

Eyvind Fredriksen og Inger Andresen

Mot karbonnøytrale boligområder

Utforming av bygninger og energiforsyning – erfaringer fra pilot-prosjekter i Norge



SINTEF Academic Press

Eyvind Fredriksen and Inger Andresen

Mot karbonnøytrale boligområder

Utforming av bygninger og energiforsyning – erfaringer fra pilotprosjekter i Norge



ZEB Project report 18 – 2014

ZEB Project report no 18

Eyvind Fredriksen¹⁾ og Inger Andresen¹⁾

Mot karbonnøytrale boligområder

Utforming av bygninger og energiforsyning – erfaringer fra pilotprosjekter i Norge

Towards carbon neutral neighborhoods. Planning and design of buildings and energy supply systems – experiences from pilot projects in Norway

Keywords:

Built environment, energy-efficiency, sustainability

ISSN 1893-157X (online)

ISSN 1893-1561

ISBN 978-82-536-1409-0 (pdf)

ISVN 978-82-536-1410-6 (printed)

Photo front page: Klimanøytral bydel på Brøset i Trondheim

Illustration M. C. Herzog / www.visualis-images.com

28 copies printed by AIT AS e-dit

Content: 100 g Scandia

Cover: 240 g Trucard

© Copyright SINTEF Academic Press and Norwegian University of Science and Technology 2014

The material in this publication is covered by the provisions of the Norwegian Copyright Act. Without any special agreement with SINTEF Academic Press and Norwegian University of Science and Technology, any copying and making available of the material is only allowed to the extent that this is permitted by law or allowed through an agreement with Kopinor, the Reproduction Rights Organisation for Norway. Any use contrary to legislation or an agreement may lead to a liability for damages and confiscation, and may be punished by fines or imprisonment.

Norwegian University of Science and Technology²⁾

N-7491 Trondheim

Tel: +47 22 73 59 50 00

www.ntnu.no

www.zeb.no

SINTEF Building and Infrastructure Trondheim¹⁾

Høgskoleringen 7 b, POBox 4760 Sluppen, N-7465 Trondheim

Tel: +47 22 73 59 30 00

www.sintef.no/byggforsk

www.zeb.no

SINTEF Academic Press

c/o SINTEF Building and Infrastructure Oslo

Forskningsveien 3 B, POBox 124 Blindern, N-0314 Oslo

Tel: +47 22 96 55 55, Fax: +47 22 69 94 38 and 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

www.sintefbok.no

Kreditering

Denne rapporten har blitt skrevet i *Research Centre on Zero Emission Buildings (ZEB)*. Forfatterne takker for støtten fra Norges forskningsråd, BNL (Byggenæringens landsforening), Brødrene Dahl, ByBo, Caverion Norge, DiBK (Direktoratet for byggkvalitet), DuPont, Enova SF, Entra, Forsvarsbygg, Glava, Husbanken, Isola, Multiconsult, NorDan, Norsk Teknologi, Protan, SAPA, Skanska, Snøhetta, Statsbygg, Sør-Trøndelag Fylkeskommune, VELUX og Weber.

Rapporten er utgitt med ekstra bevilgning fra Husbanken.

Sammendrag

Denne rapporten beskriver resultatene fra et prosjekt hvor vi har gjennomgått og diskutert erfaringer fra et utvalg utbyggingsprosjekter i Norge hvor man har hatt spesielt høye ambisjoner med hensyn til energibruk og klimagassutslipp. Prosjektets målsetning er å bidra til økt kunnskap om gode løsninger for utforming av bygninger og energiforsyning for fremtidens boligområder, samt danne underlag for en veileder til bruk i planleggingsprosessen. Hovedkonklusjonen er at det er behov for mer kunnskap og veiledningsmateriale om hvordan man kan integrere dette tidlig i planprosessen. Følgende punkter er spesielt viktige:

- Fokus på integrert, tverrfaglig prosjektering fra tidligfase.
- Formulering av konkrete krav/målsetninger i tidligfase.
- Undersøkelse av tilgjengelighet og leveransebetingelser for lokal, fornybar energi, samt muligheter for utveksling mot energinettet.
- Utforming av bygningsmassen med hensyn til varmetap, utnyttelse av solenergi, dagslys og materialbruk med lavt klimagassutslipp.
- Beregning av energi, effekt og klimagassutslipp, samt inneklime fra tidligfase og gjennom prosessen.
- Vurdering av ulike energiforsyningsløsninger i tidlig planfase, og innhenting av kunnskap om driftsforhold og leveringssikkerhet.

Innholdsfortegnelse

1. INNLEDNING	7
2. DEFINISJONER	8
3. ANALYSERTE PROSJEKTER	13
3.1 JÅTTEN ØST II, STAVANGER	14
3.2 MILJØBYEN GRANÅS, TRONDHEIM	16
3.3 LØVÅSHAGEN, BERGEN	18
3.4 ÅDLAND, BERGEN	21
3.5 SKARPNES, ARENDAL	31
3.6 BRØSET, TRONDHEIM	35
3.7 ØVRE SUND, DRAMMEN	38
4. OPPSUMMERING OG DISKUSJON	41
5. KONKLUSJONER	47
6. REFERANSER	48

1. Innledning

Energieffektivisering i byggesektoren er en nasjonal målsetning (KRD 2009). Norske myndigheter har etablert ulike incentiver og virkemidler for å søke å nå denne målsetningen. Blant annet stiller *Forskrift om tekniske krav til byggverk*, TEK'10, krav til energibruk og andel fornybar energiforsyning for nye bygninger (KRD 2014). *Framtidens byer* er også et eksempel på en statlig og kommunal satsing for å sette fokus på energieffektivisering, reduksjon av klimagassutslipp og bokvalitet (Regjeringen 2014). Futurebuilt-programmet er også en viktig satsing med flere forbildeprosjekter for klimavennlig arkitektur og byutvikling (Futurebuilt 2014). Internasjonalt har EU gjennom revidert bygningsenergidirektiv satt som målsetning at alle nye bygninger skal være «nesten nullenergibyg» innen 2020 (EU 2010).

Ved planlegging og etablering av nye boligområder med svært ambisiøse energi- og miljømål, ned mot nullenergi og nullutslippsnivå, er det helt avgjørende for resultatet at en allerede i reguleringsplanprosessen fokuserer på mulige energiforsyningsløsninger og bygningsutforming og ta de riktige beslutningene. Dette er forhold man vanligvis ikke jobber med i tradisjonelle reguleringsprosesser. Følgende forhold er sentrale:

- energiforsyningsløsninger
- bygningsutforming- og plassering
- byggematerialer- og konstruksjonsvalg

Denne rapporten beskriver resultater av et prosjekt hvor vi har gjennomgått og diskutert erfaringer fra et utvalg utbyggingsprosjekter i Norge hvor man har hatt høye ambisjoner med hensyn til energibruk og klimagassutslipp. Prosjektets målsetning er å bidra til økt kunnskap om gode løsninger for utforming og energiforsyning for fremtidens boligområder. Rapporten skal også danne underlag for en veileder for utforming av fremtidens miljøvennlige boligområder.

Det har i dette prosjektet ikke vært fokus på transport- og infrastrukturløsninger, men dette er selvsagt også svært viktige områder for utvikling av boligområder med lavt klimagassutslipp. På samme måte har det her kun vært fokus på utvikling av nye boligområder, men oppgradering av eksisterende boligområder vil selvsagt også være sentralt.

2. Definisjoner

Netto energibehov

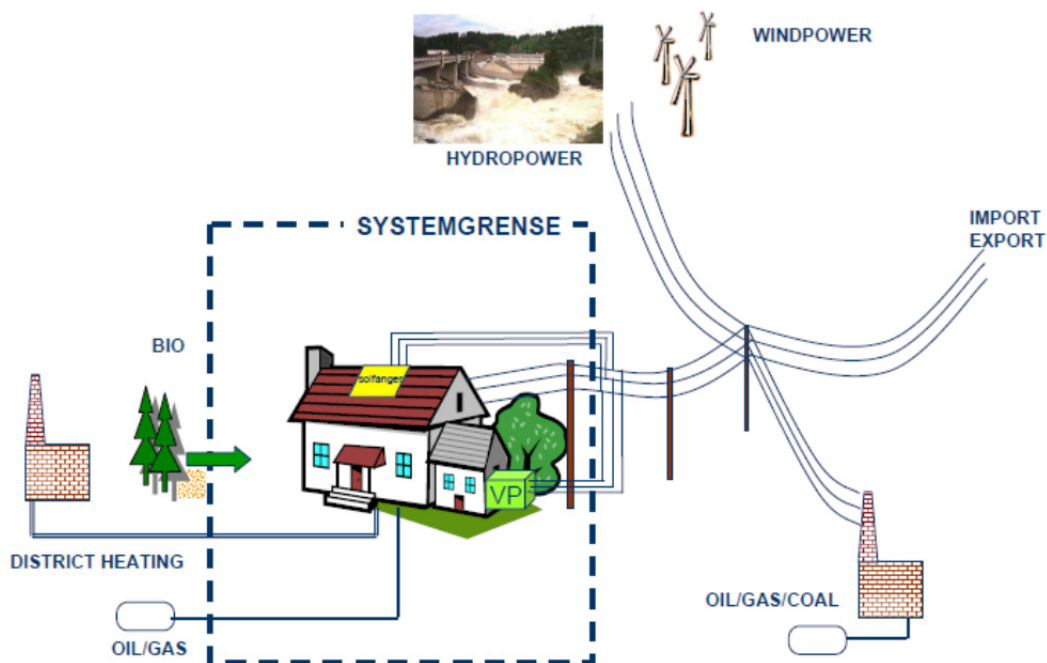
Netto energibehov defineres og beregnes iht. NS 3031 (Standard Norge 2007). Netto energibehov er bygningens energibehov uten hensyn til energisystemets virkningsgrad eller tap i energikjeden.

Energibruk og levert energi

Energibruk er i denne rapporten ensbetydende med *levert energi*, som definert og beregnet iht. Norsk Standard NS 3031:2007 (ibid.). Ofte brukes også begrepet "*kjøpt energi*" til å betegne levert energi. Levert energi er summen av energi, uttrykt per energivare, levert over bygningens systemgrenser for å dekke bygningens samlede energibehov inkludert systemtap som ikke gjenvinnes.

Figur 2.1 viser systemgrense for levert energi.

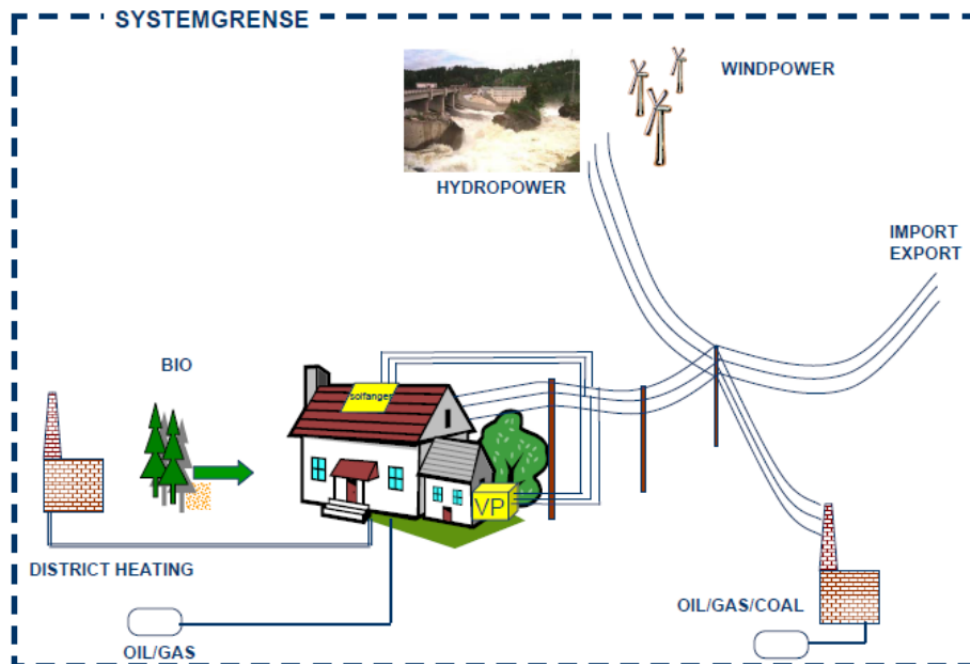
Når levert energi skal beregnes, må energiforsyningssystemet og dets virkningsgrad tas med i vurderingen. Ofte er det to systemer hvor det ene sørger for varmforsyningen, mens det andre tar seg av elektrisk energi til lys og utstyr. I begrepet *levert energi* inngår imidlertid ikke hvordan varmeenergien eller den elektriske energien er fremskaffet.



Figur 2.1 Illustrasjon av systemgrense for levert energi.

Primærenergi

Primærenergi er energi i sin opprinnelige form som ikke har blitt omdannet eller gått over i andre energiformer. Her tar man hensyn til hvordan den leverte energien er skaffet til veie. Et typisk eksempel kan være et forbrenningsanlegg basert på biobrensel som leverer energi til et fjernvarmenett (varmer opp vannet). Her vil energimengden (brennverdien) i innfyrt biomasse være større enn overført varme til fjernvarmenettet. Denne forskjellen utgjøres av tap som forsvinner til omgivelsene. Figur 2.2 illustrerer systemgrense for primærenergi.



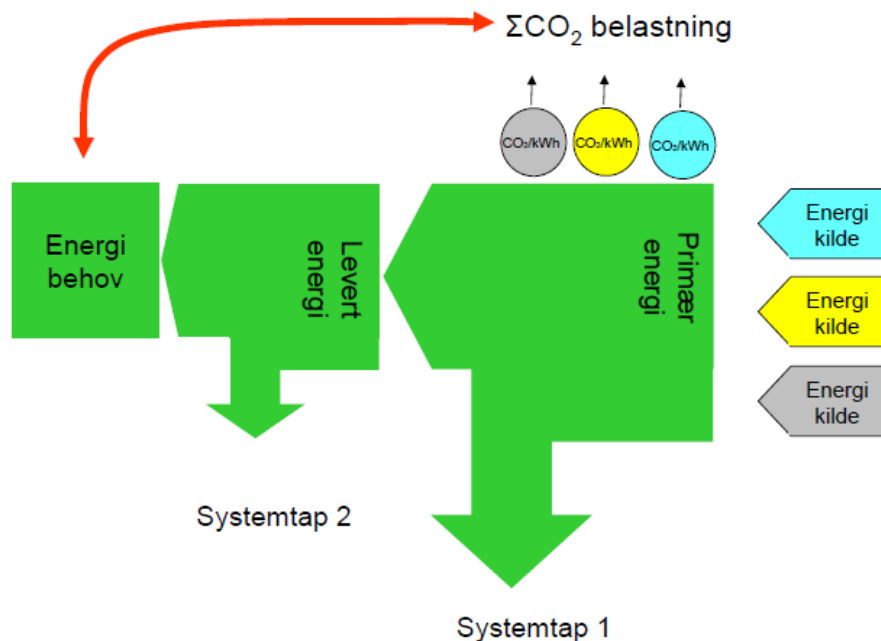
Figur 2.2 Illustrasjon av systemgrense for primærenergi.

CO₂-faktor

Når man skal vurdere klimagassutslipp fra et energiforsyningsystem, må energikildenes CO₂-faktor eller CO₂-ekvivalenter beregnes. CO₂-faktoren betegner de totale utslippene av klimagasser fra produksjon av én enhet primærenergi, veid sammen i forhold til klimagassenes påvirkning på drivhuseffekten. Karbondioksid (CO₂) er den dominerende klimagassen fra produksjon av energi. CO₂-faktoren angis i gram CO₂-ekvivalenter pr kWh primærenergi. I forskningsprogrammet ZEB – Zero Emission Buildings, er det utviklet regneregler for CO₂-faktorer for ulike energibærere, se Kristjansdottir, mfl. (2014).

Systemgrenser

I figurene over er det angitt systemgrenser. Disse er viktige for å definere hvordan man utveksler energi og tilhørende klimagassutslipp inn og ut av en bygning eller et utbyggingsområde, og hvordan man balanserer regnskapet i forhold til energibehov og levert energi. For praktiske formål settes systemgrensen vanligvis slik at primærenergis CO₂-faktor regnes inn ved produksjonsstedet for levert energi. Primærenergien kan selvsagt forfølges enda lengre bakover i produksjonskjeden, men dette gir et mer komplekst regnestykke. Figur 2.3 viser systemgrenser ved omregning fra netto energibehov til CO₂-faktor.



Figur 2.3 Systembetraktning ved omregning fra netto energibehov til CO₂-belastning for ulike energikilder.

Lavenergi- og passivhus

Lavenergi- og passivhus er definert i den norske standarden NS 3700:2013 (Standard Norge 2013). Hovedkravet i NS 3700 er stilt til maksimalt oppvarmingsbehov, hvor utgangspunktet er et krav på maksimalt 15 kWh/m²år for passivhus og 30 kWh/m²år for lavenergiboliger i klasse 1. Men for mindre eneboliger enn 250 m² og for steder med årsmiddeltemperatur lavere enn 6,3 °C er det en justering av kravet. I tillegg er det minstekrav til varmetapstall og til minimum andel fornybar energi. Det er også satt minstekrav til energiytelse for noen enkeltkomponenter, og til lekkasjetall for klimaskallet, samt til prøvningsprosedyrer og rapportering.

Nullenergi- og nullutslippsbygg

Det finnes ingen allmenn eller standardisert definisjon av nullenergi- eller nullutslippsbygg i Norge, ei heller internasjonalt, men ulike variasjoner rundt følgende overordnede definisjoner er vanlig:

Nullenergibygg: Energibruk relatert til drift av bygningen skal over året kompenseres gjennom produksjon av fornybar energi.

Nullutslippsbygg: Klimagassutslipp fra energibruk relatert til drift av bygningen skal over året kompenseres gjennom produksjon av fornybar energi.

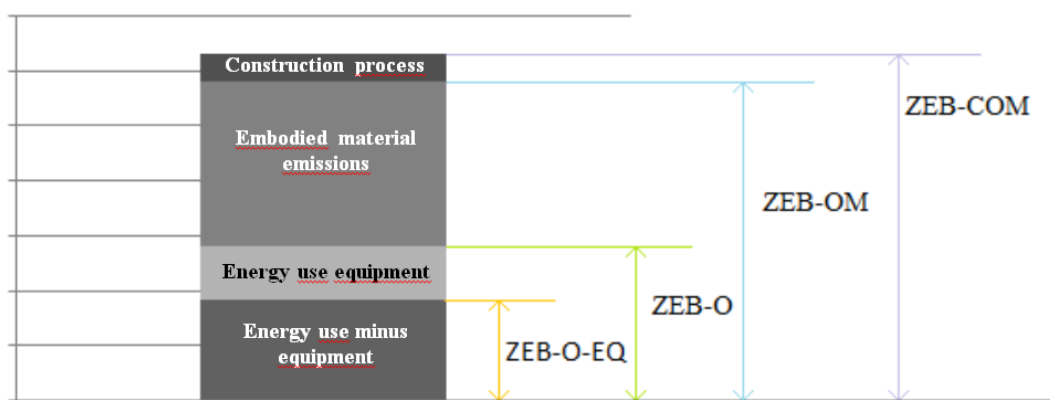
For å få en fullstendig og entydig definisjon, er det behov for presiseringer og avgrensninger av en slik overordnet definisjon. Forskningscenteret Zero Emission Buildings, har utviklet en foreløpig definisjon av nullutslippsbygg basert på ni hovedkriterier (ZEB 2014):

1. Ambisjonsnivå
2. Beregningsregler
3. Systemgrenser
4. CO₂-faktorer
5. Energikvalitet
6. Mismatch mellom energiproduksjon og energibehov
7. Minimumskrav til energieffektivitet
8. Krav til inneklima
9. Verifisering i bruk

Disse ni kriteriene er nærmere beskrevet i Dokka mfl. (2013) og Kristjansdottir mfl. (2014), men to av dem har særlig betydning i denne sammenhengen og beskrives kort her; nemlig ambisjonsnivå (1) og systemgrenser (3). Følgende ambisjonsnivåer er definert:

ZEB-O+EQ	O peration minus E quipment	Fornybar energiproduksjon på bygningen* kompenserer for klimagassutslipp fra energibruk i drift (<i>operation</i>) med unntak av energibruk til teknisk utstyr (<i>equipment</i>), dvs. plug-in laster som PCer, kjøleskap og fjernsyn.
ZEB-O	O peration	Fornybar energiproduksjon på bygningen* kompenserer for klimagassutslipp knyttet til energibruk for drift (<i>operation</i>) av bygningen.
ZEB-OM	O peration and M aterials	Fornybar energiproduksjon på bygningen* kompenserer for klimagassutslipp fra materialproduksjon og fra drift.
ZEB-COM	C onstruction, O peration, and M aterials	Fornybar energiproduksjon på bygningen* kompenserer for klimagassutslipp fra konstruksjonsprosess, drift og materialer.

Figur 2.4 viser en grafisk fremstilling av de ulike ambisjonsnivåene.



Figur 2.4 Ulike ambisjonsnivåer for nullutslippsbygg (Dokka mfl. 2013). Y-aksen angir kg klimagassutslipp i CO₂-ekvivalenter pr. m² oppvarmet BRA og år.

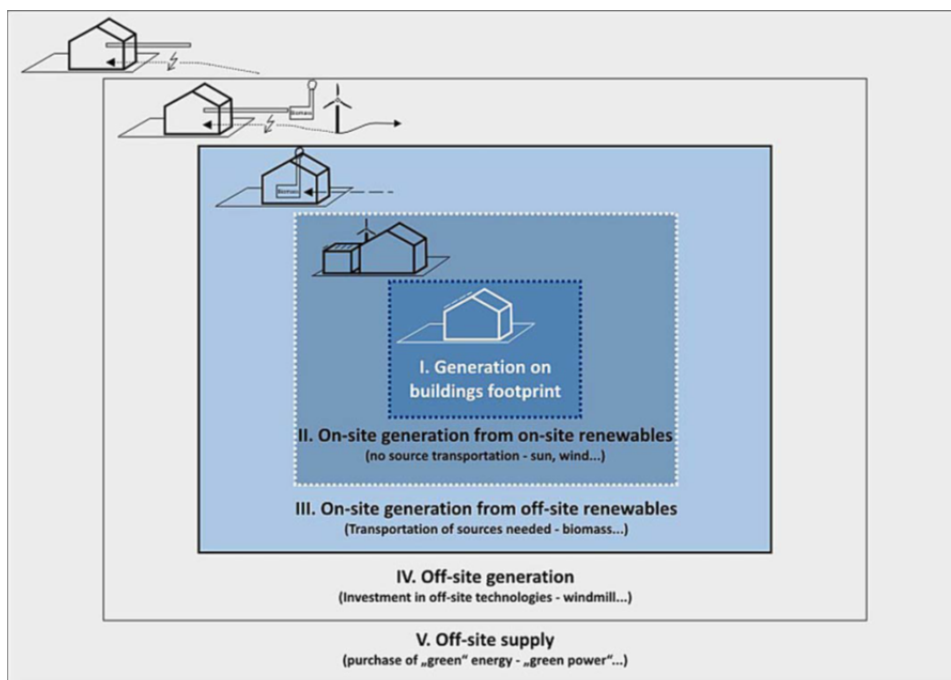
* Systemgrenser for plassering av fornybar energiforsyning er definert under.

Det går et markant skille mellom de to høyeste og de to laveste nivåene, siden de to mest ambisiøse ikke bare krever energiproduksjon lik behovet over året, men i tillegg tar inn energien knyttet til produksjon av materialer, ZEB-OM (og selve byggeaktiviteten, ZEB-COM) som skal balanseres i et livsløpsperspektiv.

Systemgrensen angir den geografiske grensen for levert energi til bygningen, tomta eller området. Nullutslippsbegrepet innebærer en balanse mellom lokal bruk og produksjon av energi opp i mot energi levert inn til bygningen fra et produksjonssted utenfor tomta eller området. Angivelse av systemgrensen for beregning av denne nullutslippsbalansen, er derfor viktig. Figur 2.5 illustrerer ulike systemgrenser som kan settes for definisjon av nullutslippsbygg. Ved å sette en vid systemgrense, åpner man for å kompensere for energibehovet med fornybar energi produsert i store sentrale kraftverk utenfor utbyggingsområdet. På denne måten blir det relativt lett å oppnå nullenergi-balansen, selv for et helt standard utbyggingsprosjekt. Med en snever systemgrense som bare omfatter selve bygningen, må alt energibehovet kompenseres med fornybar energi produsert i eller på bygningen.

I ZEB-senteret har man satt systemgrensen for produksjon av fornybar elektrisitet til nivå III i Figur 2.5. Dette innebærer at man kan godskrive fornybar elektrisitet produsert på tomta, samt at energivarer som brukes til produksjon av fornybar elektrisitet på stedet kan være produsert utenfor systemgrensen (f.eks. biobrensel). For produksjon av fornybar termisk energi, har ZEB satt systemgrensen på nivå IV, det vil si at energiproduksjon kan skje på eller utenfor tomta. Imidlertid skal det tas hensyn til eventuelle overføringstap fra produksjonsstedet. Det bemerkes at dette ikke er helt fastsatte grenser, men kan være et utgangspunkt for definisjon av systemgrenser for produksjon av energi.

Videre sier definisjonen til ZEB-senteret at fornybar elektrisitet som er produsert på tomta og som leveres inn på nettet, kommer til fratrukk i CO₂-regnskapet med samme CO₂-faktor som brukes til import av elektrisitet fra nettet. Eksport av fornybar varme kan også krediteres klimagassregnskapet på tilsvarende måte, men er begrenset slik at «inntektsført» eksportert, fornybar varme over året ikke kan overstige årlig importert varme.



Figur 2.5 Kilde: Marzal mfl. (2010).

3. Analyserte prosjekter

I dette prosjektet har vi tatt for oss et utvalg av utbyggingsprosjekter med høye energiambisjoner, det vil si ned mot nullenergi- og nullutslippsnivå. Utvalget av prosjekter er først og fremst basert på tilgjengelighet på dokumentasjon med hensyn til bygningsutforming og energiforsyningsløsninger. I de fleste av prosjektene har SINTEF Byggforsk vært involvert som spesialrådgiver i prosjekteringsprosessen og bidratt med tilknyttede forskningsaktiviteter.

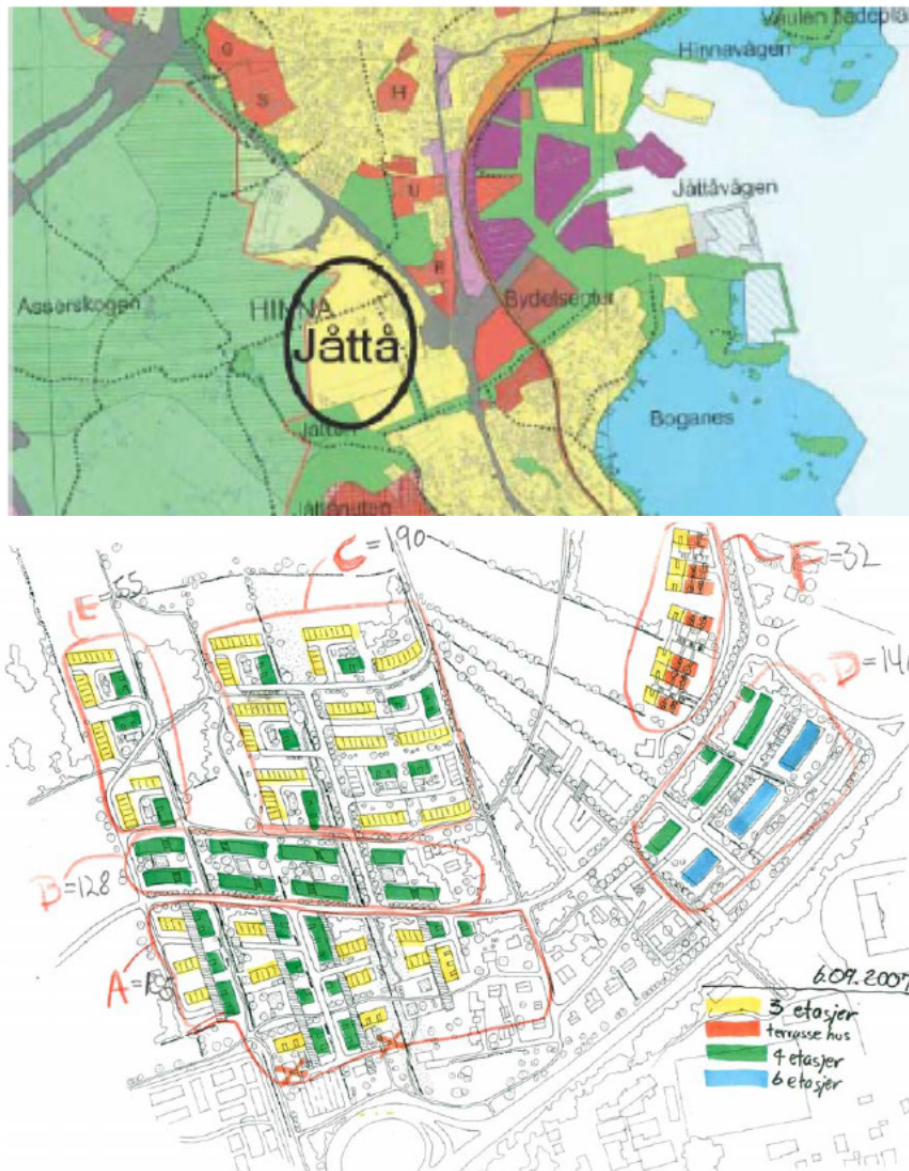
Det har ikke vært mulig å finne et stort antall prosjekter med ambisjonsnivå helt ned mot nullutslippsnivå. Vi har derfor valgt å ta med noen prosjekter med noe lavere ambisjonsnivå, men som likevel har vært pilotprosjekter med høy energistandard på det tidspunktet de ble planlagt. Det har heller ikke vært mulig å oppdrive samme grad av dokumentasjon for alle prosjektene, da ulike typer dokumentasjon har vært tilgjengelig for de ulike prosjektene. Prosjektene er også av ulike størrelse, fra 1.126 m² til 126.000 m² bruksareal. De er lokalisert på fem forskjellige steder i landet: To prosjekter i Bergen, ett i Stavangerområdet, ett i Arendal, to i Trondheim og ett i Drammen. Prosjektene er også i ulike stadier mht. prosjektering og gjennomføring, og kun to av prosjektene er foreløpig blitt bygget/ferdigstilt. Det følgende gir en oversikt over prosjektene og bakgrunnen for hvorfor de er valgt ut til analysen:

- Jåtten Øst II, Stavanger. Planlagt utbyggingsområde med ca. 700 boenheter i rekkehus, blokkleiligheter og terrassehus. Dette prosjektet ble valgt pga. tilgang på god dokumentasjon fra en grundig analyse av ulike energiforsyningsløsninger som ble gjennomført i 2007. Bygningsmassen ble prosjektert med passivhusnivå, og en rekke ulike energiforsyningsløsninger ble analysert med hensyn til kostnader og klimagassutslipp. Prosjektet som er beskrevet i analysen, har ikke blitt bygd.
- Løvåshagen, Bergen. Realisert prosjekt med 52 boenheter i boligblokker med lavenergi- og passivhusstandard. Norges første større realiserte utbyggingsprosjekt med passivhusnivå, ferdigstilt i 2008. Et godt dokumentert pilotprosjekt som dannet bakgrunn for utforming av Norsk standard for lavenergiboliger- og passivhus.
- Miljøbyen Granås, Trondheim. Utbyggingsområde under oppføring med 300 boenheter i eneboliger, rekkehus og boligblokker. Norges til nå største realiserte boligprosjekt med passivhusstandard. Tilgjengelig dokumentasjon fra tidligfaseutredning av flere ulike energiforsyningsløsninger.
- Ådland, Bergen. Utbyggingsområde under planlegging med ca. 600 boenheter med ambisjon om nullutslippsbygg. Pilotprosjekt i forskningssenteret ZEB – Zero Emission Buildings (www.zeb.no). Tilgjengelig informasjon fra pågående utredningsarbeid i forbindelse med reguleringsplan, med fokus på klimagassutslipp til materialbruk og ulike energiforsyningsløsninger.
- Skarpnæs, Arendal. Utbyggingsområde under oppføring med 37 boenheter bestående av eneboliger og boligblokker med ambisjon om nullenergi- og nullutslippsnivå. Pilotprosjekt i forskningssenteret ZEB. Tilgjengelig informasjon fra gjennomførte analyser i regi av ZEB.
- Brøset, Trondheim. Planlagt utbyggingsområde med 1800 boliger og ambisjoner om å utvikle en klimanøytral bydel hvor hver enkelt beboer kun skal forårsake maks 3 tonn CO₂-utslipp per år. Tilgjengelig informasjon fra parallell oppdrag som ble utført i forbindelse med planarbeidet.
- Øvre Sund, Drammen. Planlagt utbygging av 200 nye studentboliger i boligblokker med fokus på å oppnå 50 % reduksjon av klimagassutslipp fra materialer og drift. Forbildeprosjekt i Futurebuilt, og tilgjengelig informasjon fra skisseprosjekt.

3.1 Jåtten Øst II, Stavanger

Denne beskrivelsen bygger på dokumentasjon fra en mulighetsstudie med hensyn til energiløsninger utført i 2007, og gjengitt i Dokka mfl. (2009).

Utbyggingsområdet er lokalisert i Hinna bydel, ca. 9 km sør for Stavanger sentrum. Området ligger i en svak nord-østvendt skråning like ovenfor Jåttåvågen. Utbyggingen skulle etter planen bestå av totalt 700 boenheter, fordelt på 105 leiligheter i rekkehus, 483 blokkleiligheter og 32 leiligheter i terrassehus.



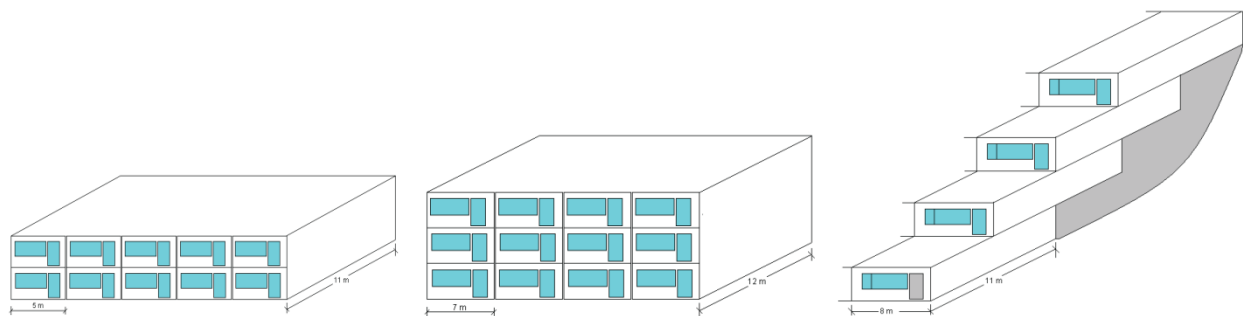
Figur 3.1 Øverst: Plassering av utbyggingsområdet 9 km sør for Stavanger sentrum. Nederst: Bebyggelsesplan med ulike bygningsvolumer. Illustrasjon: Asplan Viak.

I utredningen er det først foretatt en spesifikasjon av bygningskomponenter og ventilasjonstekniske løsninger for å tilfredsstille passivhusnivå. Det er deretter gjort overslagsberegninger av energi- og effektbehov til oppvarming, samt termisk komfort.

Bygningsutforming

Som utgangspunkt for energiberegningene ble det lagd tre ulike typer bygningsmodeller som skulle være representative for boligene som var planlagt i utbyggingen. Figur 3.2 viser de tre modellene: en modell av et typisk rekkehus, en modell av en boligblokk og en modell av et terrassehus. Modellene skulle representere et snitt av det som var planlagt i bebyggelsesplanen. Det ble deretter lagd en spesifisering med U-verdier, lekkasjetall, ventilasjonssystem, belysning og utstyr for de tre modellene, slik at alle oppfylte energikrav på passivhusnivå, det vil si et oppvarmingsbehov på 15 kWh/(m²år). Oversikt over størrelse og energibehov for ulike boligtyper er vist i tabell 3.1. Utredningen viser ingen vurderinger med hensyn til orientering og plassering av de ulike bygningsvolumene utover det som fremgår av bebyggelsesplanen.

Det ble også foretatt beregninger av termisk komfort i tre typiske leiligheter.



Figur 3.2 Illustrasjon av bygningsmodeller benyttet som utgangspunkt for energiberegninger: rekkehus, boligblokk, og terrassehus.

Tabell 3.1 Oversikt over boligtyper, størrelser og energibehov.

	Størrelse, snitt [m ²]	Antall	Totalt BRA [m ²]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Energibehov tappevann [kWh/m ² år]	Totalt termisk energibehov [kWh/år]
Rekkehus, to etg	100	185	18 500	15	30	832 500
Blokk, tre til seks etg	80	483	38 640	15	30	1 738 800
Terrassehus, fire etg	90	32	2 880	15	30	129 600
						2 700 900

Energiforsyning

Utgangspunktet for analysen av energiforsyningsmuligheter var at solvarme skulle dekke en vesentlig del av varmebehovet til bebyggelsen, med supplerende varme fra et nærvarmeanlegg. Følgende alternativer ble vurdert (100 % dekning av varmebehov der det ikke står noe annet):

- Varmesentral med gasskjel
- Fjernvarme
- Varmesentral med luft-til-vann-varmepumpe
- Varmesentral hvor 90 % av varmebehov dekkes av biopellettkjel, 10 % av el-kjel
- **Varmesentral hvor 38 % av varmebehov dekkes av solfangere, 57 % av biopellettkjel og 5 % av el-kjel.**

Det uthevede alternativet med solvarme og biopelleter ble anbefalt grunnet en samlet vurdering av kostnader og CO₂-utslipp. CO₂-faktor for fjernvarme ble beregnet til 247 g/kWh, mens CO₂-faktor for elektrisitet ble satt til 386-891 g/kWh, avhengig av hva slags marginalkraftscenario som ble lagt til grunn.

Utredningen diskuterer også fordeler og ulemper med sentrale anlegg sammenlignet med lokale anlegg i hver leilighet. Det anbefales en sentralt plassert akkumulatortank i hver boligblokk, fremfor varmtvannsberedere i hver leilighet. Dette er begrunnet ut i fra kostnader og færre tekniske komponenter. Tilgjengelig dokumentasjon viser ingen vurderinger med hensyn til plassering og utforming av bygningene opp i mot tilgang på solenergi og plassering av solfangere. Det er imidlertid gjort et anslag på årlig energiutbytte fra solfangere på 250-450 kWh/m² solfangerareal. Utredningen beskriver også fordeler og ulemper med ulike driftsmodeller for varmesentralen.

3.2 Miljøbyen Granås, Trondheim

Miljøbyen Granås ligger ved Angelltrøa, øst i Trondheim. Utbyggingsområdet ligger i en svak nordøstlig skråning, og har eksisterende lavblokkbebyggelse i nord, eneboliger i øst og friområder i sør og vest. Totalt er det planlagt ca. 300 boenheter; 17 eneboliger, 80 leiligheter i rekkehus og 210 blokkleiligheter, se illustrasjonen i figur 3.3.

Denne beskrivelsen bygger på utredning dokumentert i Wigenstad (2010) og Andresen mfl (2010). Utredningene beskriver varmebehov for de ulike bygningstypene beregnet ut i fra krav til passivhusstandard. Det er videre gjort en vurdering av levert energi, klimagassutslipp og kostnader for syv ulike energiforsyningsløsninger.



Figur 3.3 Illustrasjon av bebyggelsen i Miljøbyen Granås med eneboliger i front (mot sør), rekkehus i midten, og blokkbebyggelse i bakkant. Kilde: www.miljobyen.com

Bygningsutforming

Det ble i tidligfase gjort overslagsmessige energiberegninger for tre ulike boligtyper, som vist i tabell 3.2. Utgangspunktet var at boligene skulle være i henhold til passivhusstandarden (som på den tiden var under utarbeidelse). Utredningen viser ingen vurderinger med hensyn til plassering og orientering av boligene i forhold til soltilskudd.

Tabell 3.2 Oversikt over boligtyper, størrelser og energibehov.

	BRA [m ²]	Antall	Totalt BRA [m ²]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Energibehov tappevann [kWh/m ² år]	Totalt termisk energibehov [kWh/år]
Eneboliger	180	17	3 060	22,3	30	160 038
Rekkehus	120	71	8 520	13	30	366 360
Blokkleilighet	60	211	12 660	17,9	30	606 414
						1 132 812

Energiforsyning

Utgangspunktet var at utbygger ønsket en mest mulig miljøvennlig varmforsyning. Det ble følgelig gjort en vurdering av alternative varmforsyningsløsninger basert på beregning av klimagassutslipp. Området ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme, og det ble gjort en vurdering av CO₂-utslipp fra levert fjernvarme basert på prognoser for innfyrt brensel. Følgende energiforsyningsløsninger ble vurdert (100 % dekning av varmebehov der det ikke står noe annet):

- **Fjernvarme**
- Fjernvarme dekker varmtvannsbehovet, elektriske panelovner dekker romoppvarmingsbehovet
- Solfangere dekker 40 % av varmebehovet, fjernvarme de resterende 60 %
- Solfangere dekker 40 % av varmtvannsbehovet, fjernvarme 60 %. Romoppvarmingsbehovet dekkes av elektriske panelovner.
- 55 % av varmtvannsbehovet dekkes av solvarme, resten av el-kjel. Elektriske panelovner til romoppvarming.
- Bergvarmepumpe dekker 85 % av varmtvannsbehovet og 80 % av romoppvarmingsbehovet, resterende dekkes med el-kjel.

Det uthevede alternativet med 100 % fjernvarme ble valgt med begrunnelsen at det ga prosjektet en god miljøprofil, samt at det ble ansett som en driftssikker løsning. CO₂-faktor for fjernvarme ble beregnet til 127 g/kWh, basert på prognose for leveranse fra Trondheim Energi for 2020 og 8 % tap i distribusjon. Prognosen for innfyrt brensel var basert på ca. 60 % restavfall og 20 % biobrensel, resten var en blanding av el, olje og gass. CO₂-faktor for elektrisitet ble satt til 360 g/kWh. Tilgjengelig dokumentasjon viser ingen vurderinger med hensyn til plassering og utforming av bygningene opp i mot tilgang på solenergi og plassering av solfangere. Ved befaring på stedet, har imidlertid arkitekt opplyst om at det ble satt av plass til solfangere på fasaden for eneboligene, se Figur 3.4.



Figur 3.4 Fasade mot sør som viser avsatt plass for solfangere for eneboligene.

3.3 Løvåshagen, Bergen

Løvåshagen ligger i Fyllingsdalen, 4 km utenfor Bergen sentrum. Løvåshagen borettslag består av fire lavblokker med to til fem etasjer. Leilighetene varierer fra tre-roms på 50 m² til fem-roms på 95 m². 52 leiligheter er bygd som lavenergihus og 28 leiligheter er bygd som passivhus. Det er kun de sistnevnte som er med i analysen her. Boligene ble innflyttet høsten 2008. Dette var den første større utbyggingen med passivhusboliger i Norge.

Beskrivelsen bygger på dokumentasjon i Dokka (2008) og NAL (2008).



Figur 3.5 Løvåshagen med passivhusblokker i front og lavenergiblokker til venstre, Illustrasjon: MIR.

Bygningsutforming

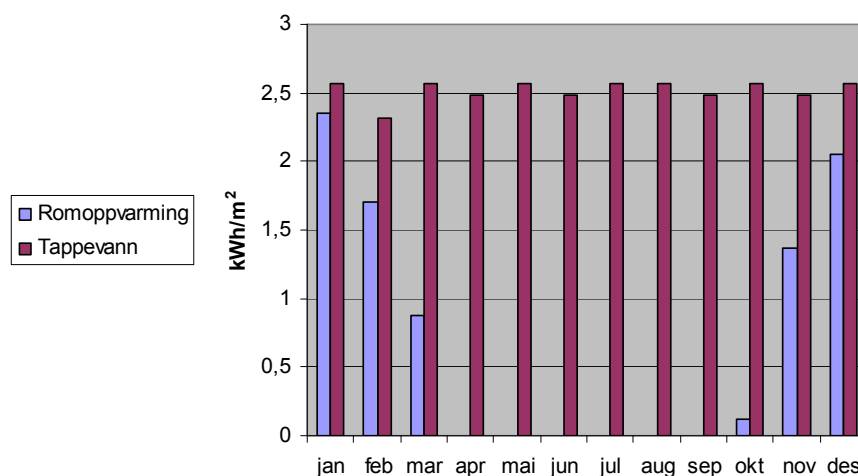
Bygningene ble utformet for å tilfredsstille en antatt passivhusstandard. Det fantes ingen ferdig norsk standard for passivhus da husene ble prosjektert. Arbeidet med dette prosjektet var derimot et viktig underlag for utarbeidelse av NS 3700 (Standard Norge 2013). Det ble i prosjekteringen ikke gjort spesielle tiltak for å utforme bygningene med hensyn til utnyttelse av solenergi.

Tabell 3.3 viser valgt bygningsteknisk standard for boligene.

Tabell 3.3 U-verdier og konstruksjonsløsninger (Dokka 2008)

Bygningsdel	Spesifikasjon	Løsning
Yttervegger, hovedfasade, U-verdi	0,12 W/(m ² K)	Dobbeltveggkonstruksjon. 350 mm isolasjon
Yttervegger, gavler, U-verdi	0,10 W/(m ² K)	Dobbeltveggkonstruksjon. 400 mm isolasjon
Tak, U-verdi	0,08 W/(m ² K)	Lett tretak. Pulttak med 5° helning. I-profil bjelker lagt som takåser. Bæres på skillevegger i betong. 3" lufting og papptekking. 500 mm isolasjon.
Golv på grunnen, U-verdi	0,08 W/(m ² K)	Plate på mark med 350 mm isolasjon
Vinduer, U-verdi	0,70–0,80 W/(m ² K)	Tre-lags ruter med argon, superspacer og isolert karm
Dører, U-verdi	1,0 W/(m ² K)	Godt isolerte ytterdører
Normalisert kuldebroverdi, ψ''	< 0,015 W/(m ² K)	Bæring for svalganger og balkonger er mest mulig koplet fra bygningskroppen for å unngå kuldebroer
Lekkasjetall, N ₅₀	< 0,6 luftvekslinger / time @ 50 Pa	Kontinuerlig vindsperrsjikt, prosjekterte detaljer, god kvalitetssikring i byggeprosessen
Varmegjenvinning, temperaturvirkningsgrad (år)	$\eta = 80\text{--}83\%$	Høyeffektiv roterende gjenvinner, SFP < 1.5 kW/(m ³ /s).

Månedlig fordeling av varmebehovet er vist i figuren under.



Figur 3.6 Beregnet månedlig oppvarmingsbehov i kWh/m² for en leilighet på 75 m². Andresen (2008).

Tabell 3.4 Oversikt over boligtyper, størrelser og energibehov.

	BRA [m ²]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Totalt termisk energibehov [kWh/år]
Passivhus	1126	12,8	30	48 193

Energiforsyning

Utbyggingen ligger ikke innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme, så dette var ikke et aktuelt alternativ. Utreddingen beskriver beregning av netto energibehov og effektbehov til oppvarming basert på spesifisering av tekniske løsninger for å tilfredsstille passivhusnivå. Ulike energiforsyningsløsninger ble vurdert, men disse beskrives ikke i tilgjengelig dokumentasjon.

Det ble valgt en varmforsyningsløsning basert på individuelle solvarmesystemer tilknyttet en varmtvannsbereider i hver leilighet. Utformingen av boligblokkene ble ikke tilpasset solfangerne, da disse simpelthen ble plassert på taket av boligblokkene, med en helning ca. 40° og orientert mot sør (se figur 3.5 og 3.7). Hver leilighet har to solfangere på til sammen 6 m² (effektivt absorberareal ca. 3,2 m²). På badet har hver leilighet en 200 liters varmtvannstank (akkumulatortank) som er koblet til solfangerne. Når det er for lite sol tilfører en elektrisk varmekolbe nødvendig varme til vannet på varmtvannstanken. Solfangerne er vakuumrør av typen Heat Pipe. Solfangeranlegget ble beregnet til å dekke ca. 47 % av varmebehovet (romoppvarming + varmtvann). Valget ble tatt ut i fra ønske om desentralisert løsning, samt en kost/nytte-vurdering (Andresen mfl. (2010)). Det ble ikke foretatt klimagassberegninger.



Figur 3.7 Bilde av passivhusboliger med solfangerne på taket. Illustrasjon: ABO.

3.4 Ådland, Bergen

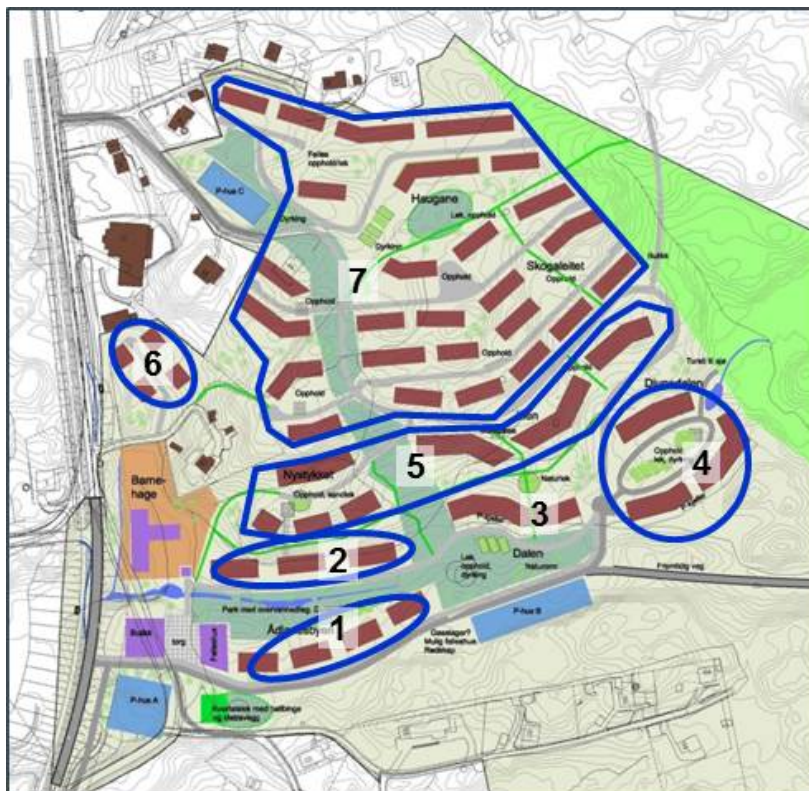
Ådland ligger ved Flesland rett sør for Bergen sentrum. Her ønsker ByBO AS å bygge ut 500 – 800 boliger. Både de enkelte boligene og området som helhet skal oppfylle kriterier for nullutslippsbygg.

Pr. mars 2014 er prosjektet i tidlig utredningsfase, med mål om innsending av reguleringsplan innen mai. Det er planlagt at utbygningen skal pågå etappevis, i anslagsvis ti år fremover.

Denne beskrivelsen bygger på utredning dokumentert i en foreløpig rapport fra forskningsprosjektet ZEB (Risholt mfl. 2014) som ble gjennomført i tidlig planfase (høst 2013), samt delvis på upubliserte interne prosjektdokumenter. I ZEB-rapporten er det lagt opp til at laveste ambisjon for enkeltbygninger skal være ZEB-O+EQ, men at området som helhet bør tilfredsstille ZEB-O. På sikt er det anbefalt en gradvis opptrapping av ambisjonsnivå via ZEB-OM til ZEB-COM. Også bygningene på ZEB-O-EQ og ZEB-O nivå vil ha ambisjoner når det gjelder materialer. For å oppnå ambisjonsnivå ZEB-OM og ZEB-COM stilles det også krav om at utslipp fra materialene som brukes må dokumenteres. Det skal da utarbeides klimagassanalyser basert på NS-EN 15978 (Standard Norge 2011).

Bygningsutforming

I skisseprosjekt til utnyttelse av området (Norconsult, 2012) ble det utredet en arealoversikt som viser fordeling av bygningsmassen/volum på tomten. Utbyggingsområdet ble delt opp i sju områder med hus bestående av to til fire etasjer.



Figur 3.8 Fordeling av boligmassen over utbyggingsområdet. Illustrasjon: Norconsult (2012).

Den foreløpige boligtypologien som ble beskrevet i tidligfasen, inneholder byhus i 2,5 etasjes høyde, blokkbebyggelse med 4 etasjer, leiligheter i karréhus på 4 etasjer, 2 etasjers punkthus og boliger i tett/lav bebyggelse. I sum er det 491 boliger. I tillegg er det også indikert plass til parkering, barnehage, felleshus og forretningsbygninger.

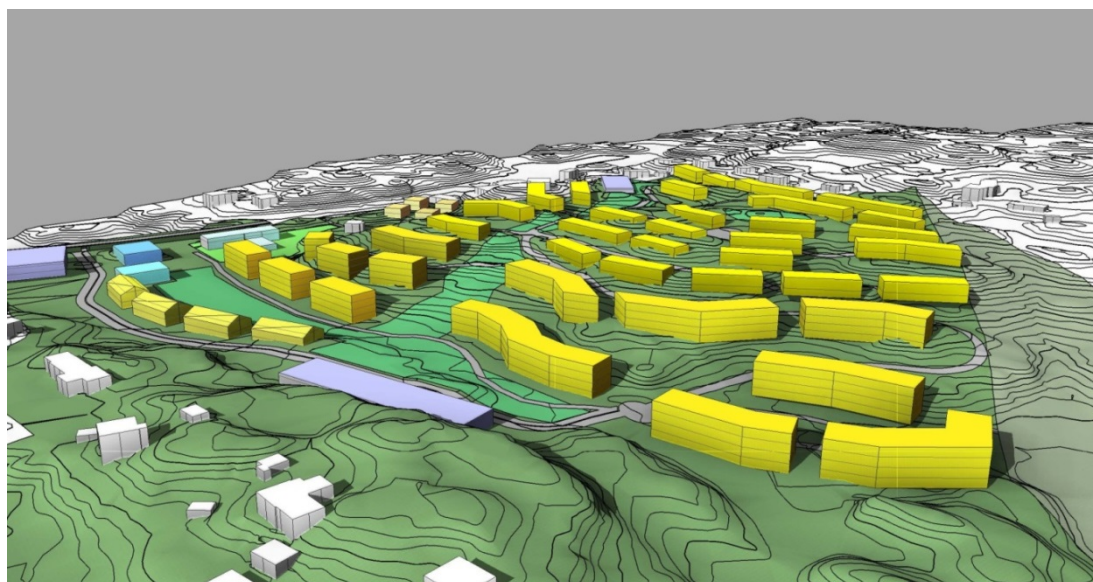
Tabell 3.5 Oversikt over antall bygninger, antall boliger, størrelser og sydvendt takareal.

	Antall BRA (m ²)	Antall bygninger	Antall boliger	Antall etasjer	Sydvent takareal (m ²)
Område 1	2 800	4	32	2,5	838
Område 2	3 840	3	42	4	693
Område 3	3 840	3	42	4	693
Område 4	6 090	3	78	4	1 062
Område 5	11 240	7	133	4	2 031
Område 6	1 000	4	8	2	348
Område 7	16 900	26	156	2,5	4 966
SUM	45 710 m ²	50	491	-	10 631

Figur 3.9 og Figur 3.10 viser topografi for området og volumstudien som er gjennomført av Norconsult i 2012. De høyeste blokkene sentralt på området ligger i området med størst helning, mens den lave bebyggelsen ligger i sørdelen og norddelen av området hvor tomten er flatere. Dette gir gunstige sol- og dagslysforhold for boligene.



Figur 3.9 Snitt gjennom området viser høydeforskjellene på tomten. Illustrasjon: Norconsult (2012).



Figur 3.10 Volumstudie på tomten. Illustrasjon: Norconsult (2012).

For å minimere energibehov til drift, har alle bygningsvolumene en ganske kompakt form, med godt isolert bygningskropp og energieffektiv ventilasjon med varmegjenvinning, se Tabell 3.7. Oppvask- og vaskemaskiner bruker varmtvann (hotfill), og det forutsettes at det brukes LED-belysning. Den bygningstekniske standarden er vesentlig lavere enn passivhusnivå.

Tabell 3.6 Spesifikasjoner for energikonsept for Ådland boligområde lagt til grunn for beregning

	Spesifikasjon
Oppvarming	Installert effekt ca. 12 W/m ² . Installert effekt badetrom/våtrom: 0-300 W
Ventilasjon	Lengde kanaler 0,1 – 0,2 meter kanal pr m ² BRA
Belysning	Installert effekt 1,0 W/m ² . Årlig energibruk 7 kWh/m ²
Utstyr	Termisk energibehov 6 kWh/(m ² år). Elektrisk energibehov 9 kWh/(m ² år)

Tabell 3.7 Spesifikasjoner for bygningskroppen som er lagt til grunn for beregning av energibehov.

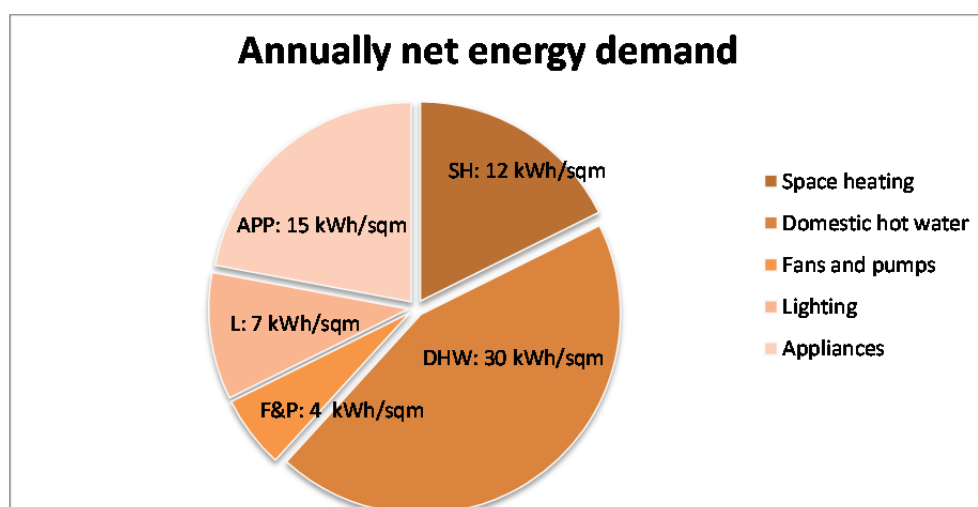
Komponent	Verdi
Vegg, U-verdi	0,15 W/(m ² K)
Gulv, U-verdi	0,10 W/(m ² K)
Tak, U-verdi	0,10 W/(m ² K)
Vinduer, U-verdi	0,70 W/(m ² K)
Varmegjenvinning ventilasjon	88 %
Vifteeffekt (SFP)	1,0 kW/m ³ /s
Lekkasjetall (n ₅₀)	0,5 h ⁻¹

Det er forutsatt bruk av balansert ventilasjon med varmegjenvinning i fyringssesongen og naturlig ventilasjon utenom fyringssesongen. På denne måten minimaliseres elektrisitetsforbruk til ventilasjon av boligene. Det er imidlertid krav til isolering mot flystøy fra innflygningen til Flesland, og dette vil kunne gjøre løsningen med naturlig klimatisering vanskelig å gjennomføre i praksis.

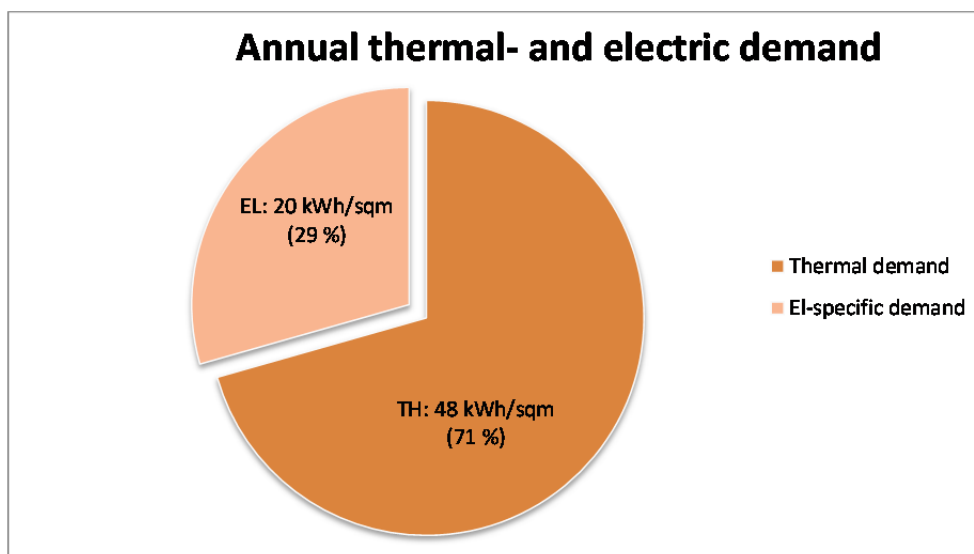
Tabell 3.8 Spesifikasjoner for naturlig klimatisering lagt til grunn for energiberegninger

Parameter	Spesifikasjon
Dagslys	Gjennomsnittlig dagslysfaktor > 3 % i oppholdsrom.
Termisk masse	Spesifikk varmekapasitet C" > 40 Wh/m ² K.
Naturlig ventilasjon	Krysslufting > 5 oms/t

Resultatene med hensyn til det totale gjennomsnittlige energibehovet for området er vist i Figur 3.11. Energiforbruket er fordelt på elektrisk og termisk energibehov og er illustrert i Figur 3.12.

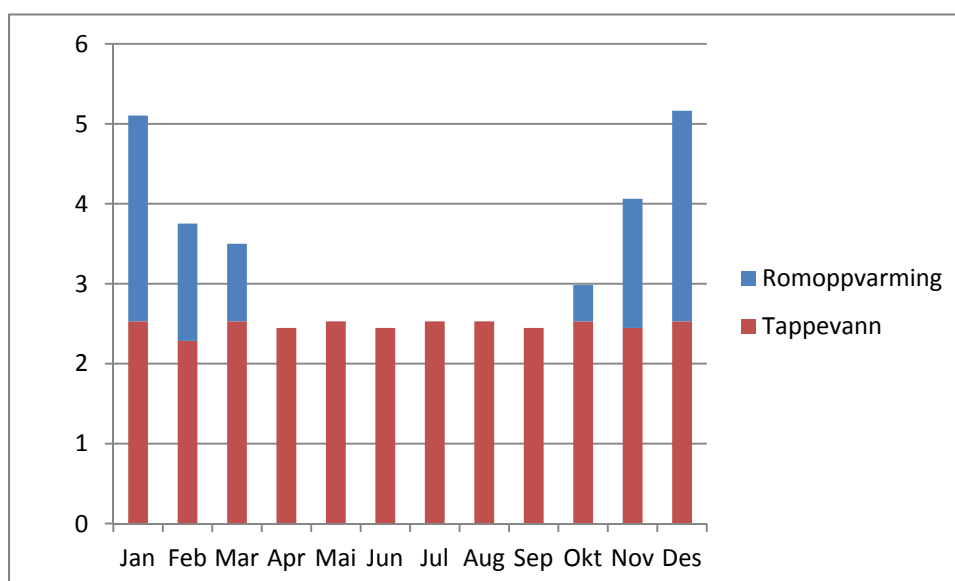


Figur 3.11 Gjennomsnittlig årlig energibehov for boligområdet Ådland. Energiforbruket er oppgitt som en årlig gjennomsnittsverdi pr BRA.

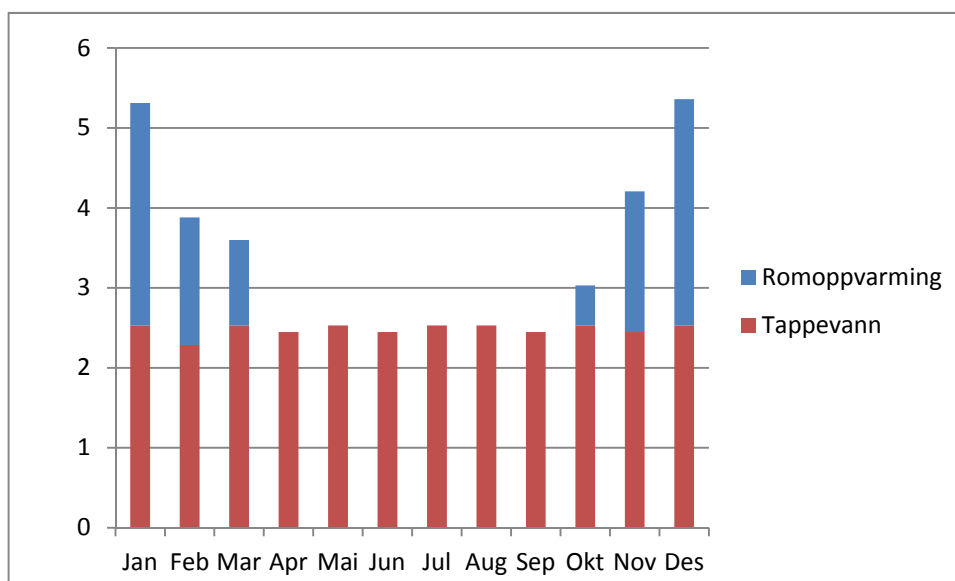


Figur 3.12 Gjennomsnittlig behov for varme og elektrisitet for boligområdet Ådland, angitt som en årlig gjennomsnittsverdi pr BRA.

Lastprofilene i Figur 3.14 og figur 3.14 viser hvordan tappevannsbehovet er konstant over året mens behovet for energi til romoppvarming varierer. På grunn av bygningskroppens svært lave varmetapstall, er det et relativt beskjedent energibehov til romoppvarming over året.



Figur 3.13 Lastprofil for boligblokk (1.280 m²)



Figur 3.14 Lastprofil for lavblokk (660 m²)

Energiforsyning

To ulike løsninger for energiforsyning ble analysert og ansett å være aktuelle for prosjektet:

- Alternativ 1 benytter seg av solfanger, solceller og varmepumpe for fornybar energiproduksjon.
- Alternativ 2 benytter solfanger, solceller og en biogass-drevet energisentral for kombinert kraft- og varmeproduksjon (CHP – Combined Heat and Power).

For begge alternativene skal det brukes solceller for produksjon av elektrisitet. Tabell 3.9 viser overslags-beregninger av potensialet for produksjon av elektrisitet fra solceller.

Tabell 3.9 Antall bygninger og boliger i Ådland med tilgjengelig takareal og potensial for årlig produksjon av elektrisitet fra solceller (PV - PhotoVoltaic).

Boligtype	m² BRA	Antall bygninger	Antall boliger	Takareal syd m²	Potensial PV-produksjon, kWh	PV-produksjon pr m² BRA
1. Byhus, 2 1/2 etg.	2 800	4	32	838	121 510	43
2. Blokk, 4 etg.	3 840	3	42	693	100 485	26
3. Blokk, 4 etg.	3 840	3	42	693	100 485	26
4. Karre, 4 etg	6 090	3	78	1 062	153 990	25
5. Blokk, 4 etg.	11 240	7	133	2 031	294 495	26
6. Punkthus, 2 etg.	1 000	4	8	348	50 460	50
7. Tett/lav, 2 1/2 etg.	16 900	26	156	4 966	720 070	43
SUM	45 710	50	491	10 631	1 541 495	34

Alternativ 1 har følgende spesifikasjoner for varmesystemet:

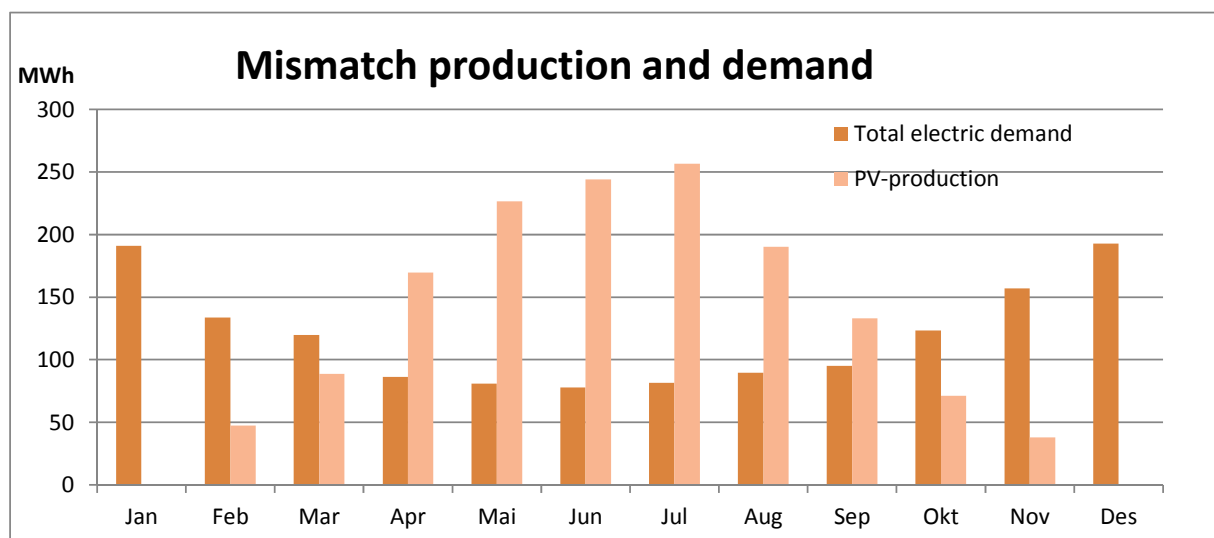
- Solfangere som er dimensjonert med ca. 5,5 m² per 100 m² BRA vil kunne dekke 39 % av årlig varmebehov.

- Varmepumpesystem kjøres som spisslast for å dekke resterende varmebehov (61 %). Års-system varmfaktor (COP) for varmepumpen alene er 2,7.
- Kombinert solfanger-/varmepumpe-system er beregnet å ha en årssystem varmfaktor (COP) på 4,3.

Ved alternativ 1 skal elektrisetsproduksjonen for området i sin helhet realiseres ved bruk av solceller. Med følgende forutsetninger vil det være mulig å oppnå en nullutslippsbalanse over året (ZEB-O):

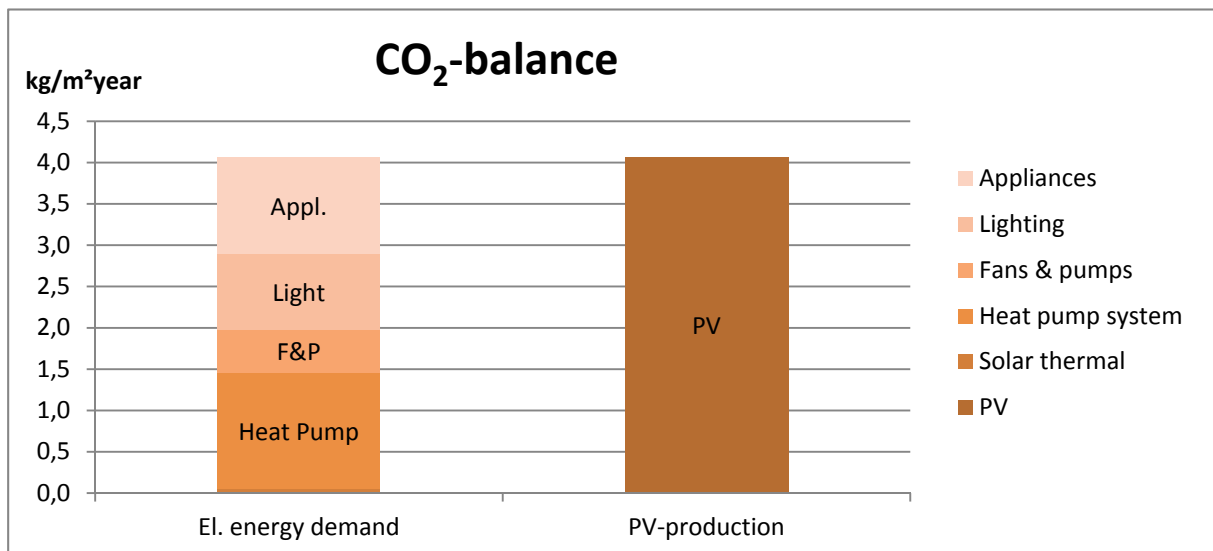
- Lokal, fornybar el-produksjon for å balansere utslipp: 1.429 MWh/år (31 kWh/m²år). Det er benyttet en CO₂-faktor for elektrisitet på 132 g/kWh, både for strøm levert til nettet og for strøm kjøpt fra nettet (Dokka mfl. (2013)) og (Kristjansdottir mfl. (2014)).
- Med anslått årssystemvirkningsgrad for solceller på 15 %, og en årlig solfluks på 902 kWh/m²år, får man ut 135 kWh per m² solcelleareal per år.
- Nødvendig solcelleareal for å gå i CO₂-balanse (drift) blir da: 10.560 m². Dette tilsvarer et solcelleareal på 22 m² per bolig. Tilgjengelig sol-areal med optimalisert takform (pulttak, 30° helning, orientert mot sør) er ca. 10 630 m².
- Det er også behov for ca. 2.500 m² solfangere, som eventuelt kan plasseres på parkeringshus e.l.

I perioden april–august vil produksjonen av solstrøm være høyere enn behovet, og i perioden september – mars vil behovet for elektrisitet være større enn produksjonen, se Figur 3.15. Det vil følgelig være behov for en tilknytning til elektrisitetsnettet som tillater både levering og kjøp av elektrisitet. Utbygger tok tidlig kontakt med nettselskapet (BKK) angående leveranse av strøm på nettet, og nettselskapet stilte seg positive til dette. Det er imidlertid pr. skrivende stund ikke gjort noen konkrete avtaler med hensyn til leveransbetingelser. Prisen man vil få for levert energi inn på nettet vil sannsynligvis være lavere enn prisen for strøm fra nettet. Det har også vært vurdert om overskuddsstrøm kan leveres til nærliggende bygninger på området, men det er usikkerhet med hensyn til hvordan dette kan organiseres i forhold til energiloven.



Figur 3.15 Beregnet produksjon av elektrisitet fra solceller og behov for elektrisitet for drift av boligene.

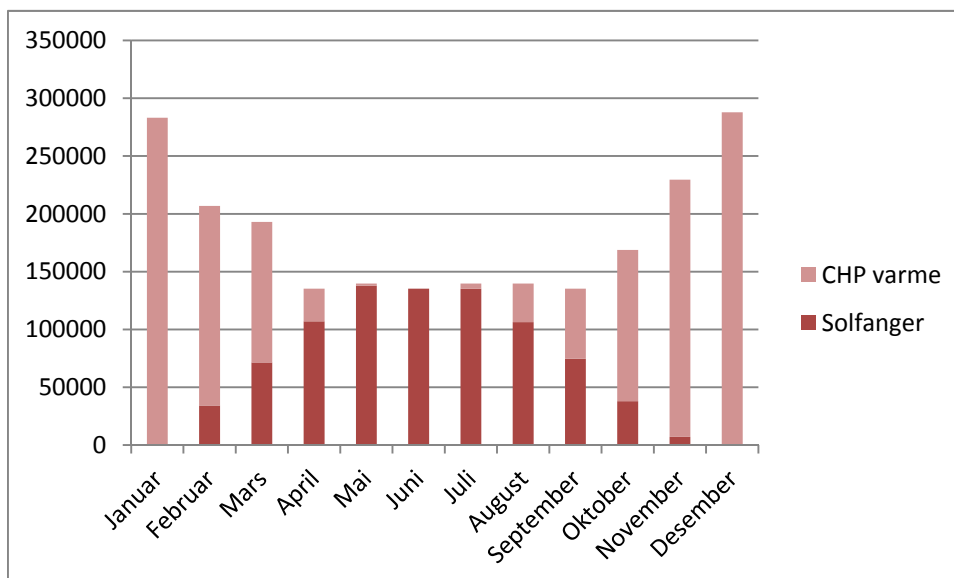
Figur 3.16 angir CO₂-balansen for alternativ 1. Produksjonen av elektrisitet fra solcellene kompensere for alle utslipp knyttet til drift av boligene. Det er brukt en CO₂-faktor for elektrisitet på 132 g/kWh, både for strøm levert til nettet og for strøm kjøpt fra nettet (Dokka mfl. (2013) og Kristjansdottir mfl. (2014)).



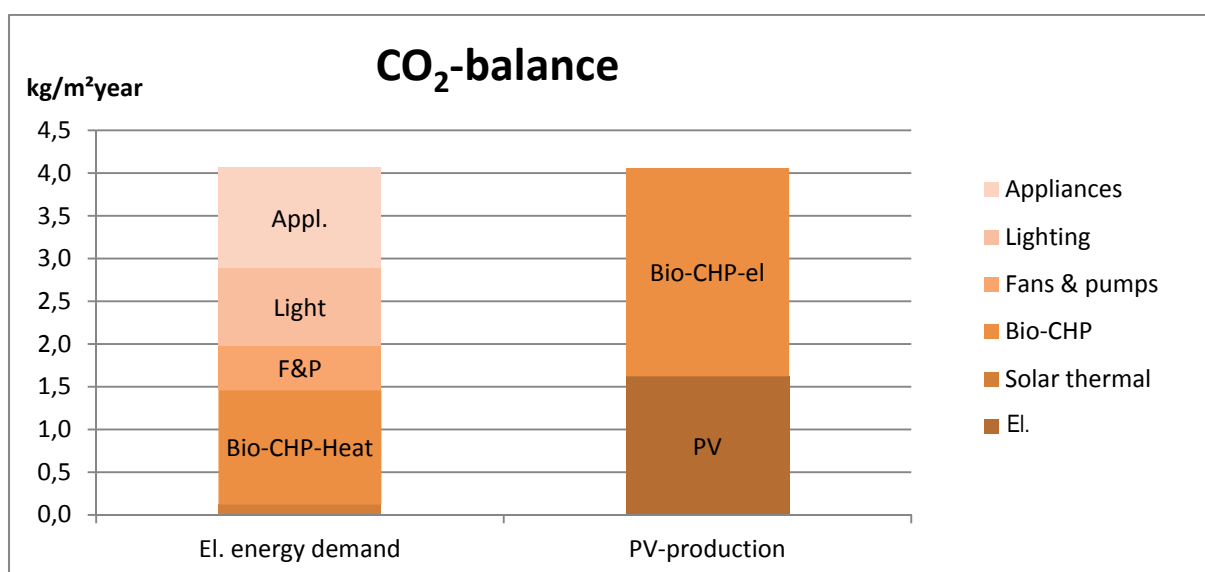
Figur 3.16 Årlig CO₂-balanse for Ådland med energikonsept alternativ 1.

For alternativ 2 er det utredet en løsning med solfangere som er tilknyttet lokale akkumulatortanker for varmelagring. I tillegg til dette består energikonseptet av en biogass-CHP-maskin som produserer varme og elektrisitet. Biogass kan være i form av flytende biogass (LBG) eller kondensert biogass (CBG). Det brukes et nærvarmenett for å fordele varme ut til bygningene. I tillegg installeres solceller for elektrisitetsproduksjon. I sommerhalvåret står solfangere og solceller for tilnærmet hele energiproduksjonen mens i vinterhalvåret dekkes varme og elektrisitetsbehovet av CHP-maskinen. En biogass-CHP maskin har typisk termisk virkningsgrad på 55 % og elektrisk virkningsgrad på 35 %. Dette gir følgende situasjon knyttet til solstrømproduksjon:

- Med anslått årssystemvirkningsgrad for solceller på 15 % og en årlig solfluks på 902 kWh/m²år, får man ut 135 kWh pr. m² pr. år.
- Nødvendig solcelleareal for å gå i CO₂-balanse(drift) blir da: 4 215 m². Dette tilsvarer et solcelleareal på ca. 9 m² per bolig.
- I dette tilfellet trenger man bare ca. halvparten av tilgjengelig sol-areal (10.630 m²), det vil si man kan også plassere solfangere på tak (ca. 2500 m² med optimal helningsvinkel på 30°, orientert mot sør).



Figur 3.17 Varmeproduksjon fra solfangere og biogass-CHP-energisentral.

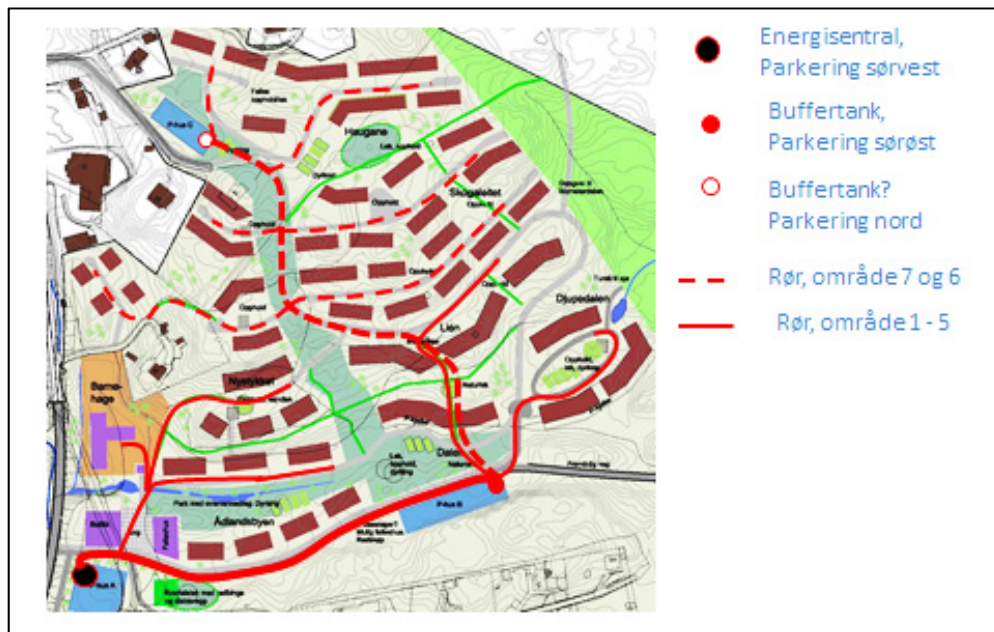


Figur 3.18 Årlig CO₂- balanse for drift av boligene med energikonsept alternativ 2.

Nærmeste produksjonssted for Biogass er Rådalen, ca. 5 km øst for Ådland. Biogassen kan transporteres komprimert på gassflasker (CBG). Denne løsningen vil kreve 1–2 leveranser pr uke i fyringssesongen. Biogassen kan også transporteres i flytende form (LBG) på tankbil. Denne løsningen krever lagringstank ved energisentralen hvor gassen holdes nedkjølt til -160 °C. Både produksjonen av LBG og lagringen er energikrevende. En LBG løsning krever færre leveranser av gass, minimum vil være 1–2 ganger pr år. Det må imidlertid understrekes at biogass fra Rådalen er tiltenkt brukt som drivstoff for busser. Det må derfor undersøkes om hvorvidt anlegget på Rådalen vil ha kapasitet til også å produsere biogass for Ådland.

Begge energikonseptene er basert på at ca. 60 % av varmeproduksjonen skjer i en energisentral. For alternativ 1 produseres varme fra grunnvarmepumper, mens for alternativ 2 produseres varme og elektrisitet fra en biogass CHP maskin. Varmen distribueres ut til bygningene i et nærvarmenett. Figur 3.19 viser en mulig plassering for energisentralen med tilhørende buffertanker og rørføringer. De lokale

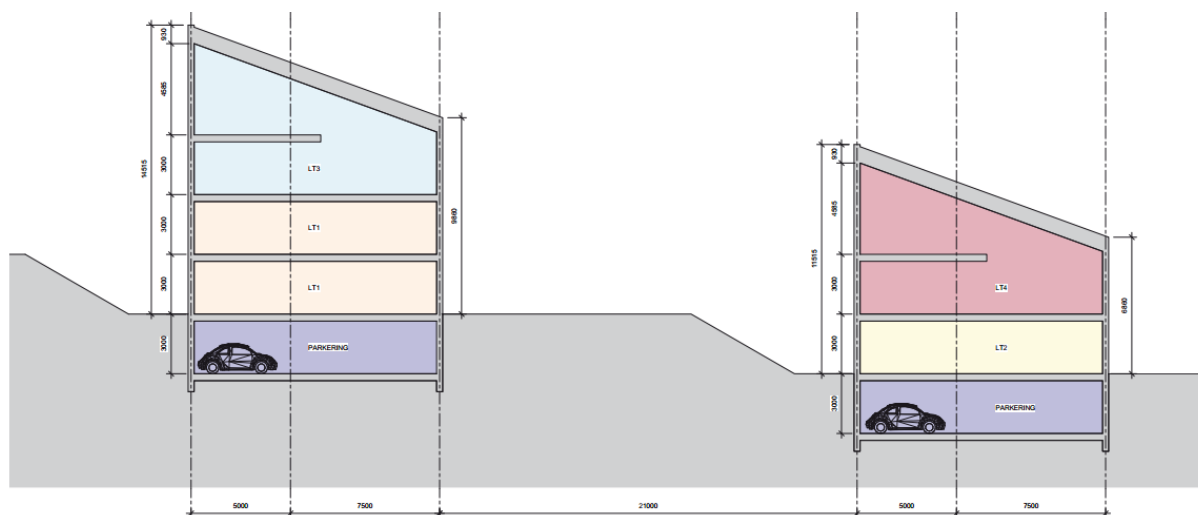
akkumulatortankene kan også brukes som buffertanker for varmelagring fra tilført varme fra energisentralen, men er ikke inntegnet i figuren. Det er gjort overslagsberegninger for å vurdere varmetapet pga. distribusjon fra energisentralen ut til bygningene. Det er beregnet til ca. 15 % av varmetransporten.



Figur 3.19 En mulig plassering av en energisentral med tilhørende buffertanker og røرنett for Ådland. Illustrasjon: K. Lien, Ceoto.

Foreløpig har man valgt å basere seg på alternativ 1 for energiforsyningen. Dette har bakgrunn i at bio-CHP-løsningen ble betraktet som noe usikker på grunn av begrenset erfaring med slike anlegg i Norge, samt usikkerhet med tanke på leveranse av biogass.

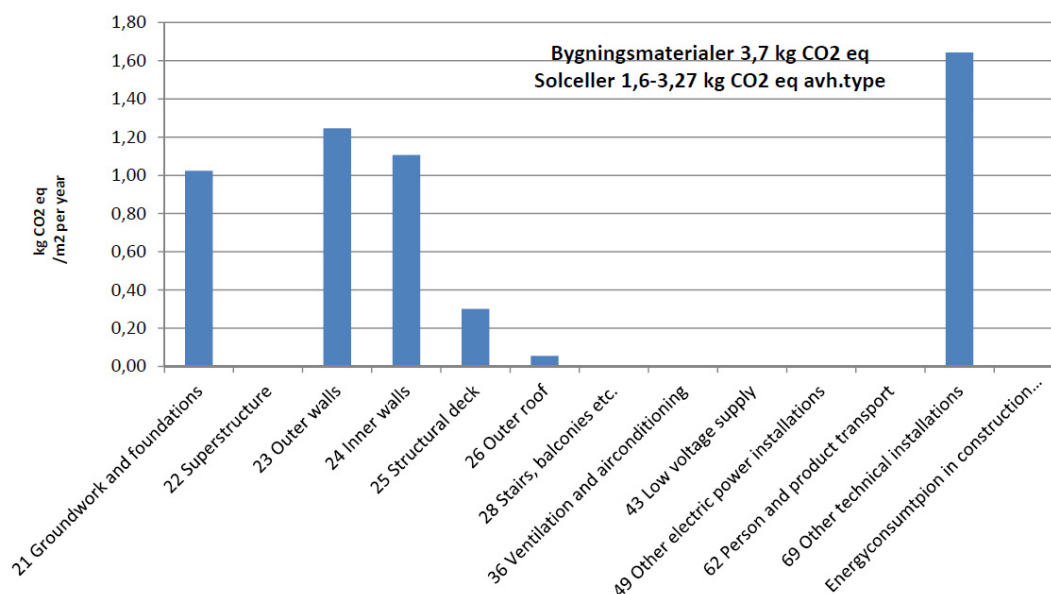
Det gjøres oppmerksom på at planene for Ådland-utbyggingen var under revisjon da dette prosjektet ble ferdigstilt. Pr. mars 2013 arbeides det med videreutvikling av både plassering og utforming av boliger i området. På grunn av støyproblematikk i forbindelse med flyplassen på Flesland, som ligger nord-øst for området, må man gjøre avveininger opp mot optimal plassering og orientering i forhold til soltilgang. Foreløpige planer viser bygninger med takflater som er orientert mot sør-vest, se figur 3.20. Helningen på takflatene er heller ikke helt optimal i forhold til soltilgang, men er satt til ca. 20° av arkitektoniske årsaker. Beregninger fra Multiconsult (Øyen og Merlet 2014) viser imidlertid at energileveransen fra solcellene kun reduseres med ca. 2 % når helningsvinkelen reduseres fra 30° til 20°.



Figur 3.20 Snitt gjennom rekkehus, midlertidige tegninger. Illustrasjon: Snøhetta.

Det er også gjort overslagsberegninger for å vurdere klimagassutslipp knyttet til produksjon av materialer og konstruksjoner for bygningsmassen. Foreløpige beregninger viser at man kan nå ZEB-OM nivå for en to-etasjes blokk på ca. 600 m² BRA. Dette forutsetter solceller på hele takflaten og ca. 30 m² solfangere på sørfasaden, samt en grunnvarmepumpe med høy COP. Dette ambisjonsnivået fordrer imidlertid at man bruker konstruksjonsløsninger med lavt klimagassutslipp, slik at totalt klimagassutslipp fra materialer blir under 5 kg CO₂-ekv./m² BRA pr år (regnet over 60 års levetid), samt at energibruken til drift optimaliseres ytterligere. Klimagassutslippet knyttet til energibruk til drift er i samme størrelsesorden som klimagassutslipp fra materialer, sett i et livsløpsperspektiv.

Figur 3.21 viser foreløpige overslagsberegninger med hensyn til klimagassutslipp for de viktigste materialgruppene. Det er betong i fundament, kjeller og heissjakter, samt solceller, som utgjør de største postene. Det arbeides med å se på alternative konstruksjoner, blant annet utstrakt bruk av trekonstruksjoner.

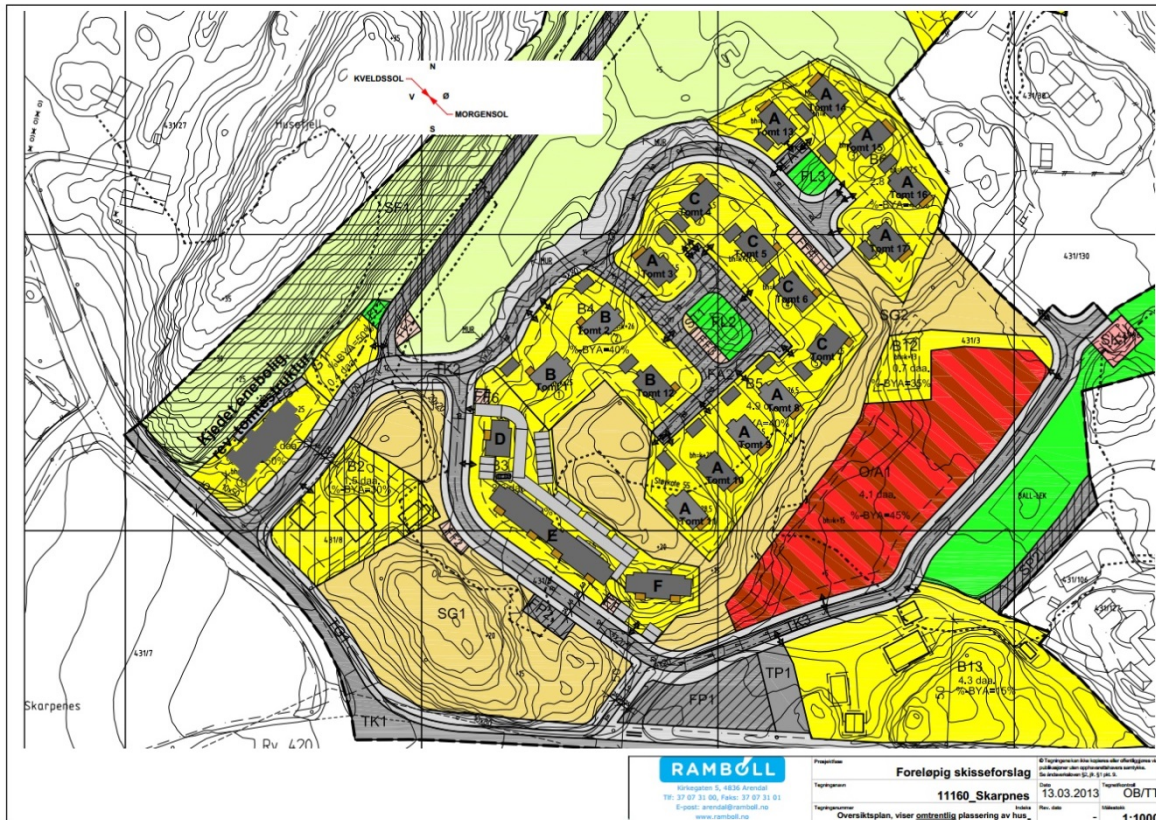


Figur 3.21 Foreløpige overslagsberegninger av klimagassutslipp for de viktigste materialgruppene, gitt i kg CO₂-ekvivalenter pr. m² BRA pr. år.

3.5 Skarpnes, Arendal

Skarpnes boligfelt ligger på en liten høyde på vestsiden av Nidelva, 7 km sydvest for Arendal. Det er åpent rundt feltet og gode solforhold. Boligutbyggingen på Skarpnes har som mål å demonstrere at det er mulig å bygge «nullenergi- og nullutslippsboliger» i Norge med konvensjonelle teknologier, brukt på en innovativ måte slik at kombinasjonen bygning og energiforsyning gir en optimal løsning med hensyn til energibehov, energiproduksjon, kostnader og komfort for denne typen bygninger.

Ambisjonen for prosjektet er ZEB-O, altså at utslipp fra energibruk i drift over året skal gå i null.



Figur 3.22 Situasjonsplan Skarpnes (Kilde: Rambøll)

Bygningsutforming

Boligutbyggingen Skarpnes i Arendal består av 37 boliger, fordelt på 17 frittliggende eneboliger og 20 leiligheter i tre boligblokker. Alle boligene skal bygges med nullenergi- og nullutslippsstandard. Det er Skanska Norge som eier og utvikler prosjektet. Totalt oppvarmet bruksareal for boligene er 4 183 m².

Alle boligene vil ha balansert ventilasjonsanlegg, som kan styres etter belastning (normalt tre nivåer: Høyt når det er stor personbelastning, Normalt ved vanlig bruk av bolig og Lavt når boligene ikke er i bruk). For småhusene forutsettes at det brukes motstrømsvarmevekslere i luftbehandlingsanleggene, med passiv forvarming eller forkjøling via energibrønnene. I boligblokkene vil det brukes roterende varmegjennvinnere, men uten den samme muligheten for forvarming eller forkjøling som småhusene, fordi en slik løsning ansees for kostbar på grunn av mange separate ventilasjonsaggregater. Virkningsgraden for varmegjenvinningen for småhusene vil trolig bli godt over 90 %.

Om sommeren utnyttes den motsatte effekt ved forkjøling av ventilasjonsluften. Det bidrar positivt til innemiljøet og tilfører varme tilbake til grunnen. For blokkleilighetene vil årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad ved roterende gjenvinner bli ca 85 %.

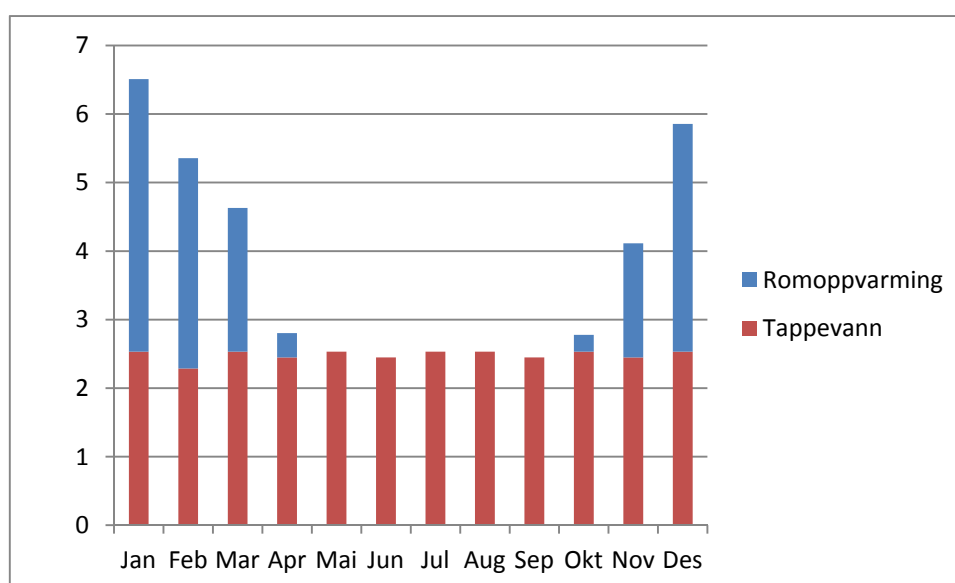
I tillegg vil alle boligene være gjennomgående, slik at krysslutting ved vindusåpning vil bli mulig. Det skal brukes utvendig og automatisk styrt solskjerming med «screen». I boligblokkene vil det bli eksponert termisk masse i himling og i skillevegger mellom leilighetene, og i småhusene i gulv i første etasje og i vegg mot grunnen (sokkeletasjen). Dette demper temperaturvariasjoner, og fører til at leilighetene føles svalere om sommeren. For eneboligene vil friskluften kun kjøles ned i varme perioder ved at den veksles mot den stabile temperaturen i fjellet under bygningene (borehullene). Alle boligene vil få gode dagslysforhold og det skal brukes materialer med lave emisjoner mot romluften.

Tabell 3.10 U-verdier og lekkasjetall

Egenskaper	Verdier
U-verdi yttervegger	0,12 W/m ² K, tilsvarer 300 mm mineralull og dobbelt stenderverk
U-verdi tak	0,08 W/m ² K, tilsvarer 400 mm varmeisolasjon mot uluftet og kaldt tak
U-verdi gulv på grunn	0,09 W/m ² K, tilsvarer 300 mm varmeisolasjon og godt isolert ringmur
U-verdi vinduer og dører	< 0,80 W/m ² K, passivhus vinduer og dører
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/m ² K (per m ² oppvarmet BRA)
Lekkasjetall	0,6 luftvekslinger per time (@50 Pa)

Tabell 3.11 Oversikt over varmebehov for de ulike boligtypene

	BRA [m ²]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Energibehov tappevann [kWh/m ² år]
Eneboliger	2 618	14,1	30
Leiligheter	1 565	13,1	30



Figur 3.23 Lastprofil for en av eneboligene på Skarppnes

I tillegg har prosjektet gått inn for såkalte hot-fill-maskiner til oppvask og klesvask, som betyr at disse maskinenes behov for varmt vann dekkes av det samme systemet som sørger for romoppvarming og varmt tappevann, og ikke direkte av elektrisk oppvarming av vannet i maskinen som tradisjonelle maskiner gjør.

Materialer

Selv om ZEB-ambisjonen (ZEB-O) i dette prosjektet ikke inkluderer klimagassutslipp eller energibruk knyttet til produksjon av materialer, har det også vært et fokus på å bruke materialer med lav bundet energi/klimagassutslipp. Det vil eksempelvis bli brukt lavkarbonbetong, både i konstruksjoner på/mot grunnen og i etasjeskillere i boligblokkene. Tre vil bli brukt i utstrakt grad (utvendig kledning, bindingsverk, innvendige paneler, vinduer m.m.), ellers nevnes også resirkulert gips og kortreist takstein fra Skarpnes. Det ble også gjort miljøvurderinger av ulike ytterveggkonstruksjoner og isolasjonsmaterialer (Sørnes og Fjeldheim 2013).

Arkitektur

Det er et mål at boligene skal være attraktive i det lokale markedet, og ikke bære spesielt preg av å være noe annet enn tradisjonelle boliger. Arkitekturen er derfor i stor grad tilpasset dette hensynet. Solfangeranleggene blir imidlertid plassert på fasader, slik at de kan utgjøre et arkitektonisk element, samtidig som de viser at boligene har noen tilleggskvaliteter i forhold til vanlige boliger.



Figur 3.24 Eneboligvarianter, Skarpnes. Illustrasjon: Skanska.

Boligene utnytter solenergi til både oppvarming og elektrisitetsproduksjon, og er så langt som mulig orientert slik at både fasader og takflater kan utnyttes for høsting av solenergi. Utsikt er imidlertid av brukermessige hensyn også i høy vektlagt, og det resulterer i en orientering mot sør-vest eller sør-øst for solenergianleggene.



Figur 3.25 Boligblokk, Skarpnes. Illustrasjon: Skanska.

Energiforsyning

Solfangerne er valgt plassert på fasade med bakgrunn i ønske om å utnytte dem som et arkitektonisk element. Denne plasseringen gir noe lavere energiproduksjon sammenlignet med plassering på tak (10-15 % lavere), men kompenseres delvis med større produksjon i vintermånedene, og gir derfor en jevnere årlig produksjon. En annen fordel i den kalde årstid er at solfangerne er snøfrie.

Til tider vil solfangeranlegget produsere mer varme enn bygningens behov. Ved slike forhold tilføres denne overskuddsvarmen til energibønn for bergvarme. Dermed varmes fjellet i bakken under bygningen (i energibrønnen), og noe av denne varmen hentes tilbake ved hjelp av varmepumpeanlegget, i den kalde årstiden.

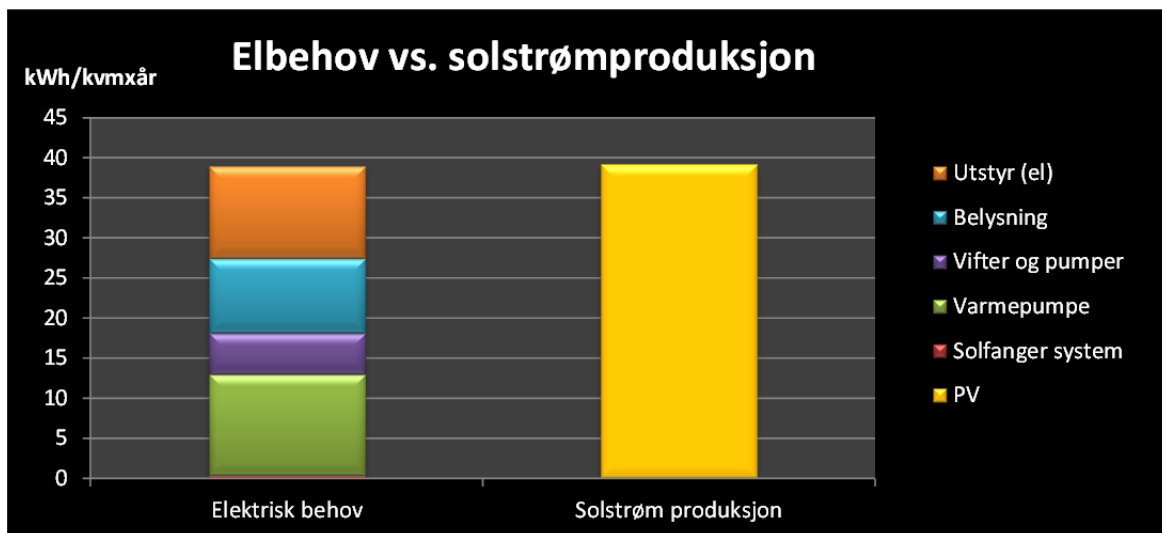
Hvert av småhusene vil få om lag 9 m² solfangeranlegg. Totalt solfangerareal for boligblokkene vil utgjøre 95 m². Totalt vil solfangeranlegget produsere ca. 69 MWh i løpet av året.

Omtrent 2/3 av utbyggingens termiske behov vil bli dekket av varmepumpesystemet.

Varmepumpesystemet er basert på en vann-til-vann-løsning, ved at det sirkuleres frostsikret vann i slanger som ligger i borehull med dybde 100 til 200 meter i fjell (berget under bygningene).

Det årlige behovet for elektrisitet dekkes av strøm fra et solcelleanlegg med solcellepaneler plassert på taket. Taket er flatt, men på grunn av både estetikk og solutnyttelse blir eneboligene bygd med et skråtak oppå dette, som solcelleanlegget blir integrert i. Solcellene vil bli plassert på tak, og med orientering sør-vest eller sør-øst. Takhelningen blir 30°. Nødvendig solcelleareal for å gå helt i balanse over året (nullenergi, nullutslipp) blir ca. 45 m² for småhusene og i gjennomsnitt 23 m² for hver av leilighetene, totalt ca. 450 m² for boligblokkene. Samlet solcelleareal for prosjektet blir ca. 1.210 m².

Årsproduksjonen for hele Skarpnes-utbyggingen vil bli i størrelsesorden 163 MWh. Dette utgjør ca. 39 kWh/m²år (m² BRA), og balanserer dermed det elektriske behovet til bygningene, som vist i Figur 3..



Figur 3.26 Elektrisitetsbalanse over året for Skarpnes-utbyggingen.

3.6 Brøset, Trondheim

Bydelen Brøset ligger ca. 4 km øst for Trondheim sentrum, på en åpen tomt med god soltilgang. Trondheim kommune har satt som mål at Brøset skal utvikles til å bli en fremtidsrettet miljøbydel som skal danne grunnlag for fremtidig byutvikling i Trondheim (Trondheim Kommune 2013). I områdeplanen legges det opp til at bydelen skal være klimanøytral, samt at utslippene av klimagasser skal reduseres med 70-90 % sammenlignet med gårdagens byutviklingsprosjekter. Visjonen for Brøset er en ny bydel med ca. 4.000 innbyggere, der det faller naturlig å leve klimavennlig. Hver enkelt beboer skal totalt forårsake maksimum 3 tonn CO₂-utslipp per år. Det vanlige i dag er 8-11 tonn, og det omfatter alle aktiviteter som transport, mat og bolig.

En klimanøytral bydel vil være betinget av at området har et lavt forbruk av stasjonær energi, og at den energien som brukes, hentes fra fornybare kilder som ikke forårsaker CO₂-utslipp. I reguleringsbestemmelsene står det at summen av stasjonær energibruk (både elektrisitet og varme) i alle nye bygninger innenfor planområdet på årsbasis må være lik forsyning fra lokale fornybare energikilder.



Figur 3.27 Oversiktsbilde Brøset. Foto: Trondheim Kommune.

Høsten 2010 ble det gjennomført et åpent parallelloppdrag med Brøset som tema. Resultatene fra parallelloppdraget danner grunnlaget for det videre planarbeidet for området. Fra tretti søknader ble det valgt ut fire team som arbeidet i ca. tre måneder. Teamene ble satt sammen etter en prequalifiseringsprosess i henhold til etterspurt tverrfaglig kompetanse. De fire teamene var:

- Asplan Viak AS m/ Entasis AS, Dahl & Uhre Arkitekter og Vigdis Haugtrø
- Code Arkitektur AS m/ Fremtiden i våre hender, Kan Energi AS og Aurora Landskap AS
- COWi AS m/ Arkitekt Kimmo AS og Norsas AS
- SLA m/ Adept Architects, Atkins, Life og Susturb

Teamene ble betalt for det ene oppdraget uten å bli forespeilet videre engasjement. Det var første gang en slik form for plankonkurranse ble prøvd ut i Norge og prosessen ble evaluert av NTNU og SINTEF Byggforsk (Gansmo mfl (2011)).

Et interessant aspekt ved Brøset-planene er den helhetlige tilnærmingen og målet om maks 3 tonn CO₂ per innbygger årlig sammenlignet med de nevnte ZEB-definisjonsnivåene. Sistnevnte ser kun på bygning og standardisert bruk, og inkluderer ikke utslipp forbundet med det daglige livet som for eksempel transport og avfall.

Siden utgangspunktet for parallelloppdraget var visjonen om en klimanøytral bydel, har løsningsforslagene følgelig en helhetlig tilnærming og byr ikke på detaljer rundt boligutforming og energiløsninger. Men de generelle trekkene ved de fire teamenes forslag oppsummeres kort her, basert på evalueringskomiteens sluttvurdering.

Bygningsutforming

Bydelen Brøset planlegges med 1 800 boliger med 4 000 innbyggere, 3 barnehager, barneskole, helse- og velferdssenter, idrettshall og mulighet for svømmehall og nærservice med små bedrifter.

Et av ønskene bak parallelloppdraget var å få belyst hvordan ulik tetthet vil påvirke klimanøytralitet. Tetthet i kombinasjon med tydelige forbindelser med omliggende bydel er altså en forutsetning for lokal service, noe som bidrar til mindre avhengighet av motorisert transport.

De fire forslagene opererer med ulik grad av tetthet og ulik bebyggelse – alt fra eneboliger til høyblokker. Evalueringskomiteen mente at forholdet mellom tetthet av boliger og klimanøytralitet, samt forholdet mellom tetthet og kvalitet og mangfold i uterommene, ville bli et viktig tema i planarbeidet.

Flere av parallelloppdragene foreslår kompakte, arealeffektive boliger, så lite utvendig veggoverflate som mulig i forhold til bygningsvolum er gunstig for å holde oppvarmingsbehovet lavt. Forslagene viser mange forskjellige boligtypologier, men få vurderinger av hvordan de forskjellige typene vil fungere energimessig. Nesten samtlige forslag har foreslått passivhusstandard for boligene, men passivhusstandard i seg selv sikrer ikke nødvendigvis klimanøytrale bygninger. Forslagene evaluerer i liten grad materialvalg og klimabelastning, eksempelvis ved bruk av materialer med høye klimagassutslipp, som stål og betong.



Figur 3.28 Forslag til bebyggelse. Illustrasjon: M.C. Herzog / www.visualis-images.com

Energiforsyning

Det er i planforslaget ikke stilt krav om spesifikke typer av energiforsyningsanlegg. Dette anses som begrensende, da man i områderegeringsplanen jobber på et veldig overordnet nivå. Det ønskes dessuten å holde muligheten åpen for etablering av energiforsynings-systemer som vi enda ikke kjenner til. Det settes av areal for et mulig sentralt energiforsyningsanlegg på plankartet, men det kreves ikke etablering av et slikt sentralt anlegg. Det er nevnt ambisjoner om at området skal kunne bli en nettleverandør av energi, både termisk og elektrisk.

Det er forutsatt at alle nye bygninger skal ha vannbåren oppvarming og at det er tenkt etablert et nærvarmeanlegg. Området er i utgangspunktet underlagt tilknytningsplikt til fjernvarmenettet, men som evalueringskomiteen for paralleloppdraget nevner, vil det sannsynligvis bli såpass lite oppvarmingsbehov for bebyggelsen at utbygging av infrastruktur for fjernvarme ikke vil være lønnsomt og at andre, enklere løsninger for oppvarming derfor bør velges.

Smart-grid blir også foreslått flere steder, men fagpanelet vurderte at dette foreløpig er løsninger som er noe usikre. Der enkelte forslag hadde noe lettvinde løsninger på energiforsyningen, hvor det blant annet ble forutsatt at all energi ble produsert av fornybare energikilder utenfor området. I så måte skilte forslaget fra Code-teamet, hvor Kan Energi hadde ansvar for energidelen, seg positivt ut ved å gi en grundig vurdering av hva som kan produseres i området. Det ble listet opp solvarme, solceller, bioenergi (brukt i kraft-varmemaskiner, CHP), vind, fjernvarme og elektrisitet fra nettet, men det er ikke utført noen lønnsomhetsberegning eller på noen annen måte tatt stilling til hvilke alternativer som peker seg ut som mer fordelaktige (Trondheim Kommune 2014).



Figur 3.29 Forslag til bebyggelsesutforming med integrerte solcellepaneler. Kilde: Code

I forbindelse med Brøset-utviklingen er det også blitt gjort et doktorgradsarbeid (Slagstad 2013) som ved hjelp av livsløpsvurderinger (LCA) så på utslipp fra infrastruktur knyttet til avfall, vann og avløp og vurderte lokale løsninger opp mot eksisterende infrastruktur. Hovedkonklusjonen var at området burde knytte seg til eksisterende infrastruktur, blant annet fordi dagens avfallssystem sparer utslipp på grunn av utnyttelse av avfall som energi i fjernvarmenettet og resirkulering av ulike materialer. Doktorgradsarbeidet vurderte ikke energisystemer. Det er også viktig å påpeke at denne konklusjonen gjelder for Brøset spesielt og at lokale løsninger kan komme best ut i andre tilfeller.

Den andre hovedkonklusjonen gikk på nyttigheten av eksisterende verktøy for å evaluere miljøpåvirkning fra et urbant utviklingsprosjekt i tidligfase. Ved å bruke systemanalyse i kombinasjon med utvikling av scenarier kan man tidlig vurdere hvilken rolle infrastruktur spiller og i tillegg gjøre sammenlignende vurderinger for ulike alternativer.

3.7 Øvre Sund, Drammen

Studentsamskipnaden i Buskerud skal bygge 200 nye studentboliger på Øvre Sund i Drammen. Området ligger nord for Drammenselva i gangavstand fra Drammen Sentrum og Papirbredden.



Figur 3.30 Situasjonsplan Øvre Sund. Kilde: LINK Landskap

Bygningsutforming

Drammen er en gammel trelastby og bydelen Øvre Sund har historisk trehusbebyggelse. Studentboligprosjekt i tre passer inn i stedets karakter. Tre ønskes brukt som hovedmateriale i bærekonstruksjon og overflater. Tre er et fornybart materiale og kan, i ubehandlet form, ansees som et CO₂-nøytralt materiale. I skisseprosjektet hevdes det at bruk av tre vil bidra til å redusere klimagassutslippet til byggematerialer med 50 % i forhold til dagens praksis, se Tabell 3.12. Prosjektet har som ambisjon å bidra til kompetanseutvikling i byggebransjen innen bruk av trematerialet i moderne bygninger i urbane omgivelser (Rodeo 2013).

Tabell 3.12 Eksempel på klimagassvurdering for alternative materialer for bygningselementer. Beregning gjort med verktøyet www.klimagassregnskap.no. Fra vedlegget til Rodeo (2013).

Bygningselement	Areal komponent Hus A og B [m ²]	Referansealternativ	Utslipp pr. m ² bygningselement Kg CO ₂ -ekv/livsløp/m ² bygningselement	Alternativ 1	Utslipp pr. m ² bygningselement Kg CO ₂ -ekv/livsløp/m ² bygningselement	Besparelse pr. m ² bygningselement kg CO ₂ ekv/livsløp/m ² bygningselement	Total besparelse kg CO ₂ ekv/livsløp
Innervegg type 3	3914	2*13 mm gips 70 mm stender/isolasjon 20 mm luft 70 mm stender (isolasjon?)	59,9	100 mm Massivtre luft sjikt 73 mm stender, isolert, 2x 13 mm gipsplater	35,7	24,2	94 719
Dekke Type D02	4668	20 mm vinyl 50 mm påstøp 20 mm trinnydplate 280 mm hulldekke Stålbjelker til bæring er ikke tatt med	235,8	Vinylbelegg 2*13 mm gipsplate 22 mm gulvspanplate 98 mm ti Ifarere 100 mm isolasjon 160 mm massivtre	77,2	158,6	740 345
Yttervegg type YV01	2477	Panel 30 mm (Angitt 20 mm) Lekt/luft 50 mm - cc 600 mm GU-plate 15 mm Antar dobbeltveggskonstruksjon med 400 mm isolasjon Fuktsperre 13 mm gips	29,2	135 mm massivtre 330 mm isolasjon 50 mm luft /lekt 20 mm trepanel	22,8	6,4	15 853

På grunn av tomtens form blir Hus A relativt langt og smalt, en fasong som gir mye overflate i forhold til bruksareal. Dette er lite gunstig med tanke på varmetapstall, og følgelig kommer bygningen, tross svært lave U-verdier, over minstekravet til romoppvarming i henhold til NS 3700 (Standard Norge 2013). Dette illustrerer viktigheten av effektiv utforming for å oppnå energieffektive bygninger.

Tabell 3.13 Foreslåtte U-verdier sammelignet med krav i NS 3700.

Egenskap	Minstekrav	Foreslått
U-verdi yttervegg [W/m ² K]	≤ 0,15	0,10
U-verdi tak [W/m ² K]	≤ 0,13	0,09
U-verdi gulv [W/m ² K]	≤ 0,15	0,12
U-verdi vindu og dør [W/m ² K]	≤ 0,80	0,70
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	≤ 0,03	0,03
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner [%]	≥ 80	85
SFP-faktor for ventilasjonsanlegg	≤ 1,5	1,5
Lekkasjetall ved 50 Pa [h ⁻¹]	≤ 0,6	0,6

Tabell 3.14 Varmebehov

	BRA [m ²]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]	Energibehov romoppvarming [kWh/m ² år]
Hus A	999	15,8	30
Hus B	1 625	14	30

Skisseprosjektet er til regulering, så alle løsninger er ikke endelige. Men det er så langt utredet to parallelle prinsipper for bærekonstruksjon, et tradisjonelt med stål, hulldekker og gips og et alternativ med bæresystem og tekniske byggeløsninger av tre, med unntak av noe gips der det var nødvendig for å imøtekomme brann- og lydkrav.



Figur 3.31 Tenkt fasadeuttrykk. Illustrasjon: Rodeo arkitekter/Dyrø & Moen

Energiforsyning

Utbyggingen ligger innenfor konsesjonsområdet for fjernvarme og det vurderes to løsninger i forbindelse med dette:

Alternativ 1. Vanlig tilknytning til fjernvarmenettet.

Alternativ 2. Etablere et «Smart-Grid» på egen tomt og forsyne bygningene med varme på denne måten.

«Smart-Grid» består av en avtale med fjernvarmeleverandøren hvor man kan levere og ta ut energi etter behov. Leveranser og uttak avregnes etter en økonomisk modell som avtales på forhånd. Bygningenes termiske energiproduksjon kan bestå av varmepumper basert på energibrønner, solvarme m.m., og varme fra dette anlegget må tilpasses for tilkobling til fjernvarmenettet.

Skisseprosjektet har lagt mer vekt på det bygningsmessige enn på energitilførsel, og det er heller ikke sett på sammenhengen mellom de to. I prosjekter med et høyt ambisjonsnivå når det gjelder klimagassutslipp, bør energitilførsel løftes opp på skissestadiet for å sikre gode, helhetlige løsninger senere i prosjektet.

4. Oppsummering og diskusjon

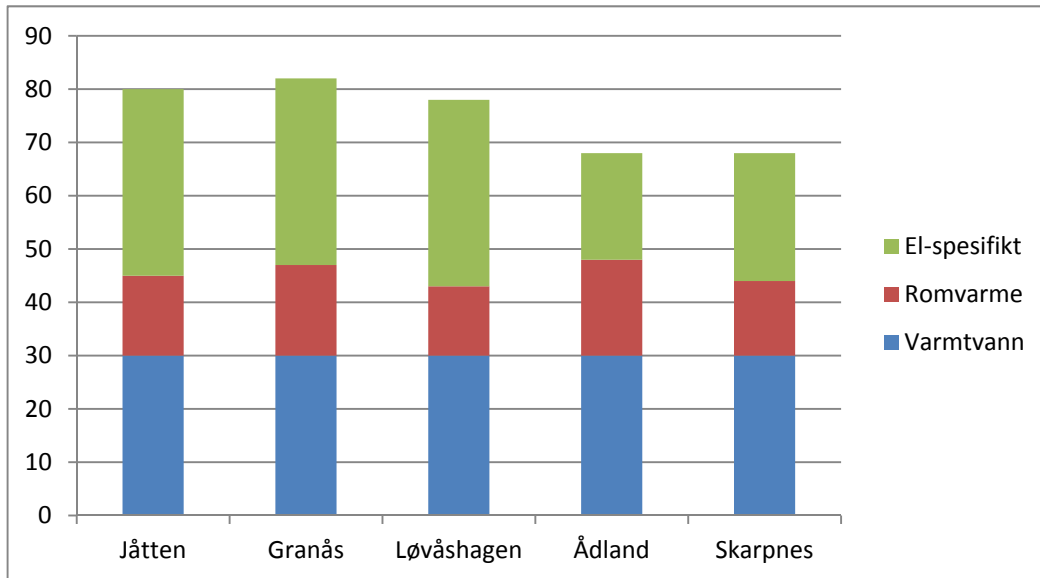
Tabell 4.1 gir en oppsummering av de ulike utbyggingsprosjektene med hensyn til størrelse, energibehov, ambisjonsnivå og valgte løsninger.

Tabell 4.1 Oppsummering av nøkkelparametre for eksempelprosjektene i denne rapporten.

	Jåttå	Granås	Løvåshagen	Ådland	Skarpnes	Brøset	Øvre Sund
Totalt BRA (m²)	60 020	24 240	1 126	45 710	4 263	126 000	2 624
Behov termisk, kWh/(m²år)	45	47	43	42	44	45	45
Termisk fra sol (kWh/år pr m² BRA)	17,1	0	20,1	16,3	16,1	-	-
Andel termisk dekket av sol	38 %	0	47 %	39 %	37 %	-	-
Areal soltermisk (m²)	Ikke oppgitt	0	180	2 500	248	-	-
Areal soltermisk/BRA	Ikke oppgitt	0	16 %	5 %	6 %	-	-
Elektrisitet fra sol (kWh/år pr m² BRA)	0	0	0	31	39	-	-
Areal PV (m²)	0	0	0	10 560	1 210	-	-
Areal PV/BRA	0	0	-	23 %	28 %	-	-
%-BYA («fotavtrykk»)		48 %	-	-	40 %	88 %	100 %
Energi-/klimagassmålsetning	Passivhusnivå og lavt CO ₂ -utslipp drift	Passivhusnivå og lavt CO ₂ -utslipp drift	Passivhusnivå	ZEB-O til ZEB-OM	ZEB-O	3 tonn pr beboer pr år	50% reduksjon
Valgte energikilder (termisk)	Solfanger, biokjel og el-kjel	Fjernvarme	Solfanger med el-kolbe	Solceller, solvarme og varmpumpe	Solceller, solvarme og varmpumpe	-	-
Begrunnelse for valg av energikilder	Kost/nytte samt CO ₂ -utslipp	Leverings-sikkerhet	Desentraliser t løsning ønsket. Kost/nytte	Leverings-sikkerhet	-	-	-

Bygningsutforming

Alle prosjektene har lagt seg på et passivhusnivå med hensyn til utforming av bygningskroppen og valg av tekniske installasjoner. Figur 4.1 viser beregnet netto energibehov for 5 av prosjektene, og fordeling med hensyn til romoppvarming, varmtvann og el-spesifikt behov. Det fremgår at varmtvannsbehovet er det dominerende termiske behovet, samt at det el-spesifikke behovet utgjør ca. 30-40 % av det totale energibehovet. For prosjektene med nullutslippsambisjoner (Ådland og Skarpnes), er det elektriske behovet redusert gjennom å bruke energieffektive hvitevarer inkludert vaskemaskiner med hot-fill-funksjon, samt ha fokus på behovsstyring, lav SFP, og bruk av energieffektiv belysning (LED). Dette vil gi lavere internlaster, noe som igjen betyr at romoppvarmingsbehovet øker noe.



Figur 4.1 Fordelingen av netto energibehov i kWh/(m²·år) for de ulike utbyggingsprosjektene.

Når det gjelder utforming og plassering av bygningsmassen er slike vurderinger i liten grad beskrevet i den tilgjengelige dokumentasjonen. Alle prosjektene består imidlertid av relativt kompakte og enkle bygningsformer, noe som bidrar til å minimere oppvarmingsbehovet. For å oppnå de ambisiøse energimålingene, er det viktig at energibehovet begrenses så mye som teknisk/økonomisk mulig. Alle prosjektene tilfredsstiller minst passivhusnivå, og har fulgt prinsippet om først å begrense energibehovet så mye som mulig, for deretter å se på mulige energiforsyningsløsninger som kan dekke det lave behovet med minst mulig klimagassutslipp. Dette prinsippet er nedfelt i den såkalte Kyoto-pyramiden.



Figur 4.2 Kyoto-pyramiden, basert på prinsippet om at «den mest miljøvennlige energien er den vi ikke bruker». Kilde: Husbanken/SINTEF Byggforsk.

For områdeutbygginger med ambisjoner om klimanøytralitet bør man også vurdere mulige energiforsyningsløsninger parallelt med utforming og plassering av bygninger, og ta inn vurderinger omkring dette helt fra starten av. Utforming og plassering av bygningsmassen vil være styrende for muligheter med hensyn til utnyttelse av solenergi og effektiv plassering av energisentraler for å

minimere varmetap. I tillegg må man tenke på klimagassutslipp fra materialbruk, både fra bygningsmessige løsninger og fra energiforsyningen.

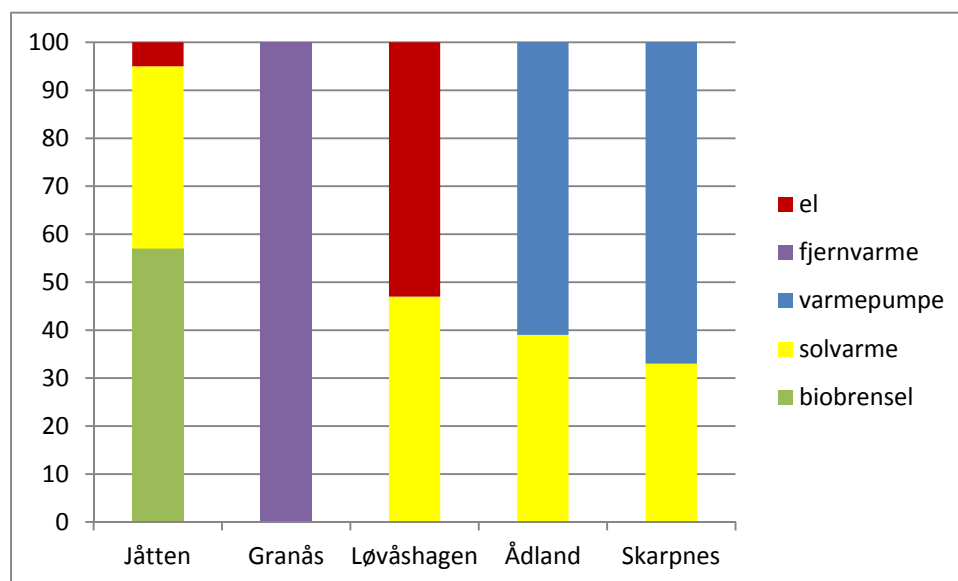
Bygningene i de analyserte prosjektene er stort sett orientert med hovedfasader mot sør, sør-vest eller sør-øst, noe som er gunstig med hensyn til utnyttelse av solenergi. For prosjektene med ambisjoner om nullutslippsnivå, har det også vært viktig å utforme takflaten slik at den mottar mest mulig sol, det vil si med sørlig orientering, saltak og en takvinkel mest mulig opp mot 30°.

Materialbruk og klimagassutslipp er nevnt flere steder, både i de ZEB-relaterte prosjektene Ådland og Skarpnes, men også i Brøset og Øvre Sund. De to sistnevnte er fremdeles i svært tidlig fase, så det er lovende at slike betraktninger blir inkludert. Øvrige miljøaspekter ved materialbruk, knyttet til både helse/innemiljø og påvirkning på ytre miljø, er i mindre grad nevnt i prosjektene.

Energiforsyning

Figur 4.3 viser fordelingen av ulike varmforsyningsløsninger for de fem prosjektene hvor dette er valgt. Figuren viser at solvarme brukes i fire av dem, og at begge prosjektene med nullutslippsambisjoner har valgt å bruke en kombinasjon av solvarme og grunnvarmepumpe.

Solfangersystemene dekker typisk rundt 40 % av varmebehovet. Nytteverdien av solteknologi vil naturligvis variere med geografi. Årlig solinnstråling mot en horisontal flate varierer fra 760 kWh/m² i Bergen til 960 kWh/m² i Oslo, det vil si ± 30 %. Også tilgangen på biobrensel vil være avhengig av hvor i landet man befinner seg. Det vil for eksempel være mer aktuelt med biobasert teknologi i nærheten av større skogområder med skogsdrift. Fjernvarme kan være gunstig med hensyn til drift og vedlikehold, hvis fjernvarmeproduksjonen er basert på miljøvennlige brensler.



Figur 4.3 Prosentvis fordeling (dekningsrad) av ulike varmforsyningsløsninger for utbyggingsprosjektene.

I de fleste prosjektene er det valgt sentrale energiforsyningsløsninger. Begrunnelser for de valgene som er tatt når det gjelder energiløsninger er basert på kostnadsvurderinger, leveringssikkerhet, samt ønske om å minimere klimagassutslippet.

Begge prosjektene med nullutslipp-ambisjoner (Ådland og Skarpnes) har valgt å bruke solceller for å dekke opp det elektriske energibehovet. I begge prosjektene er solcellepanelene plassert på taket, hvor

soltilgangen er bedre enn på fasaden. Hvis det er begrenset med plass på taket og dermed «konkurransen» mellom solceller og termiske solfangere, vil det være hensiktsmessig å plassere solcellene på taket mens solfangerne henvises til fasaden, fordi energien fra solcellene er mer kostbar, samt at solfangere er mindre følsomme med hensyn til orientering.

For Ådland-prosjektet ble det også vurdert en kogenereringsløsning (CHP). Slike løsninger har klare fordeler i utbygninger med høyt ambisjonsnivå dersom det er mulig å levere strøm til nettet. En CHP-maskin vil produsere mest elektrisitet når varmebehovet er størst, altså om vinteren. Foreløpig er det liten erfaring med slike systemer for boligutbygginger i Norge, men løsningen kan absolutt være et aktuelt alternativ for fremtiden. Siden den eksisterende bygningsmassen i Norge i stor grad varmes opp med elektrisitet, vil CHP-maskiner bidra med fornybar energi inn på nettet i fyringssesongen når behovet er størst.

Ingen av prosjektene har dokumentert vurderinger omkring utnyttelse av lokal, småskala vindkraft. Dette kan også være et aktuelt alternativ, spesielt for store utbygginger med tilgang til åpne områder med gode vindforhold. Vindkraftutbygging kan imidlertid være konfliktfylt i tettbygde strøk.

Livsløpskostnader forbundet med de ulike energiforsyningsløsningene er i liten grad dokumentert. Rapporten «Miljøvennlig varmforsyning til lavenergi- og passivhus» (Andresen mfl 2010) viste generelt at varmesystemene med de laveste årskostnadene, direkte elektrisk oppvarming, også hadde de høyeste klimagassutslippene og at det var nødvendig med økonomiske insentiver for å få lønnsomhet for alternative varmesystemer i forhold til direktevirkende el. Men med kravene i TEK 10[†] til bruk av elektrisk- og fossil energi til varmebehov, samt ZEB-kriterienes systemgrensedefinisjon, vil alle ambisiøse utbyggingsprosjekter måtte inkludere alternative energikilder til å dekke varmebehov. Investeringskostnader forbundet med ulike energikilder vil variere fra prosjekt til prosjekt, avhengig av bebyggelsens størrelse og sammensetning. I tillegg vil energikostnader både kunne variere over tid og være avhengig av geografisk beliggenhet.

Analysen viser også at klimagassutslippene forbundet med de ulike varmesystemene er svært følsomme for hva slags CO₂-faktor man velger for de ulike energikildene. Solvarme er den eneste av de ikke-fossile varmforsyningsløsningene som kun i liten grad er sensitiv for CO₂-faktor, da det kun er behov for en liten mengde levert energi (el) til sirkulasjonspumpen. Spesielt for elektrisitet, men også delvis for biobrensel, pågår det faglige diskusjoner om hvordan man skal vurdere og beregne klimagassutslippene i et livsløpsperspektiv. Inntil man har omforente verdier for CO₂-faktorer, er det derfor vanskelig å trekke endelige konklusjoner med hensyn til hva slags varmforsyningssystem som har lavest klimagassutslipp.

Utvexling av strøm mot nettselskapet

På grunn av at kostnadene ved lokal energilagring av strøm er høye, vil de fleste nullutslippsbygg være avhengig av utveksling av strøm med nettet. Som for eksempel figur 3.15 viser, vil et solcelleanlegg produsere mer energi enn bygningens behov om sommeren, mens om vinteren vil det være underskudd og behov for tilført energi. Det finnes foreløpig lite erfaringer med tanke på kjøp og salg av strøm til nettet. Dette er foreløpig ikke regulert av myndighetene (NVE), men det er varslet at bestemmelser skal komme (TU 2013). Men stadig flere nettselskaper tilbyr nå en såkalt plusskundeordning som tillater private husholdninger å bli leverandører av strøm inn på nettet. Hafslund er ett av dem. Det stilles noen tekniske krav til plusskunden, men ingen krav om hvor mye som må produseres. Hafslund kjøper energien til gjeldende spotpris (timesverdi) (Hafslund 2014).

[†] Veiledning til Byggteknisk forskrift (TEK 10) sier at boligblokk, rekkehus og eneboliger i kjede regnes som én boligbygning og kommer derfor ikke under grensen på 15 000 kWh/år definert i §14-7, fjerde ledd. For en utbygning bestående av kun eneboliger kan man derimot strengt tatt bruke elektrisitet til å dekke varmebehov så lenge det er under 15 000 kWh/år for hver enkelt boenhet.

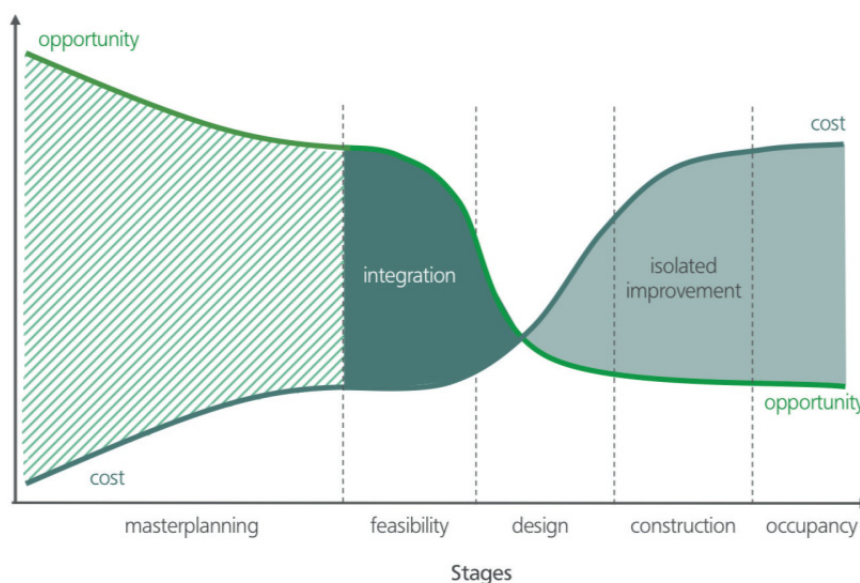
I Sverige har regjeringen nylig gått inn for skattereduksjon for såkalt mikroproduksjon av fornybar elektrisitet (Finansdepartementet 2014). Forslaget baserer seg på en utredning om netto debitering fra 2013 (SOU 2013), men er mer sjenerøst enn utredningens forslag. Dersom EU-kommisjonen godtar forslaget, trår det i kraft fra 1. juli 2014.

I Danmark har utviklingen i solcellemarkedet gått så raskt at regjeringen har måttet gjøre støtteordningene for installasjon av solceller mindre gunstige de siste årene fordi de har blitt for dyre for myndighetene (KEBMIN 2014). På plusskundesiden er produsenter av fornybar elektrisitet garantert en minstepris per eksportert kWh, og de må ikke betale avgifter for egenprodusert el som brukes innen samme time som den er produsert (Energistyrelsen 2014).

Planleggingsprosessen

I forbindelse med planleggingen av nye utbygninger av boligområder vil det være viktig å etablere ambisjonsnivået tidlig. Alle de undersøkte prosjektene har hatt en klar målsetning med hensyn til energibruk og/eller klimagassutslipp, definert tidlig i planleggingsprosessen.

For at boligprosjekter med høye energiambisjoner skal være realiserbare både teknisk, økonomisk og arkitektonisk, må de riktige beslutningene fattes allerede i reguleringsplanarbeidet. Dette krever at bygningsutforming og energiforsyning betraktes parallelt og integrert helt fra starten av planleggingen. Det er i den tidlige fasen at man har størst mulighet til å påvirke løsningene i en riktig retning med relativ liten innsats. Figur 4.4 illustrerer hvordan man i tidlige faser har muligheter til å endre på løsninger, til lave kostnader, og at disse mulighetene minker samtidig som kostandene ved endring øker utover i plan- og prosjekteringsprosessen.



Figur 4.4 Frihetsgrader ved integrert energidesign: Det er i tidligfasen at man har de største påvirkningsmulighetene, samtidig som kostnadene forbundet med endringer er lave. Kilde: breem.org

En integrert prosjekteringsprosess er å anbefale. Integrert energidesign (IED) består i å bruke kompetanse og teamarbeid samt moderne metoder og verktøy i integrerte prosjekteringsprosesser (Hestnes og Andresen 2007, Gaarsted 2008). I slike prosesser samarbeider alle aktører om prosjektet og blir enige om felles mål. Ved integrert energidesign arbeider man i tverrfaglige team helt fra begynnelsen av prosjektet. Spesialkunnskap gjøres tilgjengelig på et meget tidlig tidspunkt, ved at nødvendig ekspertise trekkes inn i designteamet etter behov. Gruppen har tilgang på eksperter som raskt kan gi spesialiserte konsulent-tjenester, som for eksempel dagslysanalyser, varmelagringsberegninger, råd om energiforsyningsløsninger, samt miljøriktig materialvalg. De kan også bidra med uttesting av de forskjellige forslagene ved hjelp av mer avanserte simulerings-program enn det selve kjernegruppen har til rådighet.

5. Konklusjoner

De analyserte prosjektene gir flere nyttige erfaringer og lærdom som man kan bygge videre på ved utforming av veiledningsmaterieil for arkitekter, rådgivere og byggherrer. Alle prosjektene er pilotprosjekter ut i fra at de har hatt svært ambisiøse energi- og miljømålsetninger i forhold til standard praksis på den tiden de ble planlagt. De ulike prosjektene har likevel brukt ulike metoder og detaljnivåer med hensyn til analyser av energi- og klimagassutslipp. I de fleste av prosjektene er det tilsynelatende ikke gjennomført grundige vurderinger av sol- og vindforhold opp i mot utforming og plassering av bygningene. Det er relativt store usikkerheter med hensyn til datagrunnlag og hvordan man håndterer klimagassutslipp fra konstruksjoner og materialer i tidlig planfase. Det er også en del usikkerheter med hensyn til driftssikkerhet og levetider for nye energiforsyningsløsninger (CHP, vind, sol), samt leveringsbetingelser for energi inn på nettet. Oppsummert viser analysen at det er behov for veiledningsmateriale for både utbyggere, arkitekter, rådgivere og entreprenører. Følgende generelle hovedpunkter kan trekkes frem som spesielt viktige:

- **Integrert prosjektering.** Ambisiøse energi- og miljømålsetninger krever spesialisert kunnskap og tverrfaglig samarbeid fra tidlig prosjektfase. Ekstra innsats i tidligfase vil betale seg tilbake i form av mindre arbeid i senere faser, samt et bedre helhetlig resultat.
- **Målsetning.** Formuler konkrete krav / målsetninger for energi- og klimagassutslipp med hensyn til produksjon og drift av bygninger og installasjoner. Få en felles forståelse for hva målsetningene innebærer allerede fra tidligfase. Lag en klima- og miljøoppfølgingsplan med milepæler og ansvarsfordeling og bruk den aktivt gjennom hele prosessen.
- **Tilgjengelighet og levering av lokal fornybar energi.** Innhent opplysninger om lokale klimaforhold (sol, vind og temperatur), undersøk grunnforhold med hensyn til utnytting av grunnvarme, samt muligheter for levering av energivarer med lave klimagassutslipp. For prosjekter med nullutslippsambisjoner vil det være aktuelt med utveksling av energi til det sentrale nettet. Undersøk tidlig med nettselskaper med hensyn til levering av energi inn på nettet, samt energipriser. Det er behov for utforming av regelverk på nasjonalt nivå i forbindelse med dette.
- **Bygningsutforming.** Utform bygningsmassen med hensyn til minimering av varmetapet, utnyttelse av solenergi, dagslystilgang og materialbruk med lavt klimagassutslipp over livsløpet.
- **Beregninger.** Utfør beregninger av energi- og effektbehov, klimagassutslipp fra materialbruk, samt termisk komfort, lyd, lys og luftkvalitet. Beregningene bør gjennomføres allerede fra tidlig planfase, samt oppdateres og detaljeres utover i prosessen. Det finnes flere tilgjengelige verktøy for beregning av energi- og effektbehov. Når det gjelder klimagassutslipp, er det spesielt behov for bedre datagrunnlag, for beregning av klimagassutslipp både fra ulike energivarer og fra ulike materialer og produkter. Det er også behov for veiledninger med hensyn til hvordan man skal bruke data (EPD-er, CO₂-faktorer osv.), samt sette avgrensninger i forhold til å få overkommelige men gode nok beregninger på ulike stadier i prosjekteringsprosessen.
- **Energiforsyningsløsninger.** Vurder ulike energiforsyningsløsninger med hensyn til energibruk og klimagassutslipp, effektbehov, utveksling av energi med nettet og livsløpskostnader, samt drifts- og vedlikeholdsbehov og levetider. Dette arbeidet bør startes opp fra tidlig i planprosessen. Det er behov for mer kunnskap om driftsforhold og pålitelighet for ulike teknologier, spesielt CHP og småskala vindkraftverk integrert i bebyggelse, men også for bygningsintegrert solenergi.

6. Referanser

- Andresen, I., 2008. Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergi boliger og passivhus – En introduksjon. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Andresen, I. mfl., 2010. Miljøvennlig varmforsyning til lavenergi- og passivhus. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Dokka, T.H., 2008. «Løvåshagen: Norges første lavblokkprosjekt med passivhusstandard». I *Conference Proceedings. The first Nordic Conference on Passive Houses, 2008, Trondheim*
- Dokka, T.H., mfl., 2013. «A Norwegian Zero Emission Building Definition». I *Conference Proceedings. The 6th Passive House Conference in the Nordic Countries, 2013, Gothenburg*
- Dokka, T.H., m.fl., 2009. *Fremtidens energiløsning i større boligutviklingsprosjekter – Jåtten Øst II som case*. Oslo: SINTEF Byggforsk
- Energistyrelsen, 2014. «Støtte til el fra solceller». www.ens.dk/undergrund-forsyning/el-naturgas-varmforsyning/elforsyning/elproduksjon/stotte-vedvarende-energi-3
- EU, 2010. «Directive on the Energy Performance of Buildings». ec.europa.eu/energy
- Finansdepartementet, 2014. «Skattereduktion för mikroproduktion av förnybar el». www.regjeringen.se
- Futurebuildt, 2014. www.futurebuildt.no
- Gaarsted, M., mfl., 2008. *Integrert energidesign - IED. Design og metodebeskrivelse*. Rapport. Integrert energidesign. www.nordicinnovation.org
- Gansmo, mfl., 2011. *På vei til Brøset - evaluering av det åpne parallelle oppdraget*. Trondheim: NTNU / SINTEF Byggforsk
- Hafslund (2014). «Spørsmål og svar om plusskunde-ordningen». Lastet ned 31.3.2014, fra www.hafslundnett.no/omoss/artikkelarkiv/les_artikkel.asp?artikkelid=2155
- Hestnes, A.G. og I. Andresen, 2007. *Smart prosjektering: Smarte, energieffektive bygninger*. Trondheim: Tapir Akademisk Forlag
- KEBMIN, 2014. «Aftaler om solceller». Lastet ned 31.3.2014, fra www.kebmin.dk/klima-energi-bygningspolitikk/dansk-klima-energi-bygningspolitikk/energiforsyning-effektivitet-0-1
- KRD, 2009. «Bygg for framtida». Oslo: Kommunal- og regionaldepartementet
- KRD, 2010. «Forskrift om tekniske krav til byggverk». Oslo: Kommunal- og regionaldepartementet
- Kristjansdottir, T., mfl., 2014. *A Norwegian ZEB-definition embodied emission*. Oslo: SINTEF akademisk forlag
- Marszal, A.J., mfl., 2010. «Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies». *Energy and Buildings* 43: 971-979
- NAL, 2008. «EcoBox Prosjektdatabase: Løvåshagen». Lastet ned 31.3.2014, fra www.arkitektur.no/?nid=166292&pid0=92058

Norconsult, 2012. «Ådland reguleringsplan, Skisser til utnyttelse av området». Presentasjon fra Norconsult 16. mai 2012.

Regjeringen, 2014. «Framtidens byer». www.regjeringen.no

Risholt, B., mfl., 2014. *Energikonsepter for Ådland boligområde*. The Research Centre on Zero Emission Buildings. www.zeb.no

Rodeo, 2013. *Beskrivelse skisseprosjekt – Studentboliger Øvre Sund i Drammen*. Oslo: Rodeo arkitekter

Slagstad, H., 2013. *Analysing environmental impacts from waste, water and wastewater infrastructure in the early phase planning of new urban settlements*. Trondheim, NTNU

SOU, 2013. «SOU 2013:46 – Beskatning av mikroproducerad el m.m. S. o. utredningar». www.regjeringen.se

Standard Norge, 2007. «NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse - Metode og data». Oslo

Standard Norge, 2011. «NS-EN 15978 Bærekraftige byggverk - Vurdering av bygningers miljøpåvirkning – Beregningsmetode». Oslo

Standard Norge, 2013. «NS 3700 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger – Boligbygninger». Oslo

Sørnes, K. og H. Fjeldheim, 2013. *Vurdering av alternativer for yttervegg*. Oslo: ZEB / SINTEF Byggforsk / Skanska

Trondheim kommune, 2013 Områdeplan

Trondheim kommune, 2013 "Brøset – områdeplan". Byplankontoret. Trondheim kommune. www.trondheim.kommune.no/content/1117733299/Omradeplan-for-Broset

Trondheim kommune, 2014. «Grønn by Brøset - Parallelloppdraget». www.trondheim.kommune.no/content/1117730295/Parallelloppdraget

TU, 2013. «Det skal bli enklere å få betalt for å produsere solkraft hjemme». Lastet ned 27.3.2014 fra [/www.tu.no/kraft/2013/10/17/det-skal-bli-enklere-a-fa-betalt-for-a-produsere-solkraft-hjemme](http://www.tu.no/kraft/2013/10/17/det-skal-bli-enklere-a-fa-betalt-for-a-produsere-solkraft-hjemme)

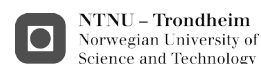
Wigenstad, T., 2010. *Miljøbyen Granås: Vurdering av energiforsyning*. Notat 006, 2010-05-21. Trondheim: SINTEF Byggforsk

Øyen, A. og S. Merlet, 2014. *Solkraftproduksjon og nullutslippsambisjon for Ådland boligområde*. Notat. 125558-RIEn-NOT-001. Oslo: Multiconsult AS

ZEB, The Research Centre on Zero Emission Buildings, 2014. www.zeb.no

The Research Centre on Zero emission Buildings (ZEB)

The main objective of ZEB is to develop competitive products and solutions for existing and new buildings that will lead to market penetration of buildings that have zero emissions of greenhouse gases related to their production, operation and demolition. The Centre will encompass both residential and commercial buildings, as well as public buildings.



Partners

NTNU
www.ntnu.no

SINTEF
www.sintef.no

Skanska
www.skanska.no

Weber
www.weber-norge.no

Isola
www.isola.no

Glava
www.glava.no

Protan
www.protan.no

Hydro Aluminium
www.hydro.com

Caverion Norge
www.caverion.no

ByBo
www.bybo.no

Multiconsult
www.multiconsult.no

Brødrene Dahl
www.dahl.no

Snohetta
www.snoarc.no

Forsvarsbygg
www.forsvarsbygg.no

Statsbygg
www.statsbygg.no

Husbanken
www.husbanken.no

Byggenæringens Landsforening
www.bnl.no

Norsk Teknologi
www.norskteknologi.no

Direktoratet for byggkvalitet
www.dibk.no

DuPont
www.dupont.com

NorDan AS
www.nordan.no

Enova
www.enova.no

VELUX
www.velux.com

Entra
www.entra.no