffektiv bolig har et relativt lavt energiforbruk, kan det være utfordrende å finne en varmepumpe som ikke er overdimensjonert. Mange jord- berg- og grunnvarmepumper produserer mer varme enn en slik bolig har behov for, og en slik løsning blir dermed ofte for kostbar. Det bør dermed utføres en dimensjonerings- og kostnadsberegning ut fra energibehov og tomteforhold.

## 7.2 Casestudie

I casestudiet er et system med solceller og solfangere både det mest økonomiske og det mest praktiske alternativet for energiforsyning i boligen. Dette kommer først og fremst av den lave prisen for solfangere, men også på grunn av det lave energiforbruket i boligen som ikke gjør varmepumpene fordelaktige.

Det lave elektrisitetsforbruket gjør også at vindmøllesystemet blir litt overdimensjonert, noe som gir en høy pris sammenlignet med prisen for solcellesystemet. Praktiske årsaker gjør også at vindmøllesystemet kan bli utfordrende og muligens umulig å installere, alt ettersom hvor huset skal plasseres.

En systempris på 254 111 kr gir en energikostnad på 0,76 kr/kWh, noe som ikke er spesielt høyt sammenlignet med prisen på elektrisitet fra nettet. Siden elektrisitetsforbruket går i null over året, vil boligen spare en del årlige utgifter, sammenlignet med en tradisjonell bolig. Følsomhetsanalysen som er utført på systemene viser også at en forlenget systemlevetid vil gi betydelig lavere energikostnad. Systemlevetiden som er tatt som utgangspunkt, er den garanterte levetiden som systemet bør ha. Det vil dermed være naturlig at systemlevetiden kan være lengre enn det som er beregnet for i LCC-analysen.

Huset som det prosjekteres for i casestudiet, har fått en pris på omtrent 4,7 millioner kr (inkl. mva). Dette er en del høyere enn det ville kostet for en tradisjonell bolig, som i en enkel beregning har fått en pris på omtrent 4,2 millioner kr. Nullhuset har dermed en merkostnad på 488 000 kr eller omtrent 11,5 %. Selv om nullhuset får en høyere pris enn en tradisjonell bolig, er huset til gjengjeld selvforsynt med egenprodusert energi. I tillegg har boligen et svært redusert energibehov, noe som på lang sikt fører til at boligen vil få relativt lik pris som en tradisjonell bolig. En rask estimasjon har beregnet at prisforskjellen mellom de to husene er nedbetalt i løpet av omtrent 24 år, som også er levetiden til det fornybare energisystemet. Dette er akseptabelt, men en vurderingssak for husbygger.

### 7.3 Nettmessige konsekvenser

Per idag er netteier pliktet til å ta imot overskuddsstrøm fra kunder, men netteier er derimot ikke pliktet til å behandle kunder som plusskunder eller å betale for elektrisiteten som mates inn i nettet. Mange netteiere velger uansett å behandle kundene som plusskunder.

Dersom det i årene som kommer skjer en økt distribuert utbygging, vil dette medføre en del nettmessige konsekvenser. Dagens elektrisitetsnett må da forsterkes, noe kundene må betale for gjennom anleggsbidrag. Dette vil uansett komme til å skje i tiden som kommer, noe som er utredet for i Statnetts nettutviklingsplan. OED beregner dessuten at AMS vil være installert i løpet av utgangen av 2016 i Norge. Dette vil gi et smartere nett med bedre forutsetninger for energisparing og innmating av energi til nettet.

### 7.4 Tilrettelagt for bygging av energieffektive boliger?

Det framkommer i casestudiet at det er relativt godt tilrettelagt for bygging av energieffektive boliger i Norge. Selv om energikildene er en del mer kostbare enn i andre europeiske land, samt at det er færre støtteordninger i Norge, er det et marked for dette i Norge også. Boligen blir en del mer kostbar enn en tradisjonell bolig, men prisforskjellen vil på lang sikt utjevne seg. Siden nettselskapene er pliktet til å ta imot overskuddsenergi fra plusskunder, vil også huseieren kunne tjene på dette på lang sikt dersom netteier godtar en plusskundeordning for kunden. I tillegg er selvfølgelig de miljømessige fordelene et svært viktig aspekt.

# Kapittel 8

## Konklusjon

I dette kapittelet fremlegges en konklusjon basert på oppgavens problemstilling, resultat og diskusjon. I tillegg presenteres forslag til fremtidig arbeid.

### 8.1 Bakgrunn

Denne oppgaven har tatt for seg de tekniske og økonomiske aspektene som finnes ved bygging av energieffektive boliger og dimensjonering av energisystem i boliger. Rapporten har utviklet seg til å bli en slags veileder som kan benyttes ved bygging av en slik bolig, samt ved valg og dimensjonering av energiforsyning i boliger. De økonomiske aspektene ved bygging av energieffektive boliger og installasjon av fornybare energikilder har stått sentralt. I tillegg har oppgaven presentert krav som stilles ved bygging av en slik bolig, krav til installasjon av lokale energikilder, samt hvilke støtteordninger knyttet til dette som finnes i Norge.

### 8.2 Casestudie

I oppgavens casestudie har et passivhus fra Block Watne blitt valgt som utgangspunkt. Lokalt installerte energikilder gir huset nullhusstandard, det vil si at husets årlige energibehov dekkes av egenprodusert energi. Husets energibehov har blitt estimert ved hjelp av simuleringsprogrammet SIMIEN, som både har gitt oppvarmingsbehovet og elektrisitetsbehovet for boligen. Dette har lagt til grunn ved dimensjonering av boligens energiforsyning.

Systemoppsettet har blitt valgt på grunnlag av livssyklus kostnadsanalyser, der 5 ulike energikilder har blitt vurdert. De vurderte energikildene er vindmølle, solceller, luft/vann-varmepumpe, jordvarmepumpe og solfangere. Ut fra priser mottatt fra ulike aktører, har det helt klart framkommet at et system med solceller og solfangere er det mest kostnadsvennlige alternativet. De tre systemoppsettene i casestudiet har gitt systempriser på 254 111 kr, 310 366 kr og 355 515 kr.

Følsomhetsanalysene som er utført på systemene viser at energikostnaden vil endres betydelig ved forlenget systemlevetid. De beregnede energikostnadene er forutsatt at systemlevetiden ikke overgår den garanterte levetiden, men det er ikke uvanlig at systemene har lengre levetid enn garantert. Dermed kan energikostnaden bli ytterligere redusert i forhold til den beregnede energikostnaden

på 0,76 kr/kWh. I tillegg til at levetiden ofte overgår garantert levetid, er det antatt at solcellemoduler vil øke levetiden fra dagens 25-35 år til 35-40 år innen 2020. Samtidig er det antatt en prisreduksjon på omtrent 56 % mellom 2008-2020 og 33 % mellom 2020-2030, noe som vil gi store utslag på energikostnaden.

Med priser mottatt fra byggebransjen, Block Watne, samt ulike andre aktører, har en veiledende pris for et nullhus blitt utarbeidet. Selv om denne prisen ikke er eksakt, kan den tenkes å være tilstrekkelig, i og med at det alltid vil være individuelle forskjeller fra prosjekt til prosjekt. Huset har fått en estimert pris på 4,7 millioner kr. Dette er noe høyere enn prisen for en tradisjonell bolig, som i oppgaven har fått en pris på omtrent 4,2 millioner kr. Prisen for et nullhus er dermed drøyt 488 000 kr høyere enn prisen for en tradisjonell bolig, men til gjengjeld vil det lave energibehovet, samt egenproduksjon av energi, føre til at prisene på lang sikt vil kunne konkurrere. Det er estimert at det vil ta omtrent 24 år før prisforskjellene utjevner seg.

### 8.3 Nettmessige konsekvenser

En større distribuert utbygging vil medføre en del nettmessige konsekvenser. Elektrisitetsnettet har per idag kapasitetsbegrensninger, noe som gjør at nettet må forsterkes i takt med antallet installerte systemer. En forsterkning av nettet vil være nødvendig i store deler av Agder i tiden som kommer, samtidig som utrulling av AMS vil være nødvendig for at en plusskundeordning skal kunne være aktuell. Netteier er per idag pliktet til å ta imot overskuddsenergi, men ikke pliktet til å betale for mottatt energi.

### 8.4 Marked for energieffektive boliger i Norge?

Det er et godt ressursgrunnlag for fornybar energiproduksjon i Norge. Prisene for solceller er per idag fortsatt litt høye, men med den prisreduksjonen som er forventet i årene som kommer, vil prisen for solkraft kunne konkurrere med elektrisitetsprisen fra nettet. Med en nedbetalingstid på 18,9 år og en energikostnad på 0,76 kr/kWh for et system med solceller og solfangere, vil nettparitet kunne være mulig å oppnå i løpet av noen år. Energieffektive boliger har litt høyere pris enn tradisjonelle boliger, men til gjengjeld fører det lave energibehovet og egenprodusert energi til at slike boliger kan være et konkurransedyktig alternativ. Med prisreduksjonen for fornybare energikilder som ventes i tiden fremover, vil nok interessen for energieffektive boliger og lokal energiproduksjon øke.

### 8.5 Fremtidig arbeid

Det kunne vært interessant å utforske nærmere hvilke nettmessige utfordringer og kapasitetsbegrensninger som gjelder for Agder-området. I tillegg kan det innvendige systemoppsettet med fordel presenteres nærmere, noe som ikke er spesielt fremtredende i oppgaven. En mer detaljert beregning på tilbakebetalingstid, avskrivningstid og inntjeningsstid for et slikt hus, sammenlignet med en tradisjonell bolig, kunne også vært interessant å studere nærmere.

# Bibliografi

- [1] Kaja Nordby, "Plusshus", Zero-rapport, Zero Emission Resource Organisation, 15.01.2013
- [2] "Lavenergihus", Sintef, 15.01.2013
- [3] Støtteprogram, enova.no/finansiering, Enova, 05.02.2013
- [4] "Fremtidens bygg - lavenergihus, passivhus og plusshus", Energiråd innlandet, 15.01.2013
- [5] "Energieffektive passivhus kan bli standard raskare", Kommunal- og regionaldepartementet, 15.01.2013
- [6] "Veileder til Husbankens grunnlån", Husbanken, 05.02.2013
- [7] S. Gunvaldsen, T. Gunvaldsen, T. Skomedal, L. Aasen, "Solcelleanlegg på hus - Tekniske og økonomiske aspekter"
- [8] Sintef/NTNU, "ENØK i bygninger - Effektiv energibruk", 2007
- [9] J. Twidell & T. Weir, "Renewable energy resources", 2nd edition, Taylor and Francis
- [10] Rolf Disch SolarArchitektur, "Heliotrop - The experience of living rotating completely around the sun", 15.01.2013
- [11] Rolf Disch SolarArchitektur, <http://www.rolfdisch.de/index.php?p=home&pid=78&L=1#a566>, 15.01.2013
- [12] Green Rhino Energy, PV cells & modules, 11.02.2013
- [13] "Plusskundeordningen", Askøy Energi AS, 15.01.2013
- [14] "Framtidens Aktivhus", Framtidens Aktivhus AS, 14.02.2013
- [15] "Varmepumper", ENØK-senteret, 14.02.2013
- [16] "Heat pump", Wikipedia, 14.02.2013
- [17] Vindenergi, Fornybar.no, 15.02.2013
- [18] Vannbåren varme, Huseiernes landsforbund, 15.02.2013
- [19] T.H. Dokka, T. Wigenstad, "Faktor 4 boliger", SINTEF Byggforsk, 2006
- [20] S. F. Holberg, T. Gunvaldsen, S. Gunvaldsen, L. Aasen, "Termografering, energisimulering og analyse av Frikirken i Grimstad"
- [21] Norges vassdrags- og energidirektorat, Energimerking, Energimerking.no, 27.02.2013



- [22] "Energimerking av bolig", Norges takseringsforbund, 27.02.2013
- [23] T. Persson, M. Rönnelid, "Increasing solar gains by using hot water to heat dishwashers and washing machines", ScienceDirect, Elsevier, 28.02.2013
- [24] "Vindkraftens historie", Vindportalen, Norwea/EnergiNorge, 01.03.2013
- [25] Standard Norge, NS3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger
- [26] Lovdata, FOR 1998-11-06 nr. 1060: Forskrift om elektriske lavspenningsanlegg
- [27] Agder Energi, Tekniske funksjonskrav for lavspent tilknytning av solcelle-anlegg
- [28] L. Aasen, Smart Grid
- [29] J. Momoh, "Smart Grid: Fundamentals of design and analysis", IEEE press series on power engineering, Wiley
- [30] S. Depuru, L. Wang and V. Devabhaktuni, "Smart Meters for power grid: Challenges, issues, advantages and status", ScienceDirect, Elsevier
- [31] Nettutviklingsplan 2011, Statnett
- [32] "Nå slukkes lyset for glødepæren", Enova, 29.02.2013
- [33] Lovdata, FOR 1990-12-07 nr 959: Forskrift om produksjon, omforming, overføring, omsetning, fordeling og bruk av energi m.m. (energilovforskriften)
- [34] Lovdata, FOR-1999-03-11-302: Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektssramme for nettvirksomheten og tariffer

**Tillegg A**

**Proven vindturbin**

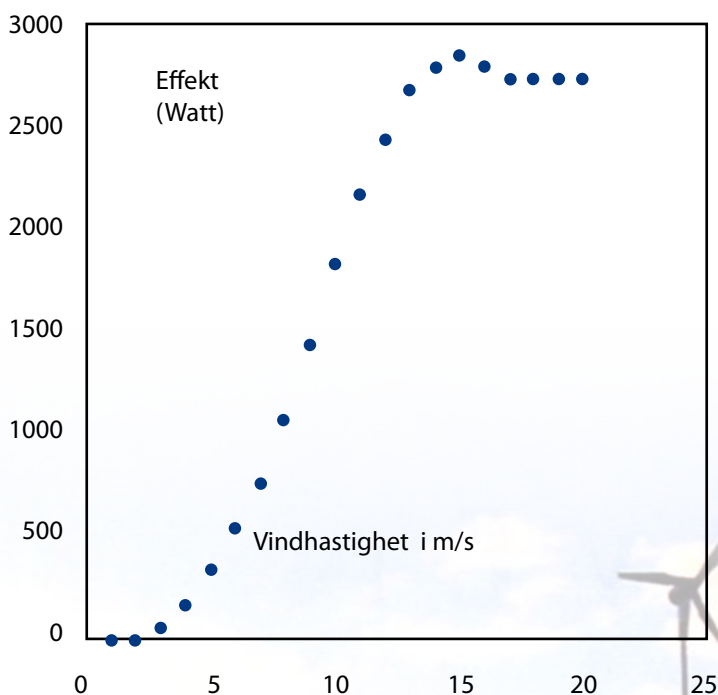




## Proven 2,5kW

### Tekniske spesifikasjoner

Modell	-	Proven 2,5 (2,5kW)
Start vind	-	2,5 m/s
Brems / produksjonsstans	-	> 70 m/s
Max vind	-	70 m/s
Merke-efekt ved vindstyrke	-	12 m/s
Rotor type	-	Selvregulerende medvindsturbin
Antall rotorblad	-	3
Rotorblad mat.	-	Polypropylen
Rotor diameter	-	3,5 m
Generator	-	Børsteløs, direktedrevet, permanentmagneter i rotor
Batterilading	-	24 / 48V DC
Nett tilknyttet m/ Windy boy nettintegrator	-	230Vac 50 Hz / 240Vac 60Hz
Oppvarming	-	240Vac
Rotasjonshastighet ved nominell effekt	-	300 rpm
Årlig produksjon	-	2.500-5.000 kWh ved middelvind på 4,5-6,5 m/s
Vekt	-	190 kg
Mast	-	Konet mast. Kan tiltes/vippes opp. Selvbærende uten barduner. (Høye master med barduner er tilgjengelig på forespørsel)
Navhøyde	-	6,5 / 11 m
Maste fundament	-	1,6 x 1,6 x 1 / 2,5 x 2,5 x 1 m, betong
Fundament for winch-feste	-	0,65 x 0,65 x 0,65 / 1 x 1 x 1 m, betong
Mastens vekt	-	241 / 445 kg
Mekanisk brems	-	ja
Støy, 5m/s	-	40 dBA
Støy, 20m/s	-	60 dBA
Dreiemoment	-	5 kN

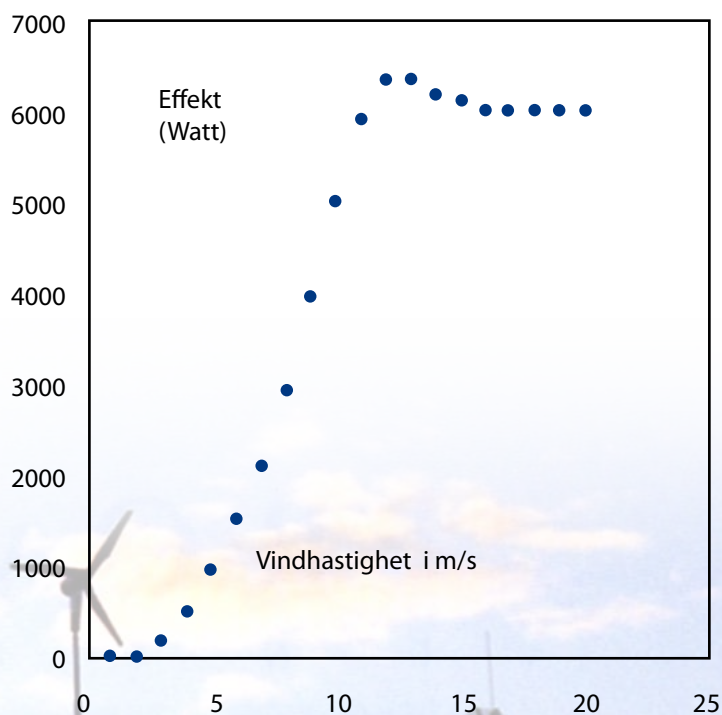


# Proven 6kW



## Tekniske spesifikasjoner

Modell	-	Proven 6 (6kW)
Start vind	-	2,5 m/s
Brems / produksjonsstans	-	> 70 m/s
Max vind	-	70 m/s
Merke-efekkt ved vindstyrke	-	12 m/s
Rotor type	-	Selvregulerende medvindsturbin
Antall rotorblad	-	3
Rotorblad mat.	-	Glass/termoplast
Rotor diameter	-	5,5 m
Generator	-	Børsteløs, direktedrevet, permanentmagneter i rotor
Lading	-	48V DC
Nett tilknyttet m/ Windy boy nettintegrator	-	230Vac 50 Hz / 240Vac 60Hz
Oppvarming	-	240ac
Rotasjons hastighet ved nominell effekt	-	200 rpm
Årlig produksjon	-	6.000-12.000 kWh ved middelvind på 4,5-6,5 m/s
Vekt	-	190 kg
Mast	-	Konet mast. Kan tiltes/vippes opp. Selvbærende uten barduner. (Høye master med barduner er tilgjengelig på forespørsel)
Navhøyde	-	9 / 15 m
Maste fundament	-	2,5 x 2,5 x 1 / 3 x 3 x 1,2 m, betong
Fundament for winch-feste	-	1 x 1 x 1 / 1,5 x 1,5 x 1,5 m, betong
Maste vekt	-	360 / 356 kg
Mekanisk brems	-	ja
Støy, 5m/s	-	45 dBA
Støy, 20m/s	-	65 dBA
Dreiemoment	-	10 kN



## Pålitelig og robust

Proven vindturbiner er resultat av 25 års forskning og utvikling. Med over 800 installasjoner over hele verden er Proven blitt en internasjonal markedsleder for vindturbiner i dette effektområdet.

Vindturbinene fra Proven er kjent for høy kvalitet og driftsikkerhet. Nøkkelen til denne suksessen ligger i den unike oppbyggingen av turbinbladene med fjærer som tilpasser seg vinden. Denne patenterte løsningen reduserer de mekaniske belastningene på systemet, samtidig som energiproduksjonen optimaliseres selv ved svært høye vindhastigheter.

## Jobber med naturkreftene

Proven er en "medvindsturbin". Dette betyr at vinden blåser først over generatoren og treffer deretter turbinbladene. Denne konstruksjonen bidrar til at Proven sine vindturbiner jobber med naturen, og ikke imot naturen slik som de fleste andre vindmøller. (En "vanlig" vindturbin dreier bladene opp mot vinden).

## Fjær-regulerte turbinblader

Ett unikt system av kraftige fjærer som forbindes til hvert enkelt propellblad gjør Proven til en uvanlig driftsikker å stabil vindmølle. Når vinden øker til nivåer hvor vanlige vindturbiner må bremses / stanses for å unngå skade, vil Proven fortsette sin maksimale energiproduksjon.

## Reguleringsprinsippet

Når vindstyrken blir høy nok vil de kraftige fjærene "gi etter" for vindtrykket og bladene "dyttes" utover, dermed reduseres det vind-eksponerte arealet. Dette resulterer i at turbinen opprettholder konstant turtall ved vindhastigheter over 12 m/s. Konstant turtall oppnås på grunn av fjærenes evne til å redusere det vind-eksponerte arealet proporsjonalt med økt vindhastighet. Denne unike reguleringssteknikken bidrar også til at de mekaniske belastningene begrenses, noe som selvfølgelig medvirker til produktets lange levetid.



**GETEK**®

sveberg gård N-7550 hommelvik  
ph.:+47 73980200 fax:+47 73980201

**Tillegg B**

**Solartek solcellemoduler**

# **solar**tek®

**SOLCELLE**MODULER

**prosjektmoduler 215W-235W**



**GETEK**®  
energiløsninger

November 2012



SOLARTEK solcellemoduler kombinerer robust design med høy ytelse. Modulene er enkle å installere.

SOLARTEK moduler leveres med følgende garantier: 2 års garanti mot material- og produksjonsfeil. 25 års effektgaranti for 80% av oppgitt effekt.

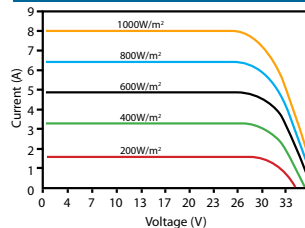
*Alle data er oppgitt med forbehold om trykklfeil og endringer fra produsent*

DATA:					
<i>Data fra standard test forhold (1000W/m<sup>2</sup>, AM 1,5, celle temp. 25°C). Effekttoleranse: +/-3%</i>					
Model:	PVP21530	PVP22030	PVP22530	PVP23030	PVP23530
Maks effekt (W)	215	220	225	230	235
Spenning ved maks effekt (V)	30	30	30	30	30
Ubelastet spenning (V)	36,30	36,40	36,40	36,50	36,50
Strøm ved maks effekt (A)	7,17	7,34	7,50	7,67	7,84
Kortslutningsstrøm (A)	8,25	8,30	8,48	8,60	8,70
Dimensjon og vekt:					
L x B x H (mm)	1655 x 990 x 42				
Vekt (kg)	27,5				
Monteringshull (Y) -mm	969				
Monteringshull (X) - mm	953				
Andre data:					
Solceller pr modul	60				
Type celler	Mono / Multikrystalinsk				
Koblingsboks	IEC / UL godkjent IP65 med tre "bypass" dioder				
Kobling	Lav motstand, IEC / UL godkjent (Tyco / MC4 / tilsvarende)				
Front, panel	Herdet glass for solcellemoduler, 3,2 mm		Herdet glass for solcellemoduler, 4 mm		
Bakside, panel	Foil				
Rammemateriale	Eloksert aluminium				
Virkningsgrad (%)	13,15	13,40	13,75	14	14,35
Temperaturkoeffisient					
Effekt (% / K)	Pmax -0,43				
Ubelastet spenning (% / K)	Voc -0,33				
Kortslutningsspenning (% / K)	Isc +0,05				
Sertifikater:					
Modulene er sertifisert i henhold til IEC 61215 ed.2, IEC 61730 (sikkerhetsklasse 2). Produksjonen er i henhold til ISO 9001:2008 og ISO 14001:2004					

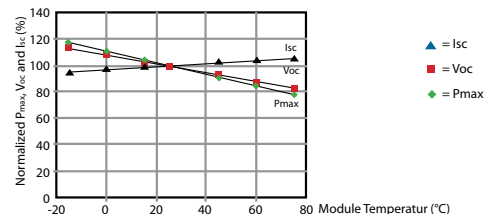
Maks systemspenning [VDC]	1000
Temperaturområde [°C]	-40°C to +85°C
Applikasjonsklasse (til IEC61730)	A
Brannklasse (til IEC 61730)	C
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) (°C)	47 +/- 2°C

Snølast	5400 Pa
Belastingstoleranse (hagl)	25mm Ø
Belastingstoleranse (m/s)	23 (m/s)

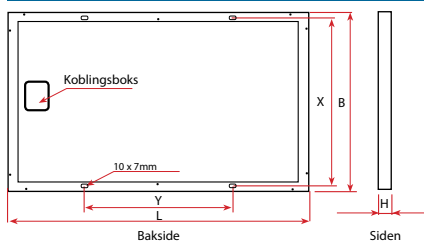
#### IV kurve ved variabel innstråling ved 25°C:



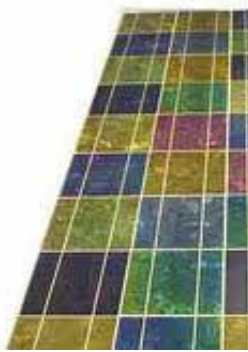
#### Pmax, Voc, Isc ved variabel innstråling:



#### Monteringsdetaljer:



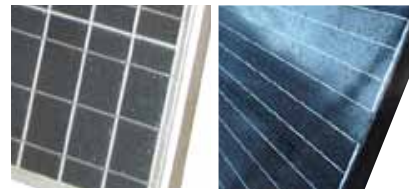
## Spesialmodeller :



For å skape det ønskede resultatet på en fasade kan det være behov for moduler i andre farger og dimensjoner enn standardmodulene. SOLARTEK kan leveres spesialtilpasset ditt behov\*.

### Fargevariasjoner:

SOLARTEK solcellemodulen leveres standard med blå front / alu.ramme. Modulene kan spesialproduseres med ulik farge på både ramme og front. De mest vanlige kombinasjonene er sort front / sort ramme, grå front / grå ramme. Andre varianter kan også leveres.



### Spesialmål:

Modulenes mål kan også produseres tilpasset kundens behov.



*\* For å få levert spesialmoduler kreves en viss størrelse på bestillingen, og ekstra leveringstid må beregnes.*

## SOLARTEK PV MODULE

### Kvalitetskontroll:

Produksjonsfasilitetene ved produksjon av SOLARTEK moduler er utstyrt med topp moderne produksjonsutstyr som sammen med råvarer fra ledende internasjonale produsenter, og organisering i henhold til ISO 9001:2008 og ISO 14001:2004, utgjør et produksjonsmiljø i verdensklasse.

### Robust design:

Spesialutviklet glass og solide aluminiumsrammer utgjør fundamentet

for svært robuste moduler som tåler alle slags værforhold.

### Høy effektivitet:

SOLARTEK modulene har en høy energiproduksjon, selv ved dårlig lys (overskyet, skumring etc). Dette gjør modulene kostadseffektive.

### Gode garantier:

2 års garanti mot material- og produksjonsfeil. 25 års effektgaranti for 80% av oppgitt effekt.

GETEK AS  
Stavsjøveien 23  
7550 Hommelvik

Tlf.: 73 98 02 00  
e-post: [post@getek.no](mailto:post@getek.no)  
[www.getek.no](http://www.getek.no)



**Tillegg C**

**SMA Windy Boy vekselretter**

# WINDY BOY 5000A / 6000A

WB 5000A / WB 6000A



## Economical

- Up to 96.1% efficiency
- Can be combined to form three-phase units with up to 50 kW output
- Integrated SMA Power Balancer
- OptiCool: Continuous operation even at high temperatures

## Simple

- Free choice of installation site
- Programmable polynomial curve enables free selection of turbines
- Certified for the most countries (SMA Grid Guard)

## Secure

- Galvanic isolation
- Compatible with Windy Boy Protection Box 600
- Integrated grid management functions through reactive power provision

## Reliable

- Worldwide SMA Service including Service Line
- Comprehensive SMA warranty program

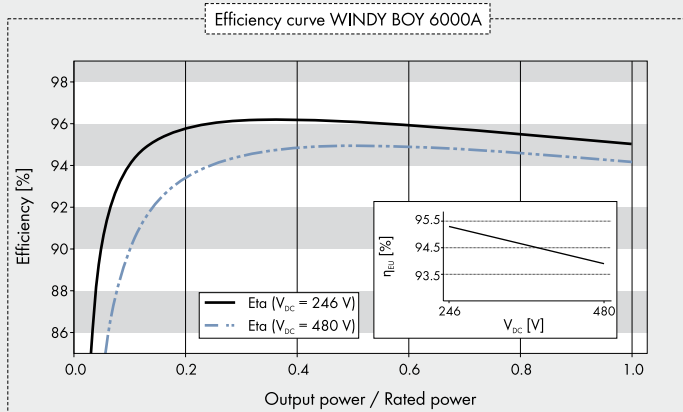
## WINDY BOY 5000A / 6000A

The power class up to 50 kW

The Windy Boy 5000A and 6000A feature a peak efficiency of 96.1 percent and are also suited for a three-phase grid feed-in. The integrated SMA Power Balancer prevents undue unbalanced load, and the plant is also able to feed in even if individual line conductors fail. Thanks to the reactive power provision the inverters add to the grid stability and can be used flexibly in plants of different sizes. The weatherproof enclosure and the wide temperature range allow for installation at almost any location. Thanks to OptiCool, the equipment works at outside temperature of up to 45 °C with maximum output.

# WINDY BOY 5000A / 6000A





## Accessories



RS485 interface  
485PB-NR



Bluetooth  
Piggy-Back BTPBINV-NR



SMA Power Balancer Set  
PBLSBUS-10-NR



Grounding set "positive"  
ESHV-P-NR



Grounding set "negative"  
ESHV-N-NR

<sup>1</sup> Does not apply to all national appendices of EN 50438

Technical data	Windy Boy 5000A	Windy Boy 6000A
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ cos φ = 1)	5750 W	6300 W
Recommended array power at 2500 / 5000 full-load hours per year	4600 W / 4200 W	5500 W / 5100 W
Max. input voltage / rated input voltage	600 V / 246 V	600 V / 246 V
Min. open-circuit voltage for "Turbine Mode" activation	250 V	250 V
"Turbine Mode" voltage range	246 V - 600 V	246 V - 600 V
Max. input current	26 A	26 A
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. apparent AC power	5500 VA	6000 VA
Nominal AC voltages / range	220 V, 230 V, 240 V / 160 V - 265 V	220 V, 230 V, 240 V / 160 V - 265 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -6 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	26 A	26 A
Power factor at rated power	1	1
Displacement power factor, adjustable	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	1 / 1	1 / 1
Power balancing	●	●
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European weighted efficiency	96.1 % / 95.3 %	96.1 % / 95.3 %
<b>Protective devices</b>		
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / ●	● / ● / ●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General data</b>		
Dimensions (W / H / D)	468 / 613 / 242 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)	468 / 613 / 242 mm (18.4 / 24.1 / 9.5 inch)
Weight	62 kg / 136.7 lb	63 kg / 139 lb
Operating temperature range	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Noise emission (typical)	42 db(A)	42 db(A)
Topology	LF transformer	LF transformer
Cooling concept	OptiCool	OptiCool
Protection of electronics / connection area (according to IEC 60529)	IP65 / IP65	IP65 / IP65
Climatic category (as per IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Max. permissible value for relative humidity (non-condensing)	100 %	100 %
<b>Features</b>		
DC terminal	SUNCLIX	SUNCLIX
AC coupling	Screw terminal	Screw terminal
Display	Text line	Text line
Interfaces: RS485 / Bluetooth	○ / ○	○ / ○
Warranty: 5 / 10 years	● / ○	● / ○
Certificates and approvals (more available upon request)	CE, VDE0126-1-1, G59/2, EN 50438 <sup>1</sup> , C10/C11, VDE-AR-N 4105	CE, VDE0126-1-1, G59/2, EN 50438 <sup>1</sup> , C10/C11, VDE-AR-N 4105
● Standard feature ○ Optional feature – Not available		
Type designation	WB 5000A-11	WB 6000A-11

# WINDY BOY PROTECTION BOX

Optimal overvoltage protection for your inverter



**Tillegg D**

**SMA Sunny Tripower vekselretter**

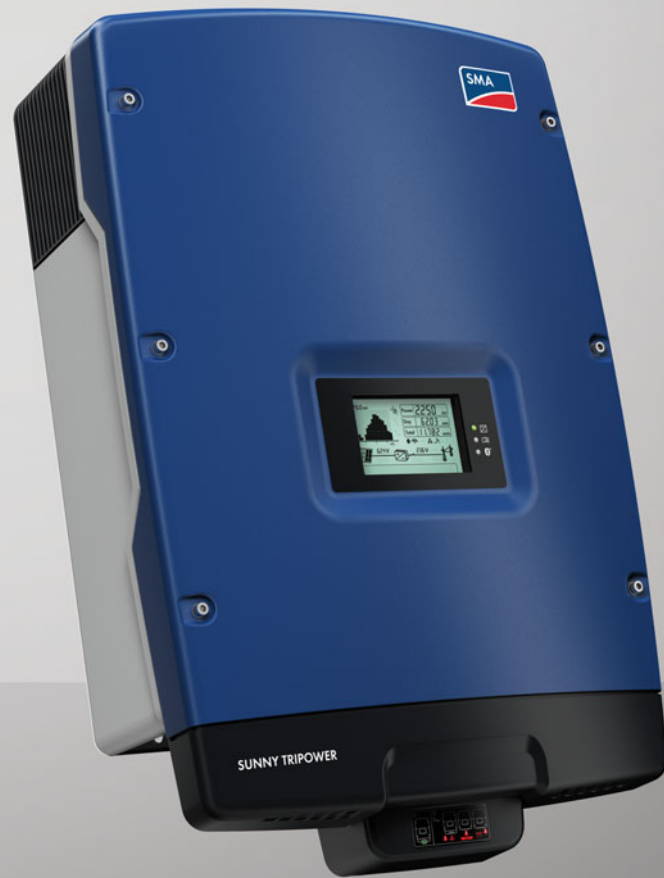


# SUNNY TRIPOWER

## 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL



STP 5000TL-20 / STP 6000TL-20 / STP 7000TL-20 / STP 8000TL-20 / STP 9000TL-20



### Economical

- Maximum efficiency of 98%
- Shade management with OptiTrac Global Peak
- Active temperature management with OptiCool

### Flexible

- DC input voltage of up to 1,000 V
- Integrated grid management functions
- Reactive power supply
- Module-tailored plant design with Optiflex

### Communicative

- SMA Webconnect Portal communication
- *Bluetooth*<sup>®</sup> communication
- Simple country configuration
- Multi-function relay as standard

### Simple

- Three-phase feed-in
- Cable connection without tools
- SUNCLIX DC plug-in system
- Integrated ESS DC switch-disconnector
- Easy wall mounting

## SUNNY TRIPOWER

### 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL

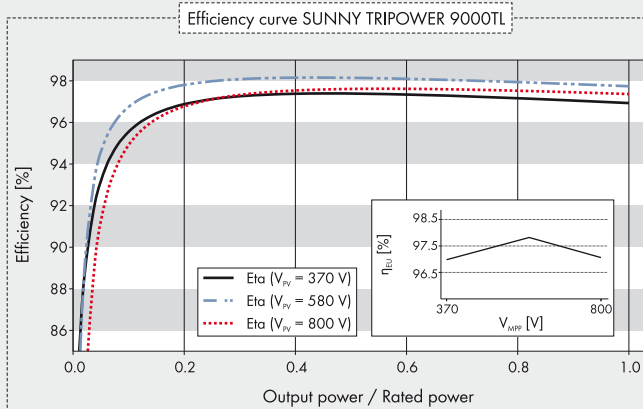
The three-phase inverter for your home

At home with leading-edge technology and top yields: The Sunny Tripower PV plant with 5 to 9 kW of power is setting new standards for home systems. It features an asymmetric multi-string and Optiflex technology to ensure the highest in flexibility while combining peak efficiency with the OptiTrac Global Peak system to generate the highest in yields. In addition to communication via the external *Bluetooth*-antenna, the PV plant comes with a direct Sunny Portal connection via SMA Webconnect as standard – and now for the first time without data loggers. In addition, the “small” Sunny Tripower comes with integrated grid management functions, is capable of reactive power supply and is suitable for operation with a 30 mA RCD.

# SUNNY TRIPOWER

## 5000TL / 6000TL / 7000TL / 8000TL / 9000TL

Technical data	Sunny Tripower 5000TL	Sunny Tripower 6000TL
<b>Input (DC)</b>		
Max. DC power (@ $\cos \phi = 1$ )	5100 W	6125 W
Max. input voltage	1000 V	1000 V
MPP voltage range / rated input voltage	245 V ... 800 V / 580 V	295 V ... 800 V / 580 V
Min. input voltage / initial input voltage	150 V / 188 V	150 V / 188 V
Max. input current input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Max. input current per string input A / input B	11 A / 10 A	11 A / 10 A
Number of independent MPP inputs / strings per MPP input	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
<b>Output (AC)</b>		
Rated power (@ 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W
Max. apparent AC power	5000 VA	6000 VA
AC nominal voltage	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 220 / 380 V 3 / N / PE; 230 / 400 V 3 / N / PE; 240 / 415 V
Nominal AC voltage range	160 V – 280 V	160 V – 280 V
AC power frequency / range	50 Hz, 60 Hz / –5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / –5 Hz ... +5 Hz
Rated power frequency / rated grid voltage	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Max. output current	7.3 A	8.7 A
Power factor at rated power	1	1
Adjustable displacement power factor	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited
Feed-in phases / connection phases	3 / 3	3 / 3
<b>Efficiency</b>		
Max. efficiency / European Efficiency	98% / 97.1%	98% / 97.4%
<b>Protective devices</b>		
DC disconnect device	●	●
Ground fault monitoring / grid monitoring	● / ●	● / ●
DC reverse polarity protection / AC short-circuit current capability / galvanically isolated	● / ● / –	● / ● / –
All-pole-sensitive residual-current monitoring unit	●	●
Protection class (according to IEC 62103) / overvoltage category (according to IEC 60664-1)	I / III	I / III
<b>General data</b>		
Dimensions (W/H/D)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)
Weight	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)
Operating temperature range	–25 °C...+60 °C (–13 °F...+140 °F)	–25 °C...+60 °C (–13 °F...+140 °F)
Noise emission (typical)	40 dB(A)	40 dB(A)
Self-consumption (night)	1 W	1 W
Topology / cooling concept	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool
Degree of protection (according to IEC 60529)	IP65	IP65
Climatic category (according to IEC 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Maximum permissible value for relative humidity (non-condensing)	100%	100%
<b>Features</b>		
DC connection / AC connection	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal
Display	Graphic	Graphic
Interface: RS485 / Bluetooth / Webconnect	○ / ● / ●	○ / ● / ●
Multi-function relay / Power Control Module	● / ○	● / ○
Warranty: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 years	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○
Certificates and approvals (additional on request)	AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21 (>6 kWp), EN 50438*, G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD1699, RD 661/2007, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1	
Type designation	STP 5000TL-20	STP 6000TL-20



### Accessories



Interface RS485  
485BRD-10



Power Control Module  
PWCBRD-10

\* Does not apply to all national appendices of EN 50438

\*\* Planned

● Standard features ○ Optional features – Not available

Preliminary information – last updated: April 2013

Data at nominal conditions

Sunny Tripower 7000TL	Sunny Tripower 8000TL	Sunny Tripower 9000TL	
7175 W	8200 W	9225 W	
1000 V	1000 V	1000 V	
290 V ... 800 V / 580 V	330 V ... 800 V / 580 V	370 V ... 800 V / 580 V	
150 V / 188 V	150 V / 188 V	150 V / 188 V	
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A	
15 A / 10 A	15 A / 10 A	15 A / 10 A	
2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2	
7000 W	8000 W	9000 W	
7000 VA	8000 VA	9000 VA	
3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	3 / N / PE; 220 / 380 V	
3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	3 / N / PE; 230 / 400 V	
3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	3 / N / PE; 240 / 415 V	
160 V - 280 V	160 V - 280 V	160 V - 280 V	
50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	
50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V	
10.2 A	11.6 A	13.1 A	
1	1	1	
0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	0.8 overexcited ... 0.8 underexcited	
3 / 3	3 / 3	3 / 3	
98% / 97.5%	98% / 97.6%	98% / 97.6%	
●	●	●	
● / ●	● / ●	● / ●	
● / ● / -	● / ● / -	● / ● / -	
●	●	●	
I / III	I / III	I / III	
470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	470 / 730 / 240 mm (18.5 / 28.7 / 9.5 inches)	
37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	37 kg (81.6 lb)	
-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C (-13 °F...+140 °F)	
40 dB(A)	40 dB(A)	40 dB(A)	
1 W	1 W	1 W	
Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool	Transformerless / OptiCool	
IP65	IP65	IP65	
4K4H	4K4H	4K4H	
100%	100%	100%	
SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal	SUNCLIX / Spring clamp terminal	
Graphic	Graphic	Graphic	
○ / ● / ●	○ / ● / ●	○ / ● / ●	
● / ○	● / ○	● / ○	
● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○	
AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438*, G83/1-1, IEC 61727, NRS 097-2-1, PPC, PPDS, RD1699, RD 661/2007, SI 4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1			
STP 7000TL-20	STP 8000TL-20	STP 9000TL-20	



**Tillegg E**

**Fronius IG veksleretter**

# FRONIUS IG TRANSFORMER INVERTER

/ The dependable PV inverter range.

/ Fronius  
MIX™ concept/ HF transformer  
switchover/ Fronius Module  
Manager/ PC board  
replacement concept

/ With the Fronius IG product family, Fronius has launched a generation of inverters rated from 1.3 to 5 kW that is compatible with all solar modules. What makes the inverters so appealing is their intuitive operation and ease of use, together with their highly informative analyses of system values in every situation. In short: a PV inverter that any system operator would welcome.

## TECHNICAL DATA: FRONIUS IG

INPUT DATA	IG 15	IG 20	IG 30	IG 40	IG 60 HV
DC maximum power at $\cos \varphi = 1$	1,610 W	2,150 W	2,850 W	4,410 W	5,380 W
Max. input current ( $I_{dc \max}$ )	10.8 A	14.3 A	19.0 A	29.4 A	35.8 A
Min. input voltage ( $U_{dc \min}$ )	150 V				
Feed-in start voltage ( $U_{dc \text{ start}}$ )	170 V				
Nominal input voltage ( $U_{dc \text{ r}}$ )	280 V				
Max. input voltage ( $U_{dc \max}$ )					530 V
MPP voltage range ( $U_{mpp \min} - U_{mpp \max}$ )	150 V – 400 V				
Number of DC inputs	5				

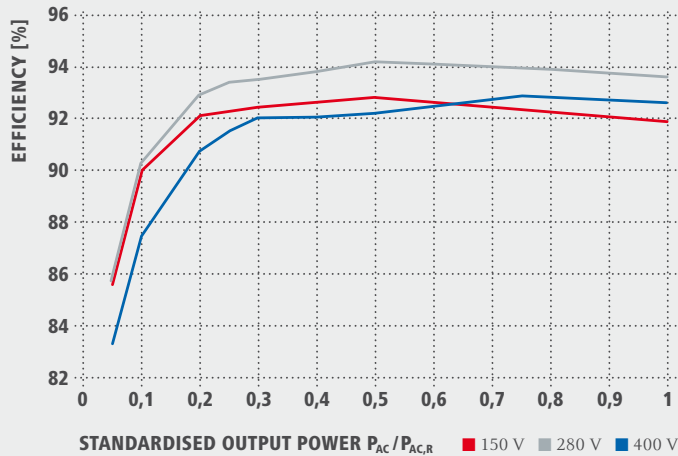
OUTPUT DATA	IG 15	IG 20	IG 30	IG 40	IG 60 HV
AC nominal output ( $P_{ac \text{ r}}$ )	1,300 W	1,800 W	2,500 W	3,500 W	4,600 W
Max. output power	1,500 W	2,000 W	2,650 W	4,100 W	5,000 W
Max. output current ( $I_{ac \max}$ )	6.5 A	8.7 A	11.5 A	17.8 A	21.7 A
Grid connection ( $U_{ac \text{ r}}$ )	1-NPE 230 V				
Min. output voltage ( $U_{ac \min}$ )	180 V				
Max. output voltage ( $U_{ac \max}$ )	270 V				
Frequency ( $f_r$ )	50 Hz / 60 Hz				
Frequency range ( $f_{\min} - f_{\max}$ )	47 Hz – 65 Hz				
Distortion factor	< 3 %				
Power factor ( $\cos \varphi_{ac \text{ r}}$ )	1				

GENERAL DATA	IG 15	IG 20	IG 30	IG 40	IG 60 HV
Dimensions (height x width x depth)	366 x 344 x 220 mm / 500 x 435 x 225 mm <sup>1)</sup>			610 x 344 x 220 mm / 733 x 435 x 225 mm <sup>1)</sup>	
Weight	9 kg / 12 kg <sup>1)</sup>			16 kg / 20 kg <sup>1)</sup>	
Degree of protection	IP 21 / IP 45 <sup>1)</sup>				
Protection class	1				
Overvoltage category (DC / AC)	2 / 3				
Night-time consumption	< 1 W				
Inverter concept	HF transformer				
Cooling	Regulated air cooling				
Installation	Indoor and outdoor installation <sup>1)</sup>				
Ambient temperature range	from -20°C to +50°C				
Permitted humidity	0 % to 95 %				
DC connection technology Fronius Indoor	Screw terminal connection 1.5 – 10 mm <sup>2</sup> ; DC plug optional <sup>2)</sup>				
DC connection technology Fronius Outdoor	DC plug <sup>2)</sup>				
AC connection technology Fronius Indoor	Screw terminal connection 1.5 – 10 mm <sup>2</sup> ; plug optional				
AC connection technology Fronius Outdoor	Screw terminal connection 1.5 – 10 mm <sup>2</sup>				
Certificates and compliance with standards	DIN V VDE V 0126-1-1, ÖVE/ÖNORM E 8001-4-712, UTE C15-712-1, EN 50438, G83, G59, C 10 / 11, CER 06-190, AS 4777-1, AS 4777-2, AS 4777-3				

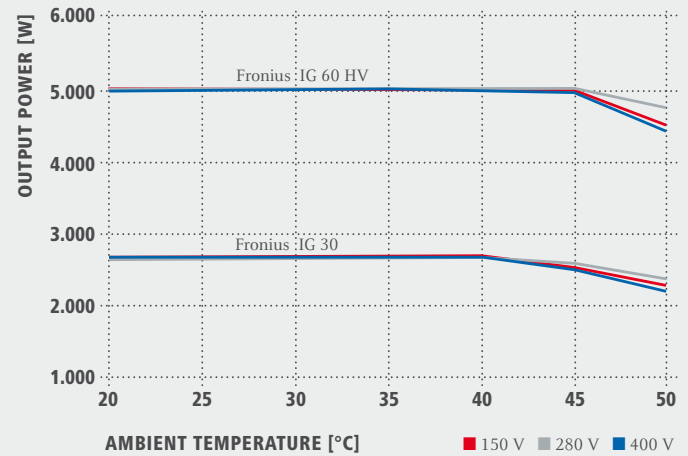
<sup>1)</sup> This applies to Fronius IG Outdoor <sup>2)</sup> MC3, MC4 or Tyco

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

## FRONIUS IG 60 HV EFFICIENCY CURVE



## FRONIUS IG TEMPERATURE DERATING



## TECHNICAL DATA: FRONIUS IG

EFFICIENCY	IG 15	IG 20	IG 30	IG 40	IG 60 HV
Max. efficiency	94,2 %	94,3 %	94,3 %	94,3 %	94,3 %
European efficiency ( $\eta_{EU}$ )	91,4 %	92,3 %	92,9 %	93,2 %	93,5 %
$\eta$ at 5% $P_{ac,r}^{1)}$	75,0 / 76,9 / 71,1 %	77,4 / 80,6 / 71,1 %	81,6 / 83,1 / 81,4 %	82,7 / 83,3 / 80,2 %	85,6 / 85,8 / 83,3 %
$\eta$ at 10% $P_{ac,r}^{1)}$	81,6 / 83,1 / 81,4 %	84,9 / 86,2 / 83,4 %	87,4 / 88,6 / 85,9 %	88,5 / 89,3 / 85,0 %	90,0 / 90,3 / 87,5 %
$\eta$ at 20% $P_{ac,r}^{1)}$	87,8 / 89,2 / 85,9 %	89,7 / 90,5 / 87,3 %	91,2 / 91,8 / 89,1 %	91,5 / 92,3 / 89,6 %	92,2 / 93,0 / 90,8 %
$\eta$ at 25% $P_{ac,r}^{1)}$	89,3 / 89,9 / 86,8 %	90,8 / 91,3 / 88,5 %	91,8 / 92,7 / 90,2 %	92,1 / 92,9 / 90,6 %	92,4 / 93,5 / 91,6 %
$\eta$ at 30% $P_{ac,r}^{1)}$	90,1 / 90,7 / 87,9 %	91,5 / 92,3 / 89,8 %	92,3 / 93,2 / 90,9 %	92,4 / 93,3 / 91,1 %	92,5 / 93,6 / 92,1 %
$\eta$ at 50% $P_{ac,r}^{1)}$	92,0 / 92,9 / 90,3 %	92,6 / 93,7 / 91,4 %	92,8 / 94,0 / 92,4 %	92,7 / 93,9 / 91,5 %	92,9 / 94,3 / 92,3 %
$\eta$ at 75% $P_{ac,r}^{1)}$	92,7 / 93,8 / 91,7 %	92,8 / 94,3 / 92,6 %	92,4 / 94,3 / 92,8 %	92,9 / 94,1 / 92,6 %	92,5 / 94,1 / 92,9 %
$\eta$ at 100% $P_{ac,r}^{1)}$	92,8 / 94,2 / 92,5 %	92,4 / 94,0 / 92,9 %	92,0 / 93,4 / 92,6 %	92,5 / 94,3 / 92,9 %	92,0 / 93,7 / 92,7 %
MPP adaptation efficiency	> 99,9 %				

PROTECTIVE EQUIPMENT	IG 15	IG 20	IG 30	IG 40	IG 60 HV
DC insulation measurement	Warning/shutdown (depending on country setup) at $R_{ISO} < 500$ kOhm				
Overload behaviour	Operating point shift, power limitation				
Reverse polarity protection	Integrated				

<sup>1)</sup> and at  $U_{mpp\ min} / U_{dc,r} / U_{mpp\ max}$ .

Further information regarding the availability of the inverters in your country can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com).

/ Battery Charging Systems / Welding Technology / Solar Electronics

## WE HAVE THREE DIVISIONS AND ONE PASSION: SHIFTING THE LIMITS.

/ Whether Battery Charging Systems, Welding Technology or Solar Electronics - our goal is clearly defined: to be the technology and quality leader. With around 3,000 employees worldwide, we shift the limits of what's possible - our more than 850 active patents are testimony to this. While others progress step by step, we innovate in leaps and bounds. Further information about all Fronius products and our global sales partners and representatives can be found at [www.fronius.com](http://www.fronius.com)



v02 2012 EN

Fronius Australia Pty Ltd.  
90-92 Lambeck Drive  
Tullamarine VIC 3043  
Australia  
pv-sales-australia@fronius.com  
www.fronius.com.au

Fronius UK Limited  
Maidstone Road, Kingston  
Milton Keynes, MK10 0BD  
United Kingdom  
pv-sales-uk@fronius.com  
www.fronius.co.uk

Fronius International GmbH  
Froniusplatz 1  
4600 Wels  
Austria  
pv@fronius.com  
www.fronius.com

Tillegg F

# Ochsner Europa EWP jordvarmepumpe



# Multi-function Units / Exhaust Air Heat Pumps

## Multi-function Units / Exhaust Air Heat Pumps

The ideal supplement to any heating system

The Europa Series offers additional functions such as cooling, drying and ventilation

## Europa Series



### Hot Water from Air/ Exhaust Air

### Hot Water from Ground Source

Europa Mini IWP	Europa 303 DK	Europa 313 DK	Europa 500 IW	Europa Mini EWP
-----------------	---------------	---------------	---------------	-----------------

- ➔ Split unit for external tanks up to 500 l
- ➔ For households with up to 5 persons
- ➔ Water temperature up to **65°C**
- ➔ Ready for operation
- ➔ Simple installation
- ➔ Compact design
- ➔ Air ducts up to 20 m possible
- ➔ Internal heat exchanger
- ➔ Integrated tank circulation pump
- ➔ Legionella-prevention function with heat pump
- ➔ Also available as package with 300l- or 500l-DHW tank
- ➔ new Tiptronic light control

#### Field of application

Hot-water heating  
Cooling of pantries and storage rooms  
Cellar dehumidification

- ➔ Compact unit with 300 l tank
- ➔ For households with up to 5 persons
- ➔ Water temperature up to **65°C**
- ➔ Ready for operation
- ➔ Simple installation
- ➔ With immersion sleeve for tank-charge thermostat
- ➔ With heat exchanger for external heat source
- ➔ Integrated electrical heating element standard
- ➔ Air ducts up to 20 m possible
- ➔ 2 integrated protective magnesium anodes standard
- ➔ Legionella-prevention function with heat pump
- ➔ Also available as Solar-DHW heat pump

#### Field of application

Hot-water heating  
Cooling of pantries and storage rooms  
Cellar dehumidification

- ➔ Compact unit with 300 l tank
- ➔ For households with up to 5 persons
- ➔ Water temperature up to **65°C**
- ➔ Ready for operation
- ➔ Simple installation
- ➔ With immersion sleeve for tank-charge thermostat
- ➔ With heat exchanger for external heat source (Solar, pellets, etc.)
- ➔ Integrated electrical heating element standard
- ➔ Air ducts up to 20 m possible
- ➔ 2 integrated protective magnesium anodes standard
- ➔ Legionella-prevention function with heat pump
- ➔ Control-Tiptronic E
  - controls heat pump
  - controls additional boiler charge pump
  - controls electric element
  - controls Legionella-prevention function
  - controls ventilation
- ➔ Variable volume flow
- ➔ Hot-gas defrost device for air under 0°C
- ➔ Optimum heat input
- ➔ Also available as Solar-DHW heat pump

#### Field of application

Hot-water heating  
Cooling of pantries and storage rooms  
Cellar dehumidification

- ➔ High capacity split-unit for external tanks up to 1.000 l
- ➔ For households and businesses with up to 2.000 l daily hot water demand (**at 52°C**)
- ➔ Simple installation
- ➔ Compact Design
- ➔ Air ducts up to 7 m possible
- ➔ Passive defrost device
- ➔ Suited for installation under flying roof
- ➔ without integrated circulation pump

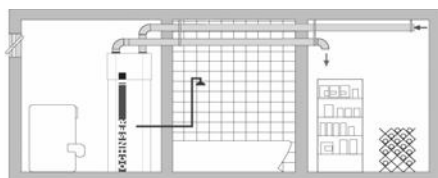
#### Field of application

Hot-water heating  
Cooling of pantries and storage rooms  
Cellar dehumidification

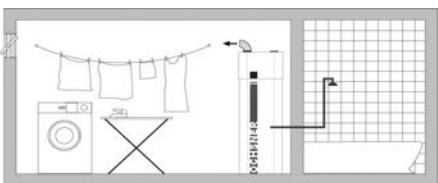
- ➔ Split-unit for external tanks up to 500 l
- ➔ For households with up to 5 persons
- ➔ Water temperature up to **60°C**
- ➔ Ready for operation
- ➔ Simple installation
- ➔ Compact design
- ➔ with 75 m copper ground collector for geothermal energy from the garden up to 1700 operating hours per annum
- ➔ Internal heat exchanger
- ➔ Integrated tank charging pump
- ➔ Legionella-prevention function with heat pump
- ➔ Also available as package with 300l- or 500l-DHW tank
- ➔ new Tiptronic light control

#### Field of application

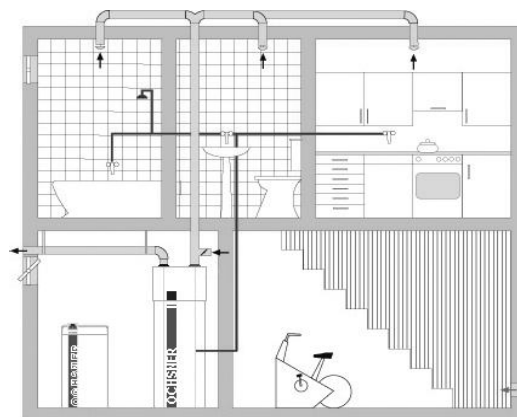
High-efficiency hot-water heating  
DHW supply to passive house



Example: cooling of Storage Room



Example: Installation in laundry room, hot water heating with room air, drying of room air



Example: Exhaust air system (single duct ventilation), intakes from Bathroom and Kitchen, exhaust to outdoors

# Hot-water heat pumps

## Multi-function units / Exhaust Air Heat Pumps

The ideal supplement to any heating system: The Europa Series offers additional functions such as cooling, drying and ventilation

## Europa Series

Highest COP tested to date 7)

Series	EUROPA				
	Air/Exhaust air				Ground
Heat source					
Model	Mini IWP	303 DK	313 DK	500 IW 5)	Mini EWP
Order number	110245	110231	110251	110092	130245
Heat pump capacity at	A21/W15-55	A21/W15-55	A21/W15-55	A15/W15-55	G4/W15-55   G4/W35
Type	internal HE	Compact	Compact	Split	internal HE
Dimensions (Diam.xH) or (HxWxD)	[mm] DM 650 x 426	DM 650 x 1850	DM 650 x 1850	1410 x 380 x 695	DM 650 x 426
Weight 1)	[kg] 45	165	165	80	43
Heat pump heating capacity (exhaust air)	[kW] 2,2	2,2	2,4	5,1	3   2,7
Noise level	[dB(A)] 49	49	49	49	35
Nominal voltage/Frequency	[V/Hz] 230/50	230/50	230/50	400/50	230/50
Operating current	[A] 2,93	2,93	2,93	2,7	3,8   3,6
Heat pump power consumption	[kW] 0,5	0,5	0,54	1,32	0,73   0,67
Heat pump COP 2) 7)	4,4	4,4	4,4	3,9	4,1   4
Fuse (tripping characteristic "C")	[A] 13	16	16	13	13
Control	Electronic	Electronic	Electronic 6)	Thermostat	Electronic
Electric immersion element (back-up)	[kW] -	1,7	1,7	-	-
Min. evaporator operating temperature	[°C] +6	+6	-5	+6	-
Max. evaporator operating temperature	[°C] +30	+30	+30	+30	-
<b>Max. hot water temperature in heat pump operation</b>	<b>[°C] +65</b>	<b>+65</b>	<b>+65</b>	<b>+52</b>	<b>+60</b>
Auxiliary heating by furnace up to max.	[°C] -	+65	+65	-	-
Auxiliary heating by electric element up to max.	[°C] -	+65	+65	-	-
Compressor	Type Start-up type	Rolling piston direct	Rolling piston direct	Rolling piston direct	Recipr. piston direct
Refrigerant		R134a	R134a	R134a	R407C
Evaporator	Type Material Defrost function / frost protection cut-out	Air/Finned Tube Cu Al Electronic	Air/Finned Tube Cu Al Electronic	Air/Finned Tube Cu Al Hot gas	Air/Finned Tube Cu Al Thermostat/Fan
Condenser	Condenser Material Number	Plate-HE Stainless-steel 1.4401 1	Finned Tube -HE Copper 1	Finned Tube -HE Copper 1	Plate-HE Stainless-steel 1.4401 1
Water tank 3)	Nominal capacity Allowable operating pressure Insulation	[l] - [bar] - -	300 6 PU rigid foam	300 6 PU rigid foam	- - -
Additional-heat exchanger 8)	Heat exchanger type Allowable operating pressure Allowable operating temperature Heat exchanger surface area	- [bar] - [°C] - [m <sup>2</sup> ] -	Smooth Tube 3/4" 4 90 1,4	Smooth Tube 3/4" 4 90 1,4	- - - -
Air volume 4)	Unrestricted air-flow Continuously variable External static pressure	[m <sup>3</sup> /h] 510 Accessories [Pa] 80	510 Accessories 80	360 - 510 integrated 80	1600 - 130

## Accessories

	Best. Nr.	Mini IWP	303 DK	313 DK	500 IW	Mini EWP
Wall bracket (525mm Height x 700mm reach), 2 pieces	290266	*	-	-	-	*
Continuously variable volume flow control (add-on kit) 510-360 m <sup>3</sup>	930090	*	*	incl.	-	-
Air intake case	927077	-	-	-	*	-
Surcharge - stainless steel connections (for flat-plate heat exchanger and immersion sleeve)	980127	-	-	-	*	-

# Solar-Hot-water heat pumps

## Multi-function units with Solar connections



Model	Solar supplementary set 11)	EUROPA 303 DK S	EUROPA 313 DK S
Heat pump, technical data - see above	-	303 DK	313 DK
Price Heat pump	-	2.790,--	3.203,--
Solar supplementary set 12)		Solar supplementary set	Solar supplementary set
HS-solar collector OSOLAR	[Stk] 2	2	2
Solar transfer station incl. heat meter	[Stk] 1	1	1
Solar expansion vessel incl. safety group	[Stk] 1	1	1
Dimensions collector block (HxBxT)	[mm] 2046 x 2129 x 77	2046 x 2129 x 77	2046 x 2129 x 77
Weight of collector block1) (without frame)	[kg] 74	74	74

## Accessories

Frame for mounting collectors to sloping roofs	915404	*	*	*
--	--------	---	---	---

In hard water areas we recommend installing a decalcifier (see operating instructions).

For EUROPA Series: Performance figures with a tolerance of +/- 10%. Tank and accessories, see page 'Accessories'

Footnotes for every page see price list

**Tillegg G**

**Toshiba KWSmart  
luft/vann-varmepumpe**

Toshiba kWsmart  
- luft-vann varmepumpe for nybygg og passivhus



Det smarteste du kan  
gjøre med boligen din

Best i det lange løp

# Toshiba kWsmart har mange viktige produktfordeler

- To varmevekslere istedenfor én
- Effektiv helt ned til -20°C
- COP = 4,0 (ved +7°C utetemperatur/35°C vanntemperatur)
- Super Saver funksjon - alt tappevann varmes opp med varmepumpen.
- Tilleggsvarmen slår inn kun ved behov
- Inntil 80°C varmtvann kun med varmepumpen
- Antibakteriell funksjon - temp. heves til 70°C en gang i uken

## Tekniske spesifikasjoner

<b>Innedel</b> modellbetegnelse:	<b>HWS-603XWH-E</b> oppvarming og tappevann, <b>HWS-603XW-E</b> tappevann, <b>HWS-603XH-E</b> oppvarming		
<b>Utedel</b> modellbetegnelse:	<b>HWS-603H-E</b>		
Trinnløs varmekapasitet	kW	2,0 - 6,0	
Effektfaktor - oppvarming / tappevann	COP	4,00 / 3,30	
Avgitt varme/effektfaktor ved utetemperatur:		Oppvarming 35°C <sup>1)</sup>	Tappevann 65°C <sup>2)</sup>
25°C	kW / COP	6,92 / 6,18	6,32 / 4,14
16°C		6,28 / 4,81	6,13 / 3,68
7°C		6,00 / 4,00	6,00 / 3,30
2°C		6,00 / 3,10	6,00 / 2,70
- 7°C		4,10 / 2,30	4,90 / 2,30
- 15°C		3,40 / 1,90	3,50 / 1,80
Driftsområde utetemperatur	°C	-20 til 43	
Lydtrykk innedel <sup>3)</sup> / utedel <sup>3)</sup>	dB(A)	33 / 50	
Kompressortype	-	Dobbel rullestempel	
Maks rørlengde (innedel - utedel)	meter	15	
Maks høydeforskjell (innedel - utedel)	meter	10	
Maks rørlengde (innedel - varmtvannsbereder)	meter	5	
Spenningsstilførsel for varmepumpe (innedel)	V / ~ / Hz	230 / 1 / 50	
Sikring	A	16	
Innedel - høyde / bredde / dybde - vekt	mm - kg	770 / 500 / 280 - fra 30 - 43	
Utedel - høyde/bredde/dybde - vekt	mm - kg	550 / 780 / 290 - 38	

<b>kWsmart varmtvannsbereder</b>		<b>200 liter</b>	<b>300 liter</b> <sup>4)</sup>
Materiale tank / isolasjon		rustfri / PUR-skum	rustfri / PUR-skum
Maks. trykk	bar	9	9
Spenningsstilførsel - sikring	V / ~ / Hz - A	230 / 1 / 50 - 10	230 / 1 / 50 - 16
Effekt el.kolbe	kW	2	3
Mål - høyde / bredde / dybde	mm - kg	1470 / 596 / 620 - 62	1900 / 596 / 620 - 82

<b>kWsmart Modul 1 el.kassett</b>		<b>6,0 kW</b>	<b>9,0 kW</b>
Vannvolum	liter	9	9
Spenningsstilførsel	V / ~ / Hz	230 / 3 / 50 eller 400 / 3+N / 50	som 6,0 kW
Sikring 230 / 400 V	A	16 / 10	25 / 16
Maks. trykk	bar	9	9
Mål - høyde / bredde / dybde - vekt	mm - kg	600 / 500 / 280 - 22	600 / 500 / 280 - 22

<b>kWsmart Modul 2 komplett varmesentral el.kassett</b>		<b>6,0 kW</b>
Vannvolum	liter	11
Spenningsstilførsel	V / ~ / Hz	230 / 3 / 50 eller 400 / 3+N / 50
Sikring 230 / 400 V	A	16 / 10
Maks. trykk	bar	2,5
Mål - høyde / bredde / dybde - vekt	mm - kg	1110 / 500 / 280 - 51

### Reléboks for styring av tilleggsvarme

Opptil 9 kW i tre steg for oppvarming, og opptil 3 kW for varmtvannsbeholder

Bryter for manuell styring av el.kolbe i varmtvannsbereder. Signal fra Toshiba kWsmart innedel styrer 16 A reléer.

<sup>1)</sup> Betingelser for oppgitte data til boligoppvarming: Utetemperatur: 7°C / 6°C. Vanntilførsel: 30°C - Oppvarming av vann til 35°C. Kjølørørlengde: 5 meter (ingen høydeforskjell)

<sup>2)</sup> Betingelser for oppgitte data til varmtvannsvarming: Utetemperatur: 7°C / 6°C. Vanntilførsel: 9°C - Oppvarming av vann til 65°C. Kjølørørlengde: 5 meter (ingen høydeforskjell)

<sup>3)</sup> Lydtrykkverdi gjelder ved 1 meters fri avstand uten refleksjon.

<sup>4)</sup> Leveres også med spiral for passivhusløsning.

**Tillegg H**

**Solfangerpakke fra ASV Solar**

## Datablad for solfanger system TV – 6+6 – 840

### Tappevann og vannvarme– 14,4 m2 solfanger - 840 liter tank

### Solfanger:

Beregnet varmefangst per år:	<b>8391 kWh ( Østlandet - 30° takvinkel mot syd).</b>
Total dimensjon på areal:	Bredde: 4600mm X Høyde 3700mm.
Kollektor areal:	<b>14,4 m2</b>
Farge på omramming:	Valgfri.
Antall moduler	12
Rør tur- retur, dimensjon og type	22 mm PEX som er isolert.
Varmemedium:	PH nøytralt vann.
System:	Ikke trykk satt. Benyttes som takteking eller på vegg. Festes på lekte lag. Skjult rørsystem.

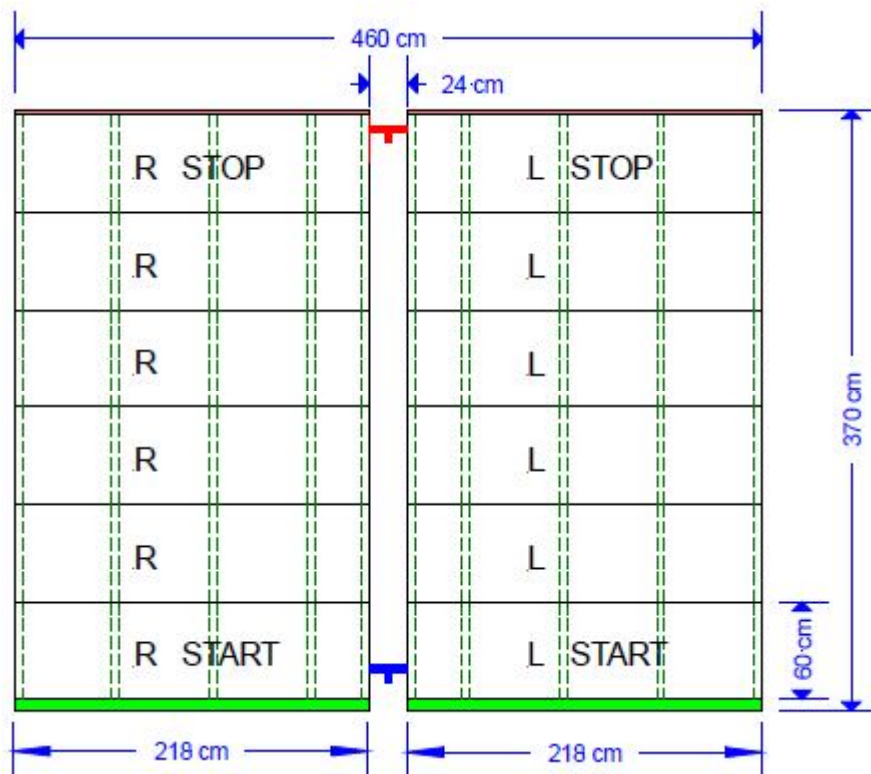
### Varmefangst profil i kWh gjennom året, 30° takvinkel mot syd.

Norge	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	SUM
Østlandet	112	334	618	906	1 318	1 244	1 267	1 133	762	396	202	99	8 391
Vestlandet	90	267	494	725	1 054	995	1 014	907	609	317	161	79	6 713

**LINK : Solfangst kalkulator.** Dette er et regneark hvor det kan settes inn antall kvm solfanger og deretter kan utbytte leses av i forhold til takvinkel og himmel retning.

**Link:** [Prosjektering, montasje og brukerveiledning.](#) Se: [www.asv.no](http://www.asv.no)

### Størrelse på solfanger område:



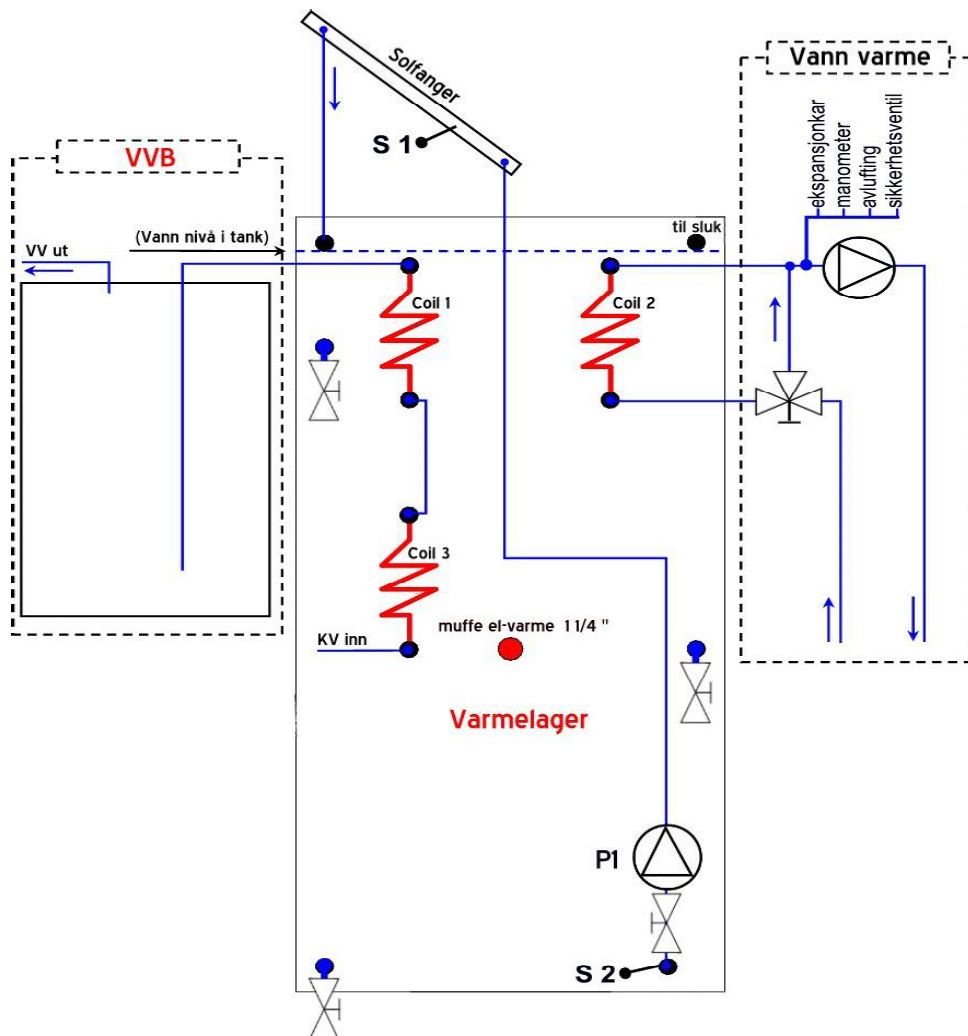
## Varmelager

Varmelager kapasitet:	<b>39 kWh</b> (Ved temperatur differanse = 40°C).
Antall liter varmelager:	Ca 840 liter
Coil til tappevann:	2 stk, overflate 2,4 m <sup>2</sup> , syrefast stål, er montert i tank.
Coil til vannvarme:	1 stk, overflate 1,2 m <sup>2</sup> , syrefast stål, er montert i tank.
Material kvalitet i tank:	Syrefast 316L, leveres uten isolering.
Varmemedium:	PH Nøytralt vann
Dimensjon på råtank:	Bredde: 760mm X Dybde: 760mm X Høyde 1530mm
Dimensjon på tank med isolasjon:	Bredde: 960mm X Dybde: 960mm X Høyde 1730mm
Varmetap gjennom 24 timer:	1,2 kWh med 20 cm og 2,1 kWh med 10 cm isolasjon (50 °C)

## Systemtegning av solfangersystem for tappevann og vannvarme.

P1 (pumpe) kobles til en differanse termostat. Den starter når S1 er varmere enn S2. P1 stopper når S1 og S2 har tilnærmet lik temperatur, eller temperatur på S2 er over maksimum temperatur. Vannet i solfangeren renner tilbake i varmelageret når P1 stopper. Rør til og fra solfanger skal ligge i fall uten vannlåser. Det benyttes PEX rør og plast koblinger.

Solvarme dekker ikke hele behovet for vannvarme, derfor er det behov for tilleggs varme. Det kan settes inn en 2 kWh el-kolbe i varmelager der solvarme kombineres med tradisjonell vedfyring. Men hvis det er kun solvarme og elektrisk oppvarming bør det settes inn en el-kasset i vannvarme anlegget.





**Tillegg I**

**Passivhus fra Block Watne**

Praktisk innholdsrik familiebolig med fire soverom, to stuer og to bad.

# PASSIVHUS

lavt energibruk

Største lengde:.....13,5 m  
Største bredde:.....8,7 m

Bruksareal (BRA):.....177,6 m<sup>2</sup>  
Primærrom (P-rom):.....167,7 m<sup>2</sup>

Bebygget areal (BYA):.....124,0 m<sup>2</sup>  
Type tomt:.....Flat tomt

Arkitekt:  
Siv. Ark. MNAL Ewa Szczepanik

Energiklasse: **A**



Det spesielle med passivhus er:

- Ekstra isolering
- Tett konstruksjon med minimale luftlekkasjer og kuldebroer
- Balansert ventilasjonsanlegg og høyeffektiv varmegjenvinning
- Superisolerte vinduer og dører
- Varmepumpe

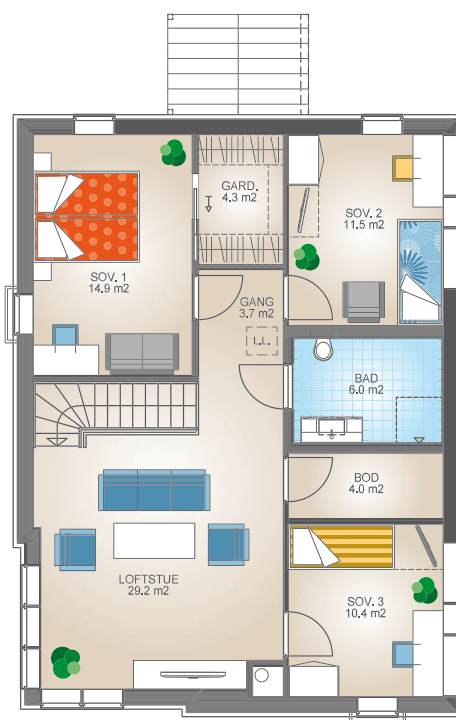
Du oppnår dermed et hus som gir deg lavere energiforbruk, et bedre inneklima og en mer miljøvennlig bolig.



Et passivhus har ekstra god isolasjon av gulv, tak, og yttervegger og sørger for at varmetapet reduseres til et minimum. I et passivhus blir varmen fra beboere og elektriske apparater tatt vare på, slik at forbruket til oppvarming blir svært lavt.



1. etasje  
Plantegning 1:150



2. etasje  
Plantegning 1:150



Tillegg J

## Passivhusevaluering i SIMIEN



# SIMIEN

## Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering  
Tid/dato simulering: 11:25 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Alle soner

Resultater av evalueringen	
Evaluering mot NS 3700	Beskrivelse
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse	Bygningen tilfredsstiller ikke krav til energiytelse
Minstekrav	Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3700 (tabell A.1)
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller ikke alle krav til passivhus

Varmetapsbudsjett	
Beskrivelse	Verdi
Varmetapstall yttervegger	0,15
Varmetapstall tak	0,05
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,04
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,14
Varmetapstall kuldebroer	0,03
Varmetapstall infiltrasjon	0,03
Varmetapstall ventilasjon	0,05
Totalt varmetapstall	0,49
Krav varmetapstall	0,55

Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	25,0 kWh/m <sup>2</sup>	19,9 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk el./fossile energibærere	8,7 kWh/m <sup>2</sup>	72,3 kWh/m <sup>2</sup>



# SIMIEN

## Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering  
Tid/dato simulering: 11:25 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Alle soner

Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	0,15
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	0,13
U-verdi gulv mot grunn og mot det fri [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	0,15
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	0,80	0,80
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	0,03
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	88	80
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,10	1,50
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,60	0,60

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	3958 kWh	25,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	4719 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	509 kWh	3,2 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	46 kWh	0,3 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	1804 kWh	11,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	2775 kWh	17,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	13810 kWh	87,2 kWh/m <sup>2</sup>

Levert energi til bygningen (beregnet)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	1381 kWh	8,7 kWh/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt levert energi, sum 1-6	1381 kWh	8,7 kWh/m <sup>2</sup>



# SIMIEN

## Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering  
Tid/dato simulering: 11:25 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Alle soner

### Referanseinformasjon beregning

Evaluering mot NS 3700	Beskrivelse
Beregning	Utført etter NS 3700:2010 med validert dynamisk timesberegning etter reglene i NS 3031:2007
Kommune, gårds- og bruksnummer	
Konstruksjon og plassering	
Tekniske installasjoner	
Soneinndeling	
Arealvurdering	

### Dokumentasjon av sentrale inndata (1)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	155	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	79	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	89	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	28	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	158	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	380	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,80	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	17,8	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	39	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	88	



# SIMIEN

## Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering  
Tid/dato simulering: 11:25 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Alle soner

### Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	88,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,10	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,2	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	10,00	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	10	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	22,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	

### Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	4,00	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,80	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	3,40	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,50	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,05	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,19	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,82	





# SIMIEN

## Evaluering passivhus

Simuleringsnavn: Passivhusevaluering  
Tid/dato simulering: 11:25 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Alle soner

Inndata bygning		Verdi
Beskrivelse		
Bygningskategori		Småhus
Simuleringsansvarlig		Line Aasen
Kommentar		

**Tillegg K**

**Årssimulering i SIMIEN**



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Energibudsjett			
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov	
1a Romoppvarming	3958 kWh	25,0 kWh/m <sup>2</sup>	
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
2 Varmtvann (tappevann)	4162 kWh	26,3 kWh/m <sup>2</sup>	
3a Vifter	509 kWh	3,2 kWh/m <sup>2</sup>	
3b Pumper	46 kWh	0,3 kWh/m <sup>2</sup>	
4 Belysning	1804 kWh	11,4 kWh/m <sup>2</sup>	
5 Teknisk utstyr	2775 kWh	17,5 kWh/m <sup>2</sup>	
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Totalt netto energibehov, sum 1-6	13253 kWh	83,7 kWh/m <sup>2</sup>	

Levert energi til bygningen (beregnet)			
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi	
1a Direkte el.	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
1b El. Varmepumpe	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
1c El. solenergi	1325 kWh	8,4 kWh/m <sup>2</sup>	
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	
Totalt levert energi, sum 1-6	1325 kWh	8,4 kWh/m <sup>2</sup>	

Dekning av energibudsjett fordelt på energikilder						
Energikilder	Romoppv.	Varmebatterier	Varmtvann	Kjølebatterier	Romkjøling	El. spesifikt
El.	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Olje	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Gass	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Fjernvarme	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Biobrensel	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Varmepumpe	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Sol	25,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	26,3 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	32,4 kWh/m <sup>2</sup>
Annen	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Sum	25,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	26,3 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	32,4 kWh/m <sup>2</sup>



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Årlige utslipp av CO2		
Energivare	Utslipp	Spesifikt utslipp
1a Direkte el.	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	523 kg	3,3 kg/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
Annen energikilde	0 kg	0,0 kg/m <sup>2</sup>
Totalt utslipp, sum 1-6	523 kg	3,3 kg/m <sup>2</sup>

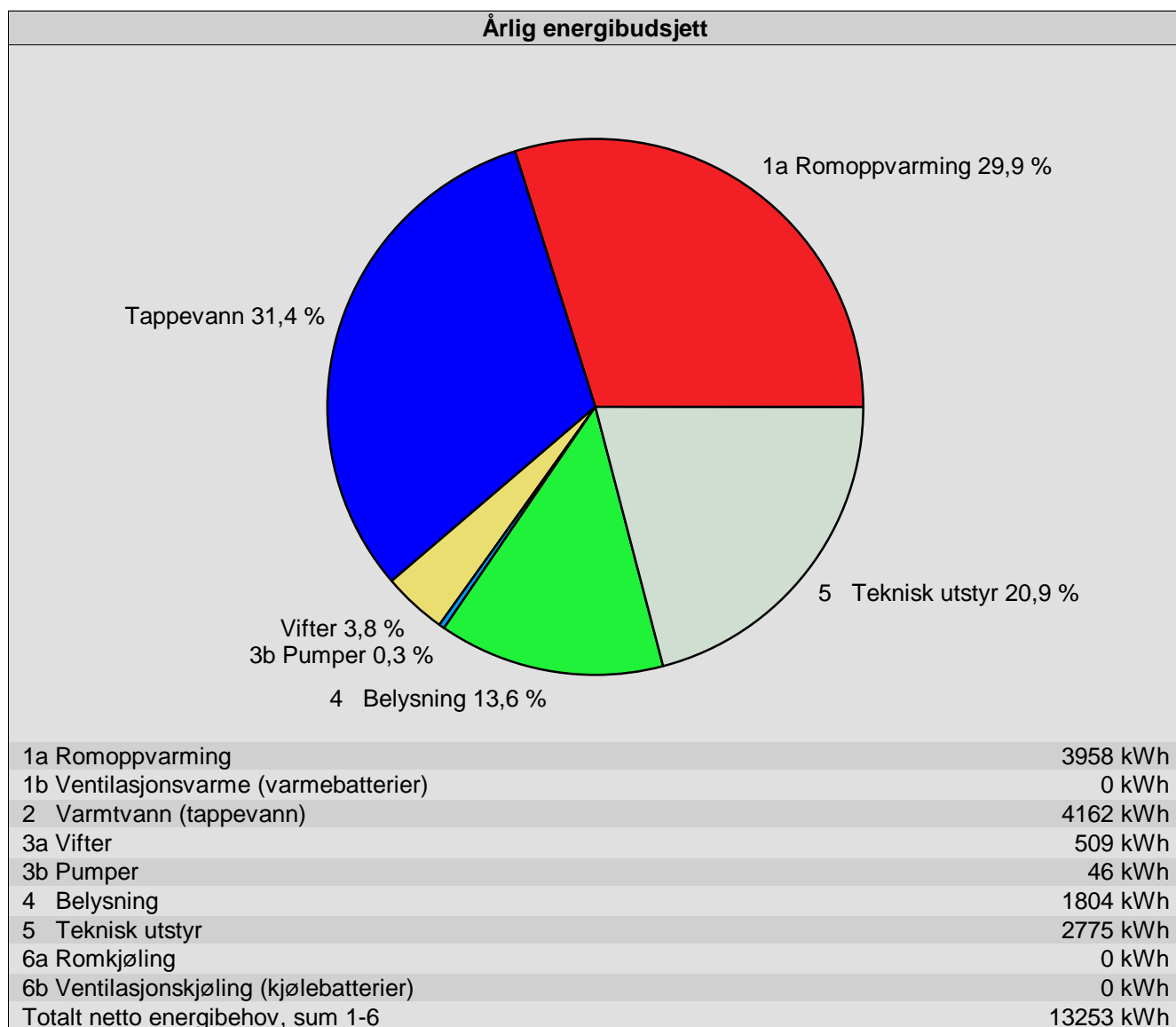
Kostnad kjøpt energi		
Energivare	Energikostnad	Spesifikk energikostnad
1a Direkte el.	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
1b El. Varmepumpe	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
1c El. solenergi	1060 kr	6,7 kr/m <sup>2</sup>
2 Olje	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
3 Gass	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
4 Fjernvarme	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
5 Biobrensel	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
Annen energikilde	0 kr	0,0 kr/m <sup>2</sup>
Årlige energikostnader, sum 1-6	1060 kr	6,7 kr/m <sup>2</sup>



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne





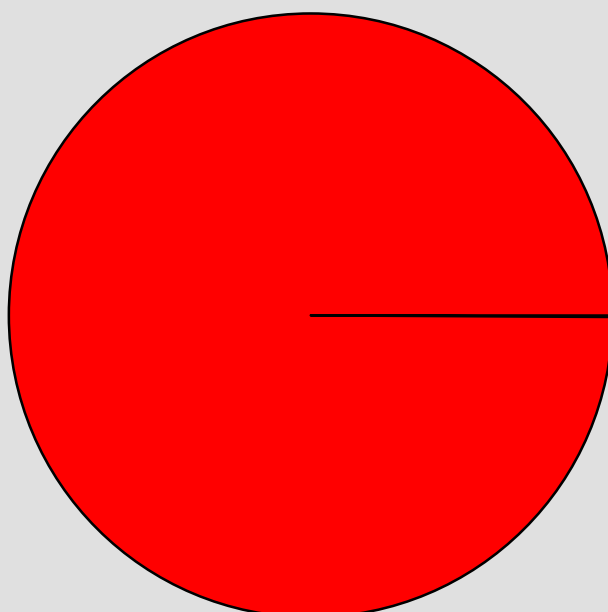
# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

### Levert energi til bygningen (beregnet)

1c El. solenergi 100,0 %



1a Direkte el.	0 kWh
1b El. Varmepumpe	0 kWh
1c El. solenergi	1325 kWh
2 Olje	0 kWh
3 Gass	0 kWh
4 Fjernvarme	0 kWh
5 Biobrensel	0 kWh
Annen energikilde	0 kWh
<b>Totalt levert energi, sum 1-6</b>	<b>1325 kWh</b>

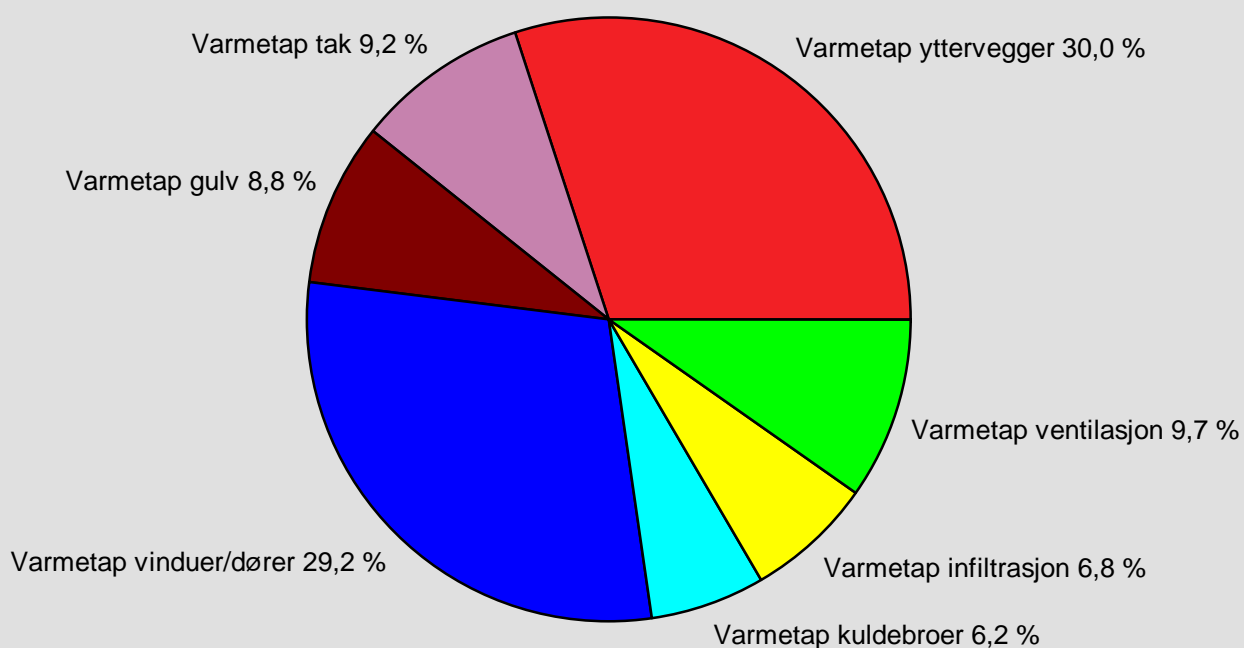


# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

### Varmetapsbudsjett (varmetapstall)



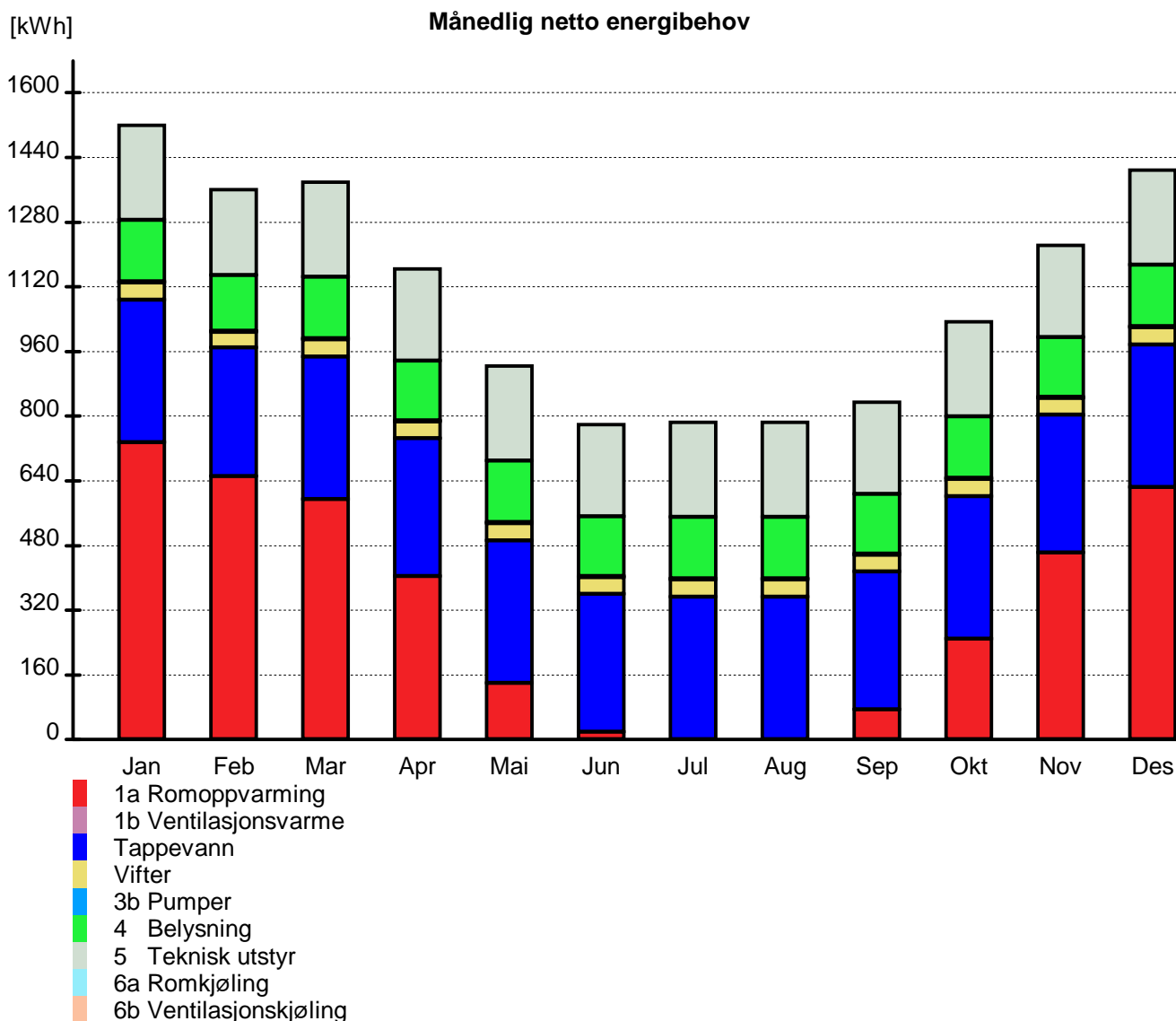
Varmetapstall yttervegger	0,15 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall tak	0,05 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,04 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,14 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall kuldebroer	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall infiltrasjon	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Varmetapstall ventilasjon	0,05 W/m <sup>2</sup> K
<b>Totalt varmetapstall</b>	<b>0,49 W/m<sup>2</sup>K</b>



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne



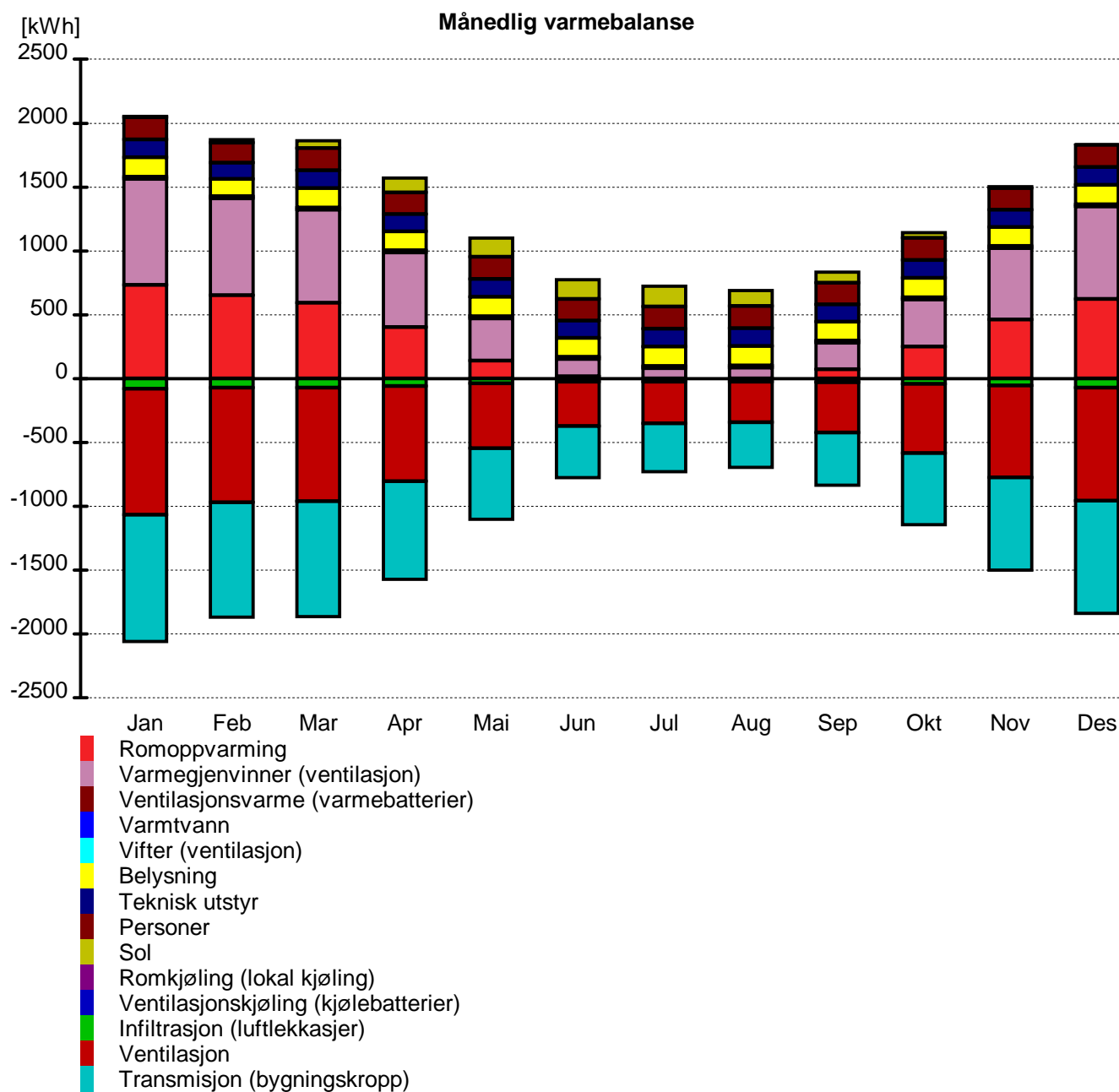




# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne





# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

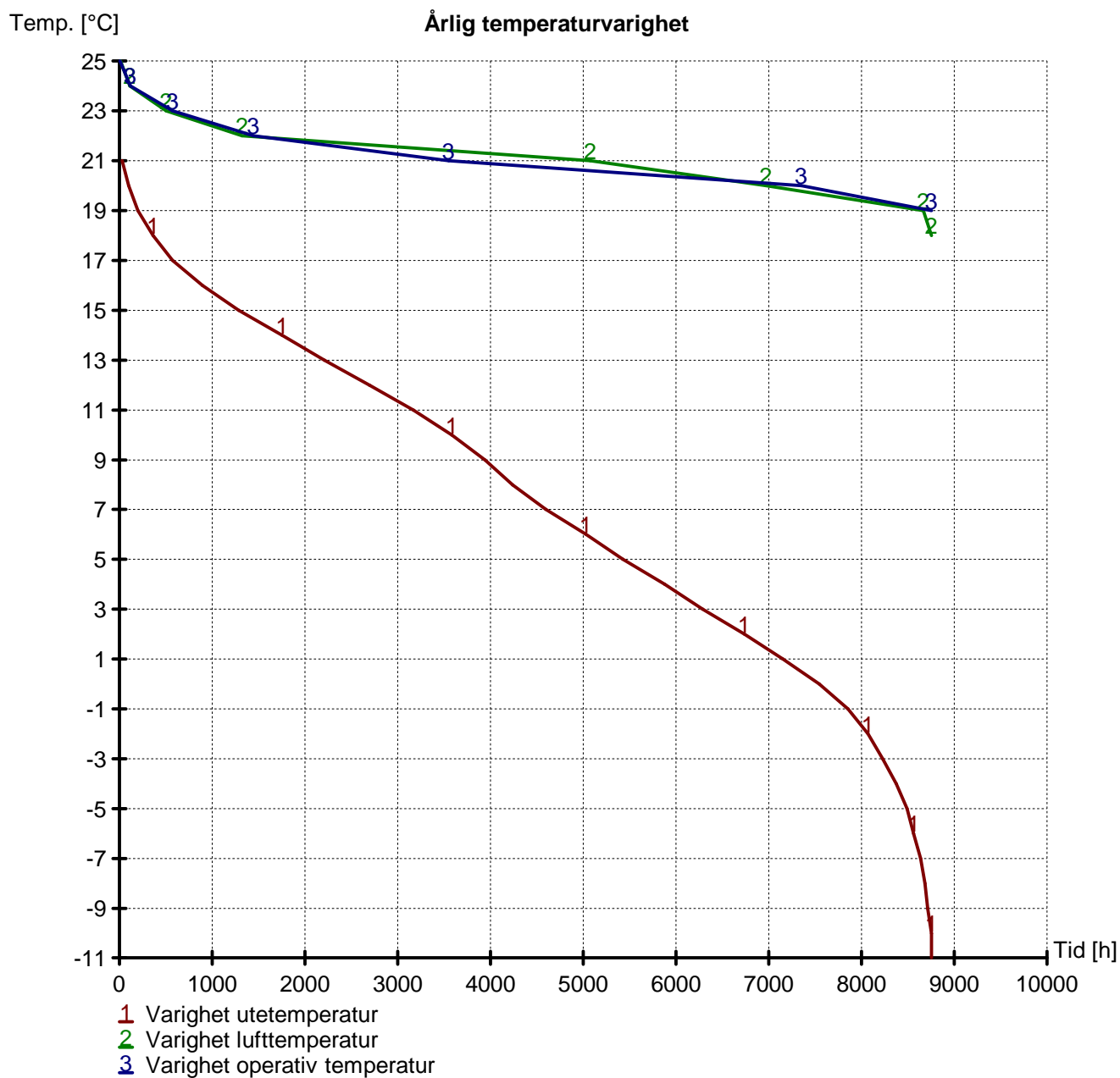
Måned	Månedlige temperaturdata (lufttemperatur)					
	Midlere ute	Maks. ute	Min. ute	Midlere sone	Maks. sone	Min. sone
Januar	-0,3 °C	7,0 °C	-10,6 °C	20,2 °C	21,0 °C	19,0 °C
Februar	-0,5 °C	8,0 °C	-10,5 °C	20,2 °C	21,0 °C	19,0 °C
Mars	1,8 °C	9,5 °C	-4,7 °C	20,4 °C	21,0 °C	19,0 °C
April	4,4 °C	11,9 °C	-2,3 °C	20,5 °C	21,0 °C	19,0 °C
Mai	10,1 °C	16,9 °C	3,3 °C	20,7 °C	21,7 °C	19,1 °C
Juni	14,2 °C	20,0 °C	8,7 °C	21,7 °C	24,1 °C	19,8 °C
Juli	15,8 °C	21,4 °C	9,8 °C	22,6 °C	25,0 °C	20,4 °C
August	15,7 °C	21,9 °C	8,9 °C	22,3 °C	25,6 °C	20,1 °C
September	12,6 °C	19,1 °C	6,5 °C	21,1 °C	23,2 °C	19,5 °C
Oktober	9,3 °C	15,3 °C	2,7 °C	20,6 °C	21,4 °C	19,0 °C
November	4,9 °C	12,7 °C	-2,9 °C	20,5 °C	21,0 °C	19,0 °C
Desember	1,9 °C	10,2 °C	-7,9 °C	20,3 °C	21,0 °C	19,0 °C



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

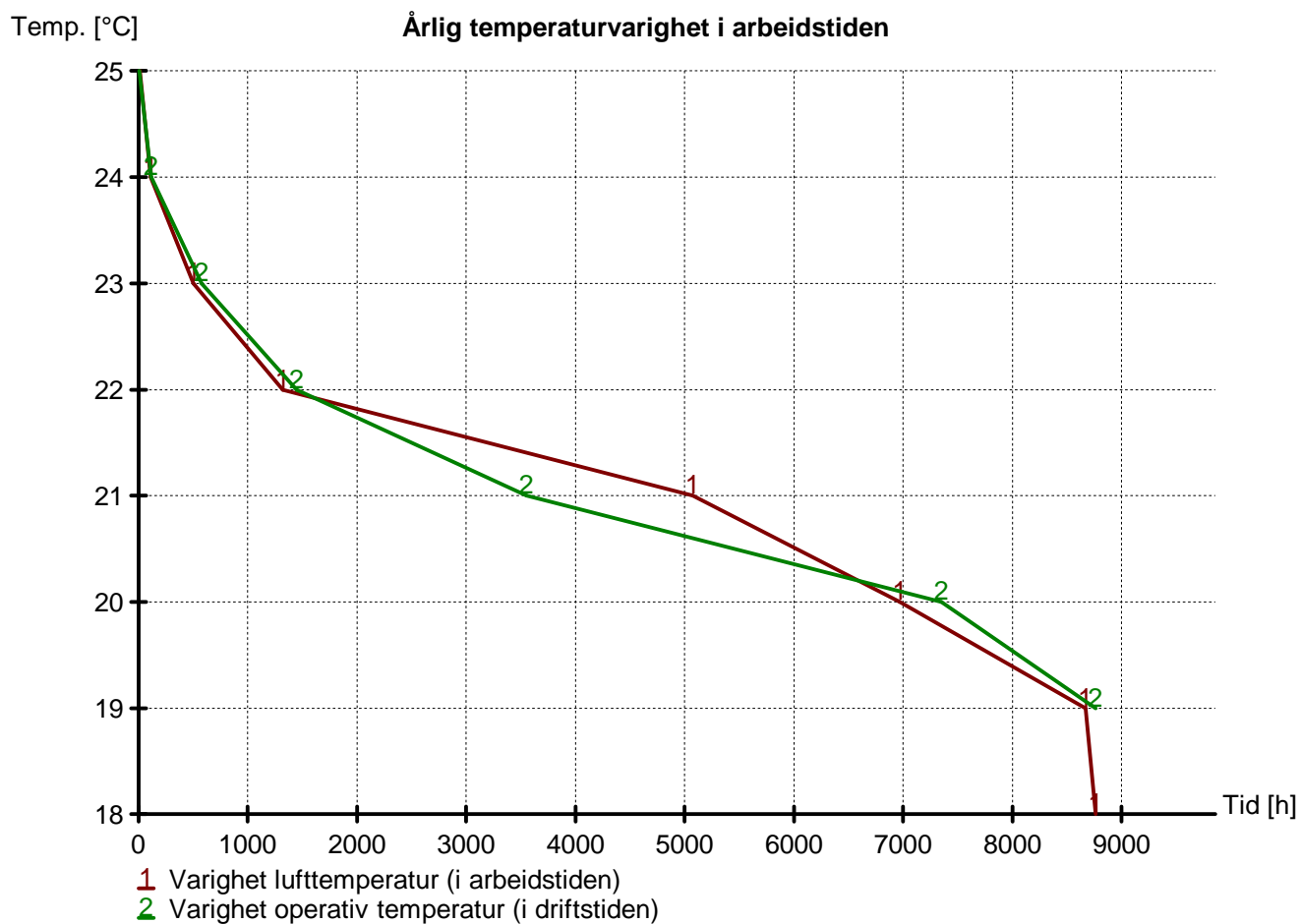




# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

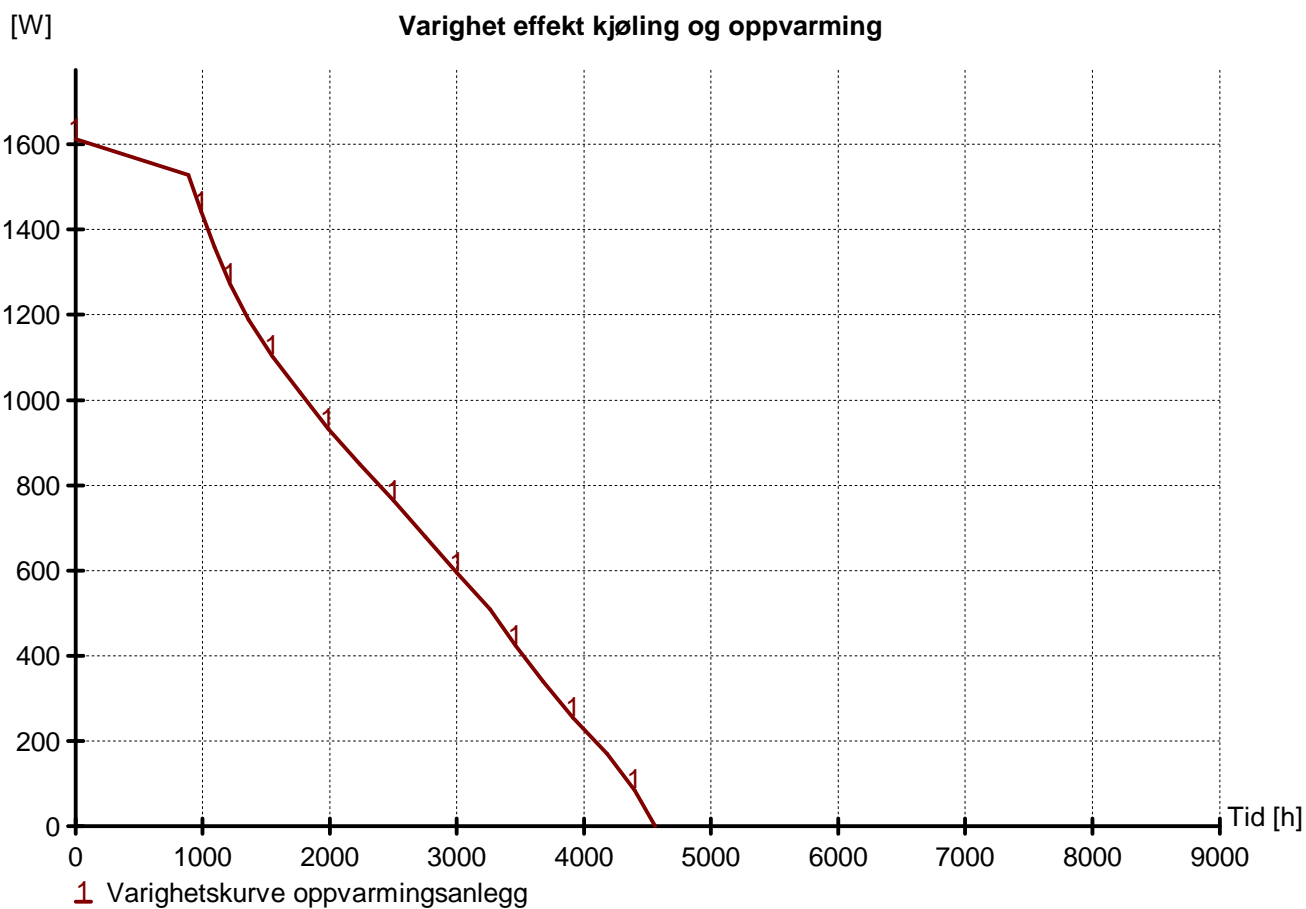




# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne



Dekningsgrad effekt/energi oppvarming	
Effekt (dekning)	Dekningsgrad energibruk
1,4 W (90 %)	96 %
1,3 W (80 %)	92 %
1,1 W (70 %)	86 %
1,0 W (60 %)	79 %
0,8 W (50 %)	71 %
0,6 W (40 %)	60 %
0,5 W (30 %)	48 %
0,3 W (20 %)	34 %
0,2 W (10 %)	18 %



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

### Dokumentasjon av sentrale inndata (1)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	155	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	79	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	89	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	28	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	158	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	380	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	0,15	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	0,09	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,08	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	0,80	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	17,8	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,03	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	39	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,60	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	88	

### Dokumentasjon av sentrale inndata (2)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Estimert virkningsgrad gjenvinner justert for frostsikring [%]:	88,0	
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	1,10	
Luftmengde i driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,2	
Luftmengde utenfor driftstiden [m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	1,2	
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	10,00	
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	10	
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20,3	
Systemeffektfaktor kjøling:	2,50	
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0,0	
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m <sup>2</sup> ]:	0	
Spesifikk pumpeeffekt romoppvarming [kW/(l/s)]:	0,50	
Spesifikk pumpeeffekt romkjøling [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt varmebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Spesifikk pumpeeffekt kjølebatteri [kW/(l/s)]:	0,00	
Driftstid oppvarming (timer)	16,0	



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

### Dokumentasjon av sentrale inndata (3)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Driftstid kjøling (timer)	0,0	
Driftstid ventilasjon (timer)	24,0	
Driftstid belysning (timer)	16,0	
Driftstid utstyr (timer)	16,0	
Oppholdstid personer (timer)	24,0	
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,95	
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,80	
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m <sup>2</sup> ]	3,00	
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m <sup>2</sup> ]	0,00	
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m <sup>2</sup> ]	1,50	
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0,05	
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0,19	
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	0,82	

### Inndata bygning

Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Småhus
Simuleringsansvarlig	Line Aasen
Kommentar	

### Inndata klima

Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Torungen (Arendal)
Breddegrad	58° 14'
Lengdegrad	8° 29'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	7,5 °C
Midlere solstråling horisontal flate	107 W/m <sup>2</sup>
Midlere vindhastighet	5,9 m/s



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata energiforsyning	Verdi
1c El. solenergi		Systemvirkningsgrad: 10,00 Kjølefaktor: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO2-utslipp: 395 g/kWh Andel romoppvarming: 100,0% Andel oppv, tappevann: 100,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %

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





# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata rom/soner Verdi
Oppvarmet gulvareal	158,4 m <sup>2</sup>
Oppvarmet luftvolum	380,0 m <sup>3</sup>
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/K/m <sup>2</sup>
Varmekapasitet møbler/interiør	12,0 Wh/m <sup>2</sup> (Normalt møblert/mellomtunge skillekonstruksjoner)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)	0,60 ach
Skjerming i terrenget	Moderat skjerming
Fasadesituasjon	Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar	31
Driftsdager i Februar	28
Driftsdager i Mars	31
Driftsdager i April	30
Driftsdager i Mai	31
Driftsdager i Juni	30
Driftsdager i Juli	31
Driftsdager i August	31
Driftsdager i September	30
Driftsdager i Oktober	31
Driftsdager i November	30
Driftsdager i Desember	31

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg Verdi
Navn:	Syd (fasade)
Totalt areal	50,0 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett vegg Varmekapasitet 3,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorpsjonskoeffisient	0,80



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vindu type 1 (Vindu(er) på Syd)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,70 m
Bredde vindu(er)	2,40 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Beskrivelse	Inndata vinduselement Verdi
Navn:	Vindu type 2 (Vindu(er) på Syd)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg Verdi
Navn:	Øst (fasade)
Totalt areal	41,4 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett vegg Varmekapasitet 3,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorptionskoeffisient	0,80



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata vinduselement
Verdi	
Navn:	Vindu type 1 (Vindu(er) på Øst)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,70 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Beskrivelse	Inndata vinduselement
Verdi	
Navn:	Vindu type 2 (Vindu(er) på Øst)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg
Verdi	
Navn:	Nord (fasade)
Totalt areal	50,0 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett vegg Varmekapasitet 3,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorpsjonskoeffisient	0,80



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata vinduselement
Verdi	
Navn:	Vindu type 3 (Vindu(er) på Nord)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	0,60 m
Bredde vindu(er)	3,00 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Beskrivelse	Inndata ytterdør
Verdi	
Navn:	Balkongdør (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	4,2 m <sup>2</sup>
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 0,80 W/m <sup>2</sup> K

Beskrivelse	Inndata fasade/yttervegg
Verdi	
Navn:	Vest (fasade)
Totalt areal	41,4 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	360°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett vegg Varmekapasitet 3,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,15 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorptionskoeffisient	0,80



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Dør (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,1 m <sup>2</sup>
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 0,80 W/m <sup>2</sup> K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Vindu type (Vindu(er) på Vest)
Antall vinduer	3
Høyde vindu(er)	1,50 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,19
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Konstant (fast) solskjerming	3-lags rute, 2 energiglass, lyse utvendige persienner, 80mm lameller Total solfaktor: 0,05

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv 1.etasje (gulv)
Oppvarmet gulvareal	88,9 m <sup>2</sup>
Gulvtype	Gulv på grunn
Utvendig omkrets	40,86 m
Tykkelse grunnmur	0,50 m
Grunnforhold	Leire/silt Varmekapasitet: 833 Wh/m <sup>3</sup> K Varmeledningsevne: 1,50 W/mK
Ekstra kantisolering	Type: Vertikal Navn: 70 mm XPS (varmeledningsevne 0,034) Høyde/bredde: 0,60 m Tykkelse: 7,0 cm Varmeledningsevne: 0,03 W/mK
Innv. akk. sjikt gulv	Parkett (14 mm) + betong Varmekapasitet 41,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Gulvkonstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,09 W/m <sup>2</sup> K



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

Beskrivelse	Inndata CAV Verdi
Navn:	Balansert ventilasjon (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	24:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Utenfor driftstiden: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> Helg/feridag: tilluft = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> , avtrekk = 1.2 m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup>
Tilluftstemperatur	17.0 °C
Varmebatteri	Nei
Kjølebatteri	Nei
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.88
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Etter gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Etter gjenvinner
SFP-faktor vifter	1.1 kW/m <sup>3</sup> /s

Beskrivelse	Inndata oppvarming Verdi
Navn:	Oppvarmingsanlegg (oppvarming)
Settpunkttemperatur i driftstid	21,0 °C
Settpunkttemperatur utenfor driftstiden	19,0 °C
Maks. kapasitet	10 W/m <sup>2</sup>
Konvektiv andel oppvarming	0,60
Driftstid	16:00 timer drift pr døgn
Vannbårent oppvarmingsanlegg	Ja
Turtemperatur	35,0 °C
Returtemperatur	25,0 °C
Spesifikk pumpeeffekt	0,50 kW/(l/s)

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



# SIMIEN

## Resultater årssimulering

Simuleringsnavn: Årssimulering  
Tid/dato simulering: 11:37 14/3-2013  
Programversjon: 5.014  
Brukernavn: Student  
Firma: Undervisningslisens  
Inndatafil: D:\...\Passivhus Block Watne mindre.smi  
Prosjekt: Passivhus Block Watne  
Sone: Passivhus 2 Block Watne

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

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

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

Inndata yttertak	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Tak (yttertak)
Totalt areal	79,2 m <sup>2</sup>
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Takvinkel	0,0°
Innv. akkumulerende sjikt	Lett himling Varmekapasitet 3,0 Wh/m <sup>2</sup> K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,09 W/m <sup>2</sup> K
Utvendig absorpsjonskoeffisient	0,80