



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2018 30 stp**

Fakultetet for realfag og teknologi

Thomas K. Thiis

# **Energioptimalisering av et ZEN i et norsk kystklima**

Energy Optimization of a ZEN in a costal climate  
in Norway

**Thor André Ingebrigtsen**

Byggeteknikk og arkitektur

Fakultetet for realfag og teknologi



## Forord

Denne oppgaven inngår som avsluttende oppgave i studieprogrammet 'Byggeteknikk og Arkitektur' ved Norges Miljø- og Biovitenskaplige Universitet (NMBU).

Oppgaven tar for seg konseptet nullenerginabolag (ZEN) og hvordan realisere dette på mest optimale måte i et typisk, norsk kystklima. Et planlagt område i Haugesund kommune er brukt som utgangspunkt for studiet. Oppgaven er gjort i samarbeid med NMBU og PDS Arkitekt med henholdsvis Thomas K. Thiis og Glenn Kolberg som veiledere.

Jeg vil spesielt takke Thomas K. Thiis, Glenn Kolberg, Olafur D. Johannesson og Jérôme Kämpf for glimrende veiledning. Haugaland Kraft, Rototec, Meteonorm, Kaemco og Smartly har gitt meg verdifull erfaring og rådgivning som jeg ikke kunne vært foruten. Ellers vil jeg takke familie, samboer og venner for entusiasme, hjelpelighet og støtte.

Thor André Ingebrigtsen

13. Desember 2018



## Sammendrag

Bygningsindustrien står for omtrent 40% av energiforbruket i Europa og det å forbedre energieffektiviteten i byggebransjen vil være essensielt i utviklingen mot en bærekraftig framtid. I de siste tiårene har energisimuleringsprogrammer vært et primært verktøy for å simulere energiforbruket i individuelle bygg. I de neste tiårene vil det være viktig for samfunnet å gå over til nullenergi-nabolag (ZEN). For å se hvordan en gruppe bygninger påvirker hverandre, vil ikke simuleringer for individuelle bygg være nok.

Energisimuleringsprogrammer for nabolag vil derfor være neste steget for å oppnå en framtid med bygninger uten klimaavtrykk.

'CitySim Pro' er et bygningssimuleringsprogram som er i stand til å simulere de termiske egenskapene for en gruppe bygninger. Programmet skaper en tilnærmet realistisk simulering av stråling mellom eksterne overflater i tillegg til å beregne potensielt netto energiforbruk. Den geometriske modelleringen er gjort i 'Google SketchUp' og de klimatiske dataene er generert i 'Meteonorm'.

I denne oppgaven skal et nabolag på Saltveit med et typisk norsk kystklima simuleres. For å finne beste byggemetode for et ZEN, vil ulike energikilder og klimaforhold vurderes. Målet med oppgaven er å finne ut hvilke faktorer som er viktige for å oppnå nullenergi-målet og gi en optimal løsning for ZEN på Saltveit. For å estimere energiforbruket i fremtiden, vil tre forskjellige klimadata simuleres: nåtidens klima og to mulige klimascenario for 2050 (A2 og B1).

Resultatene viser energiregnskap for Saltveit ZEN med tre forskjellige klimascenario. De ulike klimasituasjonene har liten påvirkning på resultatet og nabolaget har et årlig energioverskudd i alle situasjoner. I tillegg blir nødvendig batterikapasitet presentert.



## Abstract

The building industry is responsible for about 40% of overall energy use in Europe and improving building efficiency is one of the key strategies toward a sustainable future. In the last decades detailed individual building energy models has been established as tool of analysis for building designers and policy makers. In the next couple of decades, the establishment of zero energy neighbourhoods (ZEN) will be crucial to improve energy efficiency in the society. To understand how a group of building will perform together, aggregation of separate house simulations is not sufficient. Therefore, simulation software that can generate urban energy models is the next step to a achieve a future containing climate-friendly buildings.

'CitySim Pro' is a building energy simulation software which is capable to calculate the thermal performance of groups of buildings. It accounts for a realistic approach in modelling longwave radiation exchange between external surfaces, as well as the potential for building integrated energy production. The geometric modelling is done in 'Google SketchUp' and site-specific climate data is generated in 'Meteonorm'.

In this paper a neighbourhood situated in a costal climate in Haugesund, Norway is simulated. To investigate the ZEN concept, different renewable energy sources and climates are considered. The goal of the study is to determine different factors to gain the zero-energy goal and show different methods for energy systems. It is also important to know the future energy demand of the neighbourhood. To achieve this, three different climates are used as boundary conditions for the simulations; the present climate and two possible climates for 2050 (A2 and B1).

The results show the planned energy demand for different planning scenarios as well as climate change scenarios. The climate situations has very similar impact on the results and all of the results has positive energy output. The necessary battery capacity is also mentioned.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>INNHOLDSFORTEGNELSE</b> .....	<b>VI</b>
<b>FIGURLISTE</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TABELLISTE</b> .....	<b>IX</b>
<b>FORKORTELSER</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 OPPGAVEN OG MÅL .....	1
1.2 BAKGRUNN.....	1
<b>2 TEORI</b> .....	<b>3</b>
2.1 RELEVANTE BEGREP.....	3
2.1.1 ZEB.....	3
2.1.2 ZEN.....	4
2.1.3 Mikronett.....	5
2.1.4 Boliger nå og i framtiden .....	5
2.1.5 Lagring av energi .....	6
2.2 ENERGIKILDER .....	7
2.2.1 Solenergi .....	7
2.2.2 Vindkraft .....	9
2.2.3 Geoenergi og varmepumper .....	10
2.2.4 Vannkraft .....	12
2.2.5 Bioenergi.....	12
2.2.6 Kraftvarme (CHP).....	12
2.2.7 Sammenligning av energikilder.....	13
2.3 KLIMA.....	14
2.3.1 Klimascenario.....	14
2.3.2 Kystklima i Norge.....	14
2.4 VERKTØY FOR PLANLEGGING OG SIMULERING AV ZEN .....	15
2.4.1 CitySim Pro.....	15
2.4.2 Meteonorm .....	16
2.4.3 Climate Consultant.....	16
2.5 ELEKTRISK BRUKERLAST .....	17
2.5.1 Årslast .....	17
2.5.2 Døgnlast.....	18
2.6 FORSKRIFTER.....	20
<b>3 METODE</b> .....	<b>21</b>
3.1 SALTVEIT ZEN .....	21
3.2 BYGNINGER .....	22
3.2.1 Energiltak.....	22
3.2.2 Eneboliger .....	23
3.2.3 Tomannsbolig .....	25
3.2.4 Firemannsbolig .....	26
3.2.5 Offentlige bygg .....	26
3.3 BYGNINGSELEMENTER OG TEKNISKE SYSTEMER.....	27
3.3.1 Vegg.....	28
3.3.2 Tak .....	28
3.3.3 Gulv mot grunn .....	29



3.3.4	Solceller.....	29
3.3.5	Geoenergi.....	30
3.3.6	Energilagring.....	30
3.4	MODELLERING .....	31
3.4.1	Tetthet .....	31
3.4.2	Modellering i Google SketchUp.....	33
3.5	ENERGISIMULERING I CITYSIM PRO .....	34
3.5.1	Simuleringsparametere.....	34
3.5.2	Presentasjon av resultater .....	36
3.6	ELEKTRISK BRUKERLAST .....	37
3.6.1	Elektrisk brukerlast .....	37
3.6.2	Varmepumpe .....	38
<b>4</b>	<b>RESULTAT .....</b>	<b>39</b>
4.1	BYGNINGER .....	39
4.1.1	Eneboliger .....	39
4.1.2	Øvrige bygninger.....	40
4.2	NABOLAG .....	41
4.2.1	Nåværende klima.....	41
4.2.2	A2-klima.....	43
4.2.3	B1-klima .....	45
4.2.4	Sammenligning .....	46
4.3	ENERGILAGRING .....	48
4.3.1	Lagringseffekt .....	48
4.3.2	Lagringsbehov.....	49
<b>5</b>	<b>DISKUSJON.....</b>	<b>51</b>
5.1	RESULTATER .....	51
5.2	FORENKLINGER.....	51
5.3	ENERGIKILDER .....	52
5.4	GEOENERGI .....	53
5.5	ENERGILAGRING .....	54
5.6	MILJØPLANLEGGING.....	55
5.7	BEBOERE OG PERSONLIGE ENERGITILTAK .....	57
5.8	CITYSIM PRO .....	58
5.9	KOSTNAD .....	59
5.10	ZEN I ANDRE DELER AV NORGE .....	59
5.11	RINGVIRKNINGER .....	60
<b>6</b>	<b>KONKLUSJON .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>VIDERE FORSKNING .....</b>	<b>63</b>
	<b>KILDER .....</b>	<b>65</b>
	<b>VEDLEGG.....</b>	<b>69</b>
	BYGNINGER: VARMEBEHOV OG PV-PRODUKSJON.....	69
	CITYSIM PRO: GRAFISKE RESULTATER FRA SIMULERING I NÅVÆRENDE KLIMA.....	76
	FORSKRIFTER .....	81
	HARDWARE OG SOFTWARE.....	82

## Figurliste

Figur 1 - Eksempel på nullenergibygg [51].....	3
Figur 2 - Energistrømmen i et mikronett [6].....	5
Figur 3 - Oversikt over fornybare energikilder [14].....	7
Figur 4 - Sesongpåvirkning på solceller [37].....	8
Figur 5 - Årsmiddelvind i Norge [21].....	10
Figur 6 - Fordeler og ulemper med de forskjellige fornybare energikildene [14].....	13
Figur 7 - Potensielle miljøskader ved de forskjellige fornybare energikildene [14].....	13
Figur 8 - Utslipp av karbon i forskjellige typer klimascenario [28].....	14
Figur 9 - Totalt energiforbruk per sektor (Europa, 2011) [36].....	17
Figur 10 - Gjennomsnittlig årlig energiforbruk for husstander ulikt antall beboere [37].....	18
Figur 11 - Døgnlast på en arbeidsdag [37].....	18
Figur 12 - Døgnlast på en gj. snittlig. lørdag [37].....	19
Figur 13 - Døgnlast på en gj. snittlig. søndag [37].....	19
Figur 14 - Saltveit (Google Maps).....	21
Figur 15 - Tiltak for energioptimalisering med normale klimaforhold (Climate Consultant)....	22
Figur 16 - Enebolig 1 (Google SketchUp).....	23
Figur 17 - ZEB Pilot House (Snøhetta) [42].....	23
Figur 18 - Enebolig 2 (Google SketchUp).....	24
Figur 19 - Enebolig 3 (Google SketchUp).....	24
Figur 20 - Enebolig 4 (Google SketchUp).....	25
Figur 21 - Tomannsbolig (Google SketchUp).....	25
Figur 22 - Firemannsbolig (Google SketchUp).....	26
Figur 23 - Barnehage (Google SketchUp).....	27
Figur 24 - Elektriske egenskaper for EasyIn-modulen [44].....	29
Figur 25 - Situasjonsplan Stivlevågen Vest (PDS Arkitekt).....	31
Figur 26 - Nabolaget modellert i Google SketchUp.....	33
Figur 27 - Resultat for årlig varmebehov presentert i CitySim Pro.....	36
Figur 28 - Utklipp fra resultat eksportert fra CitySim Pro (Microsoft Excel).....	37
Figur 29 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i nåværende klima (Sommer).....	41
Figur 30 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i nåværende klima (Vinter).....	42
Figur 31 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit med nåværende klima.....	42
Figur 32 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima (Sommer).....	43
Figur 33 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima (Vinter).....	43
Figur 34 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima.....	44
Figur 35 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima (Sommer).....	45
Figur 36 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima (Vinter).....	45
Figur 37 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima.....	46
Figur 38 - Årlig energioverskudd nåværende klima.....	48
Figur 39 - Soner for næring, idrett og skole (Autodesk Infracore).....	55
Figur 40 - Fugleperspektiv barnehage (Google SketchUp).....	56
Figur 41 - Varmebehov enebolig 1.....	69
Figur 42 - PV-produksjon enebolig 1.....	69
Figur 43 - Varmebehov enebolig 2.....	70
Figur 44 - PV-produksjon enebolig 2.....	70
Figur 45 - Varmebehov enebolig 3.....	71
Figur 46 - PV-produksjon enebolig 3.....	71
Figur 47 - Varmebehov enebolig 4.....	72
Figur 48 - PV-produksjon enebolig 4.....	72
Figur 49 - Varmebehov tomannsbolig.....	73
Figur 50 - PV-produksjon tomannsbolig.....	73

Figur 51 - Varmebehov firemannsbolig .....	74
Figur 52 - PV-produksjon firemannsbolig .....	74
Figur 53 - Varmebehov barnehage .....	75
Figur 54 - PV-produksjon barnehage .....	75
Figur 55 - Årlig kortbølgeståling nåværende klima (CitySim Pro) .....	76
Figur 56 - Årlig langbølgeståling nåværende klima (CitySim Pro) .....	76
Figur 57 - Årlig gj. snittlig overflatetemperatur nåværende klima (CitySim Pro) .....	77
Figur 58 - Åpen himmel-faktor (CitySim Pro) .....	77
Figur 59 - Årlig PV-produksjon nåværende klima (CitySim Pro) .....	78
Figur 60 - Årlig termisk varmeproduksjon nåværende klima (CitySim Pro).....	78
Figur 61 - Årlig gj. snittlig varmebehov nåværende klima (CitySim Pro).....	79
Figur 62 - Årlig gj. snittlig kjølebehov nåværende klima (CitySim Pro) .....	79
Figur 63 - Årlig gj. snittlig innetemperatur nåværende klima (CitySim Pro) .....	80
Figur 64 - Forskjellige bygningselementer og krav til egenskaper [47] .....	81

## Tabelliste

Tabell 1 - Oppbygning av vegg .....	28
Tabell 2 - Oppbygning av tak .....	28
Tabell 3 - Oppbygning av gulv mot grunn .....	29
Tabell 4 - Detaljerte input i CitySim Pro .....	35
Tabell 5 – Årlig energioverskudd eneboliger .....	39
Tabell 6 – Årlig energioverskudd øvrige bygninger .....	40
Tabell 7 – Årlig energioverskudd per enhet .....	40
Tabell 8 - Årlig varmebehov i nabolaget ved forskjellig klimascenario .....	46
Tabell 9 - Årlig energioverskudd i nabolaget ved forskjellig klimascenario .....	47
Tabell 10 - Kostnad basert på termisk-varmesystem .....	54
Tabell 11 - Energirammer (TEK17) [38] .....	81
Tabell 12 - Energiltak (TEK17) [38] .....	81

## Forkortelser

FORKORTEELSE	ENGELSK	NORSK
<b>ZEB</b>	Zero Energy Building	Nullenergihus
<b>ZEN</b>	Zero Energy Neighbourhood	Nullenerginabolag
<b>CHP</b>	Combined Heat and Power	Kraftvarme
<b>PV</b>	Photovoltaic Cells	Solceller
<b>MONO-SI</b>	Monocrystalline silicon	Monokrystallinsk silisium
<b>POLY-SI</b>	Polycrystalline silicon	Polykrystallinsk silisium
<b>TFSC</b>	Thin-film solar cells	Tynn-film solceller



# 1 Innledning

## 1.1 Oppgaven og mål

Denne oppgaven skal belyse den mest optimale løsningen for å skape et *nullenerginabolag* (ZEN) ved kysten av Norge, både i nåværende klima og i fremtidige klimascenario. I tillegg skal det gis estimat på nødvendige batteriegenskaper for lagring av energi i nabolaget.

Målet er å bevise at nullenergi-kravet er oppnåelig på Saltveit med tilhørende energi- og lagringssystem. Et resultat av dette vil forhåpentligvis være at energibesparende bygningsprosjekter vil bli mer akseptert i dagens samfunn.

## 1.2 Bakgrunn

De neste tiårene fremover mot 2050 vil bli avgjørende med tanke på klimaendringer. Med mindre betydelige tiltak blir gjennomført, kan det moderne samfunnet vi kjenner endres. Dette stiller skyhøye krav til byggesektoren som står for rundt 40% av energiforbruket og 36% av klimagassutslippene i EU [1].

Da konseptet *passivhus* ble introdusert i Norge ble byggebransjen revolusjonert. I takt med de stadig strengere kravene på grunn av klimaendringene, har kvaliteten på teknologien til husbygningsteknikk og energisystemer eksplodert. Passivhuskonseptet har gradvis blitt videreført til nesten-nullenergi-, nullenergi- og plussenergi-hus der byggene genererer omtrent like mye energi som de forbruker [2].

I denne oppgaven skal det fokuseres på konseptet ZEN. ZEN er basert på tanken om klimanøytralitet og vil som bygningsgruppe produsere like mye energi som det forbruker i bruksfasen. Det må tas hensyn til aspekter som klima, personlast, energisystem og bygningsutforming. Til simuleringsdelen blir CitySim Pro brukt på grunn av egenskapen til å simulere stråling mellom eksterne overflater. Dette gir realistiske målinger for et nabolag eller byområde.

Referanseområde for oppgaven ligger på Saltveit, rett nord for Haugesund i Rogaland fylke. Området har et typisk norsk kystklima, med milde vintre og somre. Det planlegges en-, to-, og firemannsboliger, barnehage samt tilhørende energisystem.



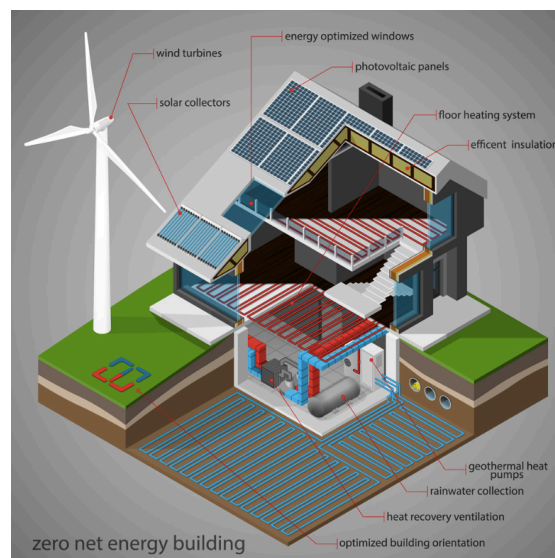
## 2 Teori

### 2.1 Relevante begrep

Det finnes mange tekniske begreper innenfor energifeltet. I dette kapittelet vil ulike relevante begreper belyses.

#### 2.1.1 ZEB

Et nullenergibygg (ZEB) er en bygning som produserer tilstrekkelig lokal, fornybar energi til å kompensere for årlig energiforbruk [1]. Energien som genereres bør være lokal og fornybar, for eksempel i form av solenergi, vindkraft og bioenergi [2]. Figur 1 illustrerer et eksempel på et ZEB og hvordan tekniske systemer påvirker boligen.



Figur 1 - Eksempel på nullenergibygg [51]

ZEB er forkortelse for 'Zero Energy Buildings' (nullenergibygg), og må ikke forveksles med 'Zero Emission Buildings' (nullutslippsbygg). Nullenergibygg fokuserer kun på energiproduksjon og energiforbruk i bruksfasen, mens nullutslippsbygg tar for seg det totale klimaregnskapet under hele byggets livssyklus. Dette gjelder alt fra transport, materialvalg, personbruk og valg av energikilder [1].

Opp gjennom årene har en rekke ZEB blitt bygd, noe som viser at målet om nullenergibygg er mulig. Bygningene bidrar ikke til klimaforandringer i bruksfasen, og binder sammen arkitektur, konstruksjonsdesign og fornybar energiteknologi i et balansert energiregnskap. De

fleste ZEB er mindre boliger og kontorbygg. Når det gjelder store offentlige bygg er målet om ZEB vanskeligere å gjennomføre, men fullstendig mulig med god planlegging [3].

I Norge har ZEB Centre (The Research Centre on Zero Emission Buildings) vært en ledende forskningsgruppe innenfor ZEB. Senteret har fått statlig støtte i perioden 2009 til 2017 der hovedfokuset har vært å redusere karbonavtrykket i bygningers livssyklus. Senteret utviklet definisjoner av ZEB samt et verktøy (ZEB Tool) for å kalkulere karbonavtrykket til en bygning gjennom livssyklusen. ZEB Centre har etter 2017 blitt videreført til FME ZEN som forsker på nullutslipp i større skala som nabolag og byer [4].

### 2.1.2 ZEN

Nullenerginabolag (ZEN) er definert som et nabolag hvor det årlige energiregnskapet er basert på lokal energiproduksjon ved hjelp av fornybare energikilder [3]. Nabolaget fungerer dermed som en egen, uavhengig organisme. Fordelene ved å bo i ZEN er flere, blant annet billigere strøm, godt utemiljø og god samvittighet.

Ved energisimuleringer er det store forskjeller på ZEB og ZEN. Simuleringer av ZEB baserer seg kun på enkeltbygninger, mens simuleringer av ZEN tar utgangspunkt i flere bygninger og hvordan de påvirker hverandre. Overskuddsenergi går til en sentral lagringsenhet og kan senere hente ut igjen ved behov. Stråling og skygge mellom bygningene vil påvirke energiregnskapet og føre til at hvert bygg vil ha en egen energisituasjon [3].

For å oppnå nullenergikravet må energitilskuddet være minst like stort som energiforbruket ved hvert tidspunkt.

$$\text{Energiforbruk} \leq \text{Energitilskudd}$$

I likhet med ZEB har ZEN to betydninger: Zero Energy Neighbourhood (nullenerginabolag) og Zero Emission Neighbourhood (nullutslippsnabolag). Ettersom denne oppgaven tar for seg energibalanse i bruksfasen vil det hovedsakelig fokuseres på nullenerginabolag. Alternative metoder for løsning vil derimot være aktuell for både nullenergi- og nullutslippsnabolag.

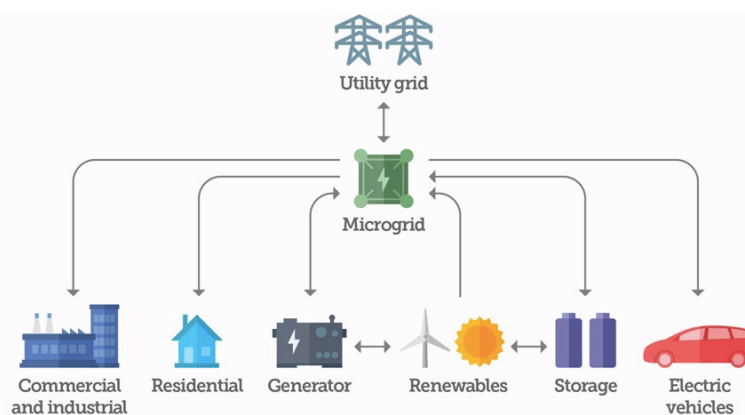
Norge er blant de ledende landene i verden i forhold til forskning på ZEN. FME ZEN (Forskningssenter for Miljøvennlig Energi i ZEN) er et forskningssenter som har spesialisert seg på nullutslippsområder i smarte byer. Senteret ble etablert i 2017 av det norske



forskningsrådet og mottar statlig støtte inntil 2024 [4]. FME ZEN er en koalisjon mellom NTNU og Sintef, og samarbeider tett med kommuner, næringsliv, myndighetsorgan og forskere for å planlegge, utvikle og drifte områder uten klimagassutslipp [4].

### 2.1.3 Mikronett

Et mikronett (microgrid) er en betegnelse på et nedskalert, lokalt kraftverkssystem. Dette er et system med lokal energiproduksjon, energilagring og fleksible brukere. Et mikronett kan være selvforsynt eller tilkoblet et overliggende strømmnett [5]. Dette kan illustreres ved en lokal vindturbin eller solcellesystem som produserer fornybar energi til en batteribank som igjen distribuerer elektrisitet til et nabolag (figur 2).



Figur 2 - Energistrømmen i et mikronett [6]

### 2.1.4 Boliger nå og i fremtiden

Det vil bli høyere krav til fremtidens konstruksjoner for både arkitekter og ingeniører med tanke på design, materialeegenskaper og kvalitet. Det pågår en kontinuerlig omlegging fra eldre boliger til nye, bærekraftige boliger. EU har ved lover, reguleringer og direktiver, startet en prosess for å redusere fossilenergi og den generelle energibruken betraktelig. Dette har nådd Norge ved EØS-avtalen. Fra 2015 var kravet at alle nybygg i Norge bygges som passivhus. Videre skal alle nybygg fra 2020 være nesten nullenerginivå ifølge EU [2]. Omleggingen går gradvis slik at alle deltakerland kan utvikle teknologien som behøves for å nå kravene. I fremtiden kan man anta at kravene blir strengere samt at materialene og metodene blir miljømessig bedre. Kostnader rundt solceller og andre eksisterende, fornybare energikilder vil reduseres i takt ved mer kommersielt bruk, samt at ny teknologi vil komme på markedet [7]. Når man ser på utviklingen de siste 50 årene kan man anta at alle boliger og offentlige bygg vil ha plussus-standard der det ikke er behov for fossilt brennstoff på noen måte. Dette gjelder i høyeste grad Norge, som er i verdenstoppen med tanke på fornybare bygninger og energikilder.

### 2.1.5 Lagring av energi

Dersom et ZEN skal være minst mulig avhengig av strømmettet, må det kunne lagre energi. Ettersom energiproduksjonen og energibehovet vil variere i løpet av døgnet og med årstidene, må overskuddsenergi kunne lagres til perioder med energiunderskudd. Overskuddsenergien kan lagres på ulike måter, eksempelvis i batteribanker eller i termiske lagringsentraler [8].

En batteribank kan lagre overskuddsenergi som den senere kan porsjonere ut ved behov. Nye batteri-teknologier gjør det teoretisk mulig å koble seg helt fra strømmettet, såkalt off-grid. Dette kan imidlertid by på store utfordringer i områder med varierende klima, ettersom det er svært kostbart å lagre store mengder energi fra solcellene om sommeren (da solcellene er mest effektive) til vinteren (da det er lite energiproduksjon) [9]. Tesla er ledende innenfor batterisatsing og har flere eksempler på batteribanker i alt fra småhus, nabolag til bysamfunn [10].

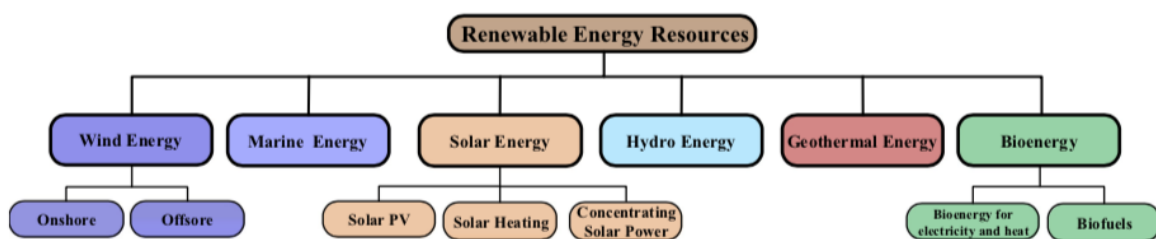
Ved dimensjonering av batteribanker må visse egenskaper oppfylles. Batteriene må dimensjoneres for å tåle høy mengde elektrisitet over lengre tid. For å finne den største årlige lagringseffekten, blir timebaserte data analysert for å finne hvilken time i året som har høyest energioverskudd. Effekt er definert som strøm ganger spenning,  $\text{Watt (W)} = \text{Ampere (A)} * \text{Volt (V)}$ . Effekten angir hvor mye batteriet må tåle på et tidspunkt [11].

En annen viktig faktor ved dimensjonering av batteribank i et område, er dimensjonerende lagringsbehov. Dimensjonerende lagringsbehov beskriver hvor mye energi som må lagres til en spesifikk periode. Det totale underskuddet i disse periodene angir dimensjonerende lagringsbehov. Hver dag har en overgangsfase der energi lagres om dagen og brukes om natten. De korte dagene på vinteren gjør at underskuddet er større i denne perioden enn på sommeren [11].

Ved bruk av brønnenergi kan varme fraktes fra energibrønner til termiske lagringsentraler. Her vil varmen kunne lagres som energi og porsjoneres ut til bygninger ved behov. I den forbindelse er det optimalt med korte avstander mellom energibrønnene, lagringsentralene og bygningene for å unngå store energitap. Dessuten har termiske lagringsentraler store utfordringer når det gjelder lagring av termisk energi over tid, ettersom det kreves svært høye temperaturer for å holde på varmen [12].

## 2.2 Energikilder

98% av energien som produseres i Norge kommer fra fornybare energikilder. Ettersom Norge har høyere energiforbruk enn energiproduksjon, importeres energi fra utlandet som stammer fra fossile kilder som atom-, gass- og kullkraft [13]. Fornybar energi er energi som ikke brukes opp, og eksempler på fornybare energikilder er vindenergi, vannenergi, solenergi, geotermiskenergi og bioenergi (figur 3). I forhold til fossile energikilder er fornybare energikilder ikke direkte miljøskadelige med tanke på CO<sub>2</sub>-utslipp, og de er bærekraftige kilder til å generere ren energi [14]. Forskning på teknologi i forhold til fornybar energi satt i fokus medfører mer anvendelige produkter, mindre kostnader og større brukergrupper [14].

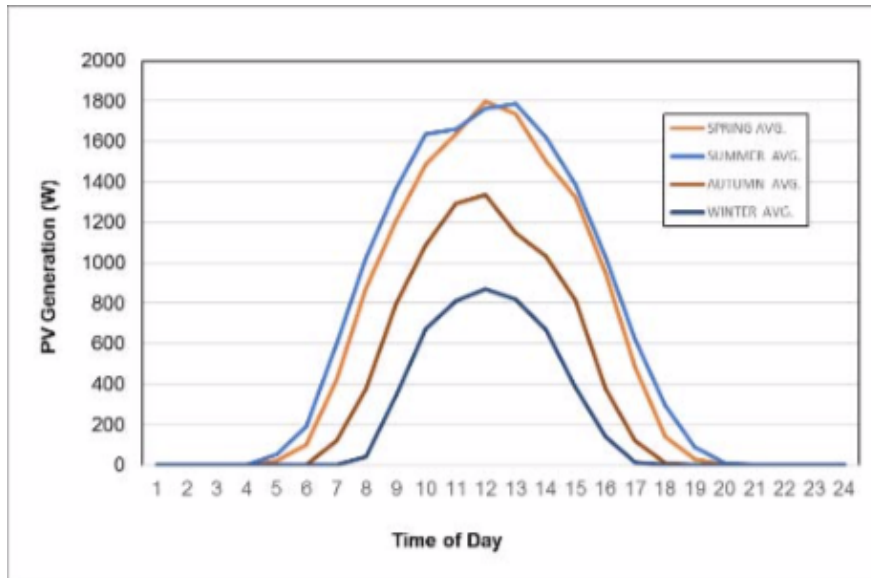


Figur 3 - Oversikt over fornybare energikilder [14]

### 2.2.1 Solenergi

Solen avgir mer enn nok energi til dekke verdens energibehov. I sammenligning med de andre fornybare energikildene er solenergi forsket mest på, mest stabil og mest kosteffektiv. Den fremste måten å samle solenergi på er med solceller [15].

Solenergi kan genereres gjennom skylag, så beliggenheten til solcellene er ikke nødvendigvis et problem selv om det selvsagt vil genereres mer energi noen steder enn andre. Sterk solinnstråling og lav temperatur er optimale solcelleforhold [16]. I østlige deler av Norge kan det være gode forhold om vinteren der solrefleksjon fra snø og lav temperatur gir genererer mye energi. Problemet i Norge er den store andelen skydekketimer som spesielt inntreffer på vinteren som gjør solceller mer effektive om sommeren og våren (figur 4) [17].



Figur 4 - Sesongpåvirkning på solceller [37]

Det finnes flere forskjellige typer solcellepanel etter de forskjellige behov. 90% av PV er silisiumbaserte, der kun renheten i silikon er forskjellig. De vanligste typene PV er enten mono- polykrystallinske eller tynn-film. **Monokrystallinsk PV** (mono-Si) er den eldste PV-teknologien på markedet. Denne paneltypen har den beste silisiumkvaliteten som gjør at effektiviteten av energiproduksjonen er høy. **Polykrystallinsk PV** (poly-Si) har dårligere silisiumkvalitet enn mono-Si. Dette gjør også at prisen er mindre. **Tynn-film PV** (TFSC) er en benevnelse på flere ulike silisiumtyper som kan brukes til veldig tynne solcellepanel. Den tynne formen gir dårligere effekt enn mono-Si og poly-Si men er fleksibel, rimelig og estetisk. Den lave effekten vil derimot kreve mye areal som ikke er ideelt for boliger [18].

PV er veldig anvendelig og modulbasert. De kan linkes sammen og plasseres hvor som helst, om det er på tak, vegg eller bakken. De vanligste systemene er silisiumbasert, men nyere typer som tynn film-moduler som er ikke-silisium semikonduktor blitt en viktig og effektiv oppsamler av solenergi. For eneboliger er det mest vanlig å plassere solcellene på tak med en vinkel der solinnstrålingen er størst [14].

Ulike løsninger for PV på boliger:

- **Utenpåliggende:** Solceller som blir plassert over eksisterende tak. Vanlig for boliger som ønsker solceller men ikke å skifte ut taket.
- **Integrert:** Solceller som er integrert i taket. Mest aktuelt for nybygg eller ved renovering av tak.
- **Tynn-film:** Solceller som blir 'klistret' på vindu eller andre glatte flater.

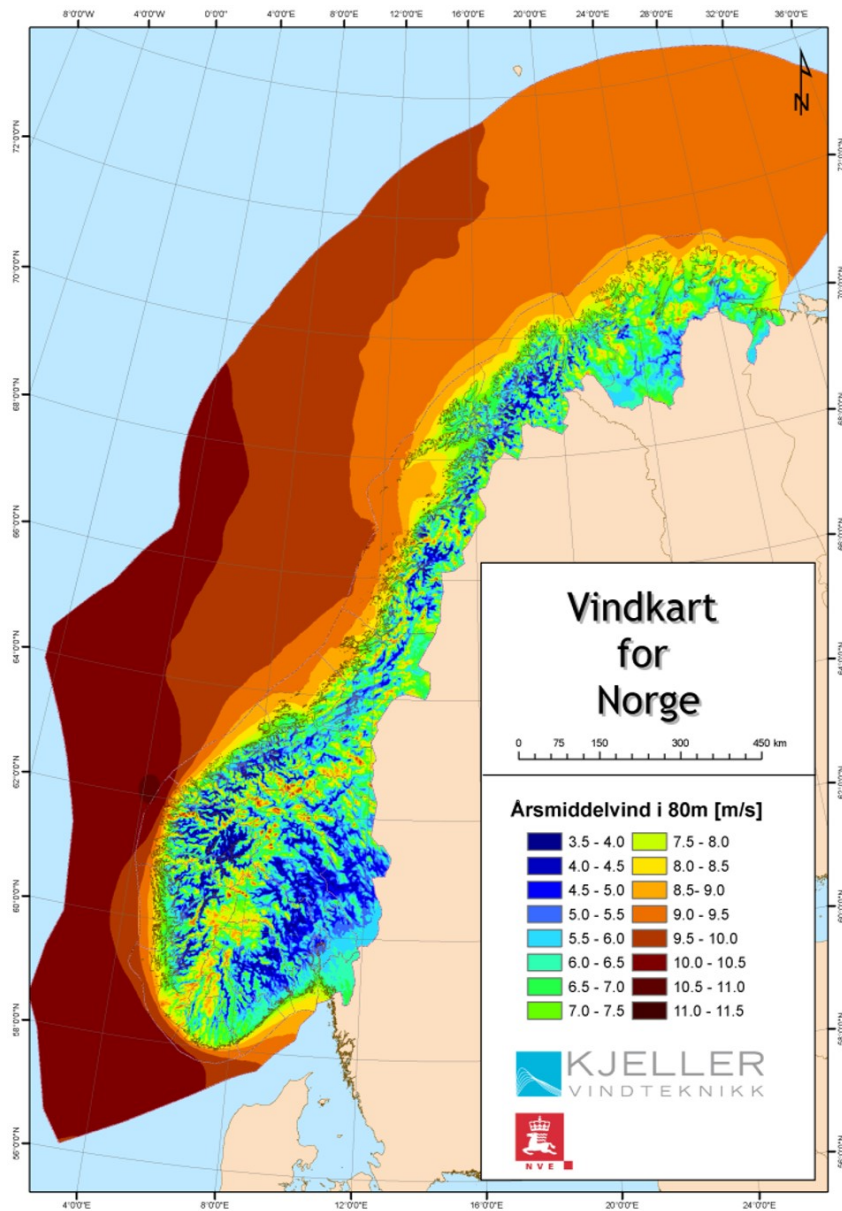
Solceller kan også generere termisk energi fra solen. Termiske solsammlere omdanner termisk energi fra solen til rom-, vannoppvarming og kjøling [14]. Dette kan fint kombineres med PV som gir en hybridløsning for elektrisitet og oppvarming. Sammenlignet med termisk energi fra energibrønner har ikke solsammlere like jevnt varmetilskudd.

### 2.2.2 Vindkraft

Vindkraft er definert som omdannelse av vindenergi til en brukbar form. For eksempel kan vindturbiner generere strøm, vindmøller generere mekanisk kraft og vindpumper pumper vann eller drenering. Vindkraft har siden slutten av 1900-talet vært av de ledende kildene til ren, fornybar energi på verdensbasis [14].

Vindturbiner genererer kinetisk energi fra bevegelig luft i kontrast til vindmøller som genererer mekanisk energi. Vindturbiner er den moderne 'vindmøllen' som er tynne, høye med propell på toppen. Disse turbinene er koblet til et elektrisk nettverk av forskjellige slag og kan generere alt fra opptil 10 MW effekt [19]. Landlige installasjoner er ofte plassert i grupper, vanligvis i form av vindturbinparker [14]. Plasseringen av disse parkene er veldig viktig med tanke på vindhastighet og -mengde. Høyt opp over bakken og langs kysten er vanligvis den beste plasseringen for best vindkraftproduksjon [20].

Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE) har lagt en oversikt over årsmiddelvind over hele Norge (figur 5) [21].



Figur 5 - Årsmiddelvind i Norge [21]

### 2.2.3 Geoenergi og varmepumper

Geotermiske energikilder bruker naturlige prosesser til å trekke ut fornybar energi fra jorden. Det brukes energibrønner som fanger opp varmen som er lagret i steiner og i form av damp og væske. Energien blir dermed sendt til en boligenhet gjennom en væske-vann varmepumpe. Geotermisk energi er regnet som en kosteffektiv-, pålitelig- og miljøvennlig energikilde [14].

Varmen til bygningene tilføres ved hjelp av varmepumper. Det finnes flere forskjellige typer varmepumper med forskjellige varmekilder [22]:

- **Luft-luft varmepumpe**
  - Henter energi fra uteluften og bruker den til å varme opp inneluften. Dette er den vanligste varmepumpen i Norge og har derfor lav investeringskostnad. Systemet krever én utedel og én innedel.
- **Luft-vann varmepumpe**
  - Henter varme fra uteluft til varmtvann og romvarme. I kystnære strøk vil pumpen ha høy virkningsgrad på grunn av jevn og høy gjennomsnittstemperatur.
- **Væske-vann varmepumpe**
  - Varme hentes fra energibrønn og avgis til varmt tappevann, vannbåren gulvvarme, radiatorer eller viftekonvektorer. Jordvarmen holder jevn varme gjennom året i motsetning til uteluft. Investeringskostnaden er høy men med normale grunnforhold kan 60-80% av energiforbruket reduseres i forhold til andre energikilder som strøm, bioenergi og fjernvarme. Jordvarmen kan lagres ved hjelp av en energisentral.
- **Tappevannsvarmepumpe**
  - Henter energi fra uteluft og avgir varme til tappevann. Siden det er kun tappevann som oppvarmes trengs det ingen utedel.
- **Avtrekksvarmepumpe**
  - En spesialisert luft-luft varmepumpe som gjenvinner energi fra brukt luft. Energien brukes til oppvarming av rom og tappevann. Jevne innetemperaturer (18-25° C) gir gode driftsforhold og pumpen kan kombineres med mekanisk- eller balansert ventilasjon. Begrenset inneluft kan begrense varmetilskuddet fra pumpen.
- **Varmepumpe med solceller**
  - Varmepumpe som kombineres med solfangere og solceller. Dette systemet er fleksibelt, og kan kombineres med luft-vann-, væske-vann- og avtrekksvarmepumper. Systemet er mer avansert og investeringskostnadene er noe høyere i forhold til andre varmepumpesystem.

#### 2.2.4 Vannkraft

Vannkraft er kraft som genereres fra energien i bevegelig vann. Rennende vann skaper energi som kan bli fanget opp og omdannes til elektrisitet ved hjelp av turbiner. Den vanligste formen for vannkraft er dammer, men nyere former som bølge- og tidevannsteknologi blir mer vanlig etterhvert som teknologikvaliteten bedres og kostnadene reduseres. Vannkraft er avhengig av et hellende terreng med forskjellige former for rennende vann [14].

Vannkraft dekker rundt 20% av energiproduksjonen i verden og kan brukes til prosjekter i stor skala. I forhold til andre energikilder er vannkraft veldig effektiv (utnytter 90% av all energi) og går fort fra ingen- til maksimum produksjon [23]. I Norge kommer 95% av totalt produsert energi fra vannkraft. På grunn av store nedbørsmengder, isbreer og kupert terreng har Norge gode forhold for vannkraft [24].

#### 2.2.5 Bioenergi

Biomasse er et begrep for alle organiske materialer som stammer fra planeter, trær og frø, og er i bunn og grunn en samling og lagring av solens energi gjennom fotosyntesen. Bioenergi er omdanningen fra biomasse til energiformer som varme, elektrisitet og drivstoff. Energien kommer enten direkte fra organismene eller fra restene som kommer fra prosessene i å lage mat og andre produkter. Biodrivstoff er i likhet med fossilt brennstoff brennbart og kan generere energi ved behov. Biodrivstoff blir regnet som det neste store innenfor drivstoffkilder til transport sammen med elektrisitet [14]. Elektrisitetseffektiviteten til bioenergisystemer er lav (15-20%) i forhold til andre energikilder, men fordelene er at biomasse også har lav CO<sub>2</sub>-faktor [25] som er positivt i et klimaregnskap.

#### 2.2.6 Kraftvarme (CHP)

Kraftvarme (CHP) er en energikilde som genererer både energi og varme [26]. Systemet samler varme fra elektriske komponenter og bruker den til oppvarming av vann, oppvarming, nedkjøling, etc. CHP-anlegget kan ligge sentralt til sluttkunden og kan levere energi med effektivitet på over 90%. Det brukes vanligvis treflis og biogass for å varme opp en kjele som generer strøm. Den samler så varmen som kjelen og andre elektriske komponenter yter til oppvarming. I forhold til nåværende generelt energiforbruk vil CHP-systemer i snitt spare 24% strøm. Systemet blir mer økonomisk effektivt med mange brukere [27]. Fra et helhetlig perspektiv vil CHP som energisystem være mer energieffektivt og ha mindre driftskostnader men også høyere investeringskostnad enn andre energisystemer [26].



## 2.2.7 Sammenligning av energikilder

Figur 6 og 7 viser fordelene og ulempene ved de forskjellige energikildene og potensielle miljøtruslene de kan medføre. Det negative som går mest igjen er kostnad. De fleste kildene krever mye forskning, stor brukergruppe og bred kompetanse for å reduseres i pris. På den positive siden derimot er energikildene alle fornybare.

Energy source	Advantages	Disadvantages
Biomass energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abundant and renewable</li> <li>Can be used to burn waste products</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Burning biomass can result in air pollution</li> <li>May not be cost effective</li> </ul>
Geothermal energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Provides an unlimited supply of energy</li> <li>Produces no air or water pollution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start-up/development costs can be expensive</li> <li>Maintenance costs, due to corrosion, can be a problem</li> </ul>
Hydropower	<ul style="list-style-type: none"> <li>Abundant, clean, and safe</li> <li>Easily stored in reservoirs</li> <li>Relatively inexpensive way to produce electricity</li> <li>Offers recreational benefits like boating, fishing, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Can cause the flooding of surrounding communities and landscapes.</li> <li>Dams have major ecological impacts on local hydrology. Can have a significant environmental impact</li> <li>Can be used only where there is a water supply</li> <li>Best sites for dams have already been developed</li> </ul>
Marine energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ideal for an island country</li> <li>Captures energy that would otherwise not be collected</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Construction can be costly</li> <li>Opposed by some environmental groups as having a negative impact on wildlife</li> <li>Takes up lots of space and difficult for shipping to move around</li> </ul>
Solar energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potentially infinite energy supply</li> <li>Causes no air or water pollution</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>May not be cost effective</li> <li>Storage and backup are necessary</li> <li>Reliability depends on availability of sunlight</li> </ul>
Wind energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Is a free source of energy</li> <li>Produces no water or air pollution</li> <li>Wind farms are relatively inexpensive to build</li> <li>Land around wind farms can have other uses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Requires constant and significant amounts of wind</li> <li>Wind farms require significant amounts of land</li> <li>Can have a significant visual impact on landscapes</li> <li>Need better ways to store energy</li> </ul>

Figur 6 - Fordeler og ulemper med de forskjellige fornybare energikildene [14]

Energy source	Potential negative impacts on the environment
Biomass	May not be CO <sub>2</sub> natural, may release global warming gases like methane during the production of biofuels, landscape change, deterioration of soil productivity, hazardous waste
Geothermal	subsidence, landscape change, polluting waterways, air emissions
Hydropower	Change in local eco-systems, change in weather conditions, social and cultural impacts
Marine energy	Landscape change, reduction in water motion or circulation, killing of fish by blades, changes in sea eco-system
Solar	Soil erosion, landscape change, hazardous waste
Wind	Noises in the area, landscape change, soil erosion, killing of birds by blades

Figur 7 - Potensielle miljøskader ved de forskjellige fornybare energikildene [14]

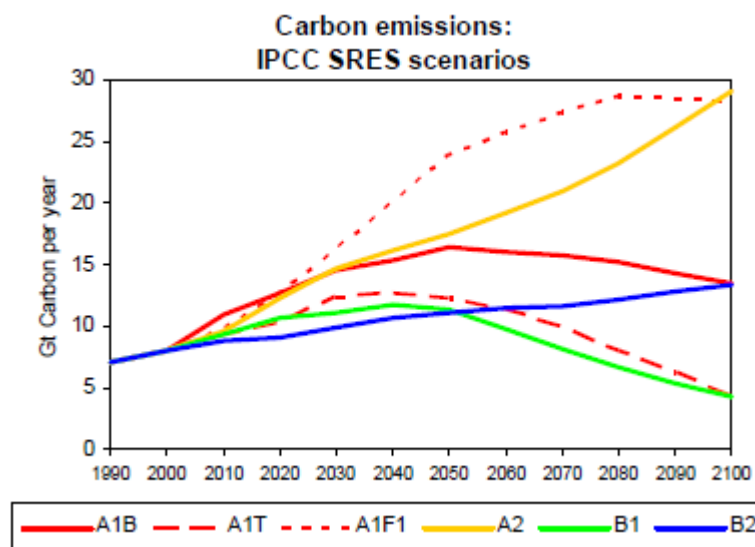
## 2.3 Klima

### 2.3.1 Klimascenario

Simuleringen skal gjøres tre ganger med forskjellige klimasituasjoner. Nåværende klimasituasjon og to fremtidige klimascenario (A2 og B1).

Nåværende klimasituasjon er en samling av to klimasett der det ene er strålingsperioden (1991-2010) og det andre temperaturperioden (2000-2009). Dette beskriver når de forskjellige målingene er tatt.

Fremtidsdataene A2 og B1 er to forskjellige typer klimasituasjoner som kan oppstå. Scenario **A2** er en fremtid som er markedsstyrt med en rask populasjonsrate og liten økonomirate. Her er det lokale markedet i fokus der alle må passe på seg selv. **B1** er et scenario der klimasituasjonen er satt i fokus og det har blitt satt sterke tiltak til å forbedre miljøet. Tiltakene har ført til økonomisk-, sosial- og miljøbærekraftighet. Dette betyr at scenario A2 har veldig høyt klimautslipp mens B2 har veldig liten (figur 8). Begge framtidssituasjonene er satt til år 2050 i simuleringen [28].



Figur 8 - Utslipp av karbon i forskjellige typer klimascenario [28]

### 2.3.2 Kystklima i Norge

Hele norskekysten fra Oslofjorden til Troms kommer innunder kystklima (gruppe Cfb) i klimaklassifiseringen til Köppen-Geiger. Denne klimasonen blir påvirket av polarfronten som gir ustabil vær og mange skytimer. Skydekket gjør at somrene er kjølige mens vinteren er mild på grunn av varmen fra Golfstrømmen [17].

## 2.4 Verktøy for planlegging og simulering av ZEN

De siste tiårene har energisimuleringsprogrammer blitt stadig mer brukt innenfor energiberegning av enkeltbygninger. Etterhvert har disse programmene blitt utviklet til å simulere energitilskudd- og forbruk på opptil flere tusen bygninger på en gang. Disse avanserte programmene er forventet å være nøkkelverktøy i fremtidige energianalyser av nabolag og byer [29].

Funksjonen til disse verktøyene er at de kan lage fysiske modeller av varme- og massestråling i og rundt bygninger for å beregne totalt energibruk i tillegg til inne- og utvendige miljøegenskaper for en gruppe bygninger. I forskjell fra simuleringer av enkeltbygg vil en simulering av en gruppe bygninger skape relasjoner mellom bygningene og påvirke hverandre i et endelig energiregnskap. Skygge, varmestråling fra overflater og refleksjoner er eksempler på påvirkende elementer [29].

For å lage en pålitelig energimodell av et nytt eller gammelt nabolag kreves det flere faktorer; datainput, termisk modellering og validering. Ved **datainput** trengs det informasjon om klima, bygningsgeometri, bygningskvaliteter og energibrukslaster. **Termisk modellering** kombinerer informasjonen i datainput for å lage termiske simuleringer for bygningen(e). Det lages modeller for bl.a. varmestrøm. I **validering** blir modellenes resultater kontrollert [29].

Det er elementer som skaper usikkerheter ved simuleringer av flere bygninger. Infiltrasjon, personlast, skygger [30], nøyaktige 3D-modeller og termisk nøyaktighet [31] er forskjellige parametere som vil påvirke resultatet. Spesielt er personlasten veldig uforutsigbar. Energibruken være svært forskjellig fra person til person men simuleringsprogram gir kun én standardverdi for dette. Dette gjør at energibruken enten blir dimensjonert med alt for mye eller alt for lite energi. Nøyaktigheten med klimaet er avhengig av klimadataene og programmene disse er generert i. Generelle usikkerhetsverdier for simuleringsprogram er 7-21% usikkerhet ved varmestråling og 1-19% usikkerhet ved energianalyser [29].

### 2.4.1 CitySim Pro

CitySim Pro er et simuleringsverktøy som kan analysere energibevegelsene i bygninger. Den kan, i forskjell til andre verktøy, simulere flere bygg samtidig og analysere relasjonene mellom disse. CitySim Pro er utviklet av École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) i Sveits og Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB). Rådgivningsfirmaet Kaemco har deretter utviklet et grafisk brukergrensesnitt.

Ved hjelp av bygningsmodeller tegnet og tagget i Google SketchUp eller Rhino, kan bygninger simuleres med påsatte egenskaper og spesifikasjoner. Resultatene eksporteres som fem forskjellige resultatfiler som viser årlige verdier per time for elektrisitetsforbruk, varmebehov, drivstofforbruk, mm [32].

Det som stiller CitySim Pro i et bedre lys enn andre lignende programmer, er nøyaktigheten i analyser av langbølgestråling mellom eksterne flater. Dette betyr varme og lys som reflekteres i flater som tak, vegg og terreng. Det gir i tillegg muligheten til å sette opp egne bygningsprofiler, antall beboere og type solcellepanel [33].

### 2.4.2 Meteonorm

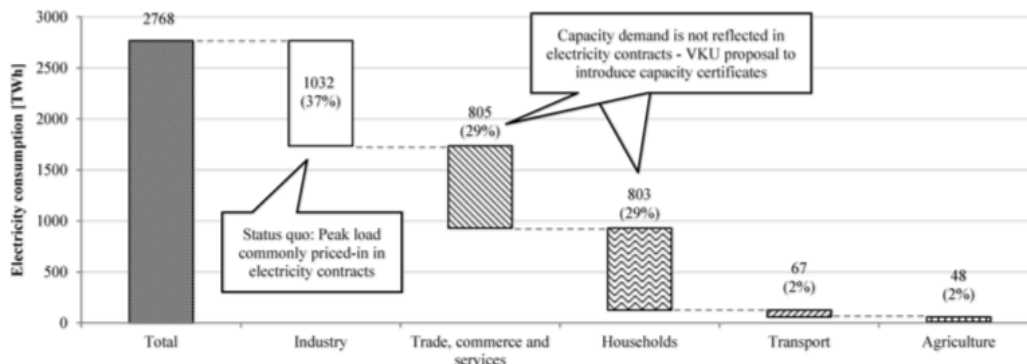
Klimadataene for oppgaven er generert ut av det sveitsiske programmet Meteonorm [34]. Programmet analyserer klima basert på GEBA-data (Global Energy Balance Archive Data) som oppfyller kravene fra WMO (World Meteorological Organisation). Fra en klimasimulering vil det genereres klimadata og horisontdata som trengs for å gjøre en simulering i CitySim Pro. Selv om CitySim Pro er innstilt til å akseptere klimadata spesielt fra Meteonorm, er det mulig å innhente klimadata fra andre kilder så lenge datasettet er organisert på samme måte.

### 2.4.3 Climate Consultant

Programmet Climate Consultant [35] gir tips til energiltak med bakgrunn i klimaet. Climate Consultant er et gratis, grafikkbasert klimadataprogram laget for arkitekter, ingeniører, rådgivere, mm. Programmet tar EPW-filer (EnergyPlus Weather) for alle 8760 timene i året og lager systematiske analyser av dette. Ut fra disse dataene kan programmet lage en plan for energibaserte tiltak for bygninger.

## 2.5 Elektrisk brukerlast

Husholdninger er ansvarlig for 29% av Europas totale energiforbruk (figur 9). 29% tilsvarer omtrent 800 TWh ( $800 \cdot 10^9$  kWh) elektrisitet. Energiforbruket omfatter elektriske apparater, lys, ventilasjon og andre strømkrevende elementer. Husholdninger forbruker omtrent like mye som sektorene Industri (37%) og Handel & Service (29%) [36].

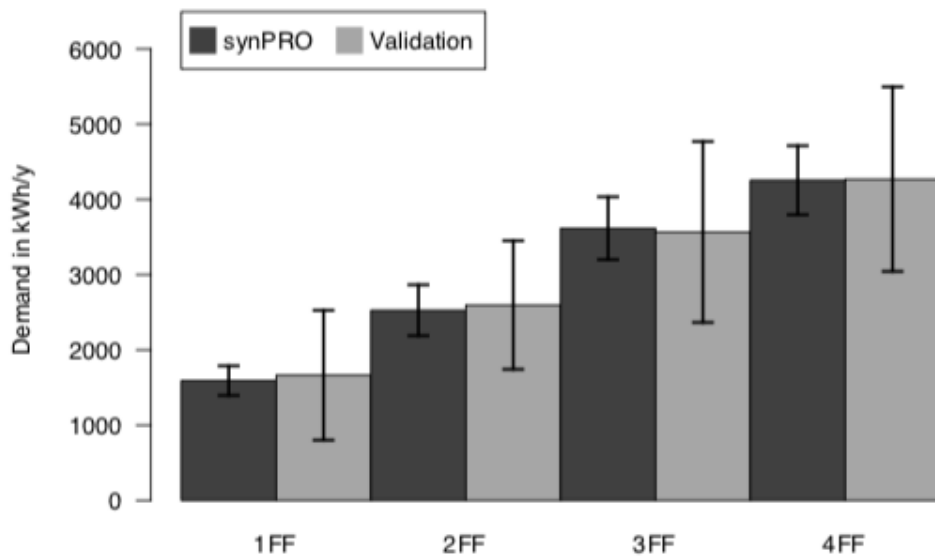


Figur 9 - Totalt energiforbruk per sektor (Europa, 2011) [36]

Verdiene og grafene i kapittel 2.5.1 og 2.5.2 er gjennomsnittlige verdier fra 430 husstander i Tyskland [37]. Disse verdiene antas å være representative for oppgaven fordi tysk klima, kultur, personer, bygningsteknikk og teknologi kan samsvares med Norge. Grafene angir to forskjellige verdier for hver kategori; SynPRO og validation. SynPRO er en syntetisk lastprofil. Det vil si at den har fokus på elektriske apparater og tar ikke i bruk personers småforbruk. Validation er en videreføring av SynPRO der alt av personers forbruk er tatt med. Dette er funnet ut fra en måling tatt over et helt år.

### 2.5.1 Årslast

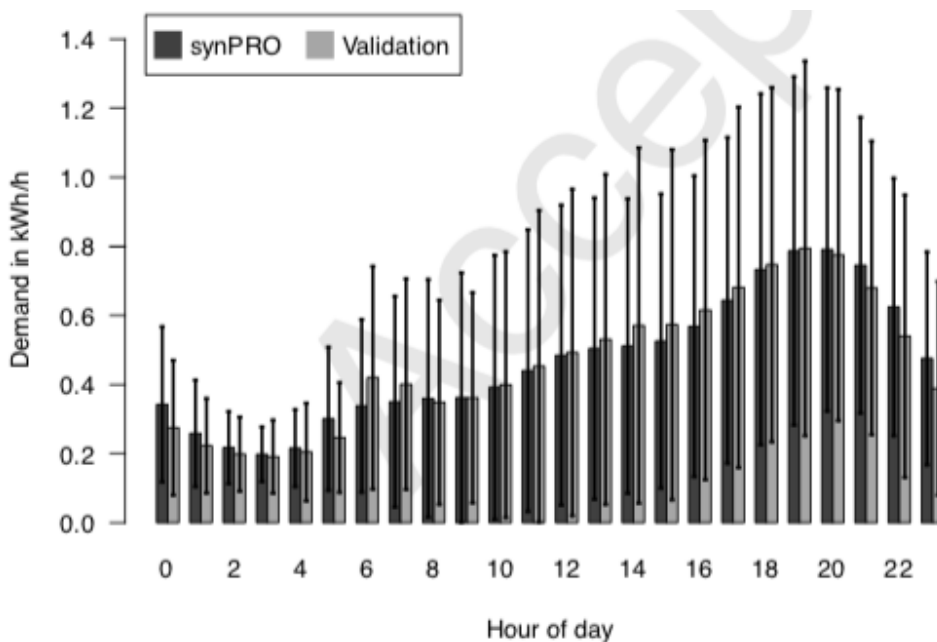
Figur 10 viser forskjellen på energiforbruk i husstander med én, to, tre og fire beboere. Energibruken til to beboere er ikke dobbelt så stor som for én beboer. Grunnen til dette er at alle husstander krever noen elektriske komponenter som standard. Dette kan være for eksempel kjøleskap og fryseboks. Flere beboere krever mer fra enkelte komponenter slik at energiforbruket blir større. Eksempler på elektriske komponenter som brukes oftere med flere beboere kan være vaskemaskin, oppvaskmaskin, lys, varmtvann og generell oppvarming.



Figur 10 - Gjennomsnittlig årlig energiforbruk for husstander ulikt antall beboere [37]

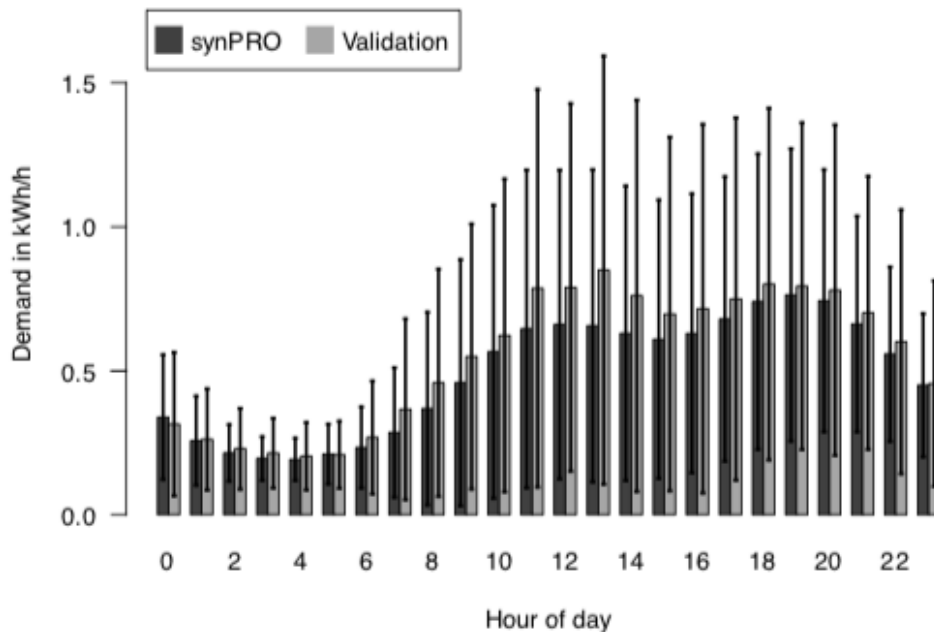
### 2.5.2 Døgnlast

Døgnlastene er forskjellig på arbeidsdagen og helg. På arbeidsdager er folk tidligere oppe og tidligere i seng, så derfor vil energibruken være noe stor tidlig på dagen (figur 11). Deretter vil den gå litt ned mens folk er på jobb og vokse når folk kommer hjem fra jobb i fire-tiden. Da vil energiforbruket bare stige frem til leggetid [37].

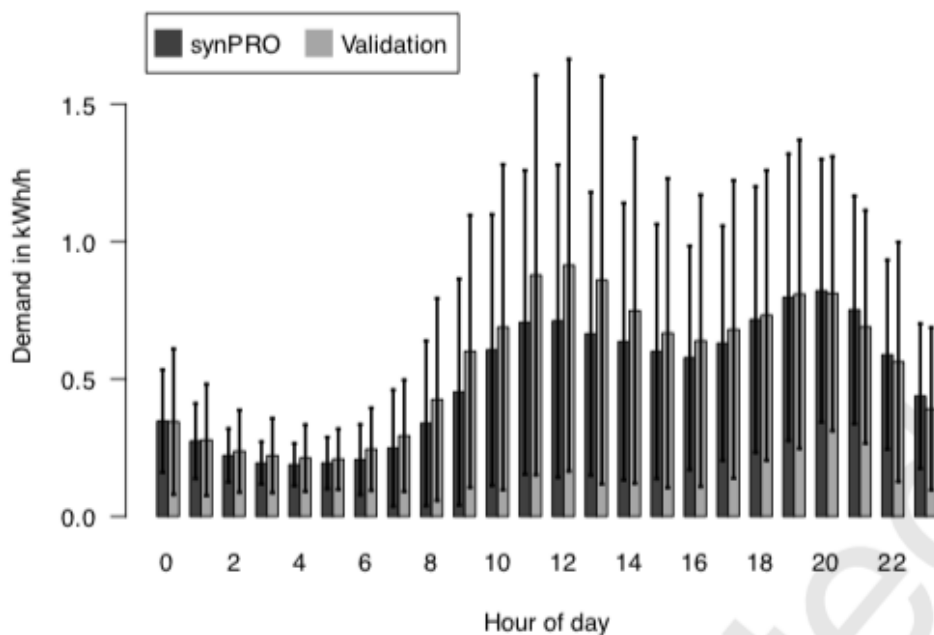


Figur 11 - Døgnlast på en arbeidsdag [37]

Lørdagen (figur 12) og søndagen (figur 13) er relativt like. Folk skal ikke på jobb, skole, osv. og har en senere frokost (kl. 10-12) der det brukes elektriske apparater. Etter den sene frokosten faller energibruken noe på grunn av besøk, uteaktiviteter, sport, etc. Generelt er flere hjemme i helgen enn på arbeidsdagene. Forskjellen på helgedagene er at folk legger seg tidligere på søndag grunnet jobb og skole på mandags morgen. Det daglige forbruket i helgene er i sammenligning med en arbeidsdag svært høyere.



Figur 12 - Døgnlast på en gj. snittlig. lørdag [37]



Figur 13 - Døgnlast på en gj. snittlig. søndag [37]

## 2.6 Forskrifter

Et byggeprosjekt krever opprettholdelse av forskrifter og krav. Byggteknisk forskrift (TEK17) er et verdifullt oppslagsverk som baserer seg på forskrifter fra Standard Norge og SINTEF Byggforsk.

### **TEK17**

Direktoratet for byggkvalitet (Dibk) har opprettet en veileder til den byggtekniske forskriften TEK17 som forklarer forskrifter om byggtekniske krav og gir godkjente ytelser som oppfyller kravene. Veilederen skal gi et oversiktlig oppsett over egenskaper et byggverk må ha for å oppføres lovlig i Norge. Forskrifter er hentet fra Standard Norge og SINTEF Byggforsk [38].

### **NS3031: Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data**

NS3031 er en standard utgitt av Standard Norge i 2014. Standarden beskriver metoder for beregning og dokumentasjon av bygningers energiytelse. Denne standarden er grunnlaget for krav i TEK17 og brukes til å gi energimerking til bygninger. Flere europeiske standarder har brukt NS3031 i sine forskrifter [39].

### **SINTEF Byggforsk**

Byggforskserien er utviklet av SINTEF. Serien angir løsninger og anbefalinger for prosjektering, utførelse og forvaltning av bygninger, og oppfyller kravene til TEK17. Byggforskserien kan brukes som dokumentasjon og beregningsgrunnlag i byggesaker [40].

Relevante forskrifter er vedlagt i Vedlegg.

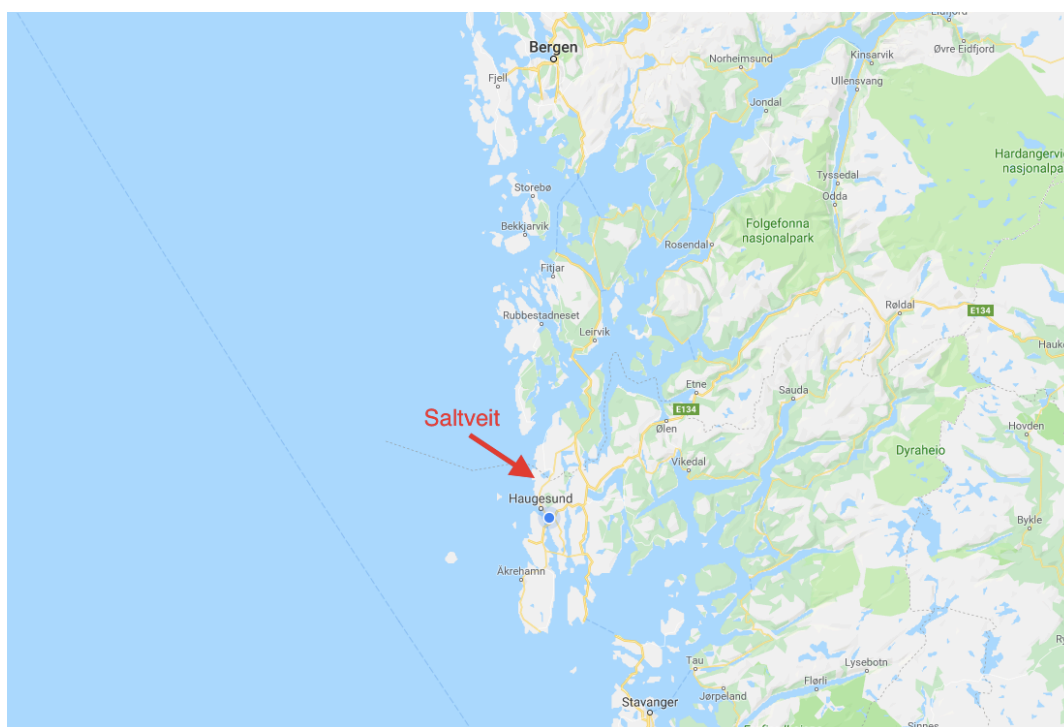


## 3 Metode

### 3.1 Saltveit ZEN

Referansenabolaget for denne oppgaven er plassert på Saltveit. Denne tomten er valgt med grunnlag i at området er urørt, flatt og har stort potensiale med tanke på ekspansjon og energikilder.

Saltveit ligger helt nord i Rogaland i Haugesund Kommune. Sør for Saltveit ligger Haugesund, en by med omtrent 37 000 innbyggere. Tettstedet Sveio ligger rett nord for fylkesgrensen til Hordaland. Saltveit ligger rett ved Europavei 47 som binder sammen Bergen og Stavanger (figur 14). 'Ferjefri E39' er et statlig veiprojekt som skal gjøre strekningen Kristiansand-Trondheim ferjefri. Denne strekningen vil gjøre kjøretid fra Saltveit til byer som Bergen og Stavanger betraktelig mindre [41].



Figur 14 - Saltveit (Google Maps)

Kystklima og et åpent terreng gjør Saltveit til et godt utgangspunkt for et ZEN. Milde vintre gjør at varmebehovet ikke blir like høyt som f.eks. på Østlandet. Det er ikke behov for kjøling på grunn av de kjølige somrene. Mye vind, bra solforhold og nærhet til havet skaper gode forhold for vindkraft, solkraft og vannkraft.

## 3.2 Bygninger

### 3.2.1 Energiltak

Climate Consultant ble brukt til å planlegge bygningene på en energibesparende måte. Resultatene viser en punktliste med forskjellige tiltak (figur 15). Hvert punkt kan klikkes på og fremviser en illustrasjon av tiltaket. Tiltakene for hvert klimasett er nøyaktig det samme, slik at det ikke trenger å gjøres spesielle tiltak for de ulike klimaene.

Tre klimadatasett (normalklima, B1 og A2) blir analysert for å se om det er noen forskjell mellom de enkelte. Det kan velges flere forskjellige analyser basert på hvordan bygninger fungerer. Beregningsmetoden 'Adaptive Comfort Model in ASHRAE Standard 55-2010' er valgt siden denne metoden legger til rette for at vinduer i bygningene kan åpnes.

33	Long narrow building floorplan can help maximize cross ventilation in temperate and hot humid climates
34	To capture natural ventilation, wind direction can be changed up to 45 degrees toward the building by exterior wingwalls and planting
35	Good natural ventilation can reduce or eliminate air conditioning in warm weather, if windows are well shaded and oriented to prevailing breezes
36	To facilitate cross ventilation, locate door and window openings on opposite sides of building with larger openings facing up-wind if possible
56	Screened porches and patios can provide passive comfort cooling by ventilation in warm weather and can prevent insect problems
42	On hot days ceiling fans or indoor air motion can make it seem cooler by 5 degrees F (2.8C) or more, thus less air conditioning is needed
47	Use open plan interiors to promote natural cross ventilation, or use louvered doors, or instead use jump ducts if privacy is required
49	To produce stack ventilation, even when wind speeds are low, maximize vertical height between air inlet and outlet (open stairwells, two story spaces, roof ...
39	A whole-house fan or natural ventilation can store nighttime 'coolth' in high mass interior surfaces (night flushing), to reduce or eliminate air conditioning
58	This is one of the more comfortable climates, so shade to prevent overheating, open to breezes in summer, and use passive solar gain in winter
62	Traditional passive homes in temperate climates used light weight construction with slab on grade and operable walls and shaded outdoor spaces
65	Traditional passive homes in warm humid climates used high ceilings and tall operable (French) windows protected by deep overhangs and verandahs
53	Shaded outdoor buffer zones (porch, patio, lanai) oriented to the prevailing breezes can extend living and working areas in warm or humid weather
54	Provide enough north glazing to balance daylighting and allow cross ventilation (about 5% of floor area)
55	Low pitched roofs with wide overhangs works well in temperate climates
17	Use plant materials (bushes, trees, ivy-covered walls) especially on the west to minimize heat gain (if summer rains support native plant growth)
25	In wet climates well ventilated attics with pitched roofs work well to shed rain and can be extended to protect entries, porches, verandas, outdoor work areas
27	If soil is moist, raise the building high above ground to minimize dampness and maximize natural ventilation underneath the building
32	Minimize or eliminate west facing glazing to reduce summer and fall afternoon heat gain
37	Window overhangs (designed for this latitude) or operable sunshades (awnings that extend in summer) can reduce or eliminate air conditioning

Figur 15 - Tiltak for energioptimalisering med normale klimaforhold (Climate Consultant)

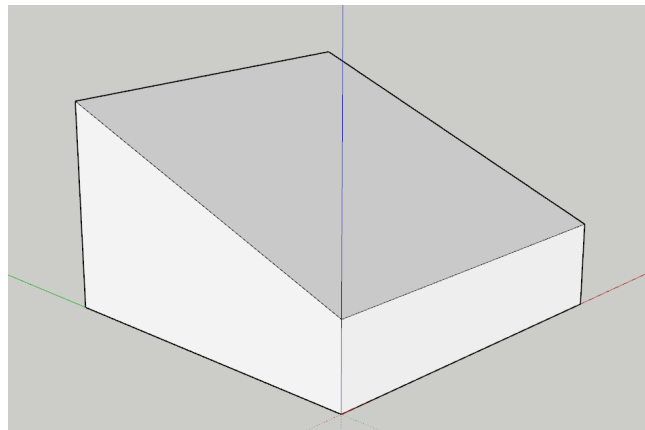
De fleste punktene omhandler ventilasjon og oppvarming på grunn av sol. Punktene 32, 35, 36 og 54 omhandler orientering, areal og solavskjerming angående vindu og er tiltak som er brukt til modelleringen. Ventilasjonsråd er også brukt slik at det  $0,6 \text{ h}^{-1}$  er brukt for infiltrasjon og bygningsmodeller er modellert med hensyn på punkt 33 der bygningskroppen er lang å smal (dette gjelder ikke enebolig).

### 3.2.2 Eneboliger

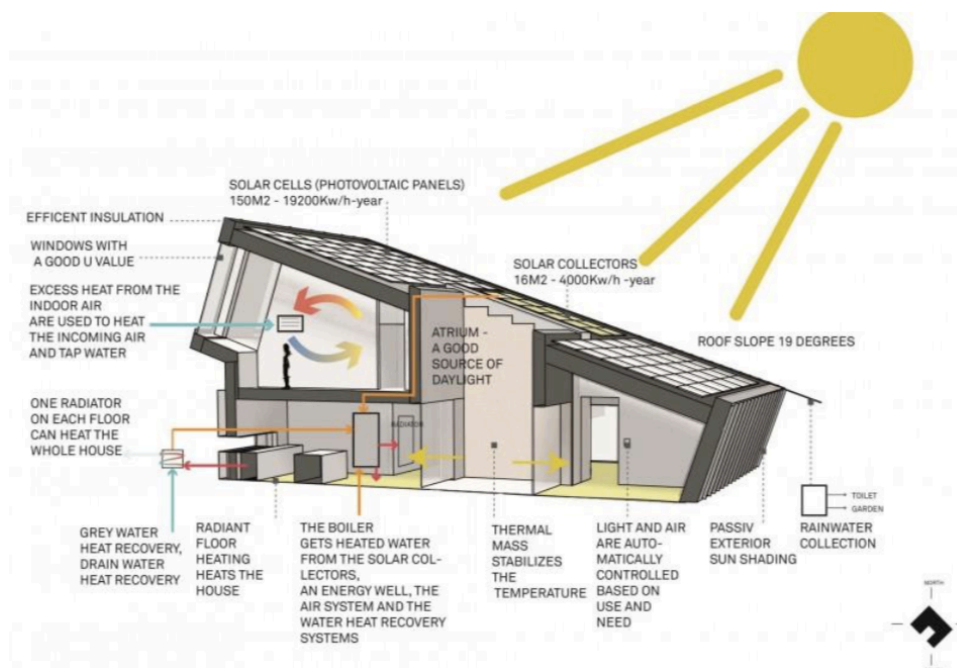
For å finne rett design med tanke på solenergi-produksjon og varmetap, er det blitt modellert og simulert fire forskjellige eneboliger. Modellene ble simulert med nåværende klimadata og like parametere. Det er beregnet at alle takene har 90% solceller og er beregnet for en kjernefamilie med to voksne og to barn. Alle eneboliger har 10x10 meter grunnareal slik at energiproduksjonen/grunnareal ( $\frac{kWh}{m^2}$ ) kan være sammenlignbar.

#### Enebolig 1: Skråtak (19° takhelling)

Inspirasjon til enebolig 1 (figur 16) kommer fra ZEB Pilot House tegnet av Snøhetta (figur 17) [42]. Pulttak heller direkte mot sør (180°). Bygget har omtrent 140 m<sup>2</sup> boareal.



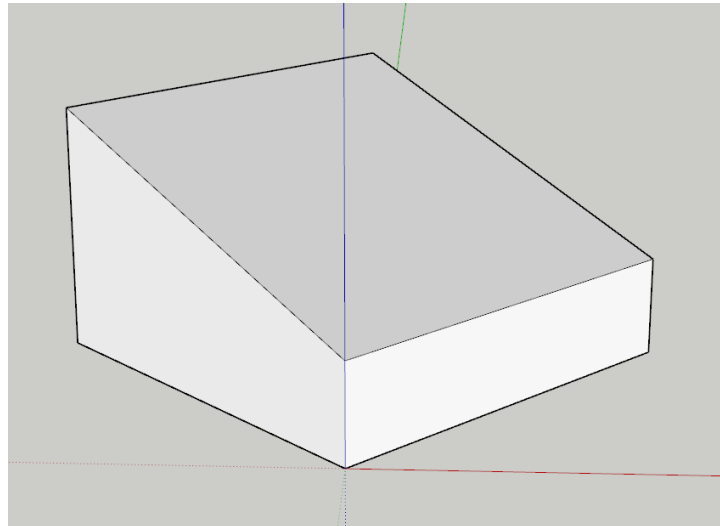
Figur 16 - Enebolig 1 (Google SketchUp)



Figur 17 - ZEB Pilot House (Snøhetta) [42]

**Enebolig 2: Skråtak (19° takhelling)**

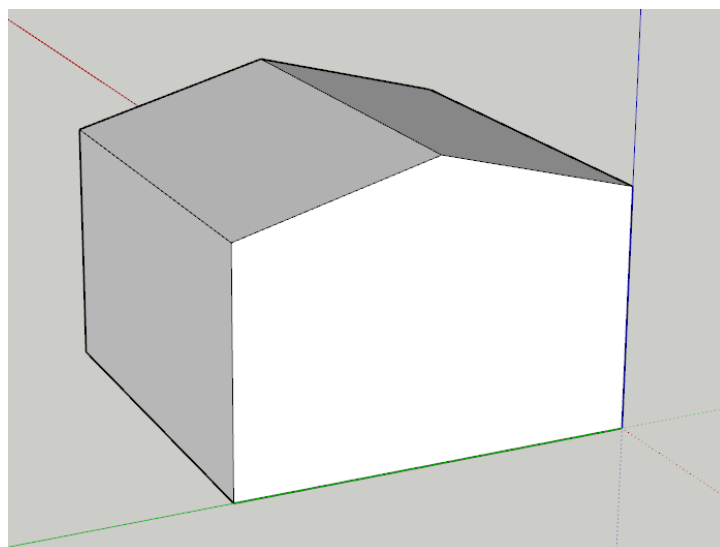
Enebolig 2 (figur 18) er samme modell som enebolig 1. Men her er takhellingene vridd mot sørøst (135°).



Figur 18 - Enebolig 2 (Google SketchUp)

**Enebolig 3: Saltak (15° takhelling)**

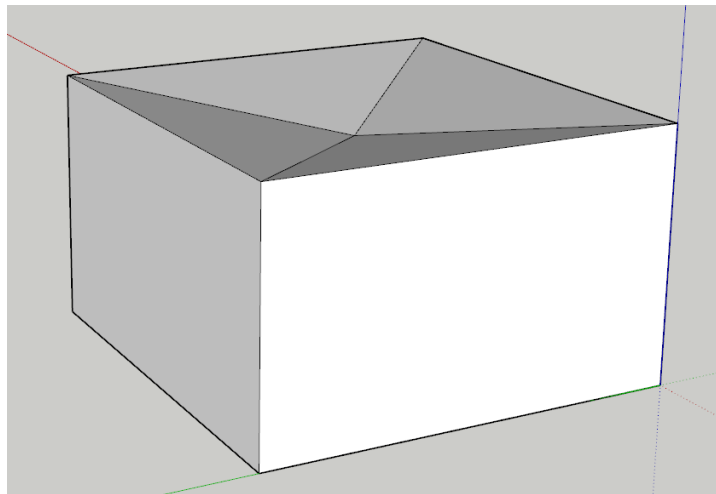
Enebolig 3 (figur 19) har et ordinært saltak med 15° takhelling mot øst/vest (90/270°).



Figur 19 - Enebolig 3 (Google SketchUp)

#### **Enebolig 4: Flatt tak (5° takhelling)**

Enebolig 4 (figur 20) er laget for å motta solenergi fra alle tidspunkt på dagen.

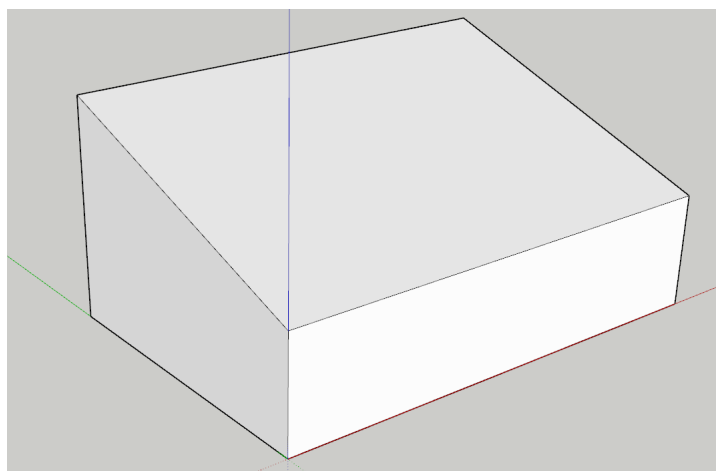


*Figur 20 - Enebolig 4 (Google SketchUp)*

Enebolig 1 hadde størst produksjon av solceller og minst behov for oppvarming (kapittel 4.1.1). Enebolig 1 blir derfor brukt videre i simuleringen. Til sammenligning kan man se at enebolig 3 og 4 har et mye høyere oppvarmingsbehov. Dette er fordi disse bygningene har et større innvendig volum enn enebolig 1 og 2.

#### **3.2.3 Tomannsbolig**

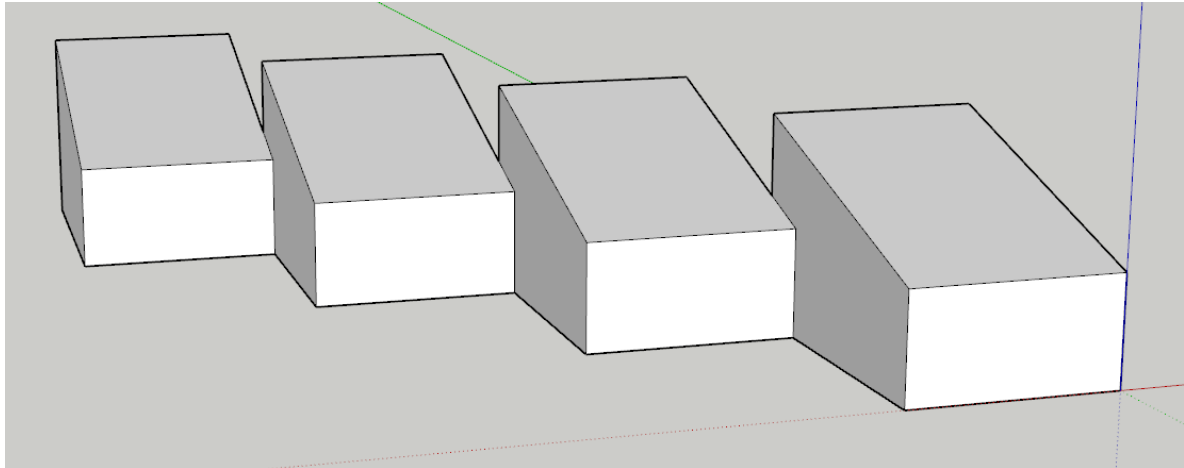
Tomannsboligen (figur 21) er en forstørret del av enebolig 1. Grunnarealet på tomannsbolig er 150 m<sup>2</sup>, slik at hver enhet har 75 m<sup>2</sup> hver. Hver enhet er ment for 4 personer.



*Figur 21 - Tomannsbolig (Google SketchUp)*

### 3.2.4 Firemannsbolig

Firemannsboligen (figur 22) er 4 mindre versjoner av enebolig 1 satt sammen. Riktig benevnelse er enebolig i kjede. Det er beregnet 4 personer i hver enhet og hver enhet har grunnareal på 70 m<sup>2</sup>. Denne løsninger skaper mindre tomteareal per husstand.

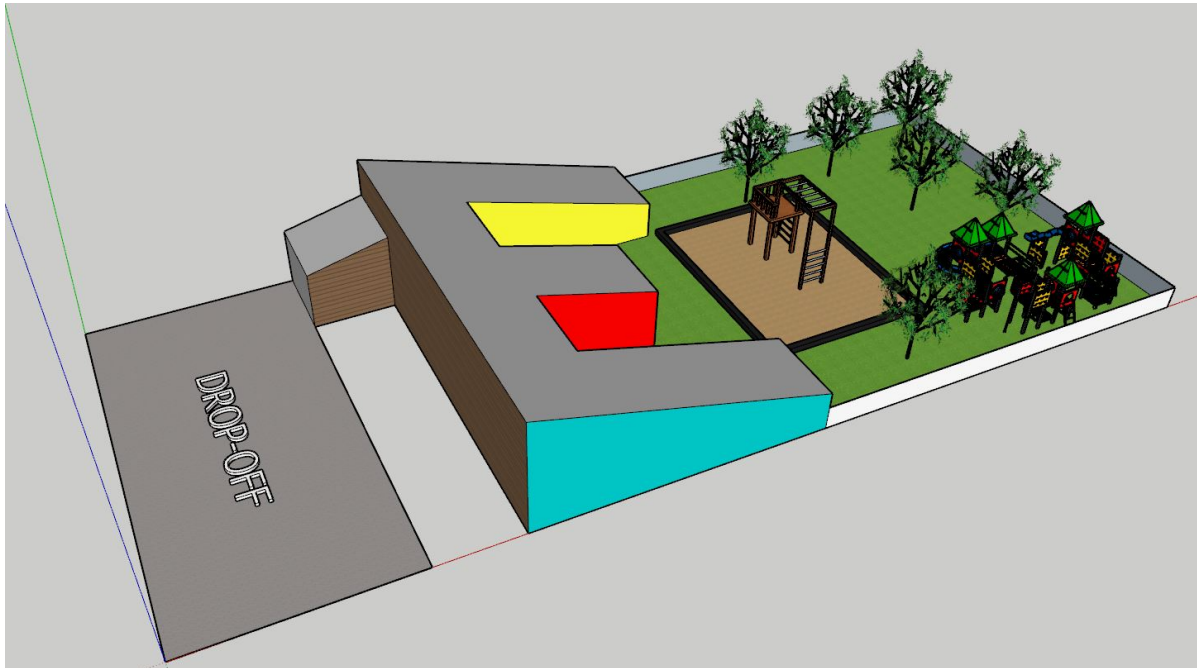


Figur 22 - Firemannsbolig (Google SketchUp)

### 3.2.5 Offentlige bygg

Et nullenergi-nabolag bør være i nærheten av jobb, skole og kollektivtilbud for minst mulig bilbruk. Saltveit barneskole ligger rett ved, men det mangler en ungdomsskole og barnehage. I og med at område ligger relativt nære Haugesund vil det ikke planlegges videregående skole eller ytterligere arbeidsplasser enn de som er nevnt i denne oppgaven.

Det eneste offentlige bygget som blir simulert er en barnehage (figur 23). Denne skal være dimensjonert for hele Saltveit ZEN og skal ha to avdelinger til barn i henholdsvis 1-3 og 4-6 år. Her vil det også bli tilrettelagt for solceller på tak, men taket vil helle mot sørvest (225°) som vil føre til litt mindre solenergi-fangst tidlig på dagen. Retning mot sørvest ble valgt fordi det passer best i forhold til veien og næringsbyggene som er planlagt ved siden av.



Figur 23 - Barnehage (Google SketchUp)

### 3.3 Bygningselementer og tekniske systemer

Etablering av hver bygningsdel må gjøres i kildefilen til CitySim Pro. Her ligger det et bibliotek av materialer inne samt noen eksempeloppbygninger av vegger, tak, gulv og grunn. For å få et realistisk eksempel for denne oppgaven er det programmert inn materialer som vanligvis brukes i Norge. Konduktivitet, densitet og spesifikk varmekapasitet ( $C_p$ ) må bestemmes for hvert material. Til slutt settes bygningselementet opp med rett rekkefølge av materialer og tilhørende tykkelse i hvert sjikt. Alle oppbygninger i Tabell 2-4 er presentert med ytre sjikt øverst og indre sjikt nederst.

Materialdata er hentet fra Optimera materialdatabase [43]. Materiale som er valgt er ordinære materialer som blir brukt i byggindustrien i skrivende stund (Nov. 2018). U-verdier er innenfor krav fra §4.2(2) i byggt teknisk forskrift (TEK17) [38]. (Se vedlegg)

### 3.3.1 Vegg

Tabell 1 - Oppbygning av vegg

Material	Tykkelse [mm]	Densitet $\frac{kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{j}{kgK}$	Konduktivitet $\frac{W}{mK}$
Kledning, furu impr.*	19	450	1600	0,25
Luftlag/lekting	23	1,23	1000,8	0,025
Vindsperre, asfalt	12	850	1700	0,049
Isolasjon	250	20	1000	0,034
Dampspørre	0,2	950	1400	0,2
Gips	12,5	600	1000	0,25
	317,1		Tot. U-verdi =	<b>0,18</b> $\frac{W}{m^2K}$

\*Kledning vil ikke ha noe påvirkning på u-verdi fordi det er luftet veggelement.

### 3.3.2 Tak

Tabell 2 - Oppbygning av tak

Material	Tykkelse [mm]	Densitet $\frac{kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{j}{kgK}$	Konduktivitet $\frac{W}{mK}$
Solcellepanel <sup>1</sup>	47	292	NA	NA
Luftlag/lekting	23	1,23	1000,8	0,025
Undertak	18	850	1700	0,049
Isolasjon	300	20	1000	0,034
Dampspørre	0,2	950	1400	0,2
Gips	12,5	600	1000	0,25
	400,7		Tot. U-verdi =	<b>0,15</b> $\frac{W}{m^2K}$

<sup>1</sup> Spesifikk varmekapasitet og konduktivitet for solcellepanelene er neglisjert fordi det er luftet tak og panelene vil derfor ikke ha noe påvirkning på total u-verdi.



### 3.3.3 Gulv mot grunn

Tabell 3 - Oppbygning av gulv mot grunn

Material	Tykkelse [mm]	Densitet $\frac{kg}{m^3}$	Spesifikk varmekapasitet $\frac{j}{kgK}$	Konduktivitet $\frac{W}{mK}$
Parkett	15	530	1600	0,13
Parkettunderlag	6	30	1850	0,4
Betong B20	80	2400	1000	2,5
Plast	0,2	950	1400	0,2
Isolasjon, XPS	250	40	1450	0,034
	351,2		Tot. U-verdi =	<b>0,15</b> $\frac{W}{m^2K}$

### 3.3.4 Solceller

Integrerte solceller fra Solarwatt er valgt [44]. Produktet, 'EasyIn 60m style' (figur 24), er en modul som inneholder 60 monokrystallinske solceller som kan integreres i selve taktekket. Solcellene blir plassert på alle bygningstak i nabolaget med en takarealeffektivitet på 90%. Det vil si at solcellene dekker 90% av takets areal. De siste 10% er forbeholdt diverse takdetaljer og 'dødt areal' fra solcellepanelet.

#### ELECTRICAL DATA (STC)

STC: Standard Test Conditions: Irradiation intensity 1000W/m<sup>2</sup>, spectral distribution AM1,5 | Temperature 25±2 °C, in accordance to EN 60904-3

Nominal power P <sub>N</sub>	300 Wp	305 Wp
Nominal voltage U <sub>MPP</sub>	32,5 V	32,7 V
Nominal current I <sub>MPP</sub>	9,32 A	9,42 A
Open circuit voltage U <sub>OC</sub>	39,9 V	40,1 V
Short circuit current I <sub>SC</sub>	9,88 A	10,00 A
Module efficiency	18,2 %	18,5 %

Measurement tolerance in reference to P<sub>max</sub> ±5 %;

Reduction of module efficiency when irradiance is reduced from 1000W/m<sup>2</sup> to 200W/m<sup>2</sup> (at 25 °C): 4 ± 2 % (relative) / -0,6 ± 0,3 % (absolute).

Reverse-current power rating I<sub>r</sub>: 20 A, operating modules with an external power source is only permissible if using a phase fuse with a tripping current of ≤ 20 A.

#### ELECTRICAL DATA (NOCT)

Figur 24 - Elektriske egenskaper for EasyIn-modulen [44]

### 3.3.5 Geoenergi

I samarbeid med konsulentfirmaet Rototec er det blitt utarbeidet tre metoder for geoenergisystem på Saltveit [8]. Mer detaljerte opplysninger rundt disse metodene og prisanslag er i kapittel 5.4.

1. Den ene måten er at hvert bygg har hvert sitt borehull og varmepumpe på tomten. På et vanlig nybygg (180 m<sup>2</sup>) er det være vanlig å installere en 6 kW varmepumpe med et tilhørende borehull på rundt 140 meter.
2. En annen måte å løse det på er å ha en stor energisentral. Da vil man koble mange brønner inn i en sentral med varmepumpe, som videre sender ut varme til hvert enkelt bygg, som en "nærvarmesentral".
3. Det vil også være mulig med en kombinasjon av metode 1 og 2, spesielt siden prosjektet er oppdelt i fem-seks områder. Disse områdene kan ha én energisentral hver som fører til kortere eller færre borehull per energisentral.

### 3.3.6 Energilagring

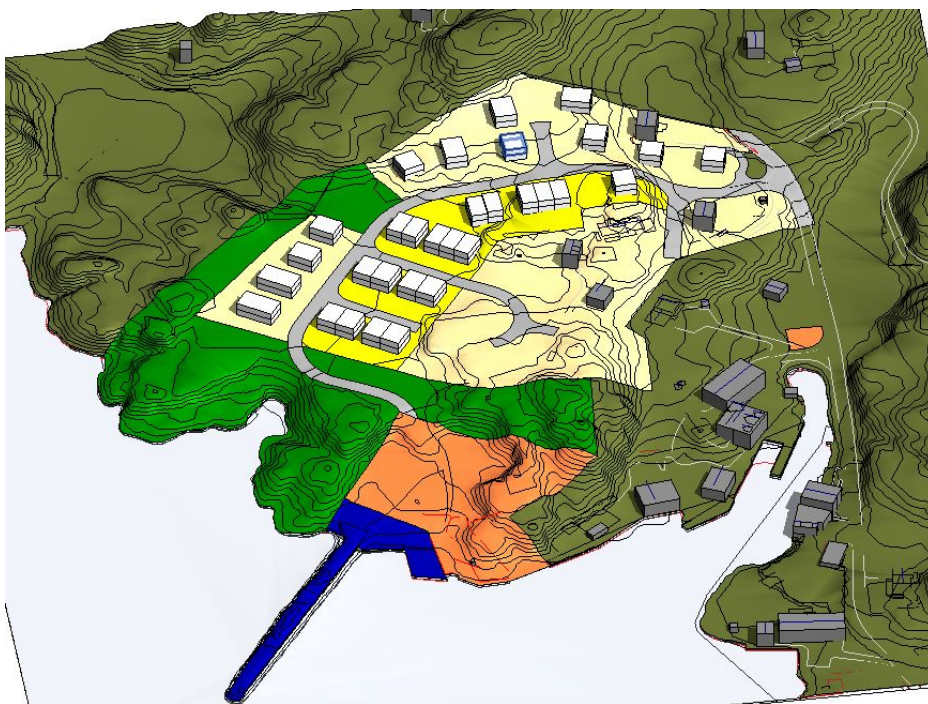
Batteritypen **Tesla Powerpack 2** [45] er lagringsenheten som skal lagre energien for Saltveit ZEN. Lang levetid, gode egenskaper for lagring og utprøvd teknologi [10] gjør Powerpack 2 til et godt referanseprodukt for energilagring i nabolag. Powerpack 2 er mulig å koble sammen til store batteribanker slik at større bygningsmasser kan lagre energien sentralt.

Batteriet er et 480 V litiumbatteri med total energikapasitet på 210 kWt. Grunnet faren mot overladning anbefales det å bruke 70% av kapasiteten på sommerhalvåret og 50% på vinterhalvåret [11]. Dette tilsvarer 150 kWt på sommerhalvåret og 105 kWt på vinterhalvåret. Batteriet effektgrense er 50 kW, som betyr at batteriet kan maksimalt innehold 50 kW elektrisitet på en gang.

## 3.4 Modellering

### 3.4.1 Tetthet

For å beregne tettheten av boliger er det tatt inspirasjon fra et Stivlevågen Vest, et boligområde der PDS Arkitekt har tegnet situasjonsplaner (figur 25). Stivlevågen har blanding av ene-, tomanns- og tremannsboliger med et totalt areal på 50 000 m<sup>2</sup>.



Figur 25 - Situasjonsplan Stivlevågen Vest (PDS Arkitekt)

#### Stivlevågen Vest – tetthet

Areal:	50 000 m <sup>2</sup>		
Friområder:	14 000 m <sup>2</sup>	(Veier, lekeplasser, osv.)	
Boenheter:	32 stk. derav	- Enebolig:	13 stk. (u. grad: 0,26 bol/daa <sup>2</sup> )
		- Tomannsbolig:	5 stk. (u. grad: 0,1 bol/daa)
		- 3-mannsbolig:	3 stk. (u. grad: 0,06 bol/daa)

---

<sup>2</sup> Bol/daa = Bolig/dekar (Dekar = 1000 m<sup>2</sup>)

## Saltveit ZEN – tetthet

Med tetthetsverdiene fra Stivlevågen Vest vil Saltveit ZENs tetthet se slik ut:

Areal: 876 000 m<sup>2</sup> sett bort ifra vannareal

Friområde<sup>3</sup>: 245 300 m<sup>2</sup>

Eneboliger (100 m<sup>2</sup>): 228 stk.

Tomannsboliger (150 m<sup>2</sup>): 88 stk.

Firemannsboliger (280 m<sup>2</sup>): 50 stk.

Totalt antall bygninger: 366 stk. (+barnehage)

Totalt antall boenheter: 604 enheter

Det er gjort en endring med å erstatte tremannsboligene med firemannsboliger. Dette fordi firemannsboliger er mer vanlig enn tremannsboliger og det gir mer diversitet i simuleringen. Dette fører til større tetthet av personer i Saltveit ZEN enn i inspirasjonsnabolaget.

---

<sup>3</sup> Felles uteområde

### 3.4.2 Modellering i Google SketchUp

Modelleringen blir gjort i Google SketchUp som er et 3D-skisseprogram. Her blir enebolig, tomannsbolig, firemannsbolig plassert sporadisk på tomten etter tetthetstallene funnet i kapittel 3.4.1. Barnehagen er også plassert. Grunnet lang simuleringstid med detaljert, eksisterende terreng ble det forenklet med et flatt terreng. I praksis ville terrenget uansett blitt planert ved bygging. Infrastruktur som veier og parkeringsplasser er ikke planlagt i modelleringsfasen. Én eksisterende vei deler området på midten. I østlig del av tomten er det et friområde uten bebyggelse som legger til rette for idrettspark, park eller annet som kan være ønskelig for fellesskapet.



Figur 26 - Nabolaget modellert i Google SketchUp

For at vegg, tak, gulv og grunn skal få forskjellige egenskaper og oppbygninger i CitySim Pro, må hvert element markeres i SketchUp. Dette gjøres ved å tilegne hvert bygningselement til forskjellige lag (layers). Lag må lages med rett koding (hustype #ELEMENT). Alle bygningsformer må ha hvert sitt lag for hvert element. Veggene blir merket #FACADE, taket #ROOF, gulvet #FLOOR og terrenget #GROUND. I tillegg er det mulig å merke solavskjerming som #SURFACE. Solavskjerming er eksempelvis halvtak og andre elementer som lager skygge på bygget. Forskjellige typer terreng er definert i området. Grønt areal, vann og veier har hver sine refleksjonsverdier for lys og er derfor delt opp med separate lag i SketchUp-modellen.

Et eksempel på rett koding for en vegg i enebolig vil være: Enebolig #FACADE.

## 3.5 Energisimulering i CitySim Pro

Simuleringene blir gjort i CitySim Pro. Det samme nabolaget skal simuleres med tre forskjellige klimasituasjoner; nåværende klima og to fremtidige klimascenarier (A2 og B1).

### 3.5.1 Simuleringsparametere

Etter at nabolagsmodellen er laget i Google SketchUp og eksportert som et dxf-format, kan modellen importeres til CitySim Pro. Her må forskjellige parametere bestemmes før simuleringen kan starte. Parameteren er delt opp i syv kategorier:

- **District properties** – Klima- og horisontdata. Klimadata er generert i klimaprogrammet Meteonorm. Horisontdata er håndberegnet ved bruk av høydedata.no og fonnakart.no til å finne avstand til lokale fjell og høyden på disse.
- **Building** – Infiltrasjon, temperatur og skygge.
- **Composites and insulation** – Hvilke bygningselementer og tilhørende isolasjonstykkelser som er valgt.
- **Opening properties** – Vindusarealer, U- og g-verdi.
- **Visible surfaces** – Solcellepanel og solsammlere.
- **Ground properties** – Grunnrefleksjon.
- **Occupants** – Antall beboere per enhet og varmestråling per person.

Tabell 4 viser hva innstillingene som er valgt for Saltveit ZEN i simuleringene. Innstillingene som er valgt er basert på krav fra byggeteknisk forskrift (TEK17) og erfaringstall fra ulike kilder.

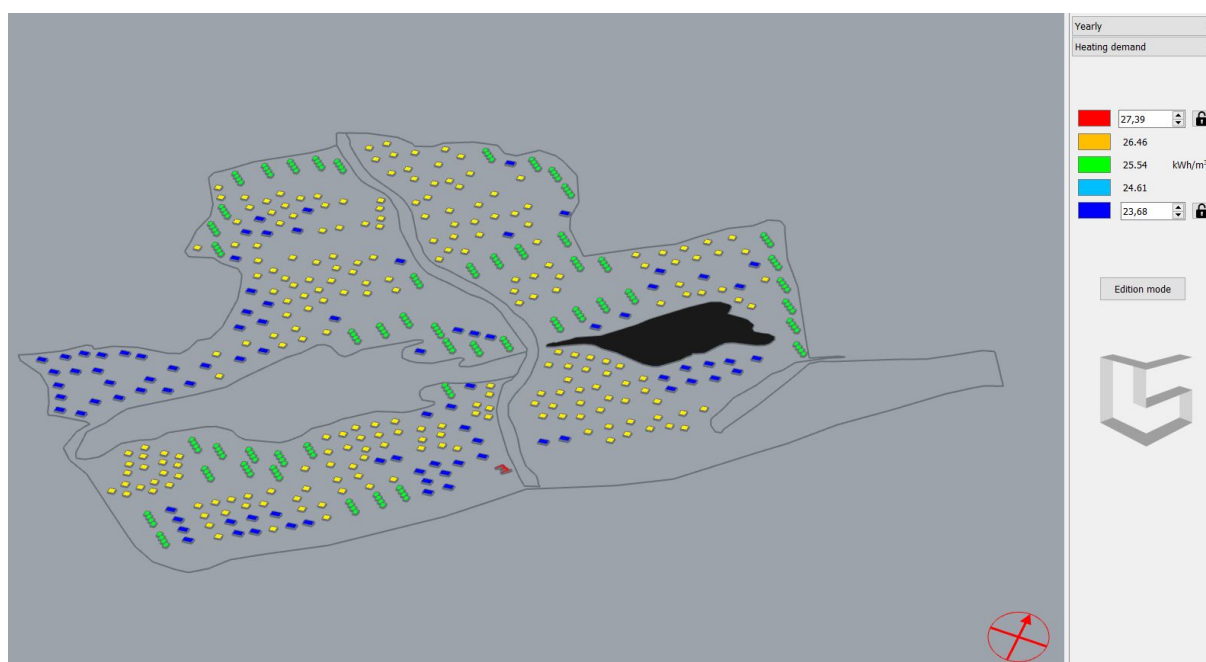
Tabell 4 - Detaljerte input i CitySim Pro

Parameter	Delparameter	Verdi	Begrunnelse
<i>Building</i>	Infiltration	0,6 h <sup>-1</sup>	Infiltrasjonen er krav gitt i TEK17 [38]
	T min	20° C	Minste innetemperatur.
	T max	30° C	Maks innetemperatur.
	Shading device	0,2	Del av vindu som er skygget.
	Cut-off irradiance	150 Wm <sup>-1</sup>	Antatt verdi. Angir hvor mye stråling fro solen som blir hindret.
<i>Composites and insulation</i>	Wall - Yttervegg	25 cm	Veggene er 25 cm tykke.
	Roof - Tak	30 cm	Taket er 30 cm tykt.
	Floor - Gulv	25 cm	Gulvet er 25 cm tykt.
	Ground	Diverse	Forskjellige verdier for grønt areal, vann og vei.
<i>Opening properties</i>	Glazing ratio	0,10	10% vindusareal på alle fasader.
	U-value	1,20 $\frac{W}{m^2k}$	Verdien er satt etter krav i TEK17.
	G-value	0,50	Antatt verdi.
	Opening fraction	0,15	15 % av vinduene kan åpnes.
<i>Visible surfaces</i>	Reflectance	0,2	Standard verdi i programmet.
	Solar panel:	0,90	90% av taket er solceller. Egendefinert solcellepanel.
	Thermal ratio:	0	Ingen solsamlere.
<i>Grounds</i>	Reflectance	Gress – 0,3	Forskjellige terreng har forskjellige refleksjoner. Mindre tall gir best refleksjon.
		Vann – 0,07	
		Asfalt – 0,05	
<i>Occupants</i>	Number	4 p	Fire personer i hver boligenhet.
	Density <sup>-1</sup>	Auto [ $\frac{p}{m^2}$ ]	Tetthet av personer i hver bolig.
	Sensible heat	63,0 W	Antatt verdi for varmetilskudd fra personer.
	Radiant part	0,50	Antatt verdi.
	Latent heat	39,6 W	Antatt verdi.
	Occupancy profile	Diverse	'House' og 'School' er valgt for henholdsvis boliger og barnehagen.

### 3.5.2 Presentasjon av resultater

Når modellen, klimafil og horisontfil er importert, og alle preferanser er innstilt er det klart for å simulere. Simulering brukte omtrent fem min på gjeldende system, men vil bruke tid avhengig av hvor bra ytelse system har. Systemet og programvaren som ble brukt er angitt i vedlegg.

Resultatene presenteres grafisk i programmet i forskjellige kategorier. Verdiene varierer i et fargespekter med innstilling for årlig-, månedlig-, daglig- og timebaserte gjennomsnittsverdivisning. De forskjellige resultatkategoriene er kort-bølget varmestråling, lang-bølget varmestråling, overflatetemperatur, PV-produksjon, termisk energiproduksjon (solsamlere), himmelsynfaktor (hvor mye åpen himmel som kan sees fra angitt punkt på overflaten), varmebehov (figur 27), kjølebehov og innetemperatur (se vedlegg).



Figur 27 - Resultat for årlig varmebehov presentert i CitySim Pro

Detaljerte resultater med tallverdier kan eksporteres i fem forskjellige resultatfiler. Disse filene har forskjellige verdier basert på resultatkategoriene. Disse filene kan importeres til regnearkprogrammer som for eksempel Microsoft Excel. I resultatfilene er alle bygningstyper kategorisert med de forskjellige resultatkategoriene for hver time i året (8760 timer) og viser, i tillegg til nevnte CitySim-resultatkategoriene, resultater for drivstoff-forbruk, vinddata og andre ting som kan være informativt (figur 28). I Excel kan verdiene bearbeides til ønskelig fremstilling.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	#timeStep	O(En_1):0:Ta(celsius)	O(En_1):0:Heating(Wh)	O(En_1):0:Cooling(Wh)	O(En_1):0:Qi(Wh)	O(En_1):0:Qs(Wh)	O(En_1):0:VdotVent(m^3/h)	O(En_1):HeatStockTemperature(celsius)
2	1	20	257043	0	28728	257043	0	35
3	2	20	235337	0	28728	235337	0	35
4	3	20	238890	0	28728	238890	0	35
5	4	20	241173	0	28728	241173	0	35
6	5	20	242185	0	28728	242185	0	35

Figur 28 - Utklipp fra resultat eksportert fra CitySim Pro (Microsoft Excel)

Grafisk fremstilling fra resultatfilene er presentert i kapittel 4, mens grafisk fremstilling direkte fra CitySim Pro er vedlagt.

## 3.6 Elektrisk brukerlast

I resultat (kapittel 4) er det skillett mellom nødvendig varme og elektrisk brukerlast.

Nødvendig varme er varmebehovet som bygningen har basert på hvor mange mennesker det er boenheten og hvor kaldt det er ute. Dette angir hvor mye varmepumpen skal brukes. Elektrisk brukerlast er elektrisk last fra mennesker og maskiner. Dette varierer i løpet av dagen når beboerne er hjemme og bruker elektrisitet og vil være relativt konstant ukentlig.

### 3.6.1 Elektrisk brukerlast

Nabolaget på Saltveit må dimensjoneres som et ordinært nabolag. Familiene er beregnet som kjernefamilier med to voksne og to barn. Vaskemaskin, tørketrommel, lys, lading og andre apparater som trenger strøm er medregnet. I tillegg dimensjoneres det for én el-bil per husstand.

#### Elektrisk brukerlast

En boligenhet med 4 personer: 4200 kWh (Figur 10) [37]

El-bil: 3000 kWh [36]

Bebyggelse: 604 boligenheter

SUM årlig elektrisk brukerlast:  $604 * (4200+3000) = \underline{\underline{4\ 348\ 800\ kWh}}$

Energibalansen for Saltveit ZEN vil se slik ut:

$$\frac{\text{Varmebehov}}{COP} + \text{Elektrisk brukerlast} \leq \text{Elektrisk produksjon [Wh]}$$

Energibalansen er basert på at det brukes varmepumper til oppvarming i hver boligenhet. COP angir effektfaktoren til varmepumpen. Elektrisk brukerlast omfatter alt elektrisk i form av lys, hvitevarer, lading av el-bil og generell elektronikkbruk.

### 3.6.2 Varmepumpe

Det benyttes varmepumper i oppvarmingen. Varmepumpene er av type væske-vann og får varmen sin fra geoenergi. El-tilskudd som trengs for å drifte varmepumpe er gitt som

$\frac{\text{Leverte varme}}{COP}$ , der COP er effektfaktoren til varmepumpen. COP = 3,9 på en vanlig vinterdag [46].

## 4 Resultat

### 4.1 Bygninger

Detaljerte grafer for bygningene er vedlagt i Vedlegg.

Energioverskudd for bygningene er beregnet med følgende formel:

$$\text{Elektrisk produksjon} - \frac{\text{Varmebehov}}{COP} - \text{Brukerlast} = \text{Energioverskudd [kWh]}$$

Tabell 5, 6 og 7 er basert på resultater fra simuleringer i CitySim Pro.

#### 4.1.1 Eneboliger

Tabell 5 – Årlig energioverskudd eneboliger

Enebolig	Varmebehov [kWh]	Solenergi- produksjon [kWh]	Brukerlast [kWh]	Overskudd [kWh]
1	10 583,4	14 711,6	4200	+ 7 797,9
2	10 597,8	14 199,9	4200	+ 7 282,5
3	16 651,7	13 031,5	4200	+ 4 561,8
4	14 539,9	12 906,2	4200	+ 4 978,0

Verdiene er et produkt av oppvarmet areal, fasaderetning og solcelleareal. Varmebehovet er størst for enebolig 3 og 4 som er naturlig med tanke på at de har et mer oppvarmingsvolum enn enebolig 1 og 2. Enebolig 1 og 2 er neste like, men orienteringen til enebolig er bedre for solenergi-produksjon.

**Enebolig 1 viser seg å være den mest energieffektive eneboligen** der varmebehovet er minst og energiproduksjonen er størst. Brukerlasten er konstant på grunn av at det antas å være fire beboere i hver enhet. Med bakgrunn i disse resultatene ble enebolig 1 valgt til å representere alle eneboligene i Saltveit ZEN.

## 4.1.2 Øvrige bygninger

Tabell 6 – Årlig energioverskudd øvrige bygninger

<i>Boligtype</i>	<i>Varmebehov [kWh]</i>	<i>Solenergi-produksjon [kWh]</i>	<i>Brukerlast [kWh]</i>	<i>Overskudd [kWh]</i>
<i>Tomannsbolig</i>	20 414,6	22 101,3	8400	<b>+ 8 466,8</b>
<i>Firemannsbolig</i>	36 261,9	41 418,7	16 800	<b>+ 15 320,8</b>
<i>Barnehage</i>	23 620,2	29 280,0	NA <sup>4</sup>	<b>+ 23 205,6</b> <b>(- el. brukelast)</b>

Tabell 7 – Årlig energioverskudd per enhet

<i>Boligtype</i>	<i>Antall boenheter [stk]</i>	<i>Overskudd fra tabell 7 [kWh]</i>	<i>Overskudd p/enhet [kWh]</i>
<i>Tomannsbolig</i>	2	+ 8 466,8	<b>+ 4 233,4</b>
<i>Firemannsbolig</i>	4	+ 15 320,8	<b>+ 7 660,4</b>

Ved å kalkulere overskudd per enhet viser resultatene at firemannsboligen er langt mer energieffektiv per boligenhet enn tomannsboligen. Dette kommer hovedsakelig av at PV-produksjonen er mye mer effektiv enn tomannsboligens produksjon.

<sup>4</sup> En generell verdi for elektrisk brukelast i barnehager er ikke undersøkt.

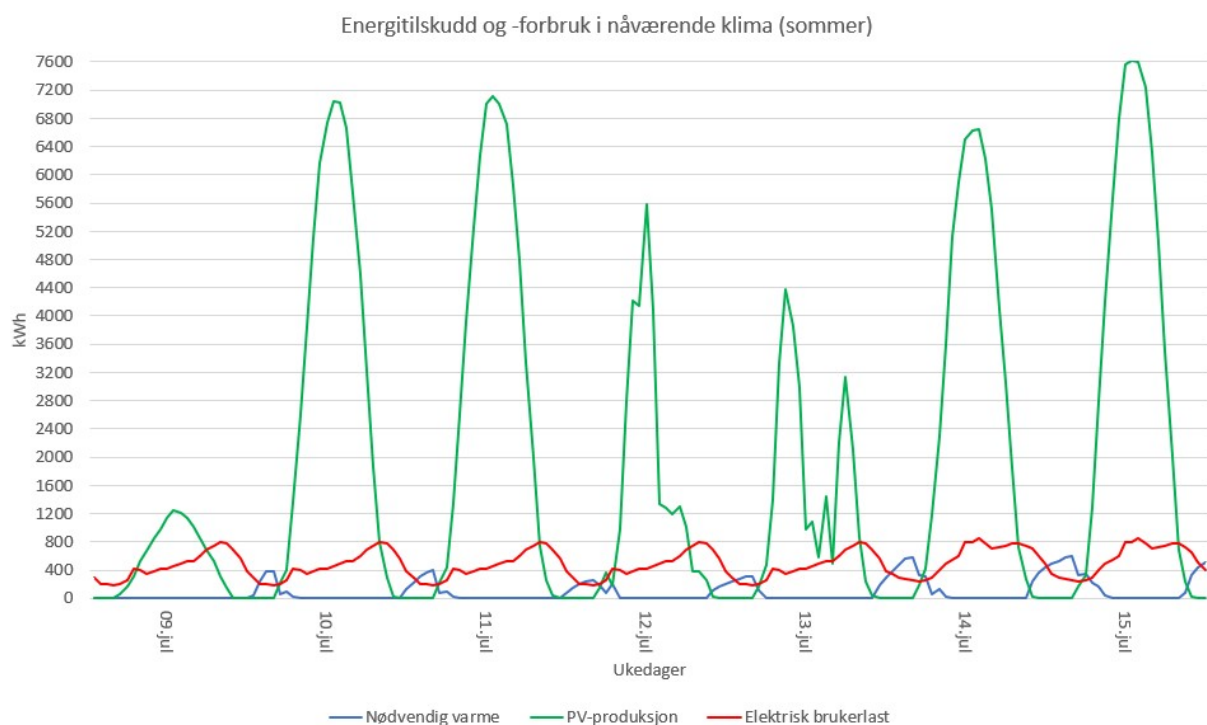
## 4.2 Nabolag

Resultatene for de forskjellige klimasituasjonene er hentet fra resultatfiler som er eksportert fra CitySim Pro. Av de fem resultatfilene som blir eksportert for hver simulering er det filen som heter 'TH' som er brukt. Fra denne hentes det ut grafer for varmebehov og el-produksjon for en typisk vinteruke (8-14 Januar) og en typisk sommeruke (9-15 Juli). PV-produksjon er energitilskudd, mens nødvendighet for varme og brukerlast er energiforbruk.

Resultatene presenteres med graf og verdier for årlig varmebehov (blå), elektrisk brukerlast (rød) og PV-produksjon (grønn), samt grafer for en typisk vinter- og sommeruke.

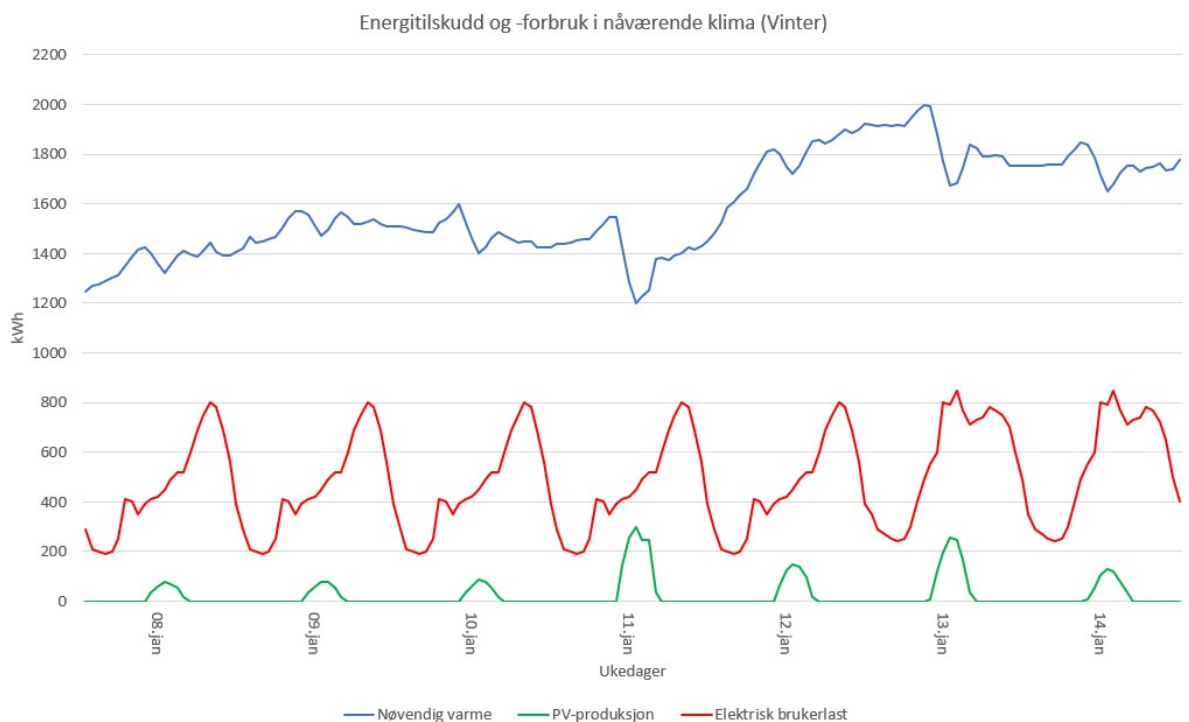
### 4.2.1 Nåværende klima

Figur 29 og 30 viser grafene for henholdsvis nødvendig varme, PV-produksjon og elektrisk brukerlast for en typisk sommer- og vinteruke i nåværende klima.



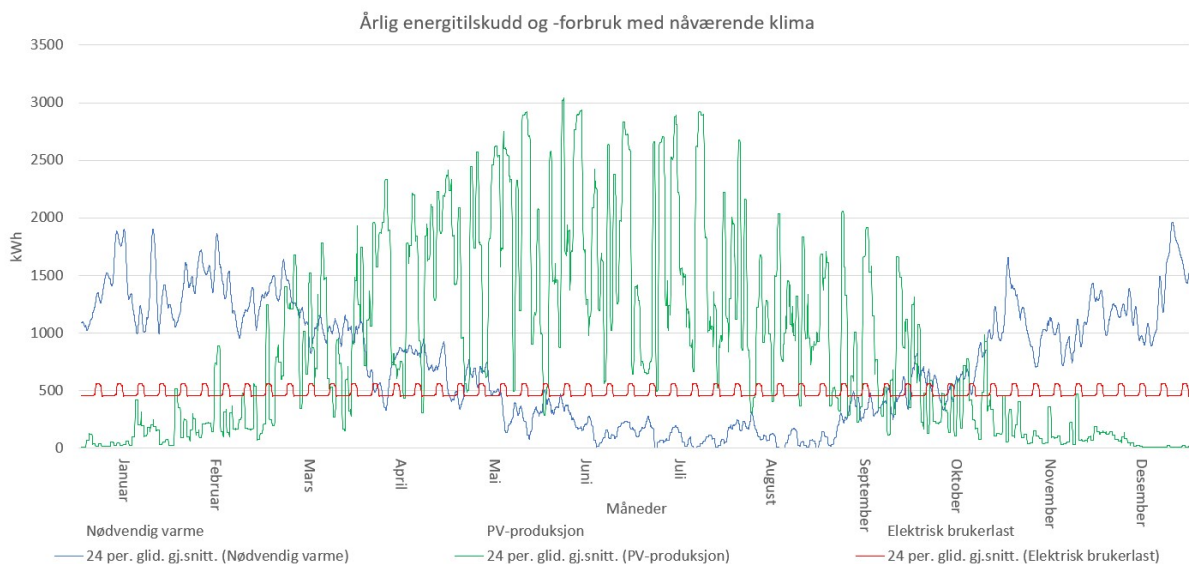
Figur 29 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i nåværende klima (Sommer)

For en sommeruke er PV-produksjonen dominerende i forhold til nødvendig varme og elektrisk brukerlast. Dette kommer av at effektiv solinnstråling er høy og dagene er lange i forhold til vinteren. PV-produksjonen er størst om dagen, mens nødvendig varme er størst om natten. Elektrisk brukerlast er størst rett før solen går ned.



Figur 30 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i nåværende klima (Vinter)

En typisk vinteruke er preget av få soltimer og kaldere temperaturer enn på sommeren. Dette gjør at varmebehovet er generelt mye høyere enn PV-produksjon. PV-produksjonen er nærmest ubetydelig, men det vil være noe produksjon midt på dagen.

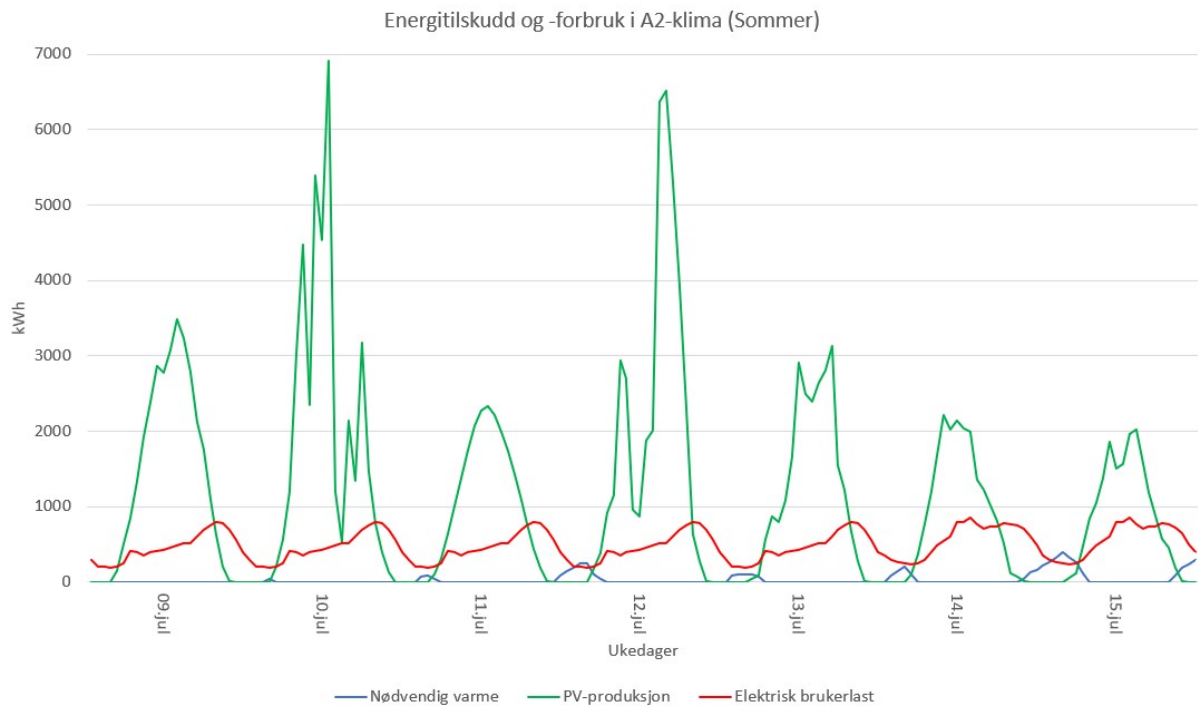


Figur 31 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit med nåværende klima

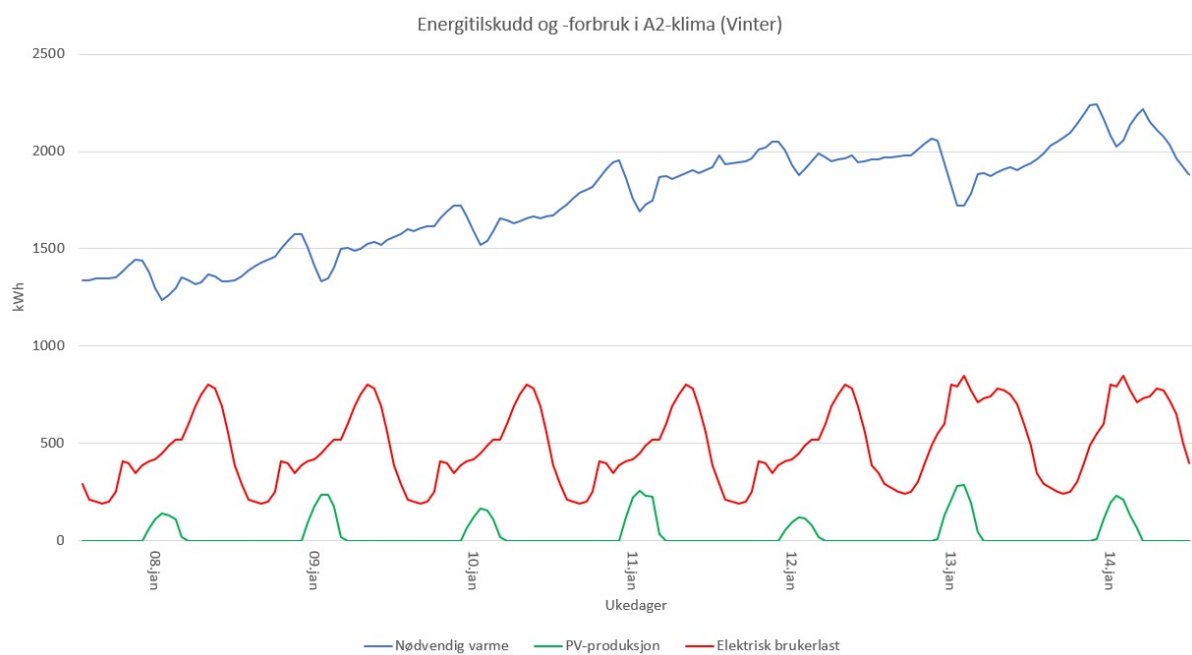
Årlig energitilskudd- og forbruk (figur 31) viser at PV-produksjonen er størst om sommeren og varmebehovet er størst om vinteren.

## 4.2.2 A2-klima

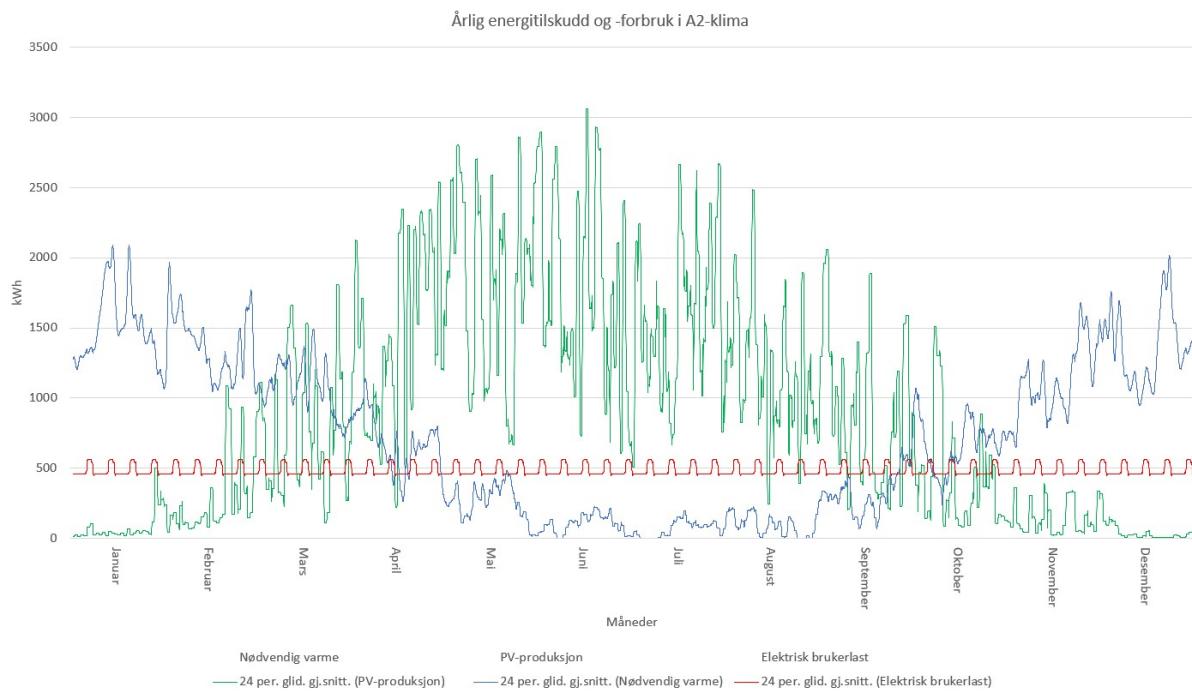
A2-klima representerer et klimascenario der verden er markedsstyrt og det ikke er gjort tiltak for klimautfordringene. I forhold til nåværende klima er PV-produksjonen og varmebehov lavere. Dette kommer av at temperaturen er høyere og skylaget tettere.



Figur 32 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima (Sommer)



Figur 33 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima (Vinter)



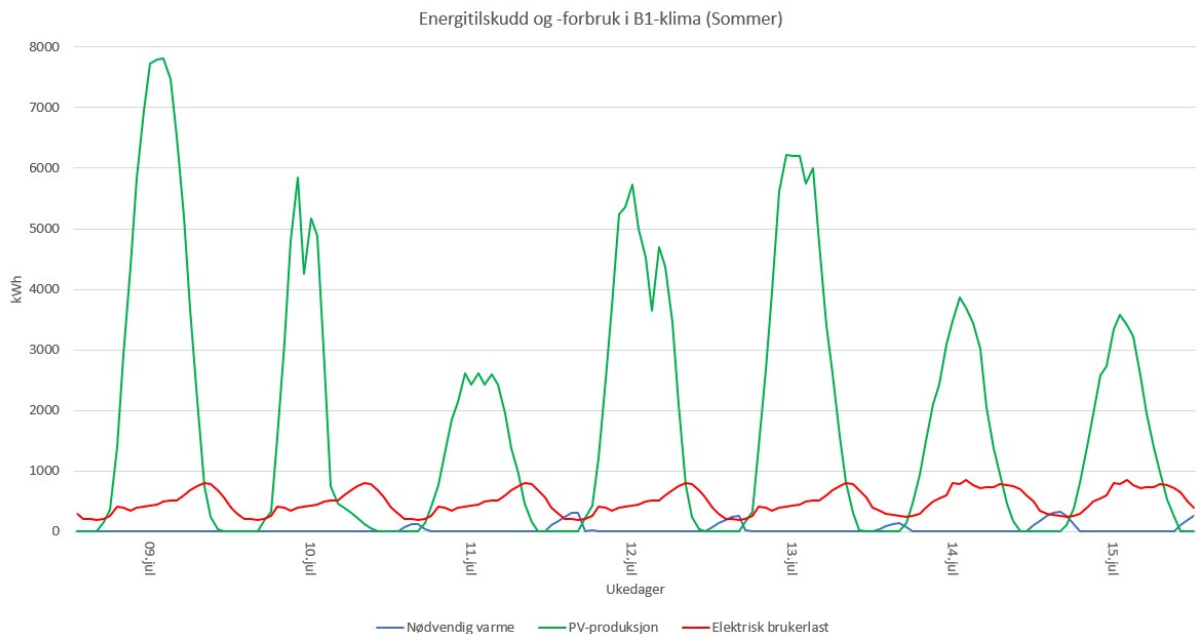
Figur 34 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit i A2-klima

Årlig energitilskudd- og forbruk (figur 34) viser at PV-produksjonen er størst om sommeren og varmebehovet er størst om vinteren.

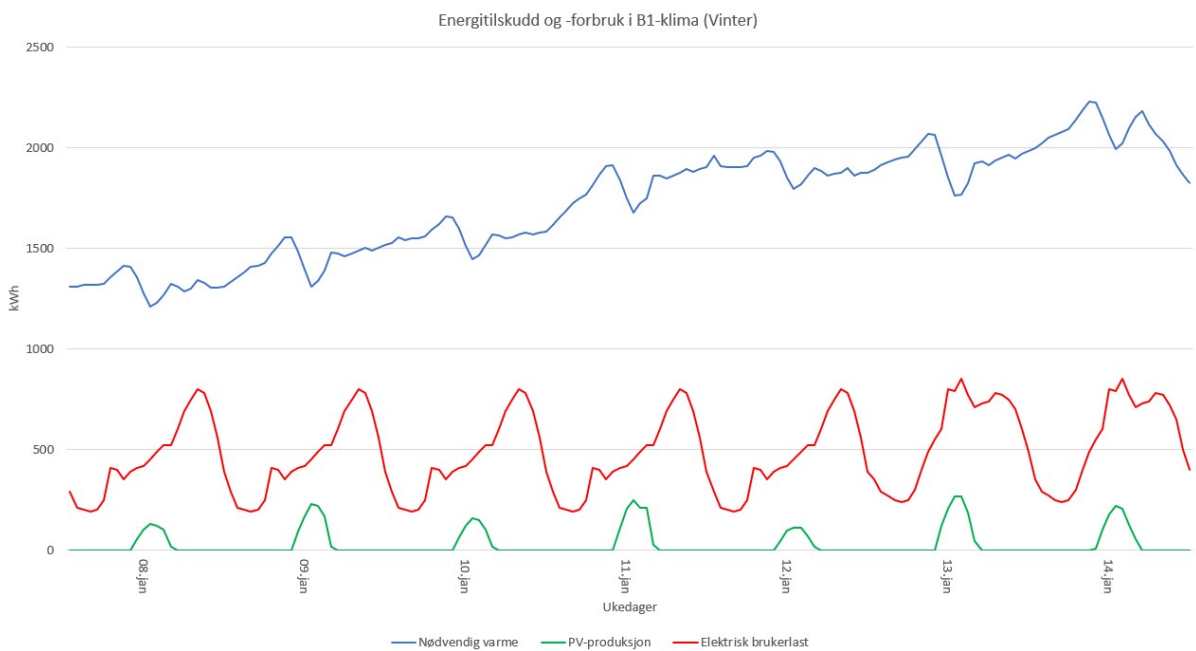


### 4.2.3 B1-klima

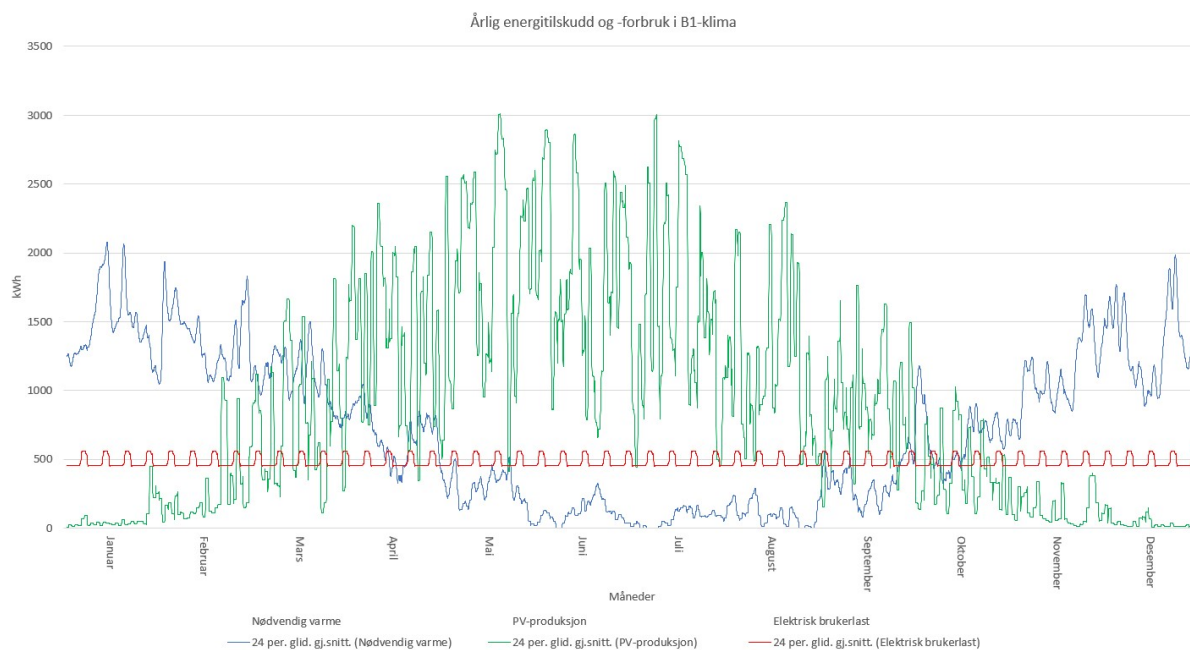
B1-klima representerer et klima der klimatiltak er utført på en slik måte at vær og temperatur er stabilisert. I forhold til nåværende klima er PV-produksjonen noe høyere mens varmebehovet er omtrent likt. Dette kommer av effektiv solinnstråling er høyere med tanke på redusert skylag, mens temperaturen er lik som i dag.



Figur 35 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima (Sommer)



Figur 36 - Energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima (Vinter)



Figur 37 - Årlig energitilskudd og -forbruk på Saltveit i B1-klima

Årlig energitilskudd- og forbruk (figur 37) viser at PV-produksjonen er størst om sommeren og varmebehovet er størst om vinteren.

#### 4.2.4 Sammenligning

Energioverskudd blir beregnet ved formelen:

$$\text{Elektrisk produksjon} - \frac{\text{Varmebehov}}{\text{COP}} - \text{Brukerlast} = \text{Energioverskudd [kWh]}$$

Tabell 8 - Årlig varmebehov i nabolaget ved forskjellig klimascenario

Klima	Varmebehov [kWh]	Varmepumpe-effekt (COP)
Nåværende	6 443 291,4	3,9
A2	6 309 209,3	3,9
B1	6 304 609,4	3,9

Tabell 9 - Årlig energioverskudd i nabolaget ved forskjellig klimascenario

Klima	$\frac{\text{Varmebehov}}{\text{COP}}$ [kWh]	El-bruk [kWh]	Solenergi-tilskudd [kWh]	Overskudd [kWh]
Nåværende	-1 652 126,0	-4 348 800	7 680 582,2	<b>+1 679 656,2</b>
A2	-1 617 746,0	-4 348 800	7 638 186,4	<b>+1 671 640,4</b>
B1	-1 616 566,5	-4 348 800	7 701 934,9	<b>+1 736 568,4</b>

Tabell 13 - Årlig energioverskudd per boligenhet i nabolag ved forskjellig klimascenario

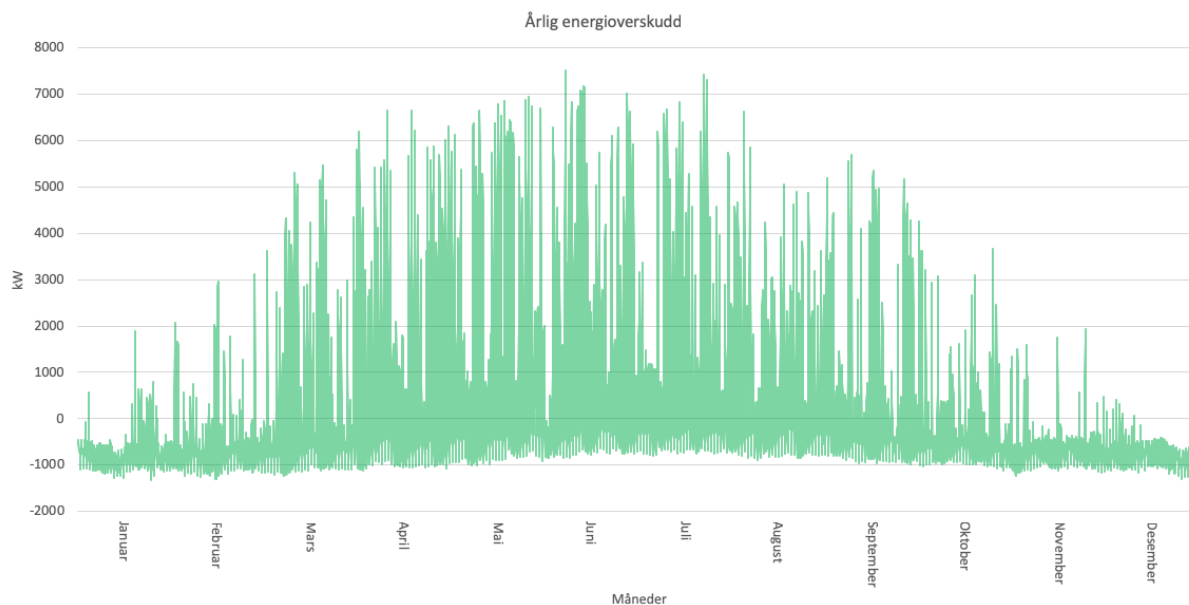
Klima	Overskudd p/enhet [kWh]
Nåværende	<b>+ 2 780,9</b>
A2	<b>+ 2 767,6</b>
B1	<b>+ 2 875,1</b>

Alle klimascenarioene gir positivt energioverskudd som betyr at energiproduksjonen med solceller på taket er stabilt og forutsigbart. B1 viser seg å gi det største overskuddet, mens A2 gir dårligst. Dette kommer av at klimascenario B1 har gjort betydelige tiltak for å forbedre klimaet, i motsetning til klimascenario A2. Et resultat av dette fører til lavere temperatur og mindre skytimer i B1 enn A2. Temperaturen har innvirkning på nødvendig varmetilførsel, mens skytimer har innvirkning på PV-produksjonen.

**Siden A2 har dårligste verdier for varmebehov og PV-produksjon, må Saltveit ZEN dimensjoneres etter dette klimascenarioet.**

## 4.3 Energilagring

Nedenfor viser resultater for batteriegenskaper som er nødvendig for at energilagring skal være mulig i Saltveit ZEN. Egenskapene lagringseffekt og totalt lagringsbehov er beregnet.



Figur 38 - Årlig energioverskudd nåværende klima

### 4.3.1 Lagringseffekt

Ved å bruke formel om energioverskudd fra kapittel 4.1 overskuddet per time kalkuler ved å bruke et regnearkprogram (figur 38). Største energioverskudd angir hvor stor lagringseffekt lagringsenhetene må tåle på et gitt tidspunkt. Største lagringseffekt oppstår midt på dagen den 8. juni.

Største lagringseffekt = **7509,207 kW** (8.juni)

Batteritypen Tesla Powerpack 2 er valgt for å illustrere hvordan energilagringen kan være i praksis. Powerpack 2 har en effektgrense på 50 kW.

Antall batterier som er nødvendig for å kompensere for største lagringseffekt:

$$\text{Antall batterier} = \frac{\text{Største lagringseffekt [kW]}}{\text{Batteriets effektgrense [kW]}} = \frac{7509,207 \text{ kW}}{50 \text{ kW}} = 150,18 \approx \underline{\underline{151 \text{ batterier}}}$$
 nødvendig.

**For å tåle lagringseffekten på 7509,207 kW må Saltveit ZEN ha 151 Tesla Powerpack 2-batterier.**

### 4.3.2 Lagringsbehov

Fra figur 38 viser resultatene at det er et gjennomsnittlig underskudd fra November til og med Februar. Dimensjonerende lagringsbehov er derfor det totale energiunderskuddet i denne perioden. Lagringsbehovet beskriver hvor mye energi som må oppbevares til denne perioden.

Lagringsbehov i perioden november-februar = **2 071 326 kWh**

**Det bør spares 2 071 326 kWh energi før perioden november-februar.**



## 5 Diskusjon

Resultatene viser at et ZEN er mulig på Saltveit. Allikevel er det mange aspekter og muligheter som ikke er forbeholdt i resultatene som kan ha en påvirkning på resultatene.

### 5.1 Resultater

Resultatene viser at klimascenario B1 gir størst overskudd av energi mens scenario A2 har minst overskudd. Forskjellen ligger i at B1 oppnår større solenergi-produksjon som kan komme av at scenario A2 har et flere skytimer på grunn av manglende klimatiltak.

Energimessig gir solcellepanelene mer enn nok energi til nabolaget. Uten å se på vanskelighetene og kostnadene ved batteribankteknologien vil solceller være et godt alternativ uansett klimadata. Klimadata A2 og B1 er valgt for å gi de beste og verste verdiene for nabolaget og det vil dermed være overskuddsenergi i hvert scenario.

Overskuddsenergien vil være aktuell å bruke på felleselektrisitet som gatelys, idrettsanlegg og andre elektriske komponenter og bygg som er fellesbruk. Resterende energi kan bli solgt tilbake til nettet ved behov.

Hvis så mye overskuddsenergi er uønsket er det muligheter for å redusere solcellemengden eller velge paneler med mindre effekt. Det er også muligheter for å erstatte solcellepanel med solsamlere som reduserer behovet for termisk energi.

### 5.2 Forenklinger

Det har blitt gjort flere forenklinger i simulerings- og planleggingsfasen som kan ha påvirkninger på resultatet.

**Terrenget** ble valgt å modelleres flatt til tross for at det reelle terrenget er noe kupert. Grunnen til at dette ble gjort er flerdelt, men hovedsaken er at terrenget er noenlunde flatt uansett. Man kan også ta forbehold om at terrenget skal planeres for bygg og veier i nabolaget slik at et flatt terreng i simuleringen vil være representativt. Dessuten vil simuleringene være mer komplekse og tidskrevende med nåværende terreng. En faktor som påvirker resultatet er derimot skyggelegging og solrefleksjon fra terrenget. Her ville noen bygninger fått mer gunstige forhold enn andre, men resultatene ville antagelig bli nokså like som nåværende resultater.

**Infrastrukturen** er ikke planlagt inn i nabolagmodellen. Veier og fellesareal krever areal som organiserer bygningsmassen. For resultatene ville veier gjort at bygningene ble tettere sammen og refleksjonen fra grunnen hadde blitt noe annerledes. Siden asfalt har lavere refleksjon enn gress, ville lys-refleksjonene blitt større. Dette hadde gitt boligene mer dagslys og dermed mer varme. Dette har trolig veldig lite å si for resultatene slik at infrastruktur er greit å neglisjere. I tillegg vil det kreves energi til gatelys, idrettsanlegg og drift av felles elektriske elementer. Siden overskuddsenergien er stor og energien som kreves er liten, antas det å være nok overskuddsenergi til all felles belysning, oppvarming og drift.

**Elektrisk brukerlast** vil være veldig forskjellig for hver boligenhet. Det er beregnet fire personer i hver enhet derav to voksne og to barn. Dette vil i realiteten variere for alle enheter da noen enheter kan ha én og andre fem-seks personer. Dette påvirker energiforbruket. Med fire personer per enhet er beregningene på sikker side.

**Elektriske apparater** er ikke medregnet i CitySim Pro-simuleringen. Resultatene viser verdier beregnet fra varmetilskudd fra mennesker og el-produksjon fra solceller. Elektriske apparater som vaskemaskin, tørketrommel og fryseboks vil skape varme som gjør varmebehovet noe mindre det resultatene viser. Disse apparatene må kodes inn i programvaren manuelt, og det ble vurdert at denne prosessen er uforutsigbar med tanke på apparatens egenskapsverdier og programvarens reaksjon på dette. El-forbruket fra elektriske apparater, beboere og el-bil er derfor hentet fra en ekstern kilde. At varmebehovet er noe større enn realiteten gjør at verdiene er på sikker side ved dimensjonering.

**Valg av solceller** har stor påvirkning for el-produksjonen. Solcellene fra Solarwatt ble valgt på grunn av de var integrerte i taktekket. For nybyggere vil dette være mest aktuelt. For u-verdien vil dette ikke ha noe påvirkning siden taket er luftet. Solcellene er ikke de mest effektive sammenlignet med de aller nyeste cellene, men er reelle med tanke på kostnadsnivå for nybyggere og de som ønsker å skifte tak.

### 5.3 Energikilder

At nabolaget ligger ved kysten gir mange alternativer for fornybar energi. Det flate terrenget gjør at det er lite skygge for sol som er bra for solenergi-produksjonen. Geoenergi kan samles fra både vann og energibrønn. Nærhet til havet gjør vindkraft og maritim energi aktuelt. Bioenergi krever biomasse som er mulig å oppnå hvor som helst.



På sin måte er alle energikildene aktuelle å bruke, men brukervennlighet, effektivitet og kostnad redusere mulighetene ved et reelt prosjekt. Maritime energikilder som tidevanns-, bølge- og andre teknologier er fortsatt i startfasen som fører til høye kostnader og stor usikkerhet. Bioenergi er mest aktuelt på Østlandet som har kort avstand til bioressurser som for eksempel treflis fra sagbruk. På grunn av terrenget er det lite anlegg for lokal vannkraft i form av dammer, elver og fossefall. Solenergi, vindkraft og geoenergi står igjen som de mest kost-effektive og stødige energikildene for nabolaget per dags dato.

## 5.4 Geoenergi

I samarbeid med konsulentfirmaet Rototec er det blitt utarbeidet tre metoder og anslått pris for geoenergisystem på Saltveit [8].

1. Den ene måten er at hvert bygg har hver sin varmepumpe og hvert sitt borehull på tomten. På et vanlig nybygg (180 m<sup>2</sup>) i dag kan det være vanlig å installere en 6 kW varmepumpe, og tilhørende borehull på rundt 140 meter. En NIBE F1145-6 varmepumpe har en pris på ca. 55.000 NOK, mens ett enkelt borehull av denne dybden koster ca. 40.000 NOK (om man borer flere i samtidig). Kostnaden for installatør er vanskelig å estimere men det kan antas at det ligger rundt 40.000-50.000 NOK inkludert materiell. Totalt per enhet her prisen rundt 135.000-150.000 NOK + mva.

Totalt for alle 550 enheter = ca. **75-85 millioner NOK.**

2. En annen måte å løse det på er en stor energisentral. Da vil man koble mange brønner inn i en sentral med varmepumpe, som videre sender ut varme til hvert enkelt bygg, som en "nærvarmesentral". Dette vil være prisgunstig, men man må ha arealene til det (under noen av tomtene), og det må bygges opp en infrastruktur/nærvarmenett. Det begynner å bli noen slike prosjekter i Norge nå, men ikke veldig mange i drift enda. Denne er nok mye mer hensiktsmessig med boligblokker, da infrastrukturen til hvert bygg blir mye mindre. Her vil man kunne bore dypere brønner, som gjør at kostnaden pr. boremeter går ned. Det er tatt utgangspunkt i 180 m<sup>2</sup> bygninger med energikarakter A (lavt energiforbruk). Med en høy effektdekningsgrad på 60% (spisslast fra elektrisitet på de kaldeste dagene og for eventuelt å spisse varmtvann), kan man estimere ca. 65.000 boremeter. Det har en kostnad på rundt 18-22 millioner NOK. Estimert blir kostnaden for ferdig installerte varmepumper 10-12 millioner NOK, pluss marginer for utførende. Kostnaden for

distribusjonsnett er vanskelig å anslå, men man kan anslå rundt 10 millioner NOK. Det må i tillegg beregnes et eget bygg for varmepumpe.

Totalkostnad for hele prosjektet = ca. **40-50 millioner NOK**.

3. Det vil så klart også være mulig med en kombinasjon av disse, spesielt siden prosjektet er litt oppdelt i 5-6 områder. Med flere sentraler vil nok prisen for varmepumpene og brønnene ikke nødvendigvis endres så mye, men man må ha ett enkelt bygg til hver sin sentral. Man for dog spart inn på distribusjonsnett, men også dette er vanskelig å anslå.

Det kan legges til at ved selvstendige brønner vil det være nok med en brønn per bygning tilsvarende 550 brønner med ulik dybde avhengig etter varmebehovet. Utfordringene for et slikt system er lagringskapasiteten. Lagringsenheten har en varmegrense, og det vil kreve høye varmeverdier for å lagre store mengder termisk masse over tid.

Tabell 10 - Kostnad basert på termisk-varmesystem

Systemvalg	Totalkostnad [kr]	Pris per bygg [kr]
Selvstendige brønner	75-85 millioner	135-150 tusen
Energisentral	40-50 millioner	72-91 tusen

På grunn av den vesentlige forskjellen i kostnad er energisentraler å foretrekke. Det kan anslås at teknologien rundt disse sentralene blir bedre etterhvert slikt at større og større mengder av termisk masse kan lagres over lengre tidsperioder. Væske-luft varmepumpe velges på grunn av den jevne jordvarmen og sin sikre teknologi. Denne varmepumpe-typen er også anlagt for lagring av termisk energi. Varmepumper med solceller kunne vært aktuelt å bruke, men usikkerheten rundt teknologien og investeringskostnadene gjør at væske-luft varmepumper er et godt alternativ.

## 5.5 Energilagring

Energilagring er veldig kostbart. Store mengder energi og lang lagringstid krever mye av lagringsproduktets kapasitet og egenskap. I prinsippet er teknologien på plass, men optimalisering for større prosjekter mangler. De siste årenes teknologisteg angående energilagring har vært enorme, så kapasiteten vil antageligvis bli bedre etterhvert. Kostnadene vil reduseres i takt med at stor-skala energilagring blir mer brukt i byggebransjen.

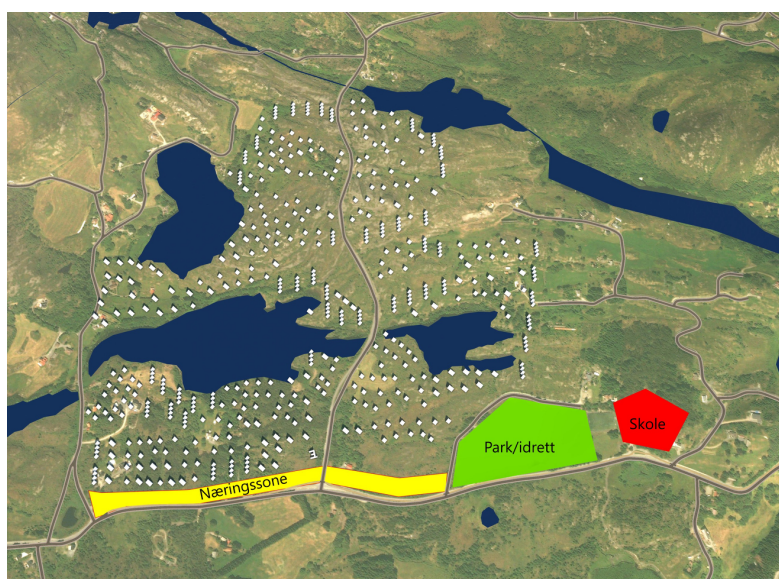
Energi- og varmetap er en utfordring for sentrale lagringsenheter. Dette gjelder spesielt den termiske energien som behøver korte avstander mellom energikilde, lagringsenhet og brukere [8]. Dette gjelder også for batteribanker, men ikke i like stor grad. En løsning på dette er å ha flere (opptil tre-fire) energisentraler for termisk energi i nabolaget. Da får også hver energisentral én tredjedel-fjerdedel av den totale lagringen hver noe som vil være ønskelig med tanke på dagens teknologi. Kostnadene med tre sentraler enn én er selvsagt en faktor, men med tanke på energitap vil tre sentraler være mest ønskelig.

## 5.6 Miljøplanlegging

I planleggingen av Saltveit ZEN er det tatt stilling til en rekke problemstillinger og utarbeidet løsninger for disse. Dette delkapittelet er ment som forslag for å skape et godt miljø og bærekraftig samfunn for beboere, og kan videre brukes som underlag til reguleringsplan

### Europavei E47

Europavei E47 strekker seg langs sørøst-siden av tomten og kobler de nærmeste tettstedene Sveio og Haugesund sammen. Veien går videre i nordlig retning til Bergen og i sørlig retning til Stavanger (figur 14). På denne strekningen er det høy belastning av trafikk og det vil dannes en støysone inn på nabolagstomten (figur 39). I støysonen tenkes det at det kan være næringsområde med butikker og andre næringer som skjermes nabolaget for støy. Næringsområdet er plassert på slik for å dempe støyen fra E47 og avskjerme området. Samtidig vil det være ønskelig for butikkene å være synlig fra veien.



Figur 39 - Soner for næring, idrett og skole (Autodesk Infracore)

## Sykkel

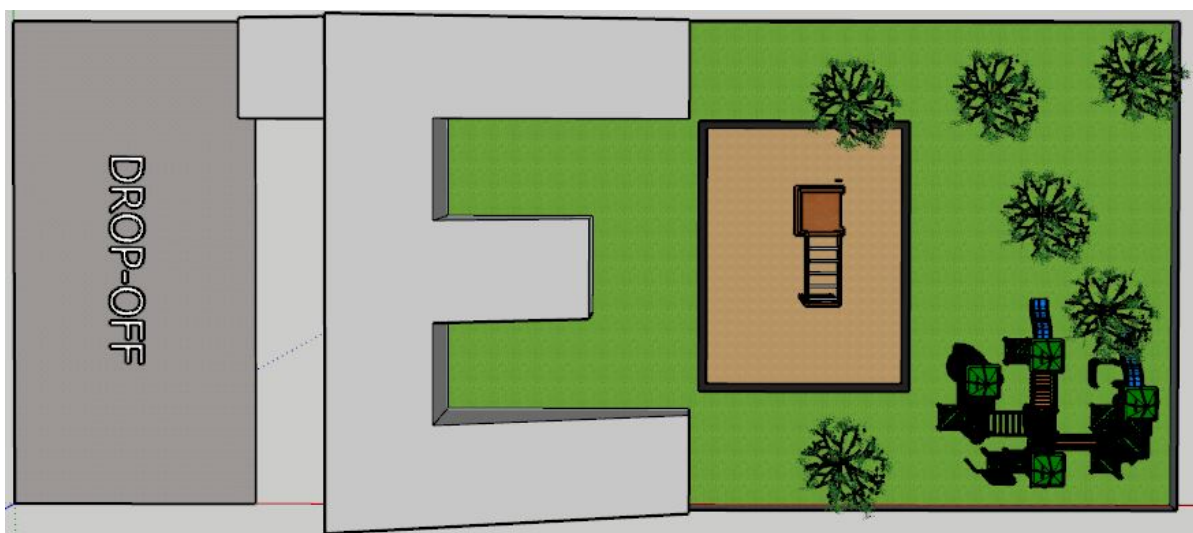
Selv om det gjøres til rette for bilkjøring vil det være ønskelig at flest mulig sykler. Dette gjelder spesielt til og fra jobb. Dette avhenger i en trygg og god sykkelvei fra mellom Haugesund og Sveio. Det er 'selvsagt' at barn går eller sykler til skolen og idrett. Det vil i tillegg være systemer for å leie vanlige- og el-sykler.

## Bil

Det er ønskelig at bilbruken skal være så liten som mulig. Det er beregnet at hver husstand har én el-bil hver, noe som kan være i det minste laget. Det er vanlig at hver husstand har 1,75 biler hver. En måte å forsvare dette på kan være et delingssystem der alle beboere i området kan lease bil fra et 'bilhotell', ikke ulikt bysykkel-konseptet. Avhengig av arbeidsplasser mm. blir bil nummer to ofte stående hjemme ubrukt. Ved et bilhotell trenger ikke hver husstand ha to biler, og trafikken vil forhåpentligvis reduseres. Buss-systemer vil impliseres til den grad at det blir mer attraktivt å ta buss enn å kjøre bil til jobb og andre sysler.

## Barnehage

Barnehagen bør plasseres så nært utkjørselen til E47 som mulig for å forminske trafikkbelastningen og kødannelse. De fleste som skal på jobb må kjøre ut den samme utkjørselen til E47 slik at dette vil være mest naturlig. Barnehagen blir plassert på 'trygg' side av næringssonen med en enkel 'drop-off' sone for tidseffektivitet og avskjermet uteplass mot sør-vest (figur 40).



Figur 40 - Fugleperspektiv barnehage (Google SketchUp)

## **Skole**

Det ligger en barneskole rett ved tomten på nordvestlig side (figur 39). Ved en slik omfattende boligutbygging vil det være aktuelt med en ungdomsskole i tillegg. Denne er tenkt å impliseres i barneskolen slik at det blir en kombinert barne- og ungdomsskole.

## **Idrettsanlegg**

De fleste idrettsanlegg vil bli plassert i nærheten av skoleområdet (figur 39). Dette vil gjelde fotballbane, gymsal og annet som vil være relevant. Mindre anlegg som lekeplasser og fotballøkker vil bli plassert sporadisk i området.

## **Grunnarbeider**

Det må gjøres grundige grunnarbeider før bygging kan starte. Sammen med vann- og avløpssystemer må systemer for termisk varme, solenergi og vindkraft implementeres i grunnen. Ved å tenke helhetlig på dette vil det unngå mest mulig overflateledninger som gir et renere, åpent utemiljø.

## **Smart-nabolag**

Det antas at beboere i dette området er interessert i energieffektivitet og miljøet. For å skape et åpent samfunn med sunn debatt omkring drift i nabolaget vil hver innbygger få tilgang til en god oversikt over energistrømmen i sitt eget hjem og for hele nabolaget. F.eks. gjennom en app eller nettside.

## **5.7 Beboere og personlige energiltak**

Det er ikke bare energieffektive bygninger og energisystemer som danner et ZEN. Energiforbruket til beboere er selve nøkkelen for et energieffektivt samfunn og tiltak kan gjøres for å redusere dagens energiforbruk. Ved å redusere energiforbruket vil også kostnadene reduseres. Nedenfor nevnes noen forslag til beboere i alle samfunnssituasjoner for å redusere energiforbruket.

## **Lys**

Store vindusflater og gjennomstrømning av dagslys gjør behovet for elektrisk lys og oppvarming mindre. Lyspærer i LED bør velges fordi energieffektiviteten er bedre enn eldre pærer. På kveldstid vil det være besparende å skru av taklamper og heller bruke mindre, konsentrerte lamper i området personer befinner seg i.

## **Redusere vanntrykket**

Ved å redusere vanntrykket vil oppvarming av vann til dusj og vask reduseres. Oppvarming av vann er blant de største syndere for energiforbruk, og en reduksjon av dette vil være økonomisk og miljømessig ønskelig. Systemer for oppsamling av regnvann kan brukes. Slike systemer vil sørge for å redusere offentlig vanntilførsel.

## **Ventilasjon**

Det kan være besparende å senke temperaturen og lufttilførselen fra ventilasjonssystemer når ingen personer er til stede i bygningen. Dette vil være mest effektivt i større bygg som kontorer og butikker der mange personer krever mye lufttilførsel. I boliger kan mye senkning og økning av lufttilførselen være energikrevende og dermed lite kosteffektivt.

## **Målerstand**

Å følge med på målerstanden jevnlig kan være et nyttig tips for å være bevisst på eget energiforbruk slik at det blir lettere å gjøre energibesparende tiltak ut i fra dette.

## **Materialer**

Dette punktet er en oppfordring til både beboere og bygningsplanleggere. Materialbruken er viktig for dagens energiforbruk og fremtidens klimaavtrykk. Ved å bruke kvalitetsmaterialer vil mindre oppvarmet luft forsvinne, gi bedre inn klima og mindre klimagassutslipp. 'Kortreiste' materialer er materialer som krever lite transport fra ressurssted til produksjon og til slutt byggeplass. Dette reduserer klimagassutslippene fra transport. Ingeniører bør forslå alternativer for miljømessige materialer og byggemetoder til byggherrer.

## **5.8 CitySim Pro**

CitySim Pro er et godt verktøy for energiberegning av ZEN. Modelleringen i Google SketchUp og import til CitySim Pro er en ukomplisert prosess der resultatene blir presentert på en fin måte i programmet. Det er også flere muligheter med programmet når det gjelder manuell inntasting av elektriske apparater, solcellepanel og andre ting som kan påvirke til et mer detaljert resultat. Dette må derimot selv kodes i programmets database og kan være tidskrevende og komplisert hvis en ikke har vært borti særlig koding før. Ved eksport av resultater kan resultatene systematiseres og illustreres gjennom regnearkprogrammer som Microsoft Excel, som gir detaljerte, timebaserte resultater for mange aspekter innen energi og varme. Ved flere typer bygninger er det å lage oversiktlige grafer en tidskrevende

oppgave. Da må først de relevante kolonnene for hver bygning summeres før det lages for eksempel en graf.

Selv om CitySim Pro er en av de fremste programmene når det kommer til energiberegning av en gruppe bygninger, er det klare forbedringspotensialer på detaljert brukerlast og fremstilling av resultater. Et forslag til utviklerne av CitySim er å lage flere forhåndsinnstillinger for valg av brukerlast og grafvisning med eksportmulighet i programmet. I tillegg bør det innkodes flere muligheter for alternative energikilder i programmet.

## 5.9 Kostnad

Kostnad er ofte den største utfordringen for nye, spennende prosjekter. Utenom en vei som strekker seg igjennom tomten er området helt kupert og vilt. Det kreves at hele tomten tilrettelegges ved planering, ny infrastruktur, rørledninger, brønnboring og ledninger for el-systemer før byggingen av hus kan starte. Dette er tidkrevende og kostbart. Ny teknologi er ikke billig og prosjekter som dette ender ofte opp halvveis. Med å bruke etablerte energikilder som solceller, vindturbiner og brønnboring vil kostnadene derimot være lavere enn ved nyere og lite utforskete kilder som tidevanns- og bølgeenergi. Bygningene vil ha nokså lik pris som nåværende boliger, med noe dyrere tak på grunn av de integrerte solcellene. En kostnad med det selvforsynte systemet med solceller vil også forekomme.

## 5.10 ZEN i andre deler av Norge

Referansenabolaget er simulert i kystklima i den sørvestlige delen av Norge. Selv om klimaet her er spesielt i forhold til andre klimaer i Norge, er det lite som skal til for å skape et ZEN i andre landsdeler.

Østlandet har et typisk innlandsklima med kalde vintre og varme somre. I tillegg til et flatt landskap, gir dette mindre skyer og nedbør som gir rom for mer energiproduksjon fra solceller. Termisk energi er omtrent like effektivt som på Vestlandet.

I Nordlige strøk er energiproduksjon fra sol og vind relativt lik som på Saltveit. Her er det mer sol om sommeren og mørkere om vinteren slik at el-produksjonen sannsynligvis vil være lik som resten av kysten. Derimot er grunnen kaldere enn i sørlige landsdeler som gjør at geoenergi er mindre effektiv.

## 5.11 Ringvirkninger

Etablering av et ZEN kan vekke både nasjonal og internasjonal oppsikt. For det første vil det sette norsk miljøteknologi på kartet for framtidsrettet tenkning og de lokale styringsetatene sin 'guts' for å klarere et slikt prosjekt. Både arkitekt-, ingeniør- og entreprenørfirma vil ha et prosjekt som de kan være stolte av og som kan gi dem flere like oppdrag på grunn av deres erfaring med energibaserte prosjekter. Hvis overskuddselektrisitet blir solgt til strømmettet vil det gjøre at energiproduksjon fra fossile- og ikke-fornybare ressurser kan reduseres. Dette vil være ønskelig av lokale strømselskap. Etterhvert som at ZEN blir vanlige, blir teknologier billigere, flere teknologityper blir tilgjengelige og standarder kan blir strengere med tanke på energikrav. Ikke minst vil dette ha positive ringvirkninger for miljøet og fremtidige generasjoner.



## 6 Konklusjon

Blant de fornybare energikildene er det kun solenergi som per dags dato er i stand til å generere nok energi for nabolaget på egen hånd. Det vil være ønskelig å bruke så få energikilder som mulig, for å slippe kompleksiteter og kostnader. Det beregnes energibrønner som termisk energikilde fordi dette ansees som en bra løsning både i dag og i fremtiden. Å skape et totalt off-grid nabolag er derimot vanskelig å få til med dagens teknologi. Mangel på en back-up plan med tanke på strømstans vil det være naturlig å bruke strømmettet. Mye energioverskudd vil derimot gi muligheten til å levere unødvendig til lokale strømselskap. Alternativt kan det brukes dieselgeneratorer, men i såpass stor skala vil det bli miljøskadelig og mot prosjektets hensikt.

Resultatene viser at konseptet ZEN er mulig Saltveit. Tekniske og strukturelle løsninger må vurderes ved tidspunkt på planlegging, men mest optimale løsning er gitt som følgende:

**Solcellesystem på alle tak, varmetilskudd fra sentrale energibrønner og energilagring i sentral batteribank.**

Solcellesystem og geoenergi er stødige energiprodusenter for en stor brukergruppe. Til tross for at sentrale lagringsenheter er kostbare, vil dette antageligvis bli billigere ved tiden når teknologien bedres og brukergruppen vokser.

ZEN er definitivt en metode som kan brukes i hele landet. Effektiviteten til de forskjellige energikildene og klimaet vil selvsagt variere fra sted til sted, men alle steder i Norge har ressursene som skal til for å nå nullenergikravet.



## 7 Videre forskning

Hovedutfordringen for utviklingen av ZEN er at det må prøves i praksis. Teknologi kan være avansert og kostbart, men ved testing vil dette åpne for mer innsikt i teknologisystemene og hvordan de samhandler med bygningsmassen. Et resultat av dett vil være at systemene blir smartere og mindre kostbare.

Forskningscenteret FME ZEN forsker på nullutslippsnabolag som omhandler den totale klimaavtrykket fra nabolagets livssyklus. Dette innebærer nullenerginabolag og helheten rundt dette. De har flere pilotprosjekter rundt om i Norge der diverse teknologier testes. Forhåpentligvis vil det resultere i bedre, billigere teknologi og flere ZEN i fremtiden.



## Kilder

- [1] C. Skaar, N. Labonnote og K. Gradeci, «From Zero Emission Buildings (ZEB) to Zero Emission Neighbourhoods (ZEN): A Mapping Review of Algorithm-Based LCA,» *Sustainability*, pp. 1-19, 10 Juli 2018.
- [2] S. Anda og A. S. H. Bjelland, *Fra Passivhus Til Plusshus*, Bergen: Fagbokforlaget, 2013.
- [3] A.-F. Marique, M. Penders og S. Reiter, «From Zero Energy Building to Zero Energy Neighbourhood».
- [4] FME ZEN, «What is the ZEN Research Centre?,» [Internett]. Available: <https://fmezen.no/about-us/>. [Funnet 2018 November 16].
- [5] Powel, «MicroGrid – en viktig del av morgendagens distribusjonssystem,» Powel, [Internett]. Available: <https://www.powel.com/no/about/temaartikler/microgrid/>. [Funnet 5 11 2018].
- [6] True Industry News, «Rooftop Solar Photovoltaic (PV) Installation Market Rising Trends and New Technologies Research 2018 to 2025,» 3 Juli 2018. [Internett]. Available: <https://trueindustrynews.com/rooftop-solar-photovoltaic-pv-installation-market-rising-trends-and-new-technologies-research-2018-to-2025/>. [Funnet 21 November 2018].
- [7] J. Ongena og G. Van Oost, «Energy for Future Centuries: Prospects for Fusion Power as a Future Energy Source,» *Fusion Science and Technology*, pp. 3-15, 10 August 2010.
- [8] L. F. Isaksen, Interviewee, *Geoenergi*. [Intervju]. 24 Oktober 2018.
- [9] V. Aggarwal, «Can I go off the grid with solar batteries? Excess solar energy explained,» EnergySage, 10 Mars 2018. [Internett]. Available: <https://news.energysage.com/can-i-go-off-the-grid-with-solar-batteries/>. [Funnet 5 November 2018].
- [10] D. Muoio, «Tesla's massive batteries are powering everything from exotic islands to breweries,» Business Insider, 18 Mars 2017. [Internett]. Available: <https://www.businessinsider.com/15-tesla-powerpack-battery-projects-2017-3?r=US&IR=T>. [Funnet 5 November 2018].
- [11] Sunwind, «Slik dimensjonerer og beregner du solcelleanlegget,» [Internett]. Available: <https://www.sunwind.no/pages/news/read/?id=49>. [Funnet 11 Desember 2018].
- [12] S. M. Hasnain, «Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part 1: Heat storage materials and techniques,» *Energy Convers. Mgmt Vol. 39*, pp. 1127-1138, 1998.
- [13] Norges vassdrag- og energidirektorat, «Nasjonal varedeklarasjon 2017,» Norges vassdrag- og energidirektorat, 26 Juni 2018. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten-for-energi-rme-marked-og-monopol/varedeklarasjon/nasjonal-varedeklarasjon-2017/>. [Funnet 12 November 2018].
- [14] O. Ellabban, H. Abu-Rub og F. Blaabjerg, «Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews 39*, pp. 748-764, 6 August 2014.
- [15] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun og K.-H. Kim, «Solar energy: Potential and future prospects,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews 82*, pp. 894-900, 25 September 2017.
- [16] J. Nilsen, «Rapport: Den beste temperaturen for solceller er under fem minus,» Teknisk Ukeblad, 20 Januar 2015. [Internett]. Available: <https://www.tu.no/artikler/rapport-den->

- beste-temperaturen-for-solceller-er-under-fem-minus/223696. [Funnet 9 November 2018].
- [17] M. C. Peel, B. L. Finlayson og T. A. McMahon, «Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification,» *Hydrology and Earth System Sciences*, pp. 1633-1644, 11 Oktober 2007.
- [18] M. A. Maehlum, «Which Solar Panel Type is Best? Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film,» Energy Informative, 16 Mai 2018. [Internett]. Available: <http://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/>. [Funnet 22 November 2018].
- [19] J. F. Manwell, J. G. McGowan og A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*, Massachusetts: John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [20] N. K. M. A. Alrikabi, «Renewable Energy Types,» *Journal of Clean Energy Technologies, Vol 2, No.1*, pp. 61-64, 29 Juni 2013.
- [21] Norges vassdrag- og energidirektorat, «NVE Vindressurser,» Norges vassdrag- og energidirektorat, [Internett]. Available: <https://temakart.nve.no/link/?link=vindressurser>. [Funnet 9 November 2018].
- [22] Novap, «Varmepumpetyper,» Novap, 12 Oktober 2018. [Internett]. Available: <https://www.varmepumpeinfo.no/varmepumpetyper>. [Funnet 20 November 2018].
- [23] H. Huang og Z. Yan, «Present situation and future prospect of hydropower in China,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews 13*, pp. 1652-1656, 26 August 2008.
- [24] International Energy Agency, «Technology Roadmap: Hydropower,» IEA, Frankrike, 2012.
- [25] I. Sartori, K. S. Skeie, K. Sørnes og I. Andresen, «Zero Village Bergen - Energy system analysis,» ZEB, Trondheim, 2018.
- [26] P. A. Østergaard, B. V. Mathiesen, B. Moeller og H. Lund, «A renewable energy scenario for Aalborg Municipality based on low-temperature geothermal heat, wind power and biomass,» *Energy 35*, pp. 4892-4901, 8 August 2010.
- [27] J. Keirstead, N. Samsatli, N. Shah og C. Weber, «The impact of CHP (combined heat and power) planning restrictions on the efficiency of urban energy systems,» *Energy 41*, pp. 93-103, 7 Juli 2011.
- [28] N. W. Arnell, «Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios,» *Global Environmental Change 14*, pp. 31-52, 2004.
- [29] C. F. Reinhart og C. C. Davila, «Urban building energy modeling - A review of a nascent field,» *Building and Environment 97*, pp. 196-202, 2 Desember 2016.
- [30] R. Stupka og C. Kennedy, «Impact of Neighbourhood Density on Building Energy Demand and Potential Supply via the Urban Metabolism,» *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, pp. 239-252, 2010.
- [31] T. Hong, Y. Chen, S. H. Lee og M. A. Piette, «CityBES: A Web-based Platform to Support City-Scale Building Energy Efficiency,» *Urban Computing*, 14 August 2016.
- [32] G. Mutani, S. Coccolo, J. Kaempf og M. Bilardo, «CitySim Pro: Urban energy modelling,» EPFL, Lausanne, 2018.
- [33] K. Orehounig, A. Mahdavi, E.-M. Doppelbauer, W. Loibl og T. Toetzer, «Projections of design implications on energy performance of future cities: A case study from Vienna,» *Sustainable Cities and Society 12*, pp. 92-101, 2014.
- [34] Meteonorm, «Meteonorm,» [Internett]. Available: <https://meteonorm.com/en/>. [Funnet 28 September 2018].
- [35] Energy Design Tools, [Internett]. Available: <http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu>. [Funnet 22 November 2018].

- [36] M. Hayn, V. Bertsch og W. Fichtner, «Electricity load profiles in Europe: The importance of household segmentation,» *Energy Research & Social Science* 3, pp. 30-45, 7 Juli 2014.
- [37] D. Fischer, A. Haertl og B. Wille-Hausmann, «Model for Electric Load Profiles With High Time Resolution for German Households,» *Energy & Buildings*, pp. 1-13, 19 Desember 2015.
- [38] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17),» [Internett]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-2/>. [Funnet 22 November 2018].
- [39] Standard Norge, «Beregning av bygningers energiytelse – Gjelder NS 3031 fortsatt?,» 5 Mars 2018. [Internett]. Available: <http://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/energi-og-klima/2018-nyheter/beregning-av-bygningers-energiytelse--gjelder-ns-3031-fortsatt/>. [Funnet 6 Desember 2018].
- [40] SINTEF Byggforsk, «Hva er Byggforskserien,» [Internett]. Available: [www.byggforsk.no/side/198/hva\\_er\\_byggforskserien](http://www.byggforsk.no/side/198/hva_er_byggforskserien). [Funnet 6 Desember 2018].
- [41] Statens Vegvesen, «Ferjefri E39,» [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/Vegprosjekter/ferjefriE39>. [Funnet 11 Desember 2018].
- [42] Snøhetta, «ZEB Pilot House,» [Internett]. Available: <https://snohetta.com/project/188-zeb-pilot-house>. [Funnet 22 November 2018].
- [43] Optimera, «Optimera,» [Internett]. Available: <https://www.optimera.no>. [Funnet 5 Oktober 2018].
- [44] Solarwatt, «IN-ROOF MODULES EASYIN,» [Internett]. Available: <https://www.solarwatt.com/solar-panels/in-roof>. [Funnet 14 Oktober 2018].
- [45] Instyle Solar, «Review: Tesla Powerpack 2 For Your Business,» [Internett]. Available: <https://instylesolar.com/blog/2018/05/28/tesla-powerpack-2-review/>. [Funnet 11 Desember 2018].
- [46] J. Luo, J. Rohn, M. Bayer, A. Priess, L. Wilkmann og W. Xiang, «Heating and cooling performance analysis of a ground source heat pump system in Southern Germany,» *Geothermics* 53, pp. 57-66, 9 April 2015.
- [47] ETA Norge, «ETA Norge,» [Internett]. Available: [www.etanorge.no](http://www.etanorge.no). [Funnet 21 November 2018].
- [48] G. Peronato, J. H. Kaempf, E. Rey og M. Andersen, «Integrating urban energy simulation in a parametric environment: a Grasshopper interface for CitySim,» 2017.
- [49] Energy in time, «A “Nearly Zero Energy” Standard by 2050 in EU – Half-Dream, Half-Reality,» [Internett]. Available: <https://www.energyintime.eu/nearly-zero-energy-standard-2050-eu-half-dream-half-reality/>. [Funnet 22 November 2018].
- [50] Brødrene Dahl, «Energi- og effektberegning,» [dahl.no](http://dahl.no), 2018.



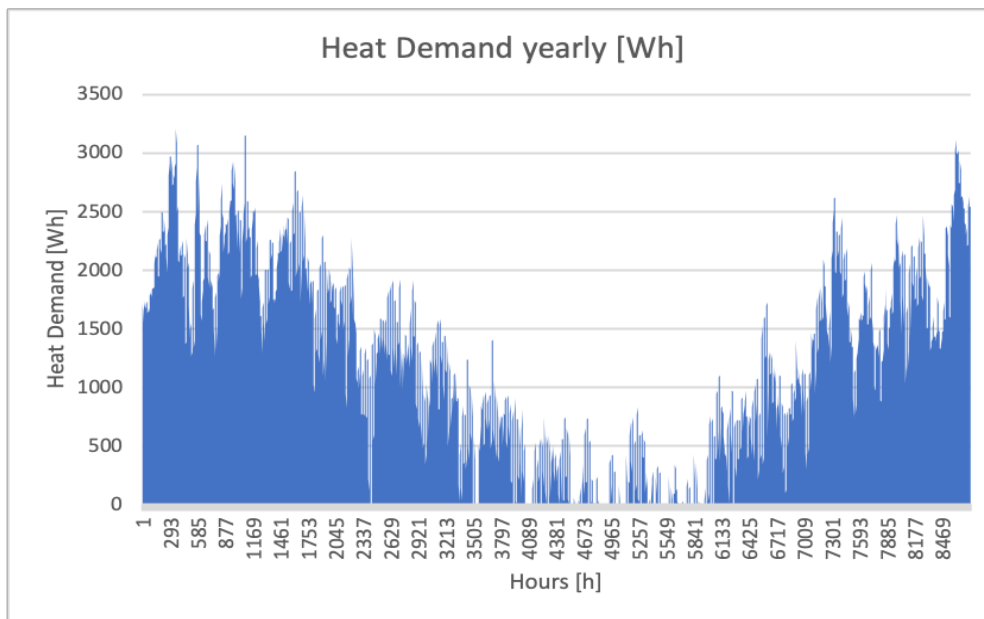


# Vedlegg

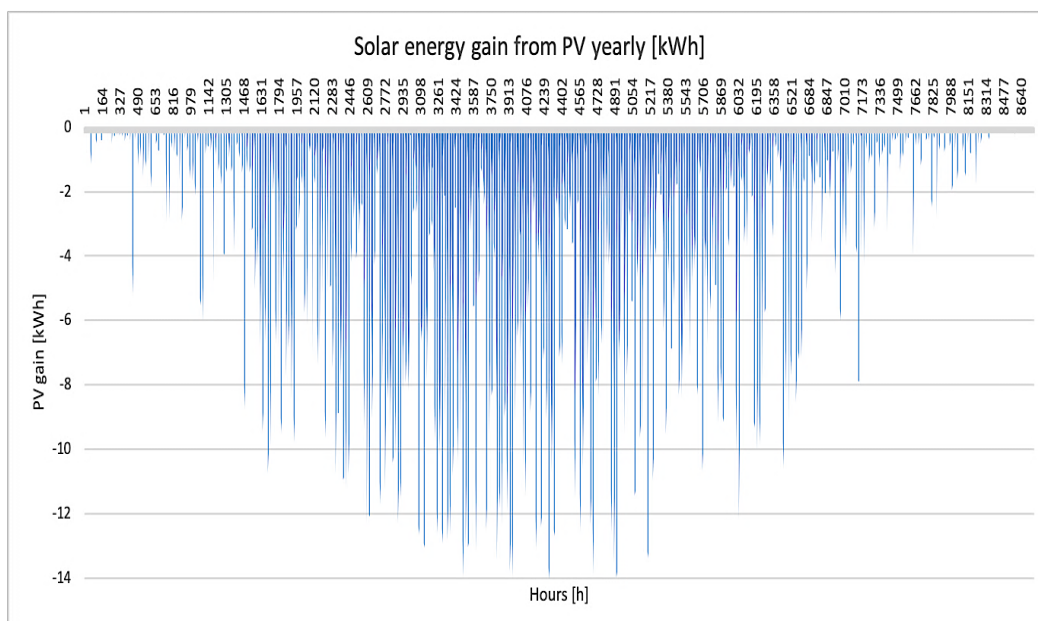
## Bygninger: Varmebehov og PV-produksjon

Figurene 41-54 viser resultater fra simuleringen av de forskjellige bygningene. For hver bygning er årlig energibehov og PV-produksjon presentert. Detaljerte verdier for dette finnes i kapittel 4.1.

### Enebolig 1

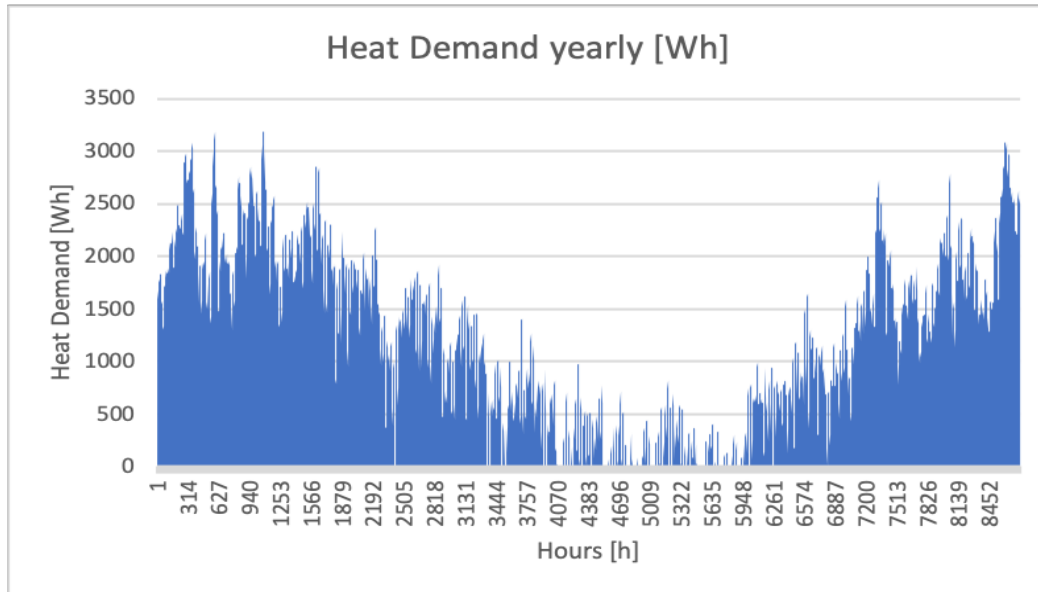


Figur 41 - Varmebehov enebolig 1

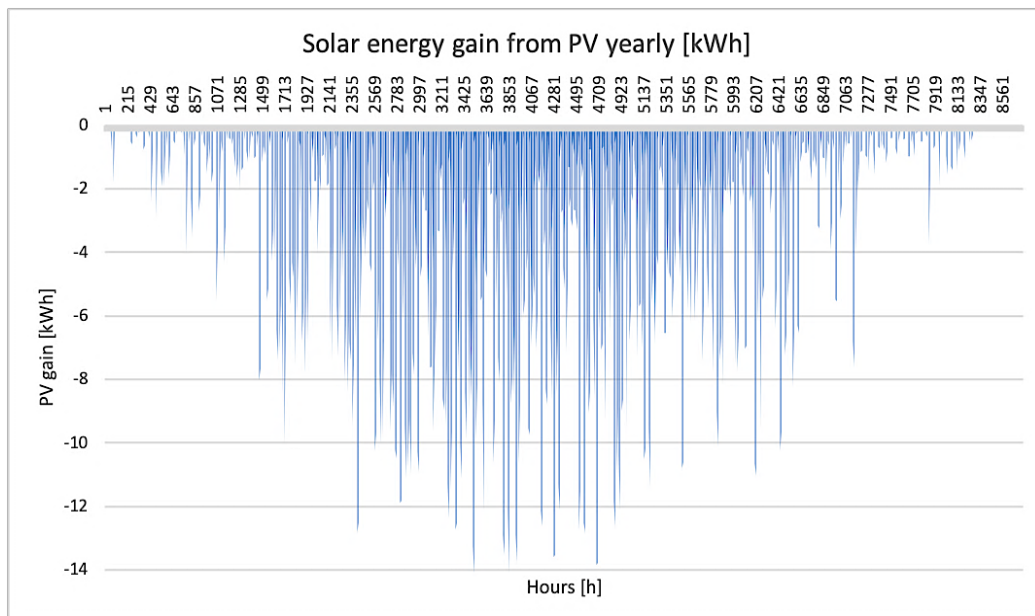


Figur 42 - PV-produksjon enebolig 1

## Enebolig 2

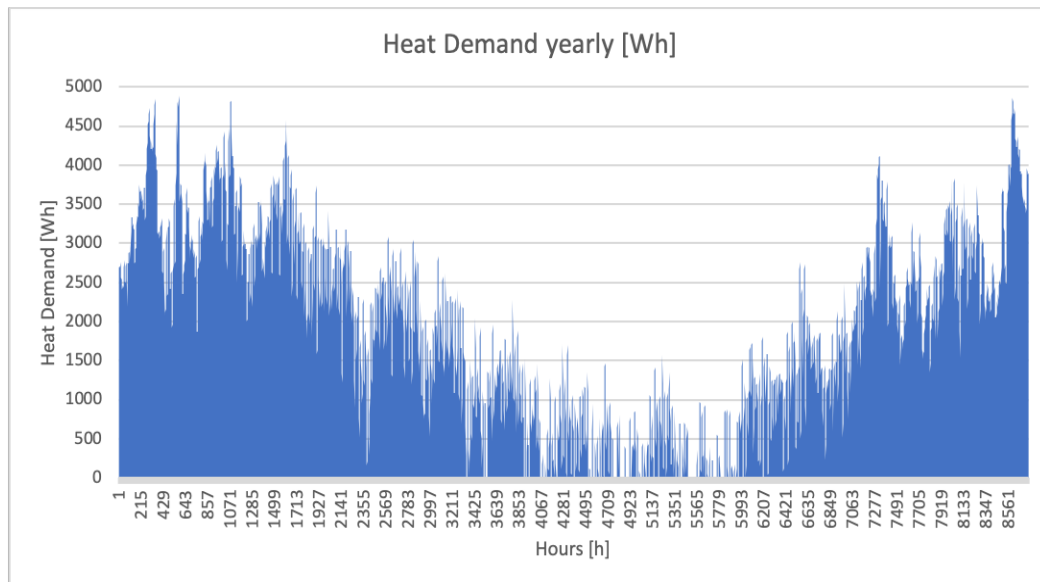


Figur 43 - Varmebehov enebolig 2

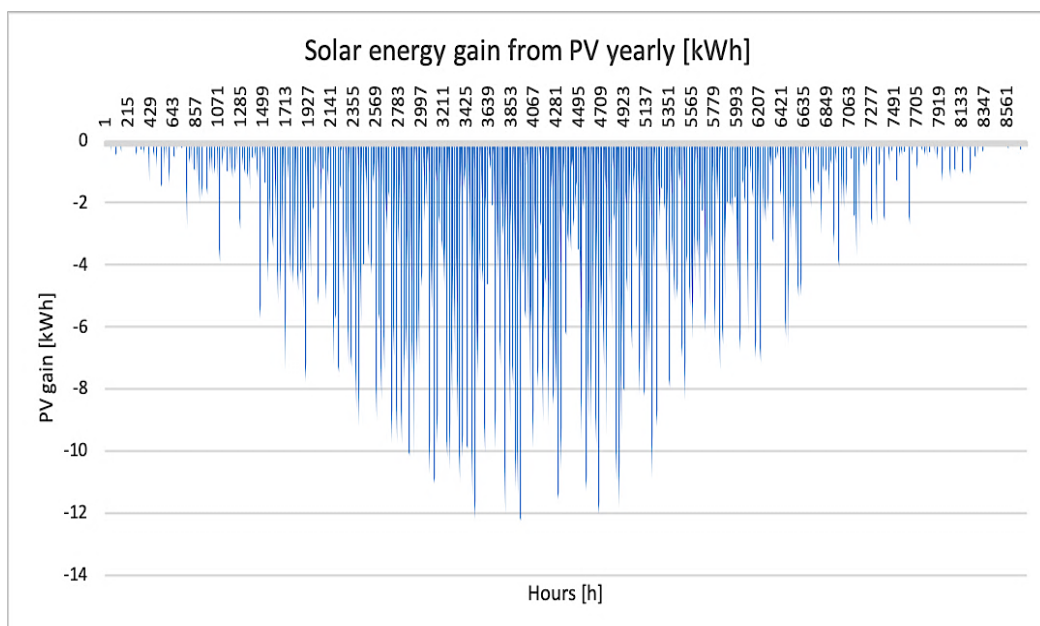


Figur 44 - PV-produksjon enebolig 2

# Enebolig 3

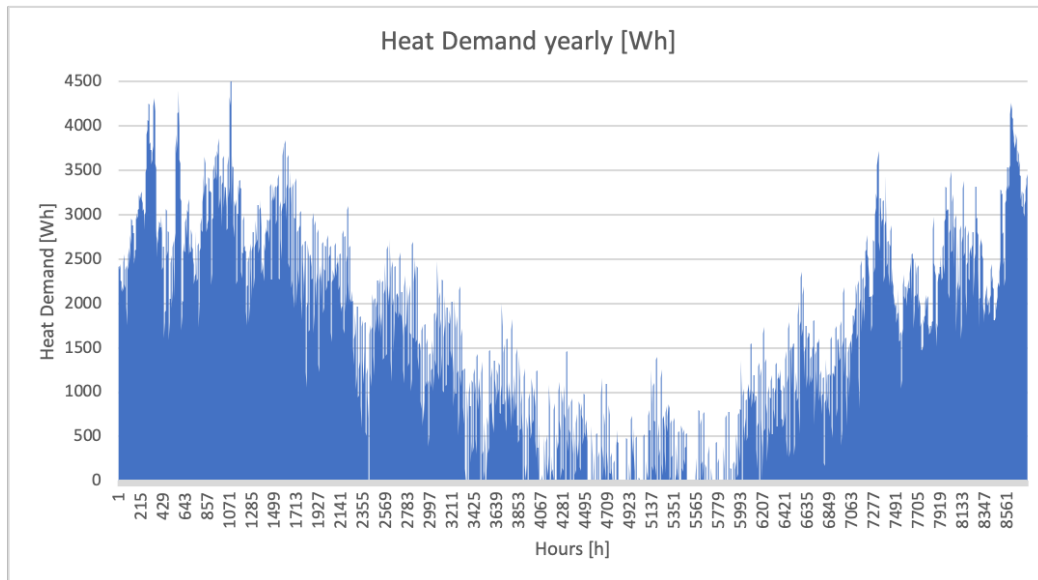


Figur 45 - Varmebehov enebolig 3

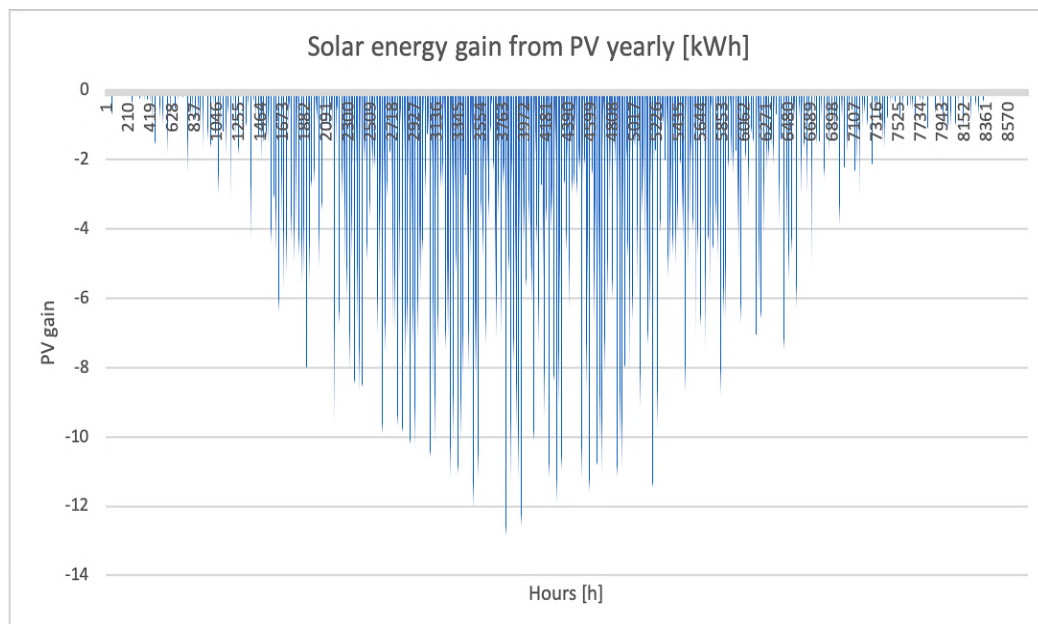


Figur 46 - PV-produksjon enebolig 3

# Enebolig 4

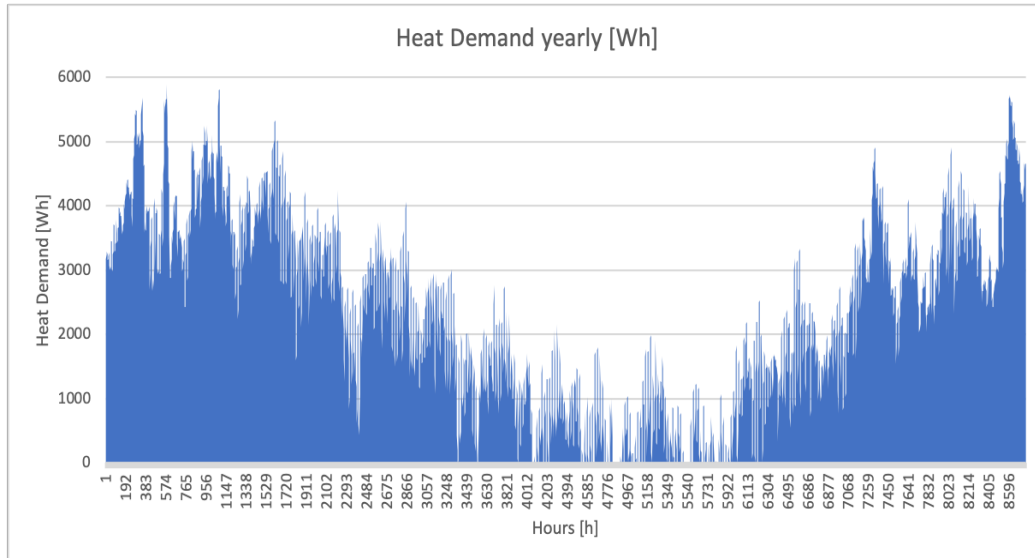


Figur 47 - Varmebehov enebolig 4

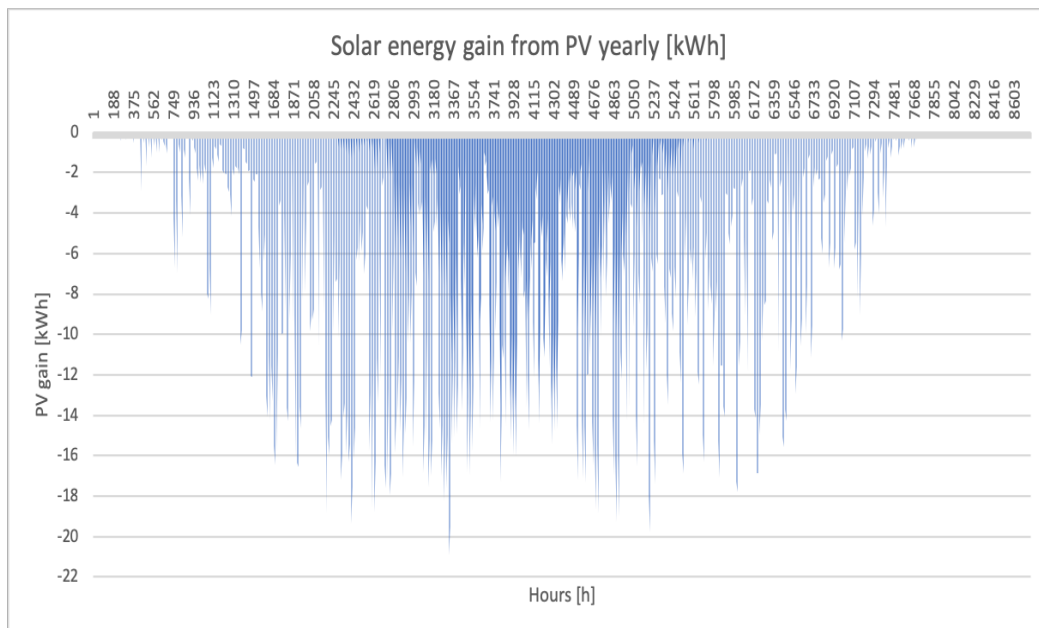


Figur 48 - PV-produksjon enebolig 4

# Tomannsbolig

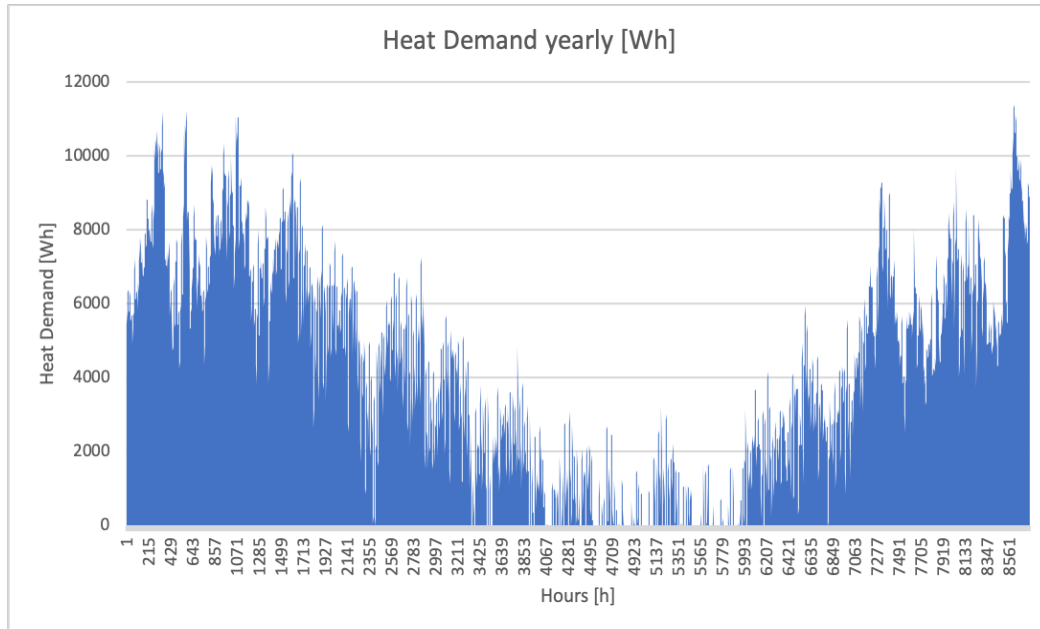


Figur 49 - Varmebehov tomannsbolig

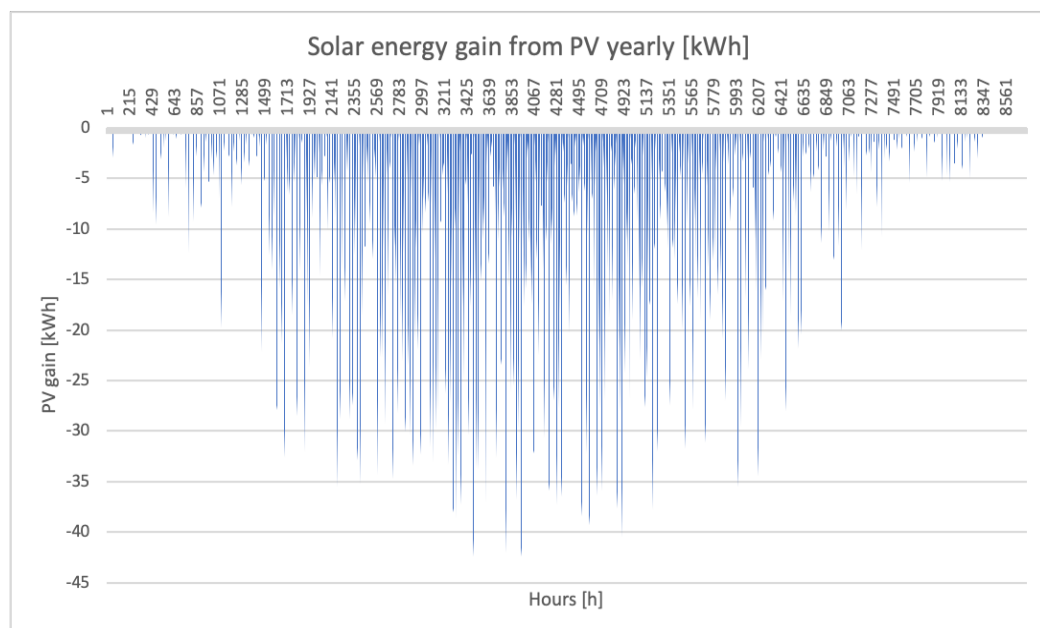


Figur 50 - PV-produksjon tomannsbolig

# Firemannsbolig

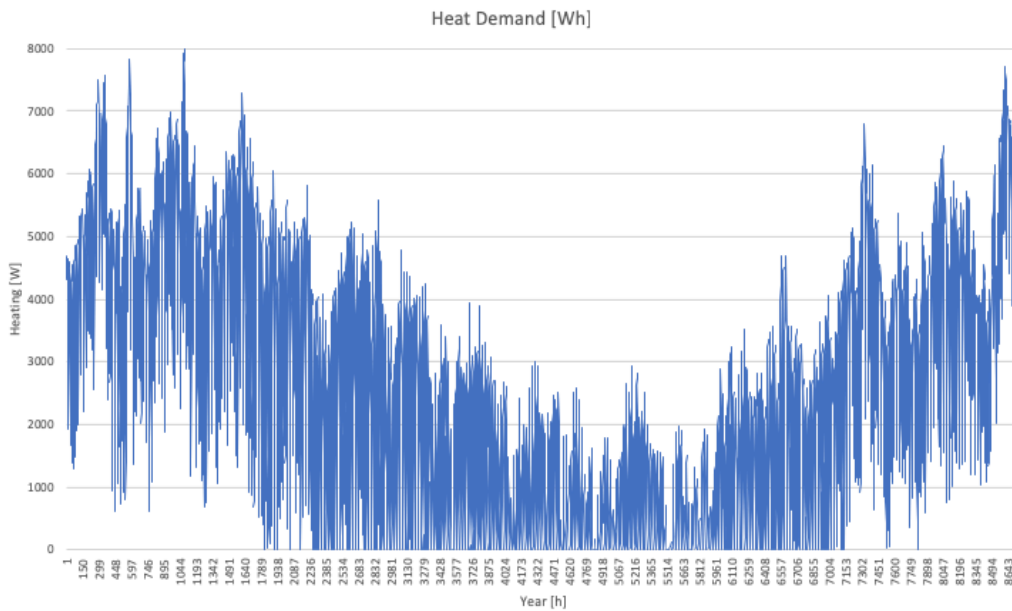


Figur 51 - Varmebehov firemannsbolig

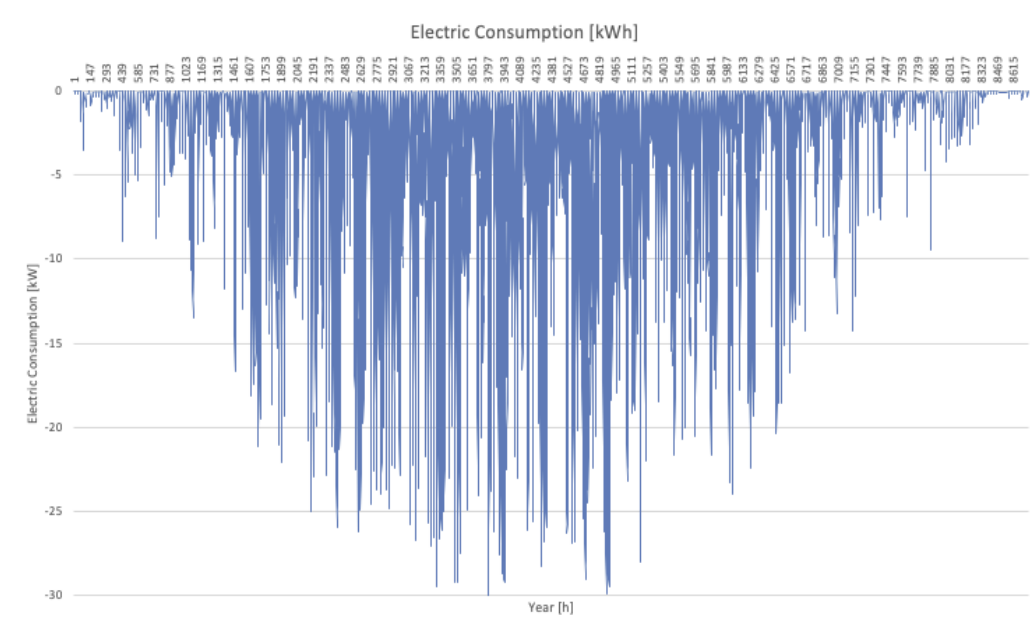


Figur 52 - PV-produksjon firemannsbolig

# Barnehage



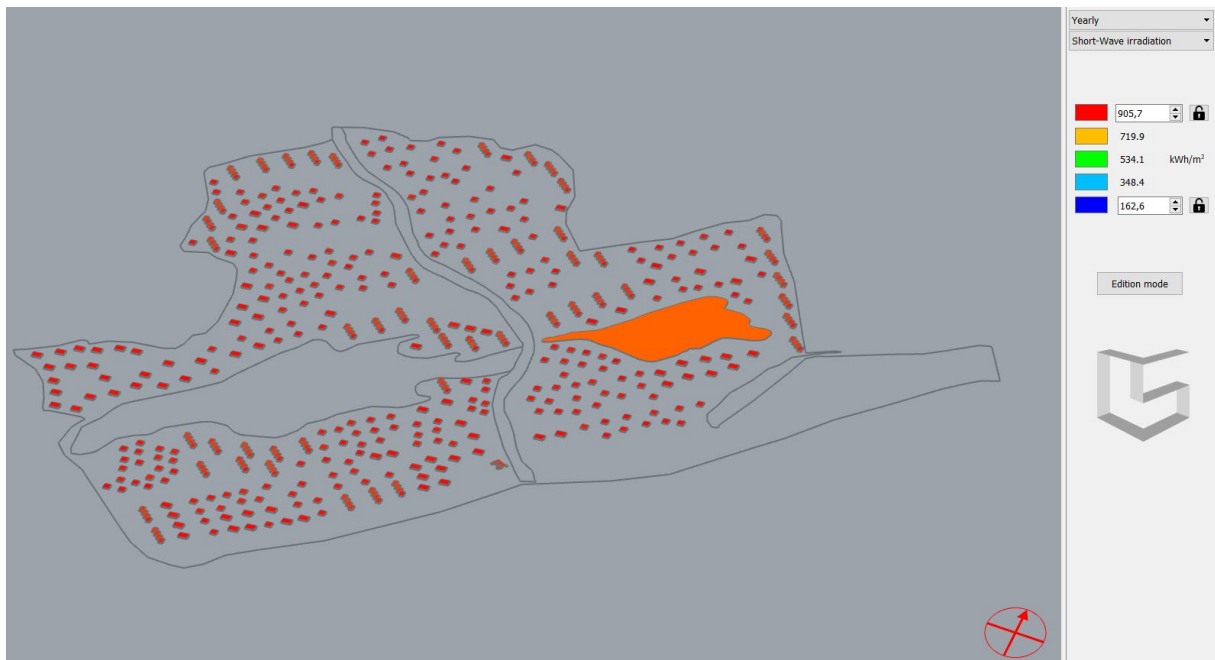
Figur 53 - Varmebehov barnehage



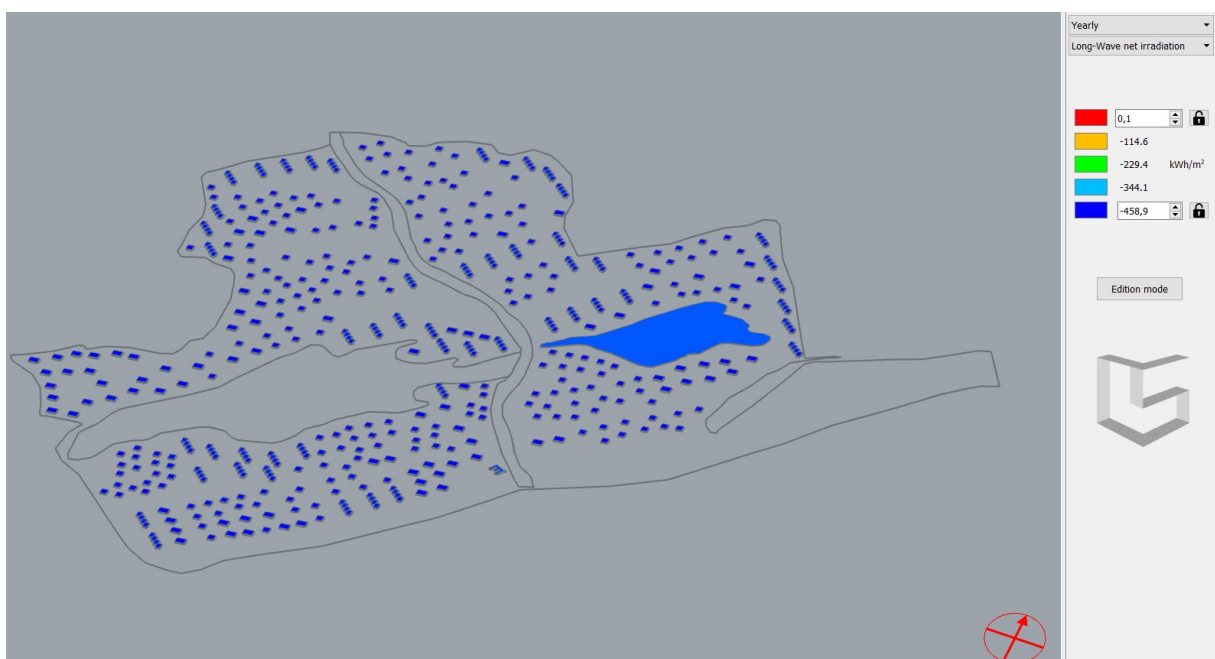
Figur 54 - PV-produksjon barnehage

## CitySim Pro: Grafiske resultater fra simulering i nåværende klima

Figurene 55-63 viser grafiske resultater for energisimuleringen med nåværende klima. Siden grafikken er omtrentlig lik som klimascenarier A2 og B1, er grafisk presentasjon for disse ikke vedlagt.

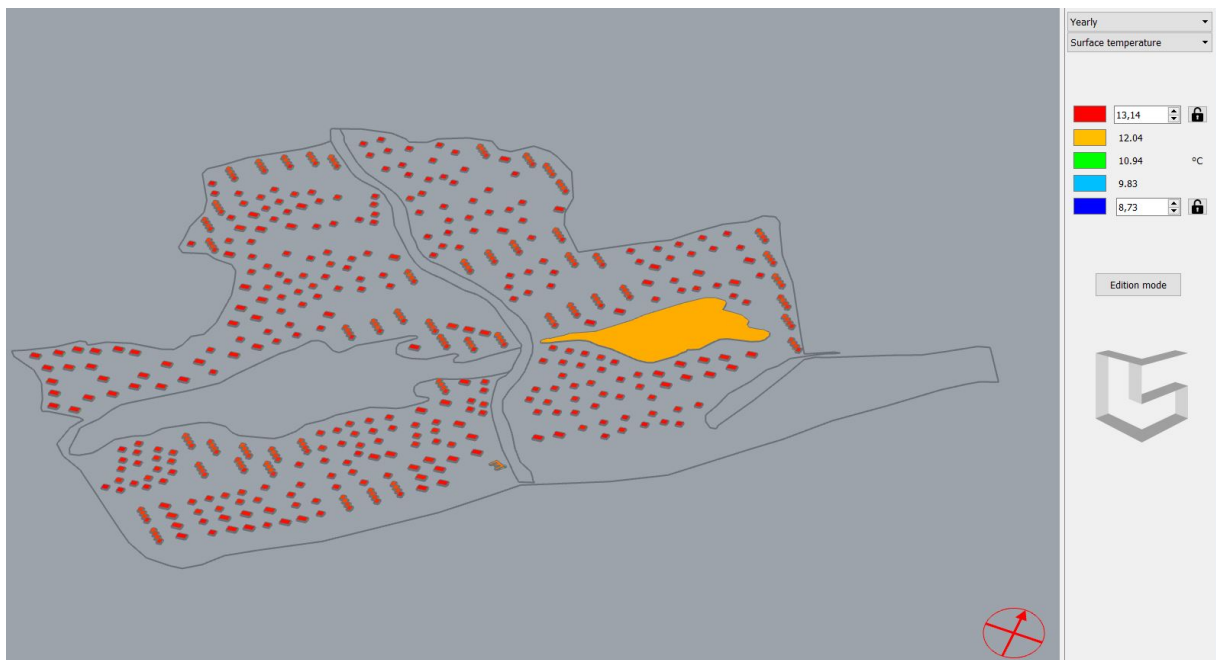


Figur 55 - Årlig kortbølgeståling nåværende klima (CitySim Pro)

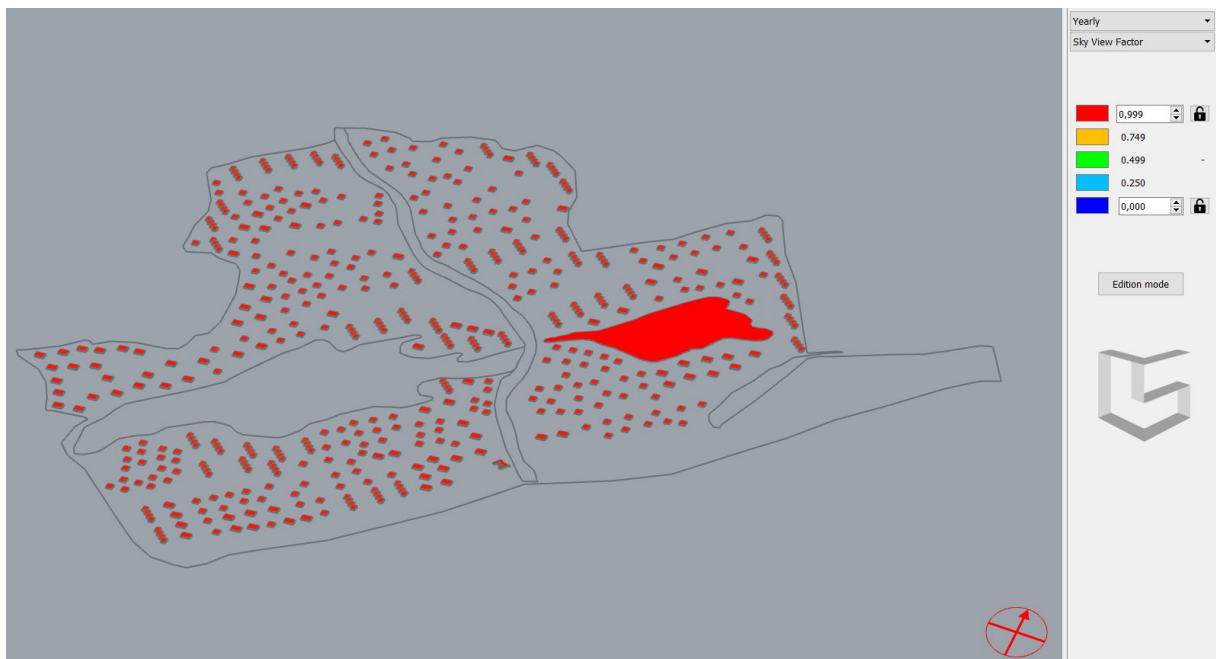


Figur 56 - Årlig langbølgeståling nåværende klima (CitySim Pro)



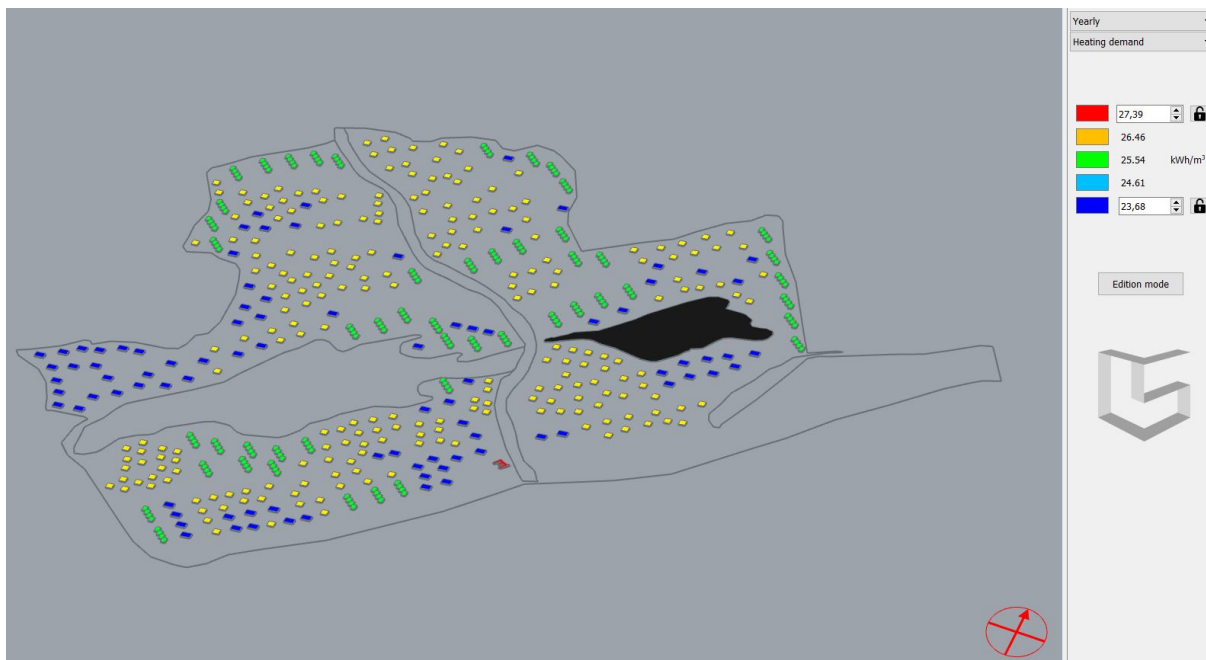


Figur 57 - Årlig gj. snittlig overflatetemperatur nåværende klima (CitySim Pro)

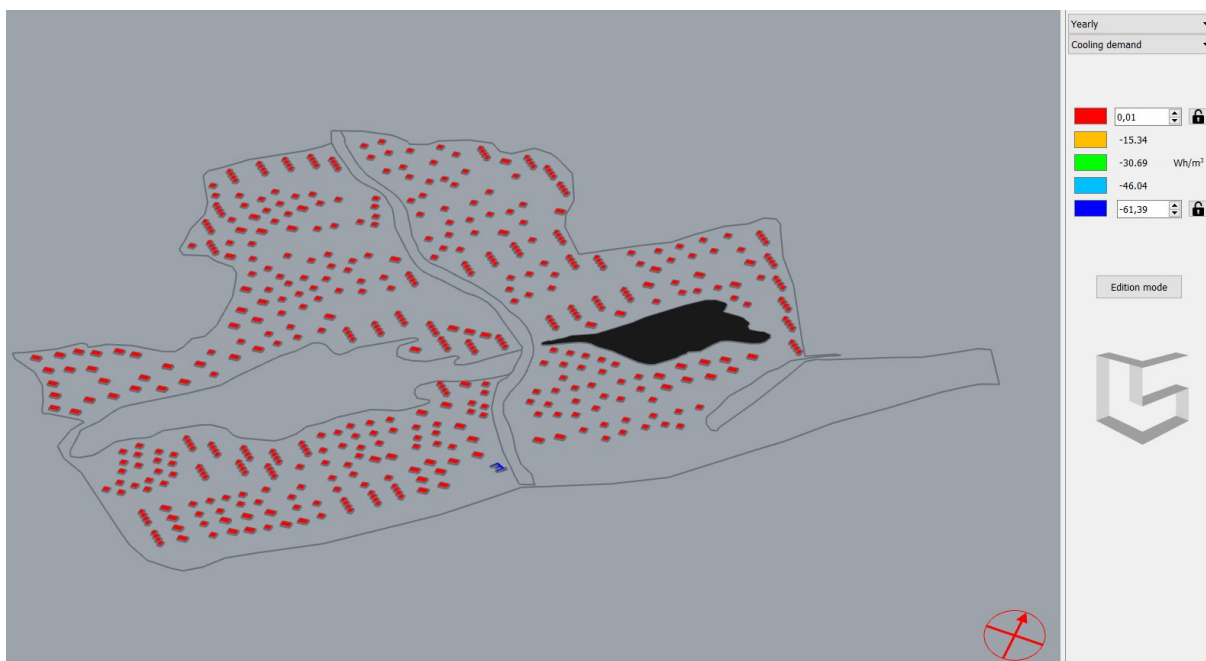


Figur 58 - Åpen himmel-faktor (CitySim Pro)

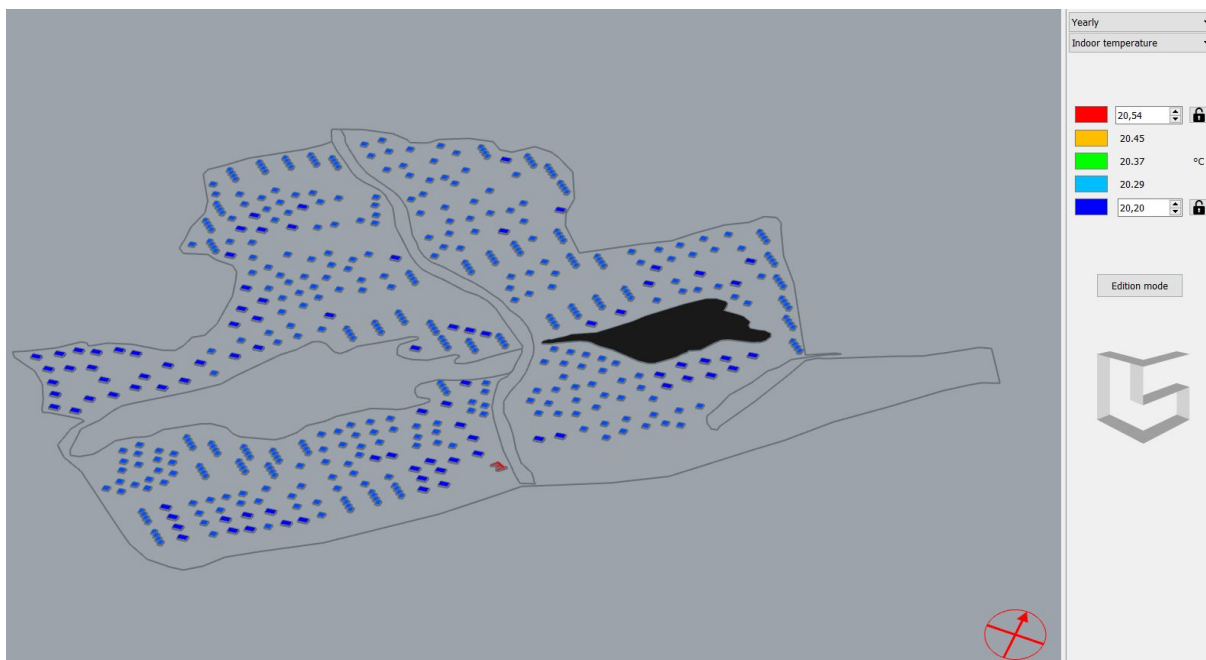




Figur 61 - Årlig gj. snittlig varmebehov nåværende klima (CitySim Pro)



Figur 62 - Årlig gj. snittlig kjølebehov nåværende klima (CitySim Pro)



Figur 63 - Årlig gj. snittlig innetemperatur nåværende klima (CitySim Pro)

## Forskrifter

Hentet fra TEK17 §14-2 Krav til energieffektivitet

Tabell 11 - Energirammer (TEK17) [38]

Bygningskategori	Totalt netto energibehov [kWh/m <sup>2</sup> oppvarmet BRA per år]
Småhus <sup>?</sup> , samt fritidsbolig over 150 m <sup>2</sup> oppvarmet BRA	100 + 1600/m <sup>2</sup> oppvarmet BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110

Tabell 12 - Energiltak (TEK17) [38]

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

Figur 64 - Forskjellige bygningselementer og krav til egenskaper [47]

## Hardware og software

### Hardware

HP Pavilion Power Laptop 15-cb0xx

- Processor: Intel Core i5-7300HQ, 2,5 GHz
- RAM: 8 GB
- Systemtype: 64-biters operativsystem
- Operativsystem: Windows 10 Home

Simuleringer tok ca. 5 min for hele nabolaget.

### Software

- CitySim Pro-version: 64 bits build Jun 2017 @ 13:29:51
- Google SketchUp: Make, version 17.2.2555 64-bit
- Meteonorm: Version 7.2.4.31876
- Climate Consultant: Version 6.0.13





**Norges miljø- og biovitenskapelige universitet**  
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet  
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway