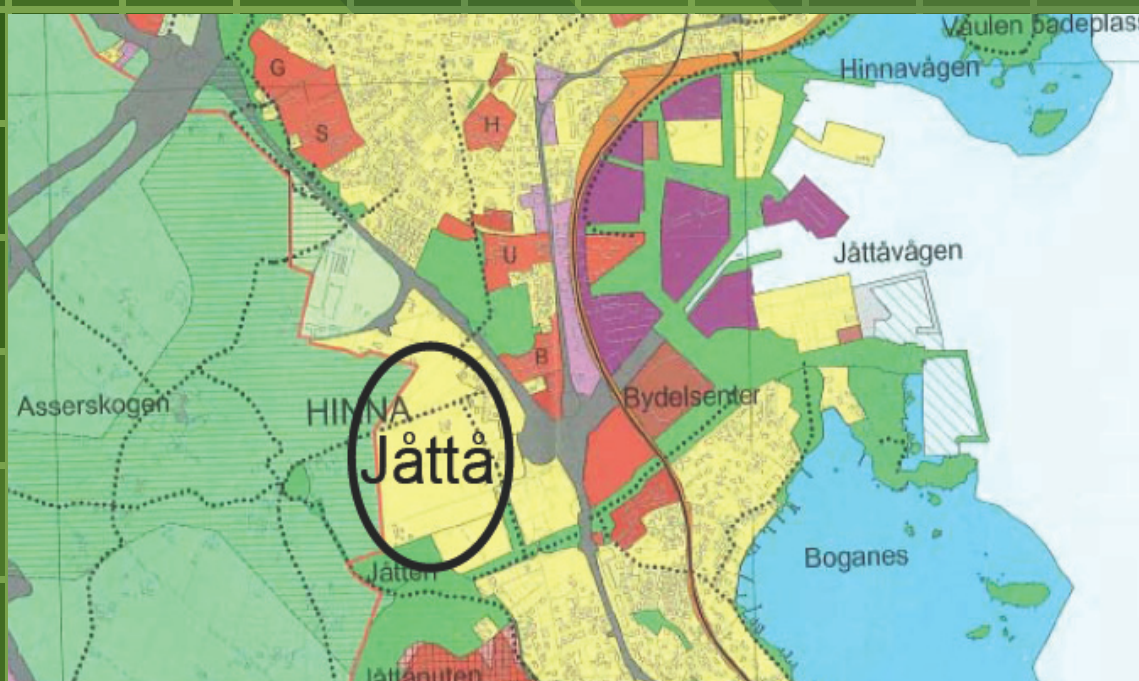


TOR HELGE DOKKA (SINTEF), TORE WIGENSTAD(SINTEF), KRISTIAN LIEN (CEOTO)

Fremtidens energiløsning i større boligutviklingsprosjekter – Jåtten Øst II som case

Prosjektrapport 35

2009



SINTEF Byggforsk

Tor Helge Dokka (SINTEF), Tore Wigenstad(SINTEF), Kristian Lien (CEOTO)

Fremtidens energiløsning i større boligutviklings- prosjekter – Jåtten Øst II som case –

Prosjektrapport nr. 35

Tor Helge Dokka (SINTEF), Tore Wigenstad(SINTEF), Kristian Lien (CEOTO)

Fremtidens energiløsning i større boligutviklingsprosjekter

– Jåtten Øst II som case –

Emneord:

Energi, boliger, solenergi og bio pellets

Energy, house, solar energy, bio pellets

Prosjektnummer: 3B008200

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1085-6 (trykt)

ISBN 978-82-536-1086-3 (pdf)

32 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g scandia

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF Byggforsk 2009

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF Byggforsk er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Sammendrag

Skanska Bolig og Jåttå Utbyggingsselskap (JUS) planlegger utbygging av 650-700 boliger i et nytt 180 dekar stort boligområde på Jåttå, i Hinna Bydel ca 9 km sør for Stavanger sentrum. Utbygger har ambisjoner om et prosjekt med meget lavt energibehov og lav miljøbelastning.

Det er i denne rapporten utredet et konsept der bebyggelsen utføres som passivhus, og hvor varmebehovet dekkes av fornybar energi. Passivhus har et oppvarmingsbehov som ikke overskrider 15 kWh/m²år. Med et så lavt energibehov er det mulig med en drastisk forenkling av varmesystemet i boligene, og dermed også en betydelig kostnadsreduksjon. Passivhuskonseptet innebærer meget godt isolerte konstruksjoner uten kuldebroer, superisolerte vinduer, en bygningskropp uten luftlekkasjer, samt et balansert ventilasjonssystem med høyeffektiv varmegjenvinning.

For å dekke det resterende varmebehovet med fornybar energi foreslås det en kombinasjon med solfangere og biopelletskjel som dekker hele varmebehovet (både romoppvarming og tappevannsoppvarming). Solfangere plasseres lokalt på hvert bygg, og med varmeakkumulering i hver blokk/bygg. Biopelletskjel plasseres i en energisentral for hele utbyggingen, og distribuerer varme i et lokalt nærvarmenett. Når ikke solvarme kan dekke varmebehovet, fases varme fra biopelletkjelen inn som såkalt spisslast. Solvarmen dimensjoneres så den kan dekke varmebehovet de fire varmeste månedene (primært tappevann).

Økonomiske beregninger viser at nærvarme-løsningen med kombinasjonen sol-bio er en konkurransemessig god løsning sammelignet med andre varmeløsninger inkludert fjernvarme. Denne løsningen har også desidert laveste klimagassutslippet (CO₂) sammenlignet med alternative løsninger som er studert.

Mars, 2009

Jørn Brunsell

Tor Helge Dokka

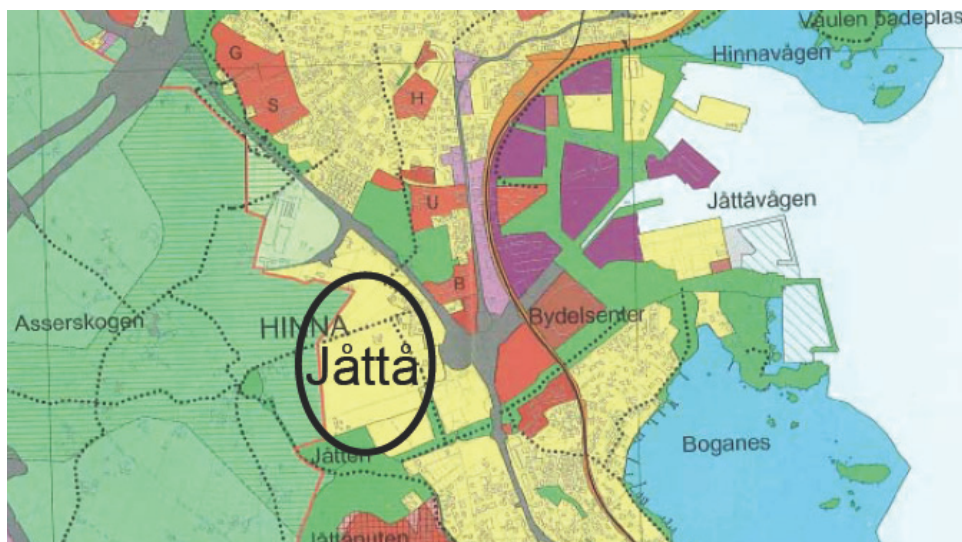
INNHALDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn og rammer for utredningen	7
2	Passivhuskonseptet	11
3	Energi- og effektbehov, termisk komfort	26
4	Lokal energiproduksjon og intern teknisk infrastruktur.....	32
5	Energisentral og nærvarmeanlegg	47
6	Mulig driftsmodeller	53
7	Økonomi.....	55
8	CO ₂ utslipp fra ulike oppvarmingsløsninger	62
	Referanser	66
	VEDLEGG A Inndata og detaljerte energiresultater for byggmodeller....	67
	VEDLEGG B Økonomisk parametre i sin helhet	79

1 Bakgrunn og rammer for utredningen

1.1 Jåtten Øst II

Skanska Bolig og Jåttå Utbyggingsselskap (JUS) planlegger utbygging av 650-700 boliger i et nytt 180 dekar stort boligområde på Jåttå, i Hinna Bydel ca 9 km sør for Stavanger sentrum. Området, som har fått navnet Jåttå Øst II utbyggingsområde, ligger i en svak nord/østvendt skråning like ovenfor Jåttåvågen, og er i kommuneplanen avsatt til boligformål. Det kan likevel også bli aktuelt med utbygging av noe næringsareal på området.



Figur 1-1 Utbyggingsområdet.

Status for prosjektet er at det er gjennomført arkeologiske undersøkelser og varslet oppstart av reguleringsarbeid. En arkitektkonkurranse er gjennomført, og Asplan Viak som vinner av konkurransen er engasjert til å lage en reguleringsplan for området.

Skanska/JUS ønsker at et energiprojekt for utbyggingen skal bidra til at boligene i området får et svært lavt energiforbruk, og at anvendt energi er mest mulig miljøriktig. Dette gjennom løsninger som er innovative, og som bidrar til et spennende miljøprosjekt. Det er også uttrykt ønske om at sentrale organisasjoner/aktører i bransjen involveres i prosjektet, og at prosjektet også tilfører de ny kunnskap.

Styret i selskapet har følgende ambisjoner for utbygging av boligområdet:

1. Alle nye boliger og eventuelle andre bygninger (barnehage, mindre næringsareal) i utbyggingsområdet skal ha dekket alt termisk behov fra sol-bio basert nærvarmeanlegg.
2. Alle bygninger skal bygges med svært høy energieffektivitet .
3. Fra et beboer standpunkt skal det vurderes fordeler og ulemper ved ulike eierskap for nærvarmeanlegget.
 - a. Anlegget eiet og driftet av beboere
 - b. Anlegget eiet av beboere med driftet på åremål av profesjonell energileverandør
 - c. Anlegget eiet og driftet av profesjonell energileverandør.

Nærvarmeanlegget skal vurderes utbygd i etapper med flere "energistasjoner" både av hensyn til driftssikkerhet, mulighet for høy effektivitet på de "energistasjoner" som er i bruk også sommerstid og en investering som går i takt med utbyggingen av området.

4. Kostnadssiden ved å produsere elektrisitet ved sol-bio basert nærvarmeanlegg (kogenerering) skal vurderes. Det skal legges stor vekt på om en slik løsning tjener interessene til de som skal bo i området.
5. Det skal gjøres en vurdering av varmepumpeløsning for å ta ut energi fra gråvann fra boliger og overføre denne energi til nærvarmeanlegget, det skal legges stor vekt på hvordan de driftsmessige utfordringer med en slik løsning kan håndteres.

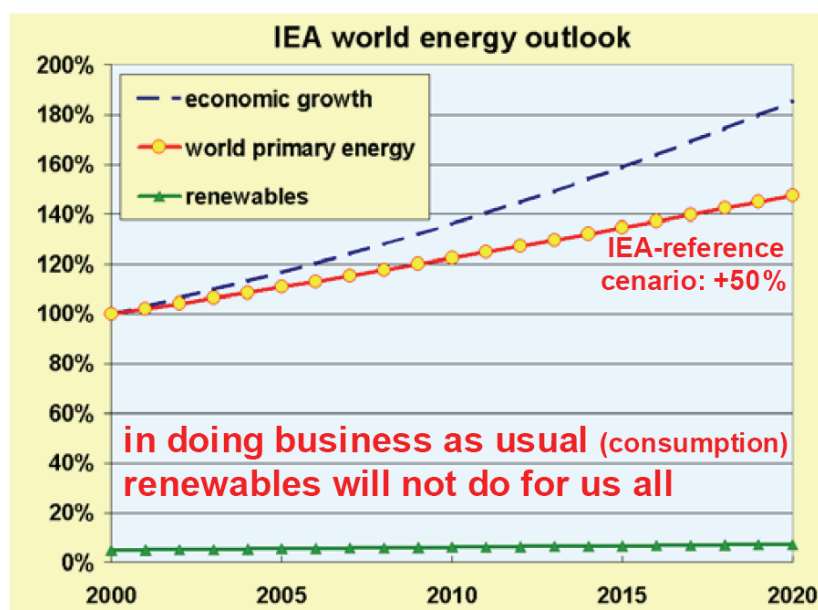
Det er styrets forventning at energiløsningene som velges på Jåtten skal være riktige i forhold til å redusere global oppvarming, samtidig som løsningene også skal gi beboerne en normal levetidskostnad med hensyn til energiforsyning.

Skanska bolig/JUS ønsker at SINTEF Byggforsk gjennomfører en mulighetsstudie på ulike energiløsninger for prosjektet. Dette oppdraget er også støttet av Husbanken sentralt siden det vil ha allmenn interesse for andre lignende utbyggingsområder i Norge. Resultatet fra studien skal derfor kunne ut i en åpen rapport, som skal være tilgjengelig for alle.

1.2 Energisituasjonen i 2030, klimautfordringen og overordnet energistrategi

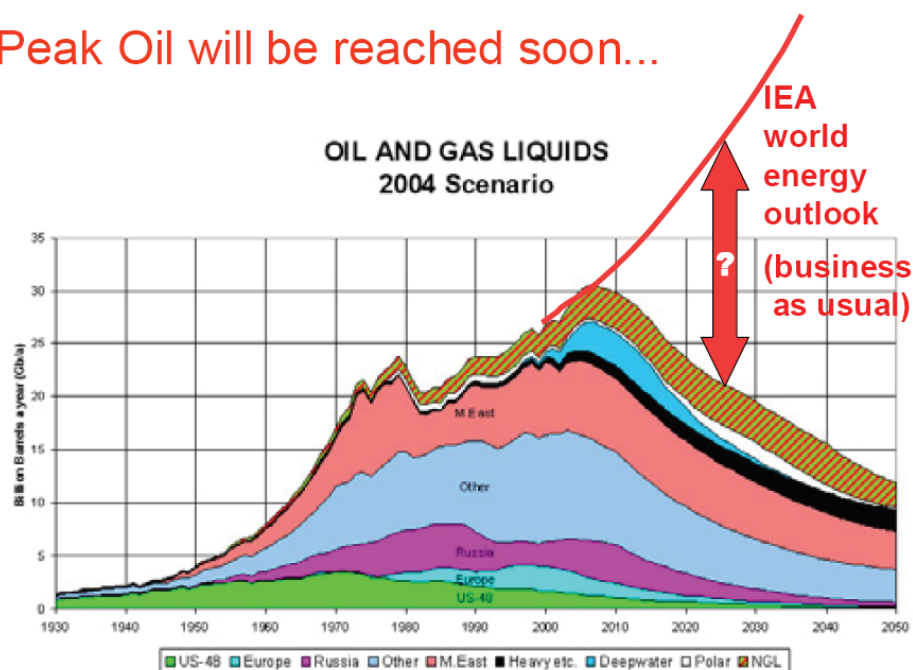
Boligene som trolig skal bygges på Jåtten vil hovedsakelig bli bygget mellom 2010 og 2020 og være typisk i bruk fra 50 til 100 år. Det er derfor lite fremtidsrettet å planlegge boligene etter energisituasjonen i 2007, selv om dette er vanlig i dag. Mange av valgene man gjør ved nybygging vil gjerne bestå i hele byggets levetid. En mer fornuftig strategi er derfor å planlegge boligene etter forventet energisituasjon i 2030-2040, eller i et enda lengre tidsperspektiv.

Det internasjonale energibyrået (IEA) lager årlige prognoser for forventet energibehov i verden, og hvordan dette energibehovet sannsynligvis kan dekkes av ulike energikilder. Figur 1-2 viser forventet behov for primærenergi fram til 2020. Primærenergi er enkelt sagt den energimengden i form av olje, gass, kull, bio, etc. man putter inn i kraftverkene. Figur 1-3 viser forventet energiproduksjon fram til 2050. Figurene viser at det vil bli meget sterkt press på verdens energikilder, uansett utbygging og innfasing av fornybare energikilder.



FIGUR 1-2 Forventet utvikling av energibehovet fra 2000 til 2020.

Peak Oil will be reached soon...

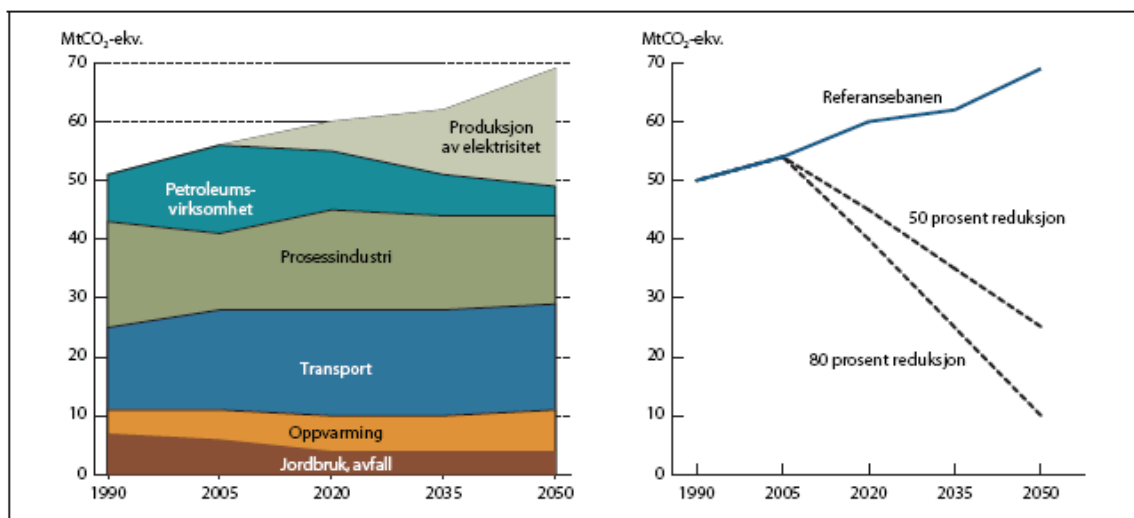


FIGUR 1-3 Forventet energiproduksjonsutvikling fra 2000 til 2050.

IEA estimerer i sitt referanse scenario at man forventer en økning av klimagassutslippene med 60 % fra 2003 til 2030 [1]. Samtidig uttaler Lavutslippsutvalget [2]:

"Selv en relativt svak målsetting om å stabilisere klimagasskonsentrasjonen i atmosfæren på ca. 550 ppmv, med ventet temperaturøkning på mellom 3 og 4 grader C, tilsier altså at Norge, sammen med andre industrialiserte land, bør redusere sine utslipp med om lag to tredjedeler innen midten av dette århundre."

Figur 1-4 viser forventet klimagassutslipp i Norge hvis vi ikke foretar oss noe spesielt (business as usual), sammenlignet med såkalte lavutslippsbaner med hhv. 50 og 80 % reduksjon i klimagassutslipp. Det er selvsagt en formidabel utfordring å få til en slik reduksjon i klimagassutslippene, noe som krever drastiske tiltak på en rekke områder. Dette, sammen med ressurstilgangen på energi, vil måtte føre til betydelig høyere energipriser i dag, både på mellomlang (2015-2020) og på lang sikt (2030-2050). Dette må også føre til betydelige politiske incentiver for å utvikle lav-karbonløsninger (les: løsninger med lave klimagassutslipp).



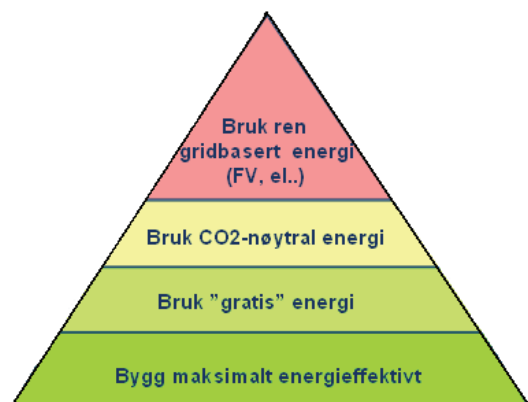
FIGUR 1-4 Forventet klimagassutslipp i Norge med referanse-scenarie (business as usual), sammenlignet med 50 og 80 % utslippsreduksjon. Kilde: Lavutslippsutvalget/SSB [2].

Fremtidsrettede boliger og boligutbyggingsområder må derfor (se figur 1-5):

- Bygges maksimalt energieffektivt, dvs. ha et minimalt behov for varme og elektrisitet.
- Bruke mest mulig "gratis" energi som sol (aktiv og passiv utnyttelse), vind og omgivelsesenergi (luft, jord, berg, vann, etc. oftest ved bruk av varmepumpeteknologi)
- Dernest bruke CO₂-nøytral energi i form av bioressurser (flis, pellets, bioetanol, biogass..)
- Og til slutt bør det resterende (lille) energibehovet dekkes av så ren gridbasert energi som mulig. Dette kan for eksempel være elektrisitet og eventuelt varme(fjern-/nærvarme) med grønne sertifikater slik de har innført i Sverige.

Slike boliger vil redusere klimagassutslippene drastisk og ha meget lave driftsutgifter. De vil selvsagt være noe dyrere å bygge, men vil lett kunne forsvares ut fra fremtidig høye energipriser, og at slike boliger trolig vil bli meget etterspurt i fremtidens boligmarked. Fremtidige avgifts- og incentivregimer for å redusere klimagassutslipp vil også sannsynligvis favorisere slike boliger.

I fremtiden vil vi trolig også se mer integrerte løsninger for boligutbygging og transport. Dette gjelder både plassering og utforming av boligområder i forhold til kollektivtrafikk, kollektive billøsninger, men også løsninger der biler og boliger utveksler energi. For eksempel vil såkalte plug-in hybridbiler som går på biodrivstoff, både kunne lades opp via boligens elgrid (el fra for eksempel solceller), men også overføre energi til bygget i kortere perioder (vinter). Men slike scenarier er ikke behandlet i denne rapporten.



FIGUR 1-5 "Quattro energetica" strategi for å redusere energibehov og klimagassutslipp drastisk.

2 Passivhuskonseptet

2.1 Den tyske passivhus-standard

Passivhus-konseptet, opprinnelig utviklet av Dr. Wolfgang Feist og Passivhus-instituttet [3], har fått meget stor utbredelse i Sentral-Europa, særlig i Tyskland og Østerrike. Men det er også bygget en rekke passivhusprosjekter i andre land som Sveits, Sverige, Frankrike, Belgia og Nederland. Mer enn 6500 passivhus er bygget så langt, med meget imponerende resultater dokumentert i bl.a. EU-prosjektet CEPHEUS [4]. Et pågående EU-prosjekt, PEP [5], har som mål at passivhus-konseptet skal spres og få stor utbredelse også i andre EU og EØS land.

De viktigste kriteriene i Passivhus-konseptet er:

- Årlig oppvarmingsbehov skal ikke overstige $15 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
- Maksimalt effektbehov til oppvarming skal ikke overstige 10 W/m^2
- Primærenergibehovet skal ikke overstige $120 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

Det årlige oppvarmingsbehovet beregnes ut fra en internvarme i bygget på 2.1 W/m^2 , som er meget lavt sammenlignet med tall som vanligvis brukes i Norge. Primærenergibehovet regnes ut fra såkalte primærenergifaktorer for ulike energikilder, for eksempel brukes en faktor på ca. 2.5 for elektrisitet siden det krever ca. 2.5 deler primærenergi for å få ut 1 del elektrisitet fra et typisk varmekraftverk i sentral-Europa. Det betyr i praksis at det ikke er mulig å dekke oppvarmingsbehovet med elektrisitet, selv om varmebehovet er meget lavt. Det er samme krav for alle boligtyper (eneboliger, rekkehus og blokker) og andre typer bygg (kontorer, skoler, barnehager, etc.).

Passivhuskriteriene oppnås vanligvis med følgende tiltak:

- Passiv utnyttelse av sol. Dette oppnås med at mye av vindusarealet vender mot sør ($\pm 30^\circ$).
- Så kompakt bygningskropp som mulig, for å redusere arealet mot det fri, og dermed redusere varmetapet.
- Superisolert bygningskropp, med U-verdier under $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ og helst ned mot og under $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vegg, tak, gulv).
- Kuldebrofrie ytterkonstruksjoner, med kuldebroverdier under 0.01 W/mK (regnet med utvendig areal).
- Superisolerte vinduer, med total U-verdi for vinduskonstruksjon lik eller under $0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- En klimaskjerm med minimerte luftlekkasjer, med et lekkasjetall under 0.6 oms/t (ca. 7 ganger bedre enn dagens norske forskriftskrav for småhus).
- Balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning, med virkningsgrad på minst 75 % (sertifisert verdi).
- Det må også brukes energieffektive vifter, med spesifikk vifteeffekt: $\text{SFP} < 1.5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$
- Ofte brukes forvarming av ventilasjonsluft i "jordvarmeveksler", dvs. føring av friskluften gjennom rør som er gravd ned i grunnen før den kommer til ventilasjonsaggregatet. Det finnes også glycolbaserte rør i grunnen som forvarmer friskluften før den går inn i ventilasjonsaggregatet. Dette kan redusere eller eliminere behovet for energikrevende avriming på motstrømsvarmevekslere som brukes i stor utstrekning i tyske og østerrikske passivhus.
- Pga. det lave effektbehovet til oppvarming brukes vanligvis det balanserte ventilasjonsanlegget til å varme opp huset, og et konvensjonelt oppvarmingsanlegg kan derfor kuttes ut.

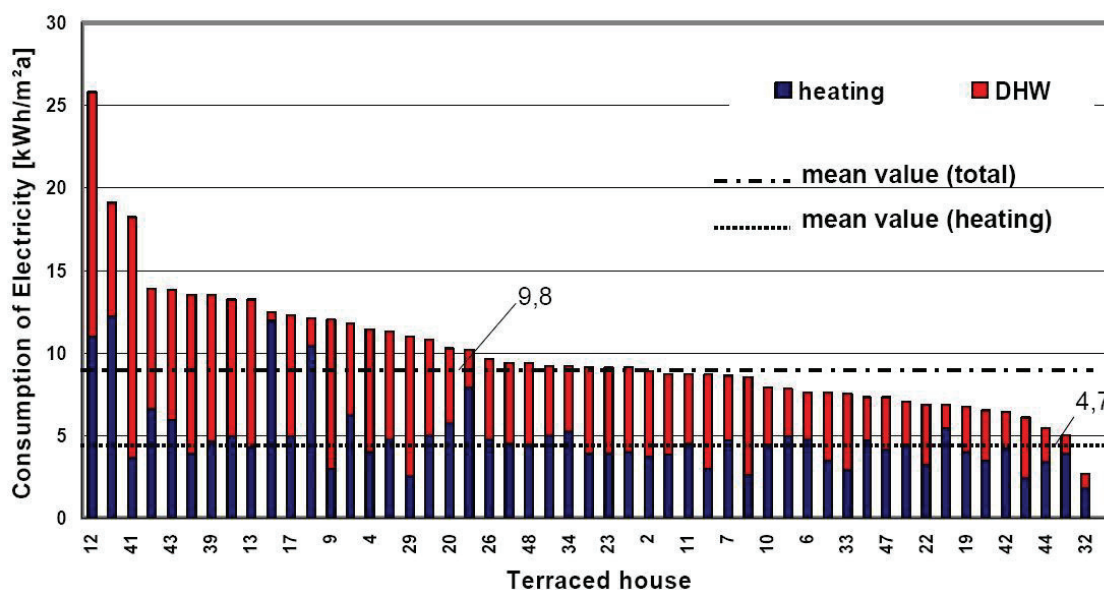


FIGUR 2-1 Eksempel på passivhus fra Ölsbunds i Østerrike.

I tillegg skal det brukes energieffektive hvitevarer og belysning (A-merkede produkter), for å minimere behovet for elektrisitet. Det resterende varmebehovet til tappevann og romoppvarming dekkes ofte av kompakte varme-pumpeenheter som tar varme fra avtrekksluften, og/eller termiske solfangere.

Det lave resterende energibehovet (elektrisitet og termisk behov) kan i teorien dekkes av lokalt produsert fornybar energi (vindmøller, biobrenselkjel, eller lignende), selv om det foreløpig ikke er så vanlig.

Figur 2-2 viser målt elektrisitetsforbruk til oppvarming og tappevannsoppvarming i et rekkehusprosjekt i Stuttgart [6]. Gjennomsnittlig elforbruk til oppvarming er meget lave 4.7 kWh/m²år. Omtrent det samme går til tappevannsoppvarming. Dvs. kjøpt energi til romoppvarming og tappevann er ekstremt lavt, ca. 10 kWh/m²år.



FIGUR 2-2 Målt elektrisitetsforbruk til oppvarming og tappevann i et tysk rekkehusprosjekt .

2.2 Fremtidig norsk passivhus standard

Det er flere forhold som gjør at det er problematisk å brukes den tyske passivhus-standarden i Norge og Norden uten visse modifikasjoner:

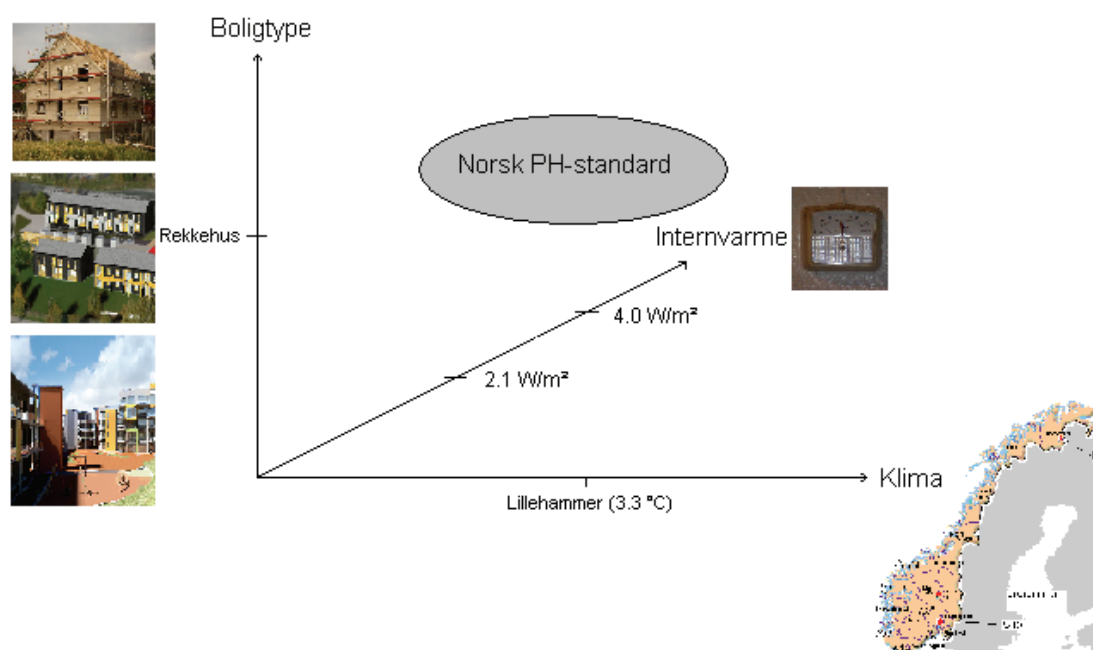
- I deler av Norge (og Norden) er det til dels mye kaldere vintre, noe som gjør praktisk umulig å bygge passivhus i deler av landet med dagens teknologi.
- En stor andel av boligene i Norge er eneboliger, og det er problematisk å bygge eneboliger i Oslo-klima eller kaldere klima med den tyske definisjonen. Dette gjelder særlig for mindre eneboliger, dvs. fra ca. 200 m² BRA og mindre.
- Både pga. av historisk lav elektrisitetspris og pga. av lengre mørketid i Norge sammenlignet med sentral-Europa, er det høyere internvarme i norske boliger sammenlignet med tyske boliger
- Primærenergifaktorer som brukes i sentral-Europa kan ikke brukes uten videre for den norske- og nordiske elektrisitetsforsyningen, da denne i liten grad er basert på varmekraftverk.
- Kravet til luftskifte er høyere i Norge enn i Tyskland, og dette gir et større varmetap.

Det er nå satt i gang ett norsk standardiseringsarbeid hos Standard Norge, som skal munne ut i en Norsk Standard for sertifisering av Passivhus og Lavenergiboliger[7]. Denne er planlagt ferdigstilt tidlig i 2009. Det er også satt i gang lignende arbeid i Sverige og Danmark, og det arbeides også med å samordne slik at definisjonene i de ulike nordiske landene er så like som mulig. Men det er også ønske om å holde seg så nærme den tyske definisjonen så langt som mulig.

Basert på tidligere arbeider [8], og diskusjonen som pågår om en nordisk definisjon[7] er det sannsynlig at en norsk standard for passivhus vil baseres seg på følgende:

- Internvarmen (fra lys, utstyr og personer) man regner med i energiberegningene vil anslagsvis ligge i området 3-4 W/m².
- For steder hvor årsmidlere utetemperatur er over ca. 5 °C, vil det opprinnelige kriteriet på 15 kWh/m²år i oppvarmingsbehov fortsatt kunne brukes. Dvs. for store deler av østlandet, sørlandet, sørvestlandet og vestlandet vil denne definisjonen fortsatt kunne brukes. Dette utgjør pr. i dag anslagsvis 90 % av bygningsmassen i Norge, dvs. kun ca. 10 % av bygningsmassen ligger i områder hvor årsmiddeltemperaturen er lavere enn 5 °C.
- Det vil muligens bli et litt høyere minstekrav (Qoppv > 15 kWh/m²år) for eneboliger under 200 m² (BRA).
- Det vil sannsynligvis bli tilnærmet samme krav til bygningsstandard/energiteknisk standard, men et justert minstekrav for energi- og effekt i kaldere strøk av landet.
- Det underliggende kravet til effektbehovet (10 W/m²), slik at alt varmebehov kan dekkes av luftvarme via ventilasjonsanlegget vil ha mindre fokus. I Norge vil forenklede/kosteffektive vannbårne systemer være mer aktuelt, siden man vanligvis har et brukerkrav til gulvvarme i våtrom.
- Det vil trolig bli et omformulert norsk/nordisk krav til "primærenergi" som vil sette et minimumskrav til bruk av fornybar energi. Foreløpig er det foreslått at CO₂/klimagassutslipp kan brukes, og at kravet til CO₂-utslipp ikke overstiger 20-25 kg/m²år.

I de etterfølgende analysene er det lagt til grunn at internvarmen er 4 W/m² ved beregning av årlig oppvarmingsbehov. For dimensjonerende effektbehov til oppvarming er det regnet med en internvarme på 3 W/m². For energiberegningene er det ellers brukt regler i ny norsk energiberegningsstandard: NS 3031 [9].



FIGUR 2-3 Illustrerer at mulig norsk Passivhus-definisjon kan være avhengig av nivået på internvarmen i boligene, klima og type bolig.

2.3 Typiske boligtyper for Jåtten øst II, passivhus-spesifikasjon

Figur 2-4 viser forventet antall boliger av ulike typer. Totalt er det planlagt 700 boliger på området, med et totalt bruksareal på ca. 60 000 m². Det er her skilt på rekkehus, boligblokker fra 3 til 6 etasjer høye og terrassehus. Antall boliger av ulike typer er vist i tabell 2-1.



FIGUR 2-4 Foreløpig bebyggelsesplan for området, med vist antall boliger for ulike områder, og anslåtte etasjer for bebyggelsen. Illustrasjon: Asplan Viak.

TABELL 2-1 Antall boliger av ulik type for de 6 områdene vist i figur 2-4..

Område	Rekkehus	Boligblokk	Terrassehus	Totalt
A	55	100	0	155
B	0	128	0	128
C	100	190	0	190
D	0	140	0	140
E	30	25	0	55
F	0	0	32	32
SUM	185	483	32	700

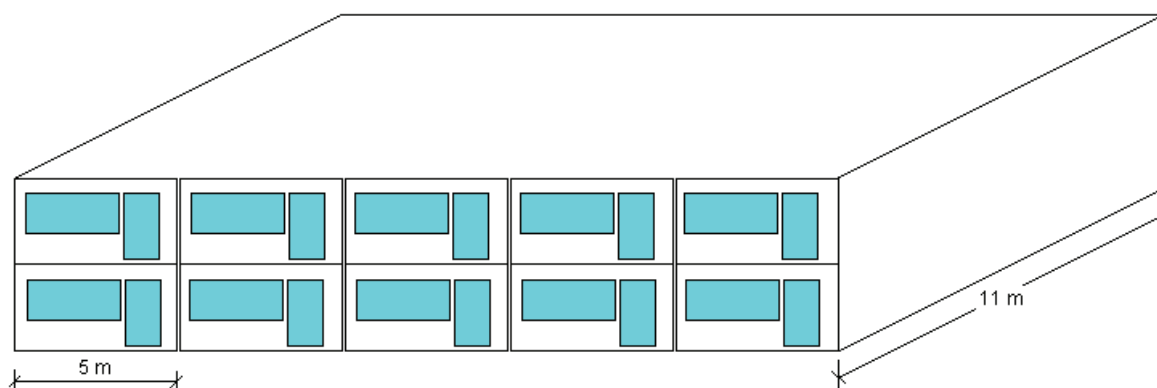
TABELL 2-2 Antall boliger for ulike boligtyper, med tilhørende totalt areal (BRA).

Boligtype	Antall boliger	Snittstørrelse	Antall m ² BRA
Rekkehus	185	100 m ²	18 500
Boligblokk	483	80 m ²	38 640
Terrassehus	32	90 m ²	2 880
SUM	700		60 020

Modeller av representative rekkehus, boligblokker og terrassehus brukt videre i analysen er beskrevet i 2.31-2.3.3.

2.3.1 Rekkehus

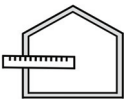
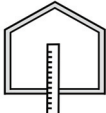
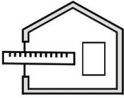
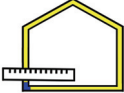
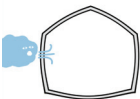
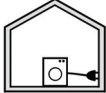
Rekkehusene, merket med gul farge i figur 2-4, varierer fra 4 til 8 leiligheter i hver rekke. Det er i energiberegningene tatt utgangspunkt i en rekkehus-rekke med 5 leiligheter som er 2 etasjer høye. Hver etasje er på 50 m², totalt 100 m². Dette er som snitt noe mindre kompakt enn det som ligger i foreløpig bebyggelsesplan, men er konservativt med hensyn til energiberegningene.


FIGUR 2-5 Rekkehus-modell brukt i energiberegningene.

Tabell 2-3 angir hvilke energitekniske tiltak som er nødvendig for å nå passivhusstandarden¹. Det er selvsagt andre kombinasjoner av tiltak som også vil tilfredsstille passivhusstandarden, men tiltakene i tabell 2-3 er satt ut fra en kostnads optimal vurdering. Det er også skissert mulige teknologiske løsninger i tabellen for å møte den oppsatte kravspesifikasjonen. Som det fremgår kan passivhus-standarden oppnås med relativt moderate tiltak for rekkehusene.

¹ Antatt norsk/nordisk passivhusstandard i henhold til kapittel 2.2

TABELL 2-3 Nødvendig spesifikasjon for rekkehuset for å nå passivhuskriteriet på 15 kWh/m²år.

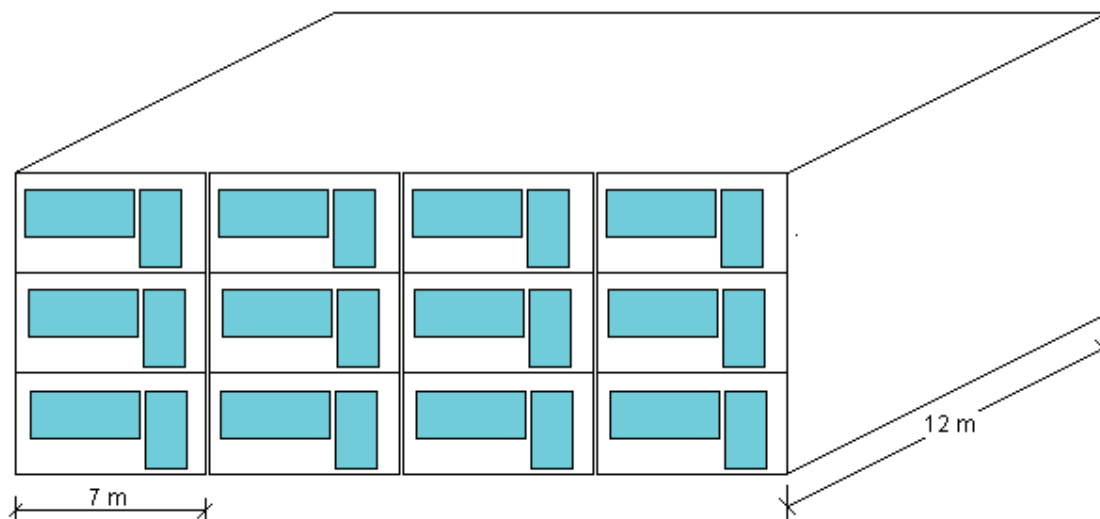
	Spesifikasjon	Krav	Mulig løsning
	U-verdi yttervegg	0.14 W/m ² K	Dobbeltvegg med totalt 300 mm isolasjon
	U-verdi gulv	0.09 W/m ² K (30 cm iso)	Gulv på grunn med 300 markisolasjon
	U-verdi yttertak	0.10 W/m ² K	Sperre- eller åstak med I-profiler, 450 mm isolasjon
	U-verdi vinduer	0.80 W/m ² K	3 lags glass, argongass, 2 lavemisjonsbelegg, superspacer og isolert karm/ramme.
	Normert kuldebroverdi	0.015 W/m ² K	Neglisjerbare kuldebroer med minimum 200 mm overdekning over tunge bærekonstruksjoner.
	Lekkasjetall	0.6 oms/t	Prosjekterte detaljer, god KS av byggeprosess, tetthetsmåling(er).
	Virkningsgrad gjenvinner	78 %	Individuelle aggregater med roterende gjenvinner for hver leilighet, med sertifisert virkningsgrad
	Belysning	1.3 W/m ² (11 kWh/m ² år)	Basert på belysningsanlegg med enkelt styringssystem (ute-inne bryter) + hovedsakelig lavenergi-belysning (sparepærer/LED)
	Teknisk utstyr	2 W/m ² (17.5 kWh/m ² år)	Basert på A-merket hvitevarer og brunevarer + styringssystem som slår av ikke-kritiske elkretser med Ute-Inne bryter.
	Fornybar energi	Alt termisk behov dekkes av lokal fornybar energi	Solfangere dekker 50 % av varmtvannsbehov og 15 % av oppvarmingsbehovet, biopelletsanlegg dekker resterende termisk behov

I vedlegg A er det gitt mer detaljerte inndata brukt i energiberegningene.

2.3.2 Leilighetsblokk

Leilighetsblokker, merket med grønn og blå farge i figur 2-4 er 3-6 etasjer høye, og varierer fra ca. 10 til ca. 30 leiligheter pr. blokk. Det er i energiberegningene tatt utgangspunkt i en 3 etasjers blokk med totalt 12 leiligheter,

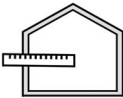
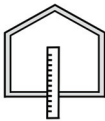
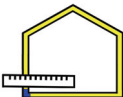
hver på 80 m² BRA. De fleste blokkene er planlagt fra 4-6 etasjer, og modellen er også i dette tilfellet mindre kompakt enn snittet i bebyggelsesplanen.



FIGUR 2-6 Modell av leilighetsblokk med 12 leiligheter brukt i energiberegningene.

Tabell 2-4 angir en mulig kombinasjon av tiltak som er nødvendig for å nå passivhusstandarden². Ikke overraskende nås passivhusstandarden med en kravspesifikasjon som er noe lavere enn rekkehuset, pga. større kompaktet i bygningskroppen. Krav til U-verdier for vegg, tak og gulv er kun noe høyere enn nye byggeforskrifter av 2007 (obligatoriske fra 2009).

TABELL 2-4 Nødvendig spesifikasjon for leilighetsblokken for å nå passivhuskriteriet på 15 kWh/m²år.

	Spesifikasjon	Krav	Mulig løsning
	U-verdi yttervegg	0.15 W/m ² K	200 mm bindingsverk med 50 mm utlekting innvendig og utvendig, med totalt 300 mm isolasjon
	U-verdi gulv	0.11 W/m ² K	Gulv på grunn med 250 markisolasjon
	U-verdi yttetak	0.12 W/m ² K	Sperre- eller åstak med I-profiler, 350 mm isolasjon
	U-verdi vinduer	0.80 W/m ² K	3 lags glass, argongass, 2 lavemisjonsbelegg, superspacer og isolert karm/ramme.
	Normert kuldebroverdi	0.015 W/m ² K	Neglisjerbare kuldebroer med minimum 200 mm overdekning over tunge bærekonstruksjoner

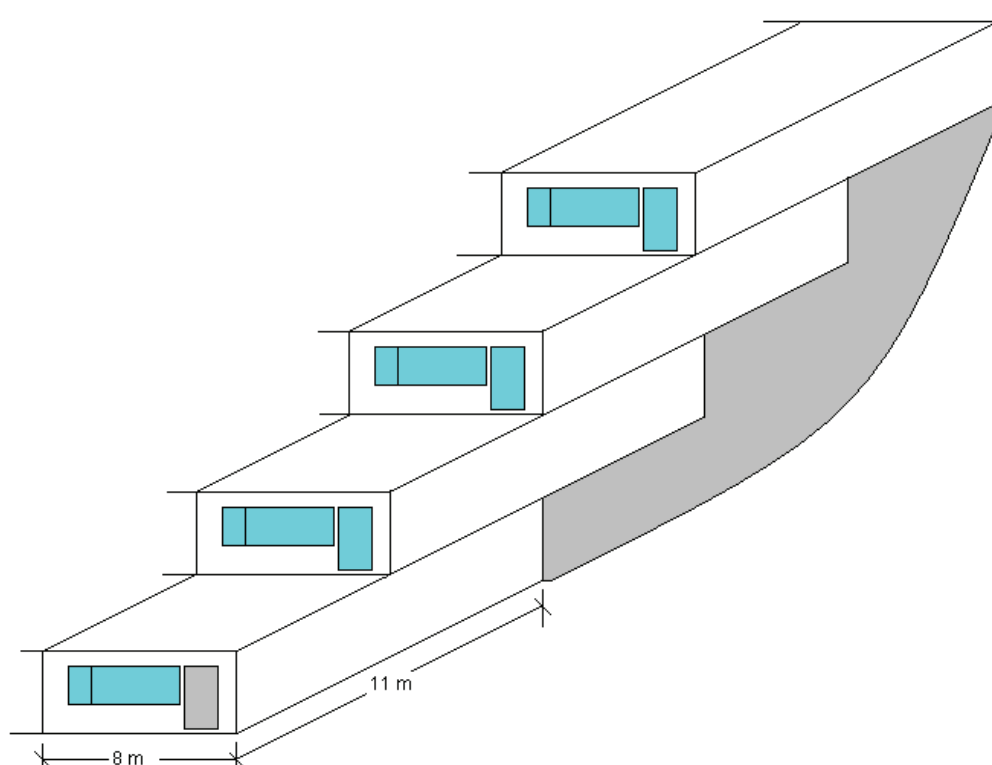
² Antatt norsk/nordisk passivhusstandard i henhold til kapittel 2.2

	Spesifikasjon	Krav	Mulig løsning
	Lekkasjetall	0.6 oms/t	Prosjekterte detaljer, god KS av byggeprosess, tetthetsmåling(er).
	Virkningsgrad gjenvinner	78 %	Sentralt aggregat med roterende gjenvinner for, med sertifisert virkningsgrad
	Belysning	1.3 W/m ² (11 kWh/m ² år)	Basert på belysningsanlegg med enkelt styringssystem (ute-inne bryter) + hovedsakelig lavenergi-belysning (sparepærer/LED)
	Teknisk utstyr	2 W/m ² (17.5 kWh/m ² år)	Basert på A-merket hvitevarer og brunevarer + styringssystem som slår av ikke-kritiske elkretser med Ute-Inne bryter.
	Fornybar energi	Alt termisk behov dekkes av lokal fornybar energi	Solfangere dekker 50 % av varmtvannsbehov og 15 % av oppvarmingsbehovet, biopelletsanlegg dekker resterende termisk behov

I vedlegg A er det gitt mer detaljerte inndata brukt i energiberegningene.

2.3.3 Terrassehus

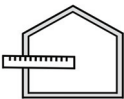
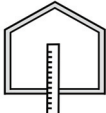
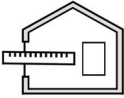
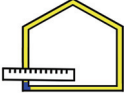
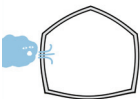
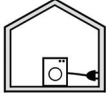
Terrassehusene, merket med oransje- og gulfarge i figur 2-4. Det er i energiberegningene tatt utgangspunkt i en fireetasjers terrassehus, der det er regnet på endeleiligheter (gavlvegg mot nord). Hver leilighet er på 88 m² BRA. Dette anses som rimelig representativt for terrassehusene i foreløpig bebyggelsesplan.



FIGUR 2-7 Modell av terrassehus brukt i energiberegningene.

Tabell 2-5 angir en mulig kombinasjon av tiltak som er nødvendig for å nå passivhusstandarden på terrassehusene. Som vi ser må vi ha en relativ stram kravspesifikasjon for å nå passivhus-nivået på terrassehusene. Dette fordi husenes varmetapsareal er relativt større enn på leilighetsbygget og rekkehusene.

TABELL 2-5 Nødvendig spesifikasjon for terrassehus for å nå passivhuskriteriet på 15 kWh/m²år.

	Spesifikasjon	Krav	Mulig løsning
	U-verdi yttervegg	0.12 W/m ² K	Dobbeltvegg-løsning med totalt 350 mm isolasjon
	U-verdi gulv	0.08 W/m ² K	Gulv på grunn med 350 mm isolasjon
	U-verdi yttertak	0.09 W/m ² K	Sperre- eller åstak med I-profiler, 500 mm isolasjon
	U-verdi vinduer	0.80 W/m ² K	3 lags glass, argongass, 2 lavemisjonsbelegg, superspacer og isolert karm/ramme.
	Normert kuldebroverdi	0.02 W/m ² K	Små kuldebroer med minimum 150 mm overdekning over tunge bærekonstruksjoner
	Lekkasjetall	0.6 oms/t	Prosjekterte detaljer, god KS av byggeprosess, tetthetsmåling(er).
	Virkningsgrad gjenvinner	82 %	Individuelle aggregater med roterende gjenvinner for hver leilighet, med sertifisert virkningsgrad
	Belysning	1.3 W/m ² (11 kWh/m ² år)	Basert på belysningsanlegg med enkelt styringssystem (ute-inne bryter) + hovedsakelig lavenergi-belysning (sparepærer/LED)
	Teknisk utstyr	2 W/m ² (17.5 kWh/m ² år)	Basert på A-merket hvitevarer og brunevarer + styringssystem som slår av ikke-kritiske elkretser med Ute-Inne bryter.
	Fornybar energi	Alt termisk behov dekkes av lokal fornybar energi	Solfangere dekker 50 % av varmtvannsbehov og 15 % av oppvarmingsbehovet, biopelletsanlegg dekker resterende termisk behov

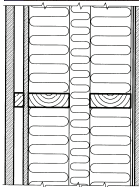
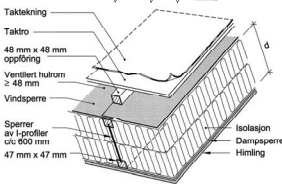
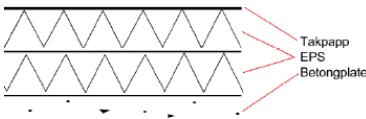
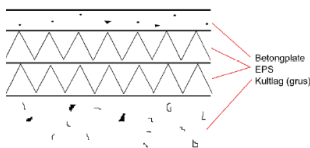
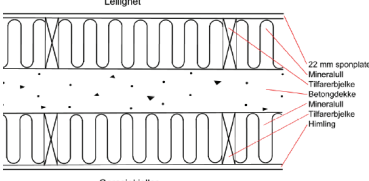
I vedlegg A er det gitt mer detaljerte inndata brukt i energiberegningene.

2.4 Komponenter og tekniske løsninger for å nå passivhus spesifikasjoner

2.4.1 Ekstraisolerte konstruksjoner

Ekstraisolerte konstruksjoner som tilfredsstiller passivhuskriteriene i det enkelte tilfellet vil kunne oppbygges på en rekke måter. Ulike former for murkonstruksjoner eller betongkonstruksjoner brukes i stort omfang i passivhus i Tyskland. I Sverige, Norge og delvis Østerrike er trekonstruksjoner mye brukt i passivhus. Tabell 2-6 viser noen mulige konstruksjonsløsninger for yttervegg, yttertak og gulv som vil kunne tilfredsstille passivhuskriteriene.

TABELL 2-6 Konstruksjonsløsninger for ekstraisolerte konstruksjoner som kan nå passivhusspesifikasjoner

Bygningsdel	Eksempel på løsninger	U-verdi
Yttervegg	Forskalingsformer i EPS (bilde: www.isorast.no)  Dobbeltveggløsning (NBI Anvisning 40, 2004) 	0.10 – 0.14 W/m²K 0.08 – 0.14 W/m²K
Yttertak	Sperretak med I-profiler (NBI Byggetal 417.013)  Trykkfast isolasjon på betongdekke m. papptekking 	0.08 – 0.15 W/m²K 0.08 – 0.15 W/m²K
Gulv	Gulv på grunn med støpt plate over trykkfast isolasjon.  Gulv mot garasjekjeller, isolert både over og under betongdekke 	0.07 – 0.15 W/m²K* 0.08 – 0.15 W/m²K

* U-verdier inkludert varmemotstand i grunnen.

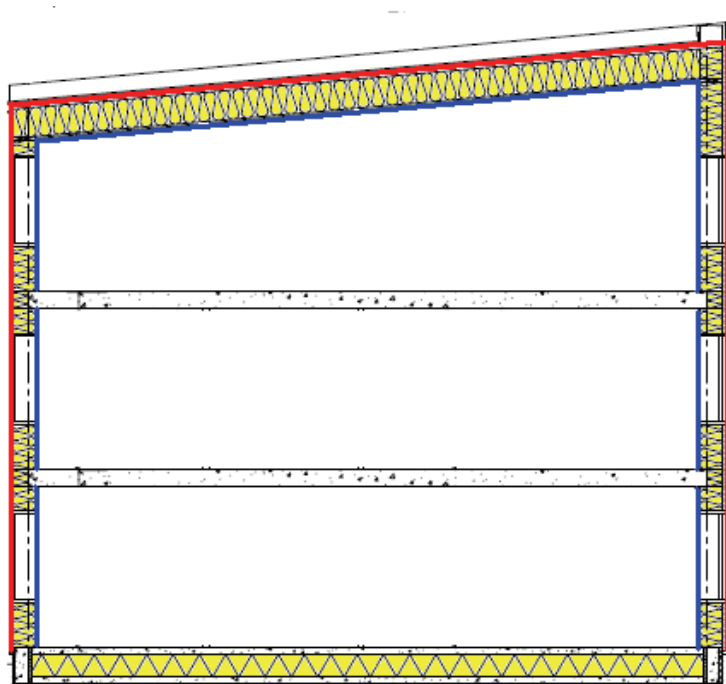
2.4.2 Luftlekkasjer

Kravet til lekkasjetett for passivhus er på 0.6 oms/t ved en trykkforskjell på 50 Pa over klimaskjermen. Dette er et meget strengt krav, som krever en overordnet strategi for tetting, god prosjektering og nøyaktig utførelse. Figur 2-8 viser anbefalt strategi for å oppnå tilstrekkelig lufttettethet.

Primært lufttettethet bør være utvendig vindtetting, der det så langt som mulig skal være et kontinuerlig tettesjikt rundt hele klimaskjermen. En god øvelse er å bruke rødbyllyant-prinsippet: På snittegninger av bygget skal du kunne tegne en rød strek der tettesjiktet skal gå, se figur 2-8. Tettesjiktet kan enten være papp/rullprodukt eller platemateriale med tette skjøter. Ved skjøting av papp/rullprodukt bør det helst brukes både tape og klemte skjøter. Alle kritiske løsninger hvor det er brudd i klimaskjermen, som vinduer og dører, rør, kanaler og el-

installasjoner, overgang tre-murkonstruksjoner, og lignende, må det utarbeides detaljtegninger og arbeidsbeskrivelse for hvordan tetthet skal oppnås.

Sekundær lufttetting vil være innvendig dampsperre eller dampbrems. Denne kan legges 50 mm inn i konstruksjonen for å unngå perforering av installasjoner, men for vegger er ikke dette så viktig hvis utvendig tettesjikt er utført korrekt. For yttertak er det meget viktig at dampsjiktet er kontinuerlig, og ikke perforert av rør, spotlights eller andre tekniske installasjoner.



FIGUR 2-8 Prinsipp for lufttetting. Rød strek er utvendig vindtettesjikt (primær lufttetting), blå strek er innvendig dampsperre/dampbrems-sjikt (sekundær lufttetting).

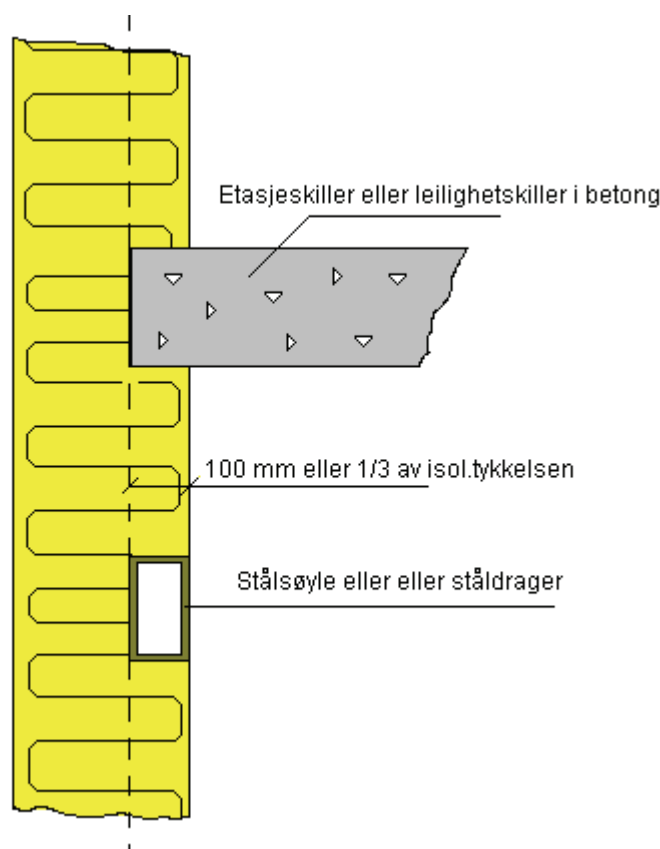
2.4.2 Kuldebroer

Det er i passivhus helt nødvendig å minimere kuldebroer slik at de utgjør et neglisjerbart ekstra varmetap for bygget. Dette er også viktig for å unngå lave temperaturer på overflater, og tilhørende redusert termisk komfort (gjelder særlig kalde gulv). De ekstra isolasjonstykkelsene i ytterkonstruksjonene i passivhus gjør vanligvis at det er lettere å lage gode kuldebroløsninger, men det krever allikevel gjennomtenkte og gode detaljer. Det er oftest tunge bærende materialer i betong, stål og mur som danner de sterkeste kuldebroene i et bygg, og i mindre grad treverk.

I et passivhus bør den normaliserte kuldebroverdien (kuldebrovarmetapet delt på oppvarmet bruksareal) være under 0.015 W/m²K. En så lav verdi fordrer at tunge bærekonstruksjon i liten grad bryter isolasjonssjiktet i klimaskjermen, mer konkret ved å:

1. La tunge bærende konstruksjoner gå maksimalt 100 mm inn i isolasjonssjiktet, eller maksimalt 1/3 av tykkelsen av isolasjonssjiktet, se figur 2-9.
2. Vinduer må plasseres slik at de minimum flukter med utvendig side av isolasjonssjiktet, helst lenger inn. I dag er det ofte vanlig å sette vinduet slik at det flukter med utvendig kledning, noe som gir et betydelig kuldebrotap.

3. Overgang yttervegg-fundament må utformes slik at man får neglisjerbare kuldebroer. I teorien bør isolasjonssjiktet i ytterveggen føres kontinuerlig mot isolasjonssjiktet for gulvet. Pga. krefter som skal ned er dette ofte vanskelig å få til i praksis, men bør etterstrebes.
4. Kuldebroer i forbindelse med dekker som vender mot parkeringskjellere er ofte et betydelig problem i blokkbebyggelse. Relativt store krefter fra overliggende bygg krever ofte gjennomgående betongkonstruksjoner som danner betydelig kuldebroer.



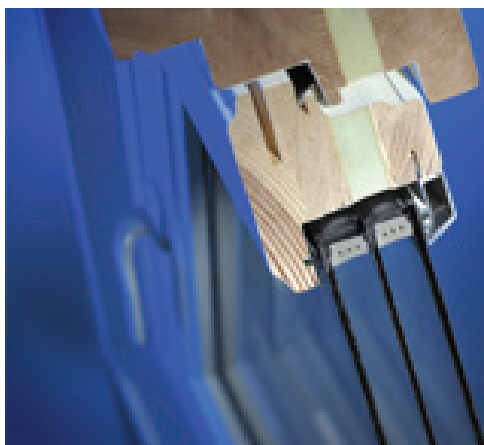
FIGUR 2-9 Prinsipp for kuldebro-minimering. Maksimum 100 mm inntrengning i isolasjonssjiktet, eller 1/3 av isolasjonstykkelsen.

2.4.3 Vinduer

Vinduer med ekstremt lavt varmetap er en nødvendighet i et passivhus, samtidig er det ønskelig å ha god lysgjennomgang for å få tilstrekkelig dagslys, samt bra soltransmittans for å utnytte soltilskudd i fyringssesongen. Kravet til U-verdi på vinduer i et passivhus er 0.80 W/m²K. For å få til dette må man vanligvis ha:

- 3 lags glass
- argon- eller kryptongass fylling for å redusere konveksjonstap
- 2 lavemisjonsbelegg for å redusere strålingstap
- avstandslist mellom glass (spacer) som isolerer godt, type superspacer, swisspacer eller lignende
- En eller annen form for isolert karm

Lysgjennomgang for vinduene bør være over 65 %, og soltransmittans over 45 % (innstråling vinklerett på ruta). Figur 2-10 viser N-Tech vinduet fra Nordan som har en U-verdi mellom 0.70 og 0.80 W/m²K. Det er også andre norske vindusprodusenter som er på gang med lignende vinduer, og i tillegg er det ca. 50 vindusprodusenter i Tyskland og Østerrike som leverer vinduer sertifisert for Passivhus (se www.passiv.de)

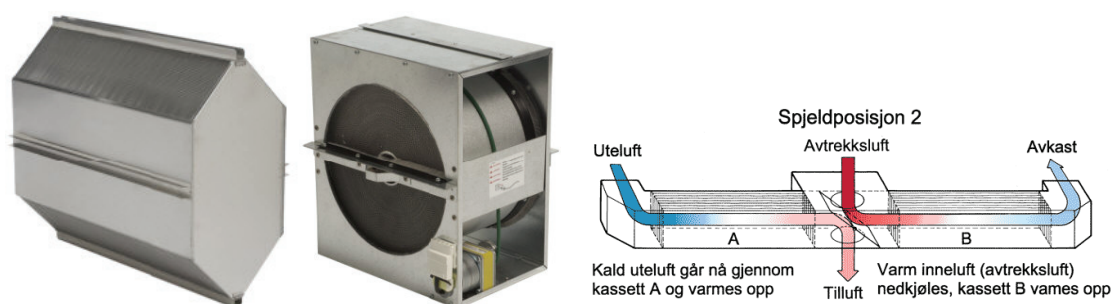


FIGUR 2-10 N-Tech vinduet fra Nordan med trelags rute, superspacer og isolert karm(PUR).

2.4.4 Ventilasjonsaggregater

Kravet til sertifisert virkningsgrad for varmegjenvinnere i ventilasjonsaggregater er minimum 75 %, i praksis er det ofte ønskelig og nødvendig med virkningsgrad over 80 %. Dette er temperaturvirkningsgraden til selve gjenvinneren, og ikke aggregatets virkningsgrad som er vanlig å måle for mindre boligaggregater. Ofte kan det være 10 % forskjell mellom aggregatets- og gjenvinnerens virkningsgrad. NS 3031 [9] gir regler for å regne om aggregat virkningsgrad til gjenvinnerens virkningsgrad. For gjenvinnere hvor påfrysning på avkastsiden kan oppstå (særlig kryssvarmevekslere og motstrømsvekslere), skal også dette tas hensyn til i virkningsgraden i henhold til NS 3031.

Mest brukt i Norge er roterende gjenvinnere (enten lokale- eller sentrale aggregater), men også kammergjenvinnere og mostrømsvekslere kan oppnå over 75 % virkningsgrad. Ved en virkningsgrad på 82-83 % vil det være mulig å kutte ut ettervarmebatteri, noe som kan være en fordel med hensyn til trykktap i aggregatet og også reguleringsmessig. (gjelder for Oslo-klima eller mildere klima).



FIGUR 2-11 Fra venstre til høyre: Motstrømsveksler, roterende gjenvinner og kammergjenvinner. Bilder/figurer: www.villavent.no og NBI Byggdetaljblad 552.340.

3 Energi- og effektbehov, termisk komfort

3.1 Typisk rekkehus

Simuleringer av rekkehusmodellen beskrevet i 2.3.1 er gjort med simuleringprogrammet SIMIEN 4.0 (www.programbygggerne.no). Tabell 3-1 gir nøkkelresultater fra simuleringene. Figur 3-1 og 3-2 angir energibudsjett og levert energi for rekkehuset. Inndata for simuleringene og mer detaljerte resultater fra simuleringene er gitt i vedlegg A.

TABELL 3-1 Nøkkelresultater for simulering av rekkehuset.

Resultat	Verdi
Årlig oppvarmingsbehov	11.9 kWh/m ² år
Nødvendig oppvarmingseffekt	13 W/m ²
Totalt netto energibehov	75 kWh/m ² år
Totalt levert energi	70 kWh/m ² år
Byggets varmetapstall	0.48 W/m ² K
CO ₂ –utslipp*	15.3 kg/m ² år

* Basert på CO₂ faktorer angitt i kapittel 8.

Figur 3-1 Netto energibudsjett for rekkehuset

Energipost	Energibudsjett	Energibruk	Spesifikk energibruk
Romoppvarming		6558 kWh	11.9 kWh/m ²
Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Oppvarming av tappevann		16390 kWh	29.8 kWh/m ²
Vifter (ventilasjon)		2409 kWh	4.4 kWh/m ²
Pumper		89 kWh	0.2 kWh/m ²
Belysning		6266 kWh	11.4 kWh/m ²
Teknisk utstyr		9636 kWh	17.5 kWh/m ²
Romkjøling		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Total		41348 kWh	75.2 kWh/m ²

Figur 3-2 Levert energi for rekkehuset

Energikilde	Levert energi	Energibruk	Spesifikk energibruk
Elektrisitet		20346 kWh	37.0 kWh/m ²
Biobrensel		17211 kWh	31.3 kWh/m ²
Elektrisitet til solenergisystemer		918 kWh	1.7 kWh/m ²
Totalt levert energi		38475 kWh	70.0 kWh/m ²

3.2 Typisk boligblokk

Tabell 3-2 gir nøkkelresultater fra simuleringene av lavblokka beskrevet i 2.3.2. Figur 3-3 og 3-4 angir energibudsjett og levert energi for lavblokka. Inndata for simuleringene og mer detaljerte resultater fra simuleringene er gitt i vedlegg A.

TABELL 3-1 Nøkkelresultater for simulering av lavblokka

Resultat	Verdi
Årlig oppvarmingsbehov	13.3 kWh/m ² år
Nødvendig oppvarmingseffekt	13.8 W/m ²
Totalt netto energibehov	78 kWh/m ² år
Totalt levert energi	70 kWh/m ² år
Byggets varmetapstall	0.48 W/m ² K
CO ₂ –utslipp*	14.7 kg/m ² år

* Basert på CO₂ faktorer angitt i kapittel 8.

Figur 3-3 Netto energibudsjett for lavblokka

Energibudsjett			
Energipost	Energibruk	Spesifikk energibruk	
Romoppvarming	13370 kWh	13.3 kWh/m ²	
Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0.0 kWh/m ²	
Oppvarming av tappevann	30013 kWh	29.8 kWh/m ²	
Vifter (ventilasjon)	6255 kWh	6.2 kWh/m ²	
Pumper	204 kWh	0.2 kWh/m ²	
Belysning	11481 kWh	11.4 kWh/m ²	
Teknisk utstyr	17660 kWh	17.5 kWh/m ²	
Romkjøling	0 kWh	0.0 kWh/m ²	
Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0.0 kWh/m ²	
Total	78983 kWh	78.4 kWh/m ²	

Figur 3-4 Levert energi for lavblokka

Levert energi			
Energikilde	Energibruk	Spesifikk energibruk	
Elektrisitet	35396 kWh	35.1 kWh/m ²	
Biobrensel	32964 kWh	32.7 kWh/m ²	
Elektrisitet til solenergisystemer	1701 kWh	1.7 kWh/m ²	
Totalt levert energi	70061 kWh	69.5 kWh/m ²	

3.3 Typisk terrassehus

Tabell 3-3 gir nøkkelresultater fra simuleringene av lavblokka beskrevet i 2.3.2. Figur 3-5 og 3-6 angir energibudsjett og levert energi for lavblokka. Inndata for simuleringene og mer detaljerte resultater fra simuleringene er gitt i vedlegg A.

TABELL 3-3 Nøkkelresultater for simulering av terrassehuset

Resultat	Verdi
Årlig oppvarmingsbehov	13.0 kWh/m ² år
Nødvendig oppvarmingseffekt	13.0 W/m ²
Totalt netto energibehov	78 kWh/m ² år
Totalt levert energi	69 Wh/m ² år
Byggets varmetapstall	0.50 W/m ² K
CO ₂ –utslipp*	14.7 kg/m ² år

* Basert på CO₂ faktorer angitt i kapittel 8.

Figur 3-5 Netto energibudsjett for terrassehuset

Energipost	Energibudsjett	Energibruk	Spesifikk energibruk
Romoppvarming		5707 kWh	13.0 kWh/m ²
Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Oppvarming av tappevann		13105 kWh	29.8 kWh/m ²
Vifter (ventilasjon)		2730 kWh	6.2 kWh/m ²
Pumper		76 kWh	0.2 kWh/m ²
Belysning		5011 kWh	11.4 kWh/m ²
Teknisk utstyr		7709 kWh	17.5 kWh/m ²
Romkjøling		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0.0 kWh/m ²
Total		34338 kWh	78.0 kWh/m ²

Figur 3-6 Levert energi for terrassehuset

Energikilde	Levert energi	Energibruk	Spesifikk energibruk
Elektrisitet		15450 kWh	35.1 kWh/m ²
Biobrensel		14254 kWh	32.4 kWh/m ²
Elektrisitet til solenergisystemer		741 kWh	1.7 kWh/m ²
Totalt levert energi		30445 kWh	69.2 kWh/m ²

3.4 Aggregerte verdier for hele utbyggingen

Tabell 3-4 viser nøkkeltall for energibruk, effektbehov og CO₂ –utslipp. Tabell 3-5 viser netto energibehov for hele bebyggelsen på 60 000 m²(BRA). Det termiske energibehovet (romoppvarming+varmtvann) er på ca. 2.6 GWh/år, mens det elspesifikke behovet (vifter, pumper, lys og utstyr) er på ca. 2.1 GWh/år. Med et solfangeranlegg som dekker 50 % av tappevannet og 15 % av romoppvarming med en systemeffektfaktor på 10, samt et biopelletsanlegg som dekker hhv. 50 og 85 % med en system-virkningsgrad på 80 %, blir levert energi som vist i tabell 3-6. CO₂ utslipp fordelt på energikilder for hele utbyggingen er gitt i tabell 3-6.

TABELL 3-4 Nøkkelresultater for simulering av hele utbyggingen.

Resultat	Absolutt verdi	Spesifikk verdi
Årlig oppvarmingsbehov	0.78 GWh/år	13.0 kWh/m ² år
Nødvendig oppvarmingseffekt	814 kW	13.6 W/m ²
Totalt netto energibehov	4.7 GWh/år	78 kWh/m ² år
Totalt levert energi	4.1 GWh/år	69 kWh/m ² år
CO ₂ –utslipp*	874 tonn/år	15 kg/m ² år

* Basert på CO₂ faktorer angitt i kapittel 8.

TABELL 3-5 Netto energibudsjet for hele utbyggingen

	Energi behov	Spesifikt energibehov
Romoppvarming	779 MWh/år	13.0 kWh/m ² år
Ventilasjonsvarme	0 MWh/år	0 kWh/m ² år
Varmtvann	1789 MWh/år	29.8 kWh/m ² år
Vifter	339 MWh/år	5.6 kWh/m ² år
Pumper	12 MWh/år	0.2 kWh/m ² år
Belysning	684 MWh/år	11.4 kWh/m ² år
Teknisk utstyr	1050 MWh/år	17.5 kWh/m ² år
Totalt netto energibehov	4653 MWh/år	78 kWh/m²år

TABELL 3-6 Levert energi for hele utbyggingen

	Energi bruk	Spesifikt
Elektrisitet	2.1 GWh/år	35 kWh/m ² år
Biobrensel (pellets)	1.9 GWh/år	32 kWh/m ² år
Elektrisitet til solenergisystemer	0.1 GWh/år	2 kWh/m ² år
Totalt levert energi	4.1 GWh/år	69 kWh/m²år

TABELL 3-7 CO₂-utslipp for hele utbyggingen

	Utslipp	Spesifikke utslipp
Elektrisitet	740 tonn/år	12 kg/m ² år
Biobrensel (pellets)	97 tonn/år	2 kg/m ² år
Elektrisitet til solenergisystemer	36 tonn/år	1 kg/m ² år
Totalt utslipp	874tonn/år	15 kg/m²år

3.5 Termisk komfort i typiske leiligheter

For å kontrollere at termisk komfort om sommeren er det simulert tre ulike leiligheter:

- Et vestvendt rekkehus (midtleilighet)
- En vestvendt blokkeilighet (midtleilighet)
- En vestvendt terrasseleilighet

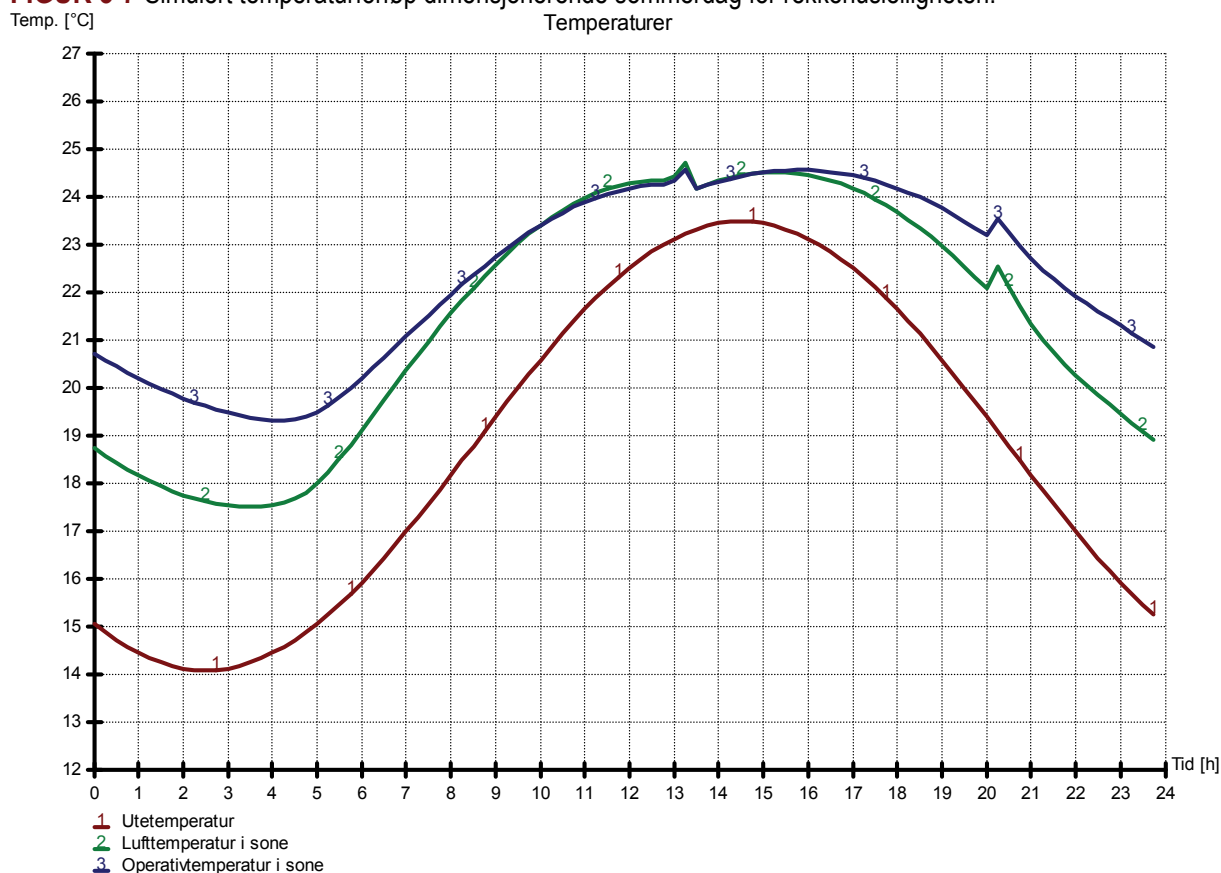
Det er regnet med et utetemperaturforløp som overskrides kun 50 timer i et normalår.

For å unngå overoppvarming er det simulert med følgende tiltak/forutsetninger:

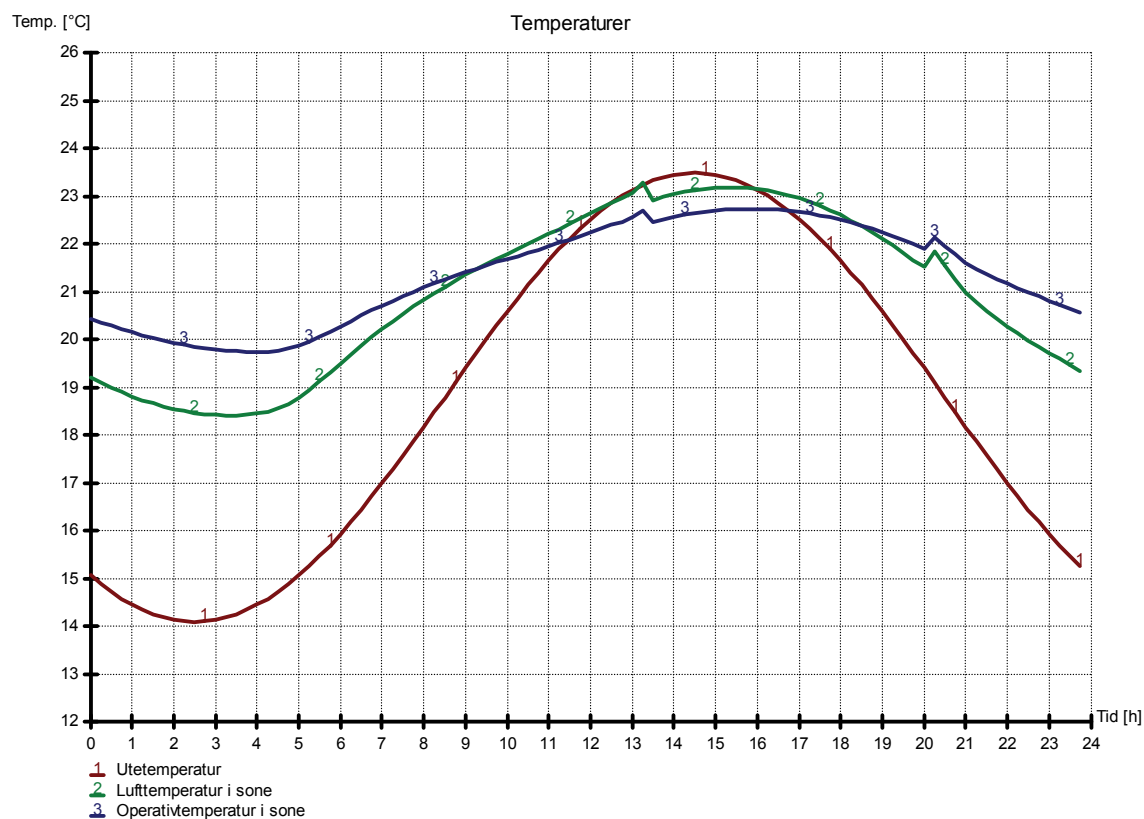
- Oppvarmingsanlegget er avslått
- Alle vestvendte vinduer har utvendige solavskjerming (persiennner)
- For rekkehus og blokkeilighet er det mulighet for kryssløfting slik at man oppnår 5 luftskifter (snitt over døgnet)
- For terrasseleiligheter er det såpass store åpningsarealer at man får et luftskifte på 3 oms/t (ensidig lufting, ikke mulighet for kryssløfting)
- For blokk- og terrasseleilighet er det regnet med eksponert betong i himlinger, rekkehuset er her regnet som kun lette konstruksjon bortsett fra betong i plate på mark

Som det fremgår av figur 3-7 til 3-9 er det mulig å få til tilfredsstillende termiske forhold i leilighetene med de beskrevne tiltakene.

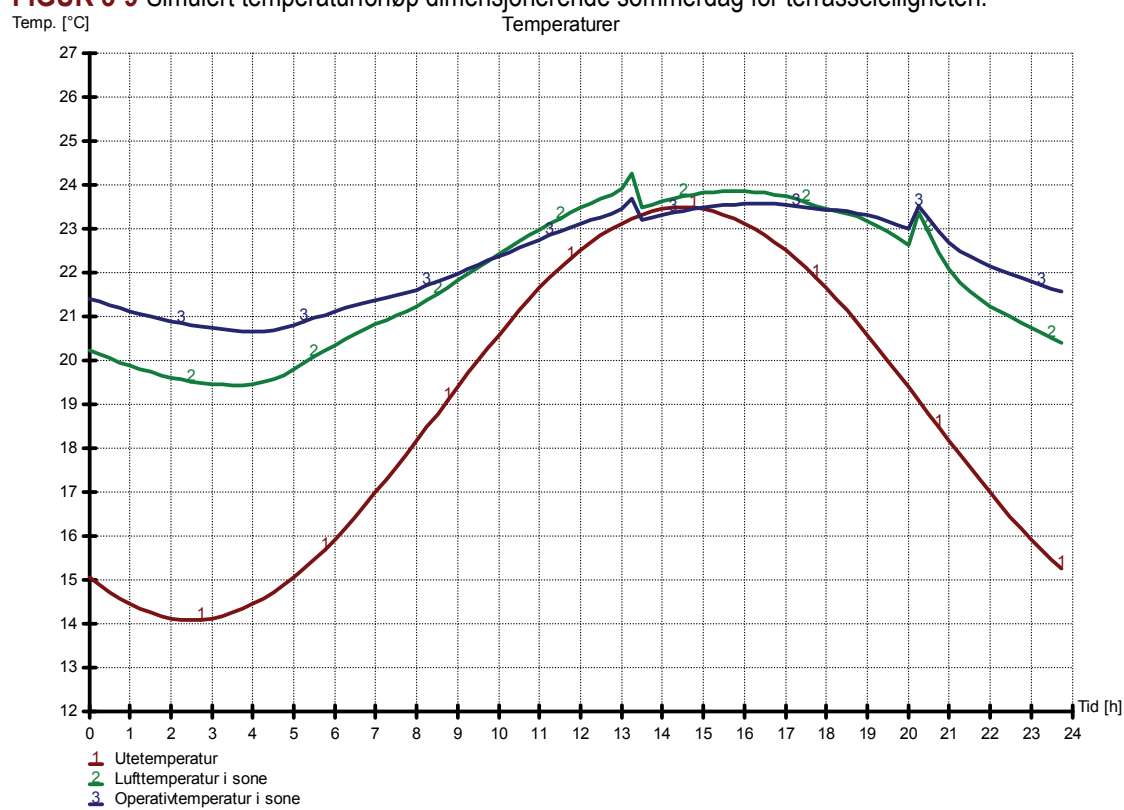
FIGUR 3-7 Simulert temperaturforløp dimensjonerende sommerdag for rekkehusleiligheten.



FIGUR 3-8 Simulert temperaturforløp dimensjonerende sommerdag for blokkeiligheten.



FIGUR 3-9 Simulert temperaturforløp dimensjonerende sommerdag for terrasseleiligheten.



4 Lokal energiproduksjon og intern teknisk infrastruktur

For analysen i dette kapitelet er det tatt utgangspunkt i at all bebyggelse holder passivhus-standard, og at solenergi skal dekke en betydelig del av varmebehovet til bebyggelsen. Videre at solvarme suppleres med varme fra et nærvarmeanlegg når solvarmen ikke kan dekke hele varmebehovet. Med varmebehov menes her både varmtvann (forbruksvann) og romoppvarming.

4.1 Soleenergi

Utnyttelse av solenergi kan deles opp i tre ulike former:

- Passiv solutnyttelse ved at bygget tilføres solvarme gjennom transparente deler (vinduer og glassfelt)
- Aktive solfangere som leverer varme til bygget i form av soloppvarmet vann eller luft (luftsolfangere)
- Solceller som omformer solinnstrålingen til strøm, som enten kan tilføres bygget og/eller strømmettet

I det videre er det aktive solfangere som kan dekke deler av det termiske energibehovet som omhandles.

For alle praktisk formål vil det ikke være mulig å oppnå 100 % dekning til oppvarming (romoppvarming varmt forbruksvann) via et solfangeranlegg. Erfaringsmessig er optimal energidekningsgrad via et solfangeranlegg for forbruksvann på ca 50 %, selv om det er teknisk mulig å oppnå 60-70 % dekning. Tilsvarende vil det være mulig å dekke ca 10 -20 % av øvrig oppvarmingsbehov via det samme systemet.

Dersom en ønsker å integrere et solfangersystem i en utbygging som denne er det flere ulike måter å gjøre dette på. I utgangspunktet må en imidlertid forholde seg til enkelte særtrekk ved dette systemet:

- *Innfanget energi lagres:* For å øke utnyttelsen av solenergien benyttes en løsningen med å lagre "innfanget energi" i et termisk reservoar. Større anlegg kan eksempelvis benytte fjell eller grunnvann til slik lagring. Eventuelt benyttes store vannfylte tanker, mens en i andre anlegg kan benytte faseovergang i materialer som lagringstype. I boligsammenheng benyttes gjerne en eller flere akkumuleringstanker fylt med vann.
- *Temperaturnivå:* Gitt samme volum vil et termisk lager med høy temperatur inneholde mer energi enn et lager med lavere temperatur. De samme termiske lovene gjør at eksempelvis et stort lager med lav temperatur kan ha samme energiinnhold som et mindre med høyere temperatur. I dette siste tilfellet vil imidlertid lageret med høyest temperatur være mer "verdifullt"³. Et solfangeranlegg handler altså om akkumulering og å bringe temperaturen i akkumulatortanken opp.

4.1.1 Løsningsprinsipp

I Solfanger-enheten, se figur 4-2 og 4-3, foregår oppvarmingen av vannet. Dette er kjennetegnet ved relativ store arealer. Ca 1.0 til 1.5 m² pr. person er et nøkkeltall som ofte benyttes.

I Akkumulatortank lagres det oppvarmede vannet. Dette gjøres for å samle opp mest mulig energi gjennom perioden med solinnstråling, som igjen kan brukes i perioder med lite eller ingen innstråling.

Når det er solinnstråling sirkulerer vannet vanligvis kontinuerlig mellom akkumulatortanken og solfangerenheten. Dette for å varme opp vannet ytterligere, og således lagre mer energi pr liter i tanken.

Generelt gjelder at jo lavere temperatur vi trenger på det systemet solenergien skal levere varme til, jo større andel av tilgjengelig solenergi kan benyttes. Dette er en svært viktig forutsetning dersom vi ønsker å utnytte solenergi til eksempelvis oppvarming.

³ Eks.: Et lite vannvolum med høy temperatur kan enkelt spes ut med vann med omgivelsestemperatur. Resultatet blir et større volum men nå med lavere temperatur. Motsatt prosess er det vanskelig å gjøre like enkelt.

Eksempelvis vil en i et tradisjonelt (høytemperatur) varmeanlegg med tur/retur temperatur på 80/60 °C, kunne overføre lite energi fra solfangersystemet, mens en i et lavtemperaturanlegg med temperaturnivå på eksempelvis 60/40 °C, har etablert muligheter for en større energileveranse.

Et solfangeranlegg som benyttes til oppvarming av varmt forbruksvann vil på tilsvarende vis ha et relativt stort potensiale fordi temperaturen på vannet som kommer inn er lavt (5-8 °C). På grunn av faren for utvikling av legionella i lunkent varmtvann må alt varmtvann varmes opp til 60-70 °C.

Solfangerenheten kan bygges sentralt og ikke nødvendigvis være en del av bygningene. Akkumulatortanken kan videre graves ned eller bygges som en frittstående enhet.



FIGUR 4-1 Eksempel på utbredelse av et solfangeranlegg i kombinasjon med fjernvarme. (Rise Fjernvarme, Danmark)

Vanligvis forbinder vi imidlertid solfangersystemet med takmonterte plater montert i flukt med takhelningen forøvrig, eller delvis oppreiset paneler vendt mot sør. Akkumulatorenheten ligger i nordiske omgivelser oftest i kjeller, mens vi i sydligere strøk kan se dem som utvendig monterte tanker sammen med panelene.



FIGUR 4-2 Takmontert solfangerpanel.

Solfangerpanel bestående av vakuumrør med kondenserende medium har en vesentlig bedre effektivitet enn tradisjonelle typer hvor vann renner over ei plate dekket av glass eller PVC.(paneltype).Vannet i sirkulasjonskretsen vil også i perioder kunne oppnå en høyere temperatur. For komplette solfangeranlegg med vakuumrør ligger imidlertid kostnadene ca 50 % over tilsvarende konvensjonell løsning med paneler.



FIGUR 4-3 Solfangerpanel av typen vakuumrør.

4.1.2 Fjernvarme/nærvarme som spisslast til solvarme

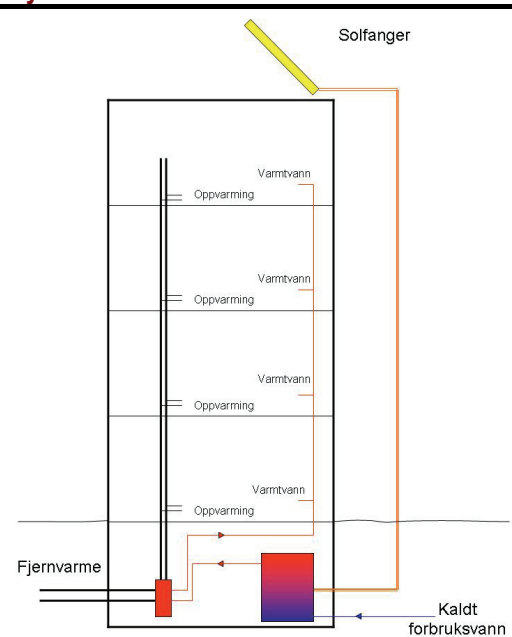
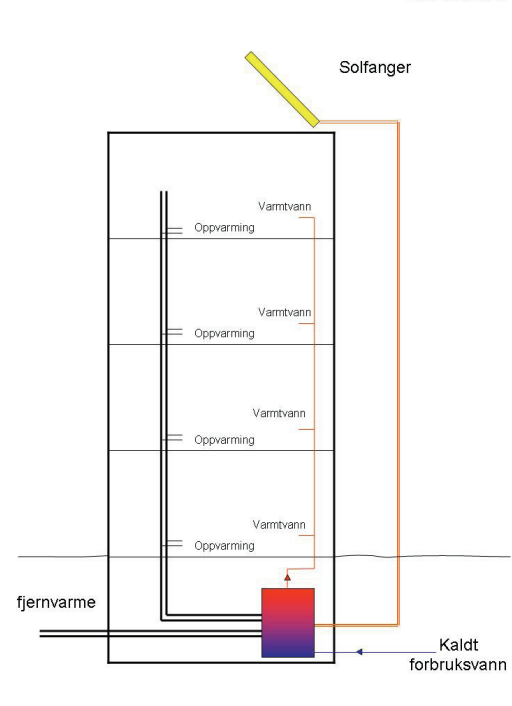
Fjernvarme er ansett å være en hensiktsmessig energibærer. Dette fordi installasjonen tar liten plass grunnet sine små dimensjoner (i bygget), er normalt driftsstabil, og kan levere vann med høy temperatur. Fjernvarme er også egnet til å være spisslast til solfangeranlegget, dvs. kobles inn når kapasiteten i et solfangeranlegg blir for liten. I deler av sommerhalvåret, avhengig av dimensjonering av solfangeranlegget, vil solfangeranlegget kunne dekke hele varmebehovet og nærvarmeanlegget kunne slås av. For et normalt dimensjonert solfangeranlegg kan dette dekke hele varmebehovet i 3-4 måneder av året (mai-august).

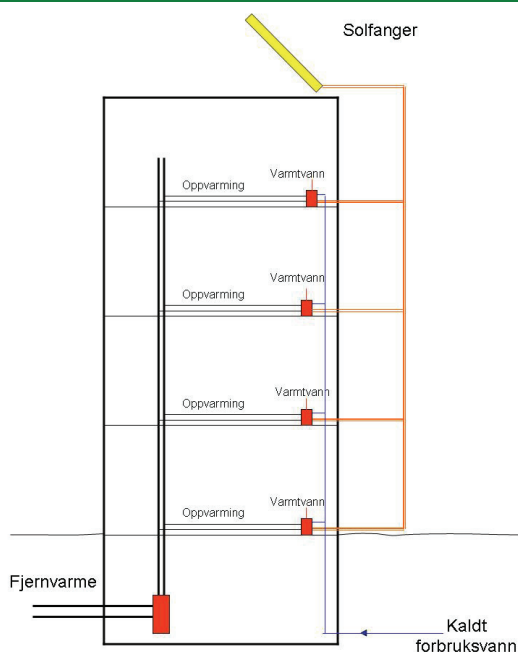
4.2 Systemløsninger for varmelagring og varmedistribusjon i bebyggelsen

4.2.1 Aktuelle systemløsninger

Med utgangspunkt i fjernvarme/nærvarme og varme via et solfangersystem, kan vi etablere flere kombinasjonsmuligheter som vist i tabell 4-1.

TABELL 4-1 Aktuelle systemløsninger for å integrere solfanger og nærvarme/fjernvarmeløsning

Systemskisse	Variant
	1. Sentralt varmelager, sol til forbruksvann Solfanger leverer varme til en akkumuleringsstank i kjeller. Den samme tanken leverer varme til varmt forbruksvann. Dersom temperturnivået på varmtvannet er for lavt, vil denne kunne etterheves via FV-varmeveksler. Varmt tappevann fordeles ut i hver boenhet. Fjernvarme leverer varme til et vannbårent oppvarmingssystem i hver boenhet. Løsning krever 2 stk energiregistreringer i hver boenhet. Systemet må anses som enkelt, driftssikkert, men ikke energioptimalt.
	2. Sentralt varmelager, sol til forbruksvann og oppvarming Solfanger leverer varme til en akkumuleringsstank i kjeller. Tanken kan i tillegg varmes via FV-nettet. Energi til oppvarming og varmt forbruksvann tas ut fra den felles energireservoaret, men gjerne med ulike temperaturer. Løsning krever 2 stk energiregistreringer i hver boenhet. Løsningen er energimessig bedre enn variant 1, fordi den gir mulighet for at solvarme kan leveres til oppvarming. Løsningen er imidlertid også litt mer komplisert, og krever en nøye gjennomgang bla. for å ivareta temperatursjiktning i tanken. Ofte kan det være hensiktsmessig å dele akkumulatorvolumet i på flere tanker.



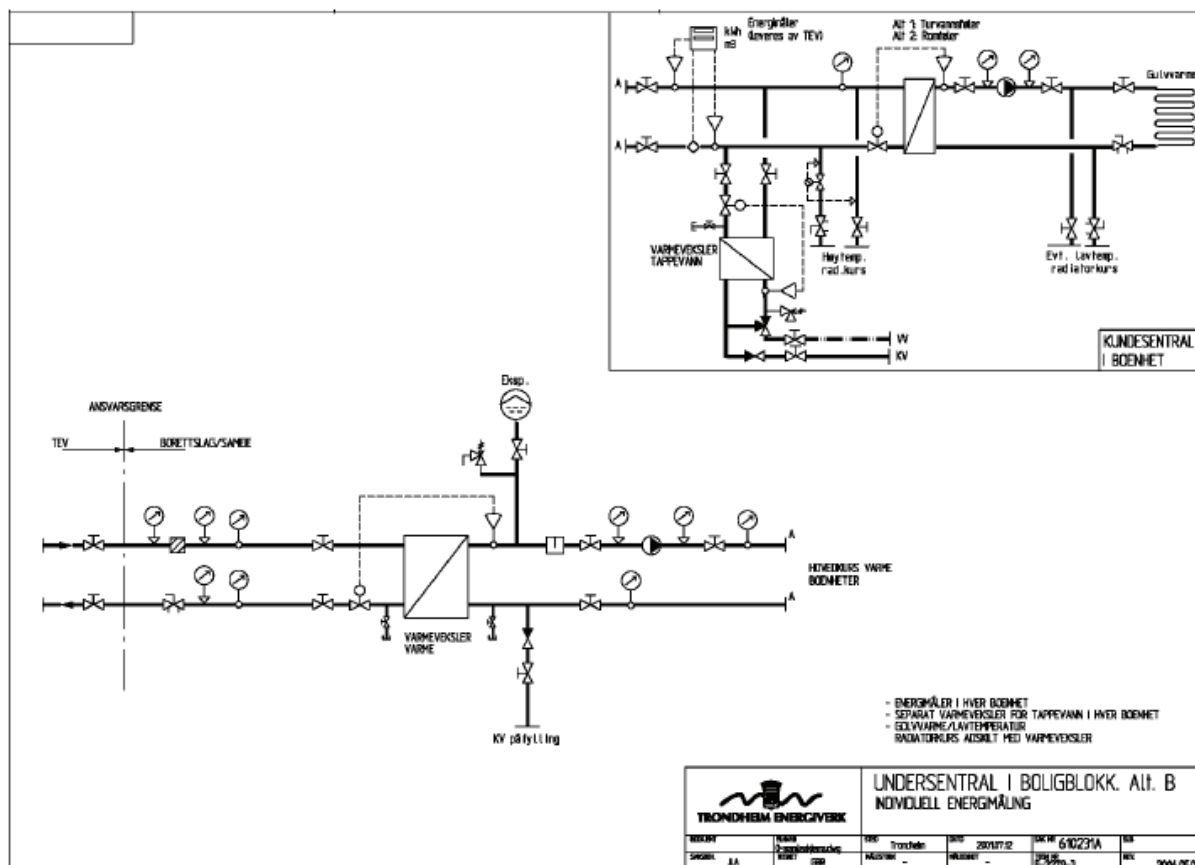
3. Lokal bereder i hver leilighet.

Variant 1 og 2 er basert på sentrale blokkvise systemer. Varmtvannsbereder tilkopleet solfanger og FV kan imidlertid også plasseres i hver leilighet. På denne måten reduseres kostnader til felles akkumulatortank. I tillegg kan antall energimålere pr boenhet reduseres til 1.

For å magasinere opp solenergien må det installeres en relativ stor VVB (~ 200 liter) i hver boenhet. I tillegg må det grunnet krav til minimum temperatur i varmtvannsbereder (legionella), alltid være en temperatur på min. 60 °C i varmenettet fram til hver VVB. (Dette kan imidlertid løses med å installere el-kolbe i tillegg). Totalt sett inneholder løsningen mye tekniske komponenter og anses ikke å være kostnadsoptimalt.

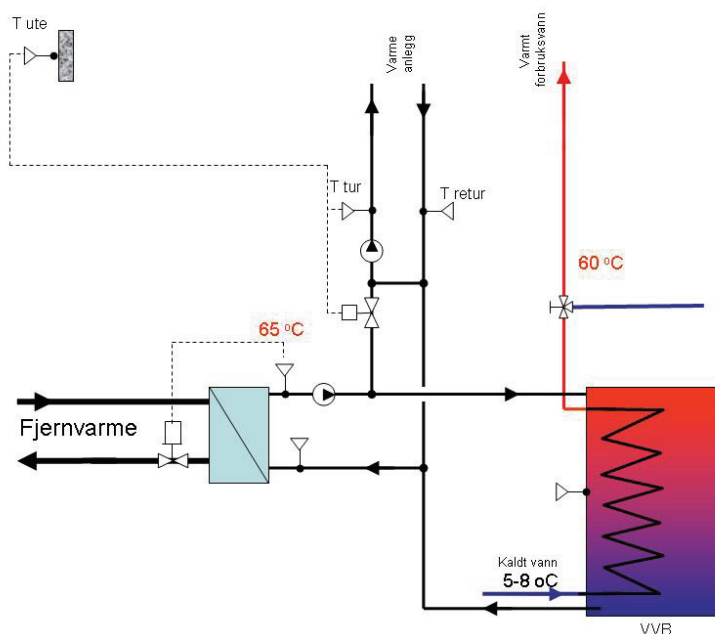
4.2.2 Undersentral

Fjernvarmeleverandør opererer med tekniske spesifikasjoner til sitt eget rørnett, dimensjoneringsforutsetninger, samt tekniske krav til hvordan undersentral utføres. I de fleste tilfeller kan bruker velge mellom flere varianter, men som grunnprinsipp følges gjerne en løsning med 2 varmevekslere for boligblokker og næringsbygg, mens det velges en variant med en veksler for eneboliger.



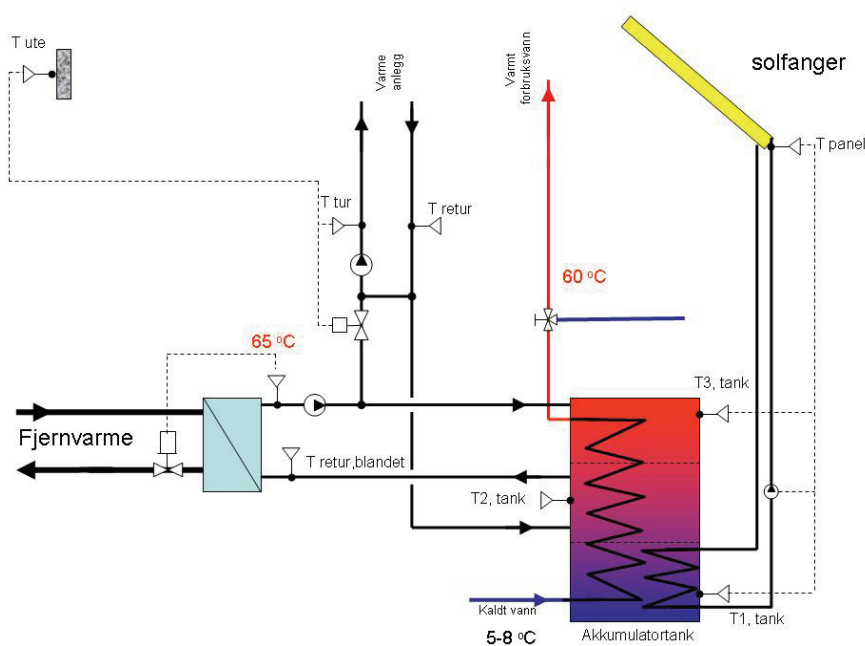
FIGUR 4-4 Eksempel på systemløsning for undersentral – kundesentral. Løsningen baserer seg på varmevekslere og benytter ikke akkumulatortank/VVB til magasinering. Løsningen betinger tilstrekkelig kapasitet på vekslerne til å dekke styrtapping.

For Jåtten II er utnyttelse av solvarme en av premissene. Dette betinger installasjon av en akkumulatortank. En mulig løsning av undersentral m/akkumulatortank/VVB er vist i figur 4-5. Løsningen kan tjene som referanse for integrering av solfangeranlegget:



FIGUR 4-5 Eksempel på systemløsning for undersentral, hvor en benytter varmtvannsbereder. Berederen vil jevne ut maksimale belastninger ved store tapninger.

Med utgangspunkt i figur 4-5 kan en inkludere solfangersystemet. Varmtvannsberederen (VVB) må i tillegg gjøres litt mer sofistikert for bla. å ivareta temperatursjikting.



FIGUR 4-6 Eksempel på systemløsning for undersentral, hvor solfangeranlegget er integrert. Løsningen er også inkludert bruk av solenergi til noe oppvarming.

Varmtvann: Ved tapping av varmt forbruksvann vil kaldt vann strømme inne i spiralen og varmes opp via det omsluttende vannet i tanken. Dette vannet er på sin side varmet opp via solfangerspiralen (nedre del) og via varme fra FV-veksler (øvre del). Øvre del må dimensjoneres til å gi tilstrekkelig effekt ved styrttapning uten bidrag for solenergi.

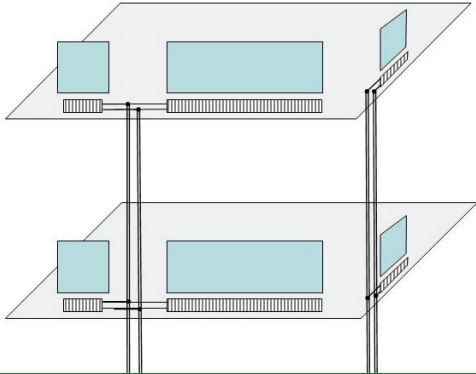
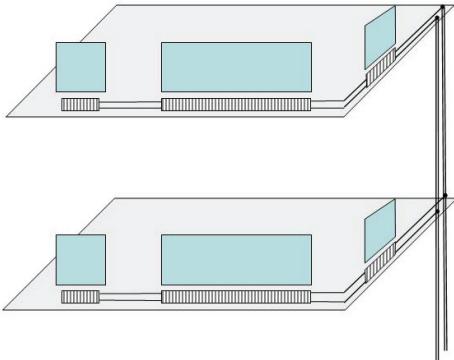
Varmeanlegg: Returledning fra varmeanlegget, sluses inn noe under midten av akkumuleringstank. Bakgrunnen for dette er å hente ut varme fra tanken på dette temperaturnivået. Denne varmen vil være framskaffet fra solfangeranlegget. Når solfangerkretsen ikke er i drift (vinterstid) vil vannvolumet på dette nivået i tanken være kaldt. I så fall overføres varme fra varmeanlegget til tanken. Dette er imidlertid en fordel da kapasitet på tanken til oppvarming av varmt forbruksvann i så fall øker.

Returvann fra tankens mellomnivå og øvre nivå føres tilbake til FV-varmeveksler i en felles rørledning, hvorefter vannet varmet opp til ca 65 °C. Avhengig av antall boenheter som skal forsynes fra denne undersentralen, kan antall akkumulatorenheter økes. Løsningen i eksempelet vil kunne benyttes for alle boligtyper (fellesanlegg i blokkleiligheter, rekkehus og eneboliger).

4.2.3 Intern varmedistribusjon pr. boenhet

To ulike fordelingsprinsipper følges vanligvis i blokkbebyggelse, horisontal eller vertikal fordeling. Tabell 4-2 angir fordeler og ulemper med de to prinsippene.

TABELL 4-2 Fordeler og ulemper ved vertikal kontra horisontal fordeling.

Systemskisse	Variant
	Vertikal fordeling Metoden anses å være rasjonell, og gir korte rørføringer. Metoden ble mye brukt i tidligere byggerier, særlig hvor en valgte en løsning med produksjon av varmt vann (oppvarming og forbruksvann) som et felles anlegg.
	Horisontal fordeling Løsningen er basert på et felles sjaktsystem hvor (ideelt sett) alle sanitær-, varme og ventilasjonstekniske installasjoner føres. Hver boenhet tilkoples dette fellessystemet, hvorefter rørene fordeles horisontalt i hver leilighet. Konfigurasjonen gjør det enklere, og i de fleste tilfeller rimeligere, å installere et individuelt avregningssystem.

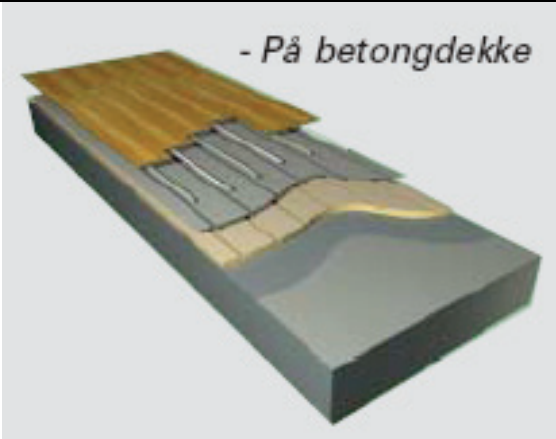
4.3 Løsninger for varmeavgivelse i leiligheter

4.3.1 Alternative varmesystemer

Med et vannbårent varmedistribusjonssystem i passivhus er det tre ulike systemer som gjerne vurderes:

- Gulvvarme
- Radiator
- Oppvarming via ventilasjonslufta (varmebatteri m/ vannbåren oppvarming).

TABELL 4-3 Aktuelle systemløsninger for å integrere solfangere og nærvarme/fjernvarmeløsning

Varmesystem	
	Gulvvarme Grunnet relativ lav temperatur på det sirkulerende vannet i gulvkonstruksjonen (typisk 35-40 °C i betonggulv, 45-50 °C (for 14 mm tregulv/parkett) ligger systemet til rette for bruk sammen med solfangeranlegg. Grunnet termisk lagring i gulvkonstruksjonen kan systemet regulere noe tregt, og kan derfor være en utfordring i passivhus.
	Radiator Dimensjoneres tradisjonelt for en t/r temperatur på 80/60 °C, hvilket er høy temperatur i forhold til solfangersystemet. Dersom en går ned i temperaturnivå må dette kompenseres med økt størrelse på radiator. En radiator regulerer imidlertid relativt rask, og er derfor gunstig i passivhus med vannbåren energidistribusjon.
	Ventilasjonsluft Ved å legge oppvarming til ventilasjonslufta kan radiator og/eller gulvvarme unngås. Oppvarmingsmetoden er mye benyttet for passivhusløsninger bla. i Tyskland og Østerrike, der erfaringen med løsningen er overveiende gode. Forutsetningen for løsningen er at varmebehovet er meget lavt ($< 10 \text{ W/m}^2$), slik at overtemperatur på tillufta blir så lav som mulig. En ulempe er at løsningen i sin enkleste versjon ikke kan tilføre forskjellige funksjonssoner/rom ulik temperatur.

4.3.2 Anbefalt løsning

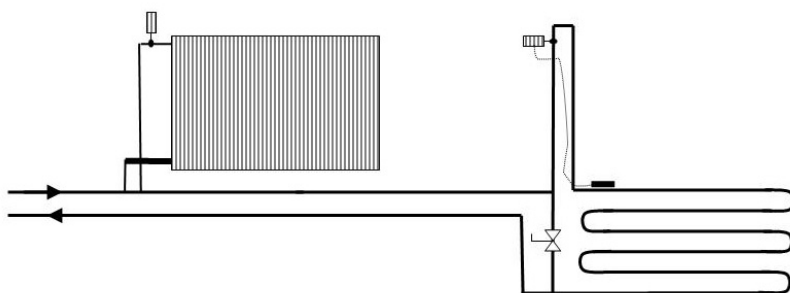
Varmebehovet i passivhus er lavt og dersom en velger gulvvarme må dette kompenseres med å senke temperaturen i vannkretsen (dette for å opprettholde en viss vannsirkulasjon). Denne strategien harmonerer for øvrig godt med bruk av solfanger.

Imidlertid kan Passivhus, grunnet sitt lave varmetap, anses som termisk trege bygninger. Samtidig responderer de relativt raskt på interne belastninger og ved solinnstråling. Dette gjør at en løsning tilsvarende et tradisjonelt gulvvarmeanlegg kan være lite egnet, ikke minst reguleringsmessig.

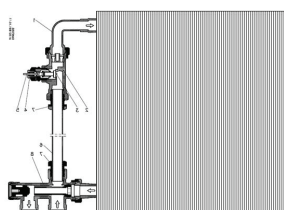
Imidlertid har det satt seg en viss tradisjon i Norge med å utføre gulv i dusj/baderom med gulvvarme. Dette ut i fra komforthensyn og praktiske hensyn med bla. rask opptørring av gulvet etter bruk. Tilsvarende ser vi ofte at inngangsparti utstyres med varme. Igjen er det komforthensyn med rask opptørring av sko og ytterklær som nok er noe av årsaken. For å imøtekomme disse to kravene kan det være fornuftig å basere oppvarmingen av disse to rommene på gulvvarme.

Tradisjonelt benyttes en varmekilde under vindusflater for å motvirke kaldras, samt bedre strålingsforholdene fra den kalde glassflaten. Med passivhus-kvalitet på vinduene faller krav til kaldrassikring i praksis bort, og en står tilnærmet fritt i å plassere varmekilde på et mer hensiktsmessig sted.⁴

Antall radiatorer kan i passivhuskonseptet reduseres betraktelig, og for leiligheter vil en ofte greie seg med kun 1 stk.. For rekkehus og eneboliger, eller ved spesielt ugunstige planløsninger i leiligheter, kan det være nødvendig med to eller flere radiatorer for å dekke varmebehovet.



FIGUR 4-7 Interne varmforsyning. Seriekopling av radiator og gulvvarme.



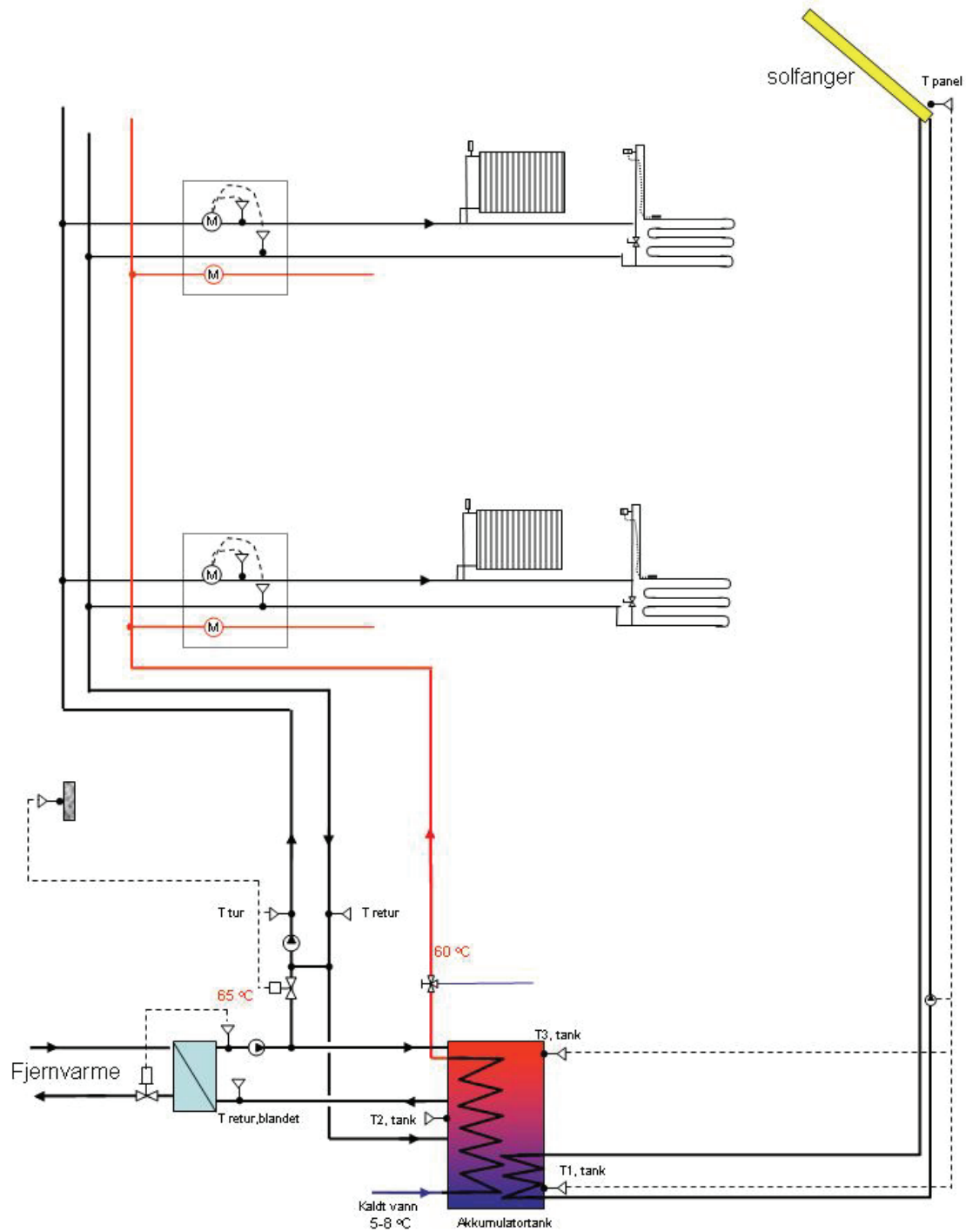
FIGUR 4-8 Detalj av rørkopling ved radiator.

Figur 4-7 og 4-8 viser forslag til seriekopling av hhv. radiator og gulvvarme. I forhold til parallellkopling som tradisjonelt benyttes, gir denne koplingen en lavere temperatur på returvannet tilbake til undersentral. Seriekopling tilrettelegger derved for en større utnyttelse av solvarme enn en tradisjonell parallellkopling.

⁴ Varmekilde under vindu kan være hensiktsmessig, imidlertid er det ofte ønskelig å kunne møblere helt inntil vinduer.

4.4 Samlet systemløsning for varme

Med løsninger som anbefalt i kapittel 4.2 og 4-3., vil et samlet systemskjema for boligblokk se ut som vist i figur 4-9.



FIGUR 4-9 Systemskjema samlet løsning

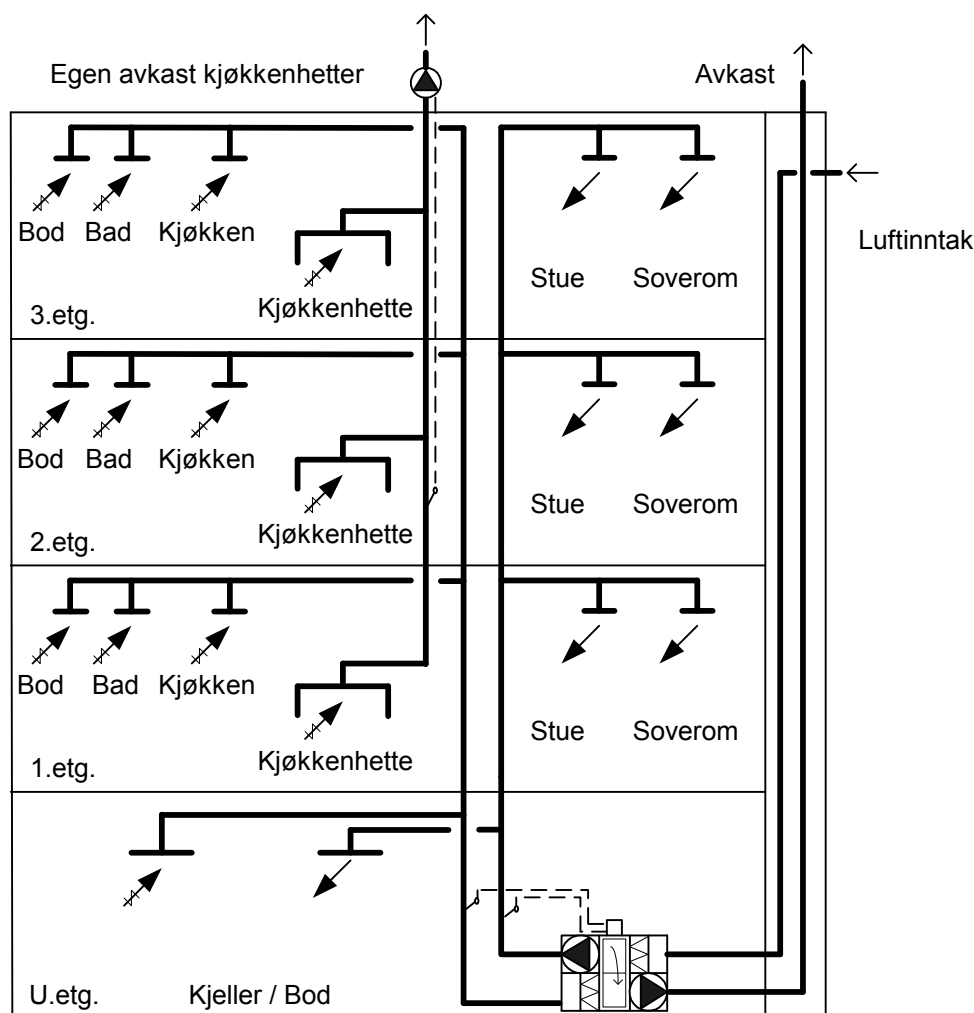
4.5 Systemløsninger for ventilasjon; sentralt vs. individuelle aggregat-løsninger

Boliger med lavenergi og passivhuskvalitet betinger en svært tett bygningskropp. For å sikre tilstrekkelig luftskifte trengs det ventilasjon. Mekanisk ventilasjon er den metoden som enklest sikrer en stabil og kontrollert ventilasjonsmengde uavhengig av uteklima. For å redusere energibehovet til oppvarming av ventilasjonslufta utstyres det mekaniske anlegget med varmegjenvinner med god virkningsgrad.

Systemteknisk skiller vi mellom sentralisert ventilasjon der et ventilasjonsaggregat server flere leiligheter, og desentralisert ventilasjon der det er et ventilasjonsaggregat pr. leilighet.

4.5.1 Balansert ventilasjon, sentrale anlegg

Prinsippskissen under viser en boligblokk med balansert ventilasjon og et sentralt aggregat plassert i kjeller. Aggregatet kan også stå i et teknisk rom på tak/loft. Luftinntak og avkast er felles for alle leiligheter.



FIGUR 4-10 Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon, sentralt anlegg.

Fordeler med balansert ventilasjon og et felles ventilasjonsanlegg for flere leiligheter er:

- Luftinntak kan plasseres der det er mest gunstig med tanke på luftkvalitet og solbelastningen. Luftinntaket kan for eksempel plasseres på tak, lengst borte fra gateplan og bileksos, og vendt mot nord.
- En kompetent person (som regel vaktmester) er ansvarlig for driften av ventilasjonsanlegget. Mangel/feil ved anlegget kan oppdages og rettes raskt.
- Vedlikehold blir enkelt (kun 1 enhet) og riktig gjennomført (utføres av vaktmester eller fagfolk). Vedlikehold er enkelt å ivareta med driftsavtale.

- d. Systemet er lett tilgjengelig for vedlikehold. (I bygninger med utleieleiligheter er det spesielt gunstig med sentrale anlegg, med tanke på mulighet for felles vedlikehold og tilgang til vifte)
- e. Mulighet for behovsstyrt avtrekk
- f. Ventilasjonsaggregatet benytter en varmeveksler med dokumentert temperaturvirkningsgrad som er lett å anvende i energitiltaksmodellen i nye TEK. Kravet på 70% årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegget blir tilfredsstilt med de fleste roterende varmeveksler.
- g. Mulighet for å ventilere felles arealer (trappoppgang, kjeller, bod) fra samme aggregat
- h. Mulighet for å sende avkast til garasje (gratis temperering av garasjen)
- i. Mulighet for SD-anlegg/fjernovervåking

Ulemper med løsningen er:

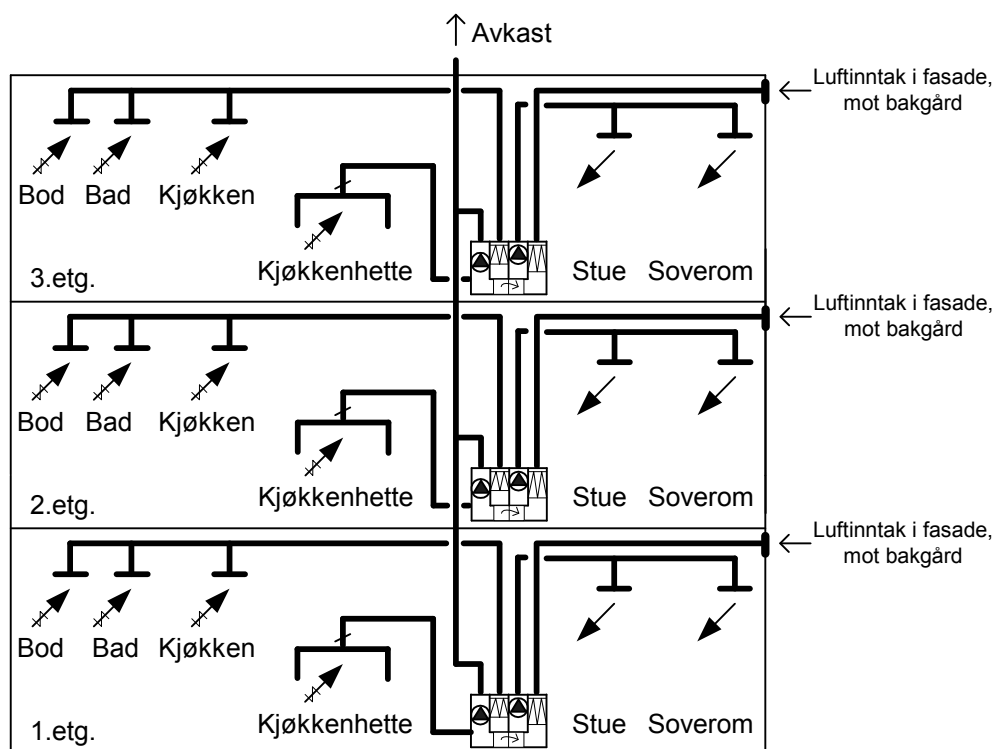
- a. Plasskrevende teknisk rom og sjakter
- b. Kan forårsake sjenerende støy selv om anlegget tilfredsstiller klasse C i TEK
- c. Kan forårsake overhøring
- d. Kan forårsake overføring av lukt
- e. Sentral styring av luftmengder og temperatur

En god løsning med felles ventilasjonsanlegg for flere leiligheter har:

- Gunstig plassert luftinntak i forhold til solbelastning og luftkvalitet
- Avsatt plass til kullfilter i aggregatet hvis det er risiko for luktoverføring mellom avkast og inntak, eller luftlekkasje i aggregatet (for eksempel ved roterende varmegjenvinner)
- Ventilasjonskomponenter og kanalisolasjon (godt isolerte friskluft- og tilluftkanaler, og alle kanaler i sjakt) som gir minimal uønsket temperaturstigning på tilluften
- Lydfeller ut fra aggregat og kanallydfelle mellom leiligheter
- Trykkstyring av luftmengder slik at brukeratferd ikke påvirker luftfordelingen mellom leilighetene
- Tilgjengelige reguleringsspjeld inn til hver leilighet for innregulering, men også til kontroll og justering av luftmengde senere i driftsfasen.
- Separat avtrekk fra kjøkkenheten fra hver leilighet.
- Kapasitet på tilluft for å kompensere forsering på kjøkkenet med trykkstyring på både tilluft og avtrekk.
- Spirokanalsystem med god tetthetsklasse (EUROVENT klasse B eller bedre), lavt trykkfall, og systemet er tilrettelagt for lett vint inspeksjon og rengjøring.

4.5.2 Balansert ventilasjon, individuelle anlegg

Ved bruk av individuelle anlegg vil hver leilighet disponere ett aggregat og et kanalnett som er helt uavhengig av ventilasjonssystemet i de øvrige leilighetene. Aggregatet plasseres i bod, vaskerom/bad, over himling ved inngangen eller i et skap på kjøkkenet avhengig av leilighetsstørrelse. Figur under viser en prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon og individuelle anlegg. Luftinntak til hver leilighet skjer oftest gjennom fasade. Avkast samles vanligvis i en felles sjakt og sendes ut over tak.



FIGUR 4-11 Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon og individuelle ventilasjonsanlegg (et anlegg hver leilighet).

Fordeler med balansert ventilasjon med individuelle ventilasjonsanlegg i hver leilighet er:

- Løsningen krever mindre sjaktareal enn et sentralt anlegg. Det er heller ikke behov for et plasskrevende felles teknisk rom.
- Når beliggenhet tillater det (leiligheten har en fasade mot nord, mot bakgård og ligger ikke ved et høyt forurensset område), er det fordelaktig med luftinntak i fasaden. Kort inntakskanal reduserer risiko for oppvarming av tilluften i kanalen og gir bedre luftkvalitet (kortere kanal, lettere å rengjøre).
- Luftmengder er ikke påvirket av de øvrige leilighetene
- Løsningen forårsaker ingen overhøring eller luktoverføring fra en leilighet til en annen.
- Mulighet for behovstyrt avtrekk
- Individuell regulering av luftmengder
- Egen styring av tilluftstemperatur

Ulemper forbundet med løsningen er:

- Luftinntak i fasaden frarådes i tilfeller der leilighetene har kun en utvendig solbelastet fasade eller når boligblokk ligger ved et meget forurensset område. Da bør en se bort fra individuell anlegg og ellers velge en sentralisert løsning. Et alternativ der luftinntak plasseres på tak krever minst like store vertikale sjakter som en sentralisert løsning for at en skal unngå støy og unødvendig forvarming av friskluften om sommeren. (Luftinntakskanaler må utføres med dimensjoner som ikke gir høyere hastighet enn 2,5 m/s og hver kanal må isoleres).
- Løsningen krever plass til kanalføringer for luftinntak, tilluftskanaler og avtrekkskanaler, samt skaplass til selve aggregatet.
- Lokal enheten kan forårsake støy og/eller vibrasjon i leiligheten
- Anlegget er vanskelig tilgjengelig for vedlikehold og service.
- Drift og vedlikehold på individuelle anlegg er vanskelig å forutsi. Noe vedlikehold kan utføres av leilighetsbeboende (for eksempel filterskifte). Brukeratferd varierer avhengig av leilighetstype og dens beboer og eierforhold (f.eks. en person som er selveier er sannsynligvis mer opptatt av å vedlikeholde ventilasjonsanlegget enn en student i en studentbolig). Forskjellige studier viser forskjellige svar. Den store utfordringen er å tilpasse systemets kompleksitet til beboernes kompetanse og dermed evne til å

opprettholde anleggets funksjon. Dette gjør at anlegg for leilighetsventilasjon må være spesielt robuste og enkle å operere og vedlikeholde.

Den store fordelen med individuell anlegg er at hver bruker har kontroll over sitt ventilasjonsanlegg. Den store utfordringen er å løse luftinntaket i fasade, å dempe støyoverføring fra aggregatet, samt å få brukerne til å vedlikeholde ventilasjonsanlegget.

En god løsning med eget ventilasjonsanlegg i hver leilighet har:

- Gunstig plassert luftinntak i fasade i forhold til solbelastning og luftkvalitet, med kort føringssvei frem til ventilasjonsaggregat [Byggdetalj 552.360].
- Ventilasjonskomponenter og kanalisolasjon (godt isolerte friskluft- og tilluftkanaler) som gir minimal uønsket temperaturstigning på tilluften
- Aggregat plassert med god avstand til soverom.
- Lydfeller ut fra aggregat.
- Avkast plassert på tak.
- Lettvint eller automatisk justering mellom vinter/sommer sesong (effektiv utkobling av varmegjenvinning).
- Spirokanalsystem med god tetthetsklasse (EUROVENT klasse B eller bedre), lavt trykkfall, og tilrettelagt for lettvint inspeksjon og rengjøring.
- En sameieavtale som sikrer jevnlig vedlikehold av ventilasjonsanlegget i hver leilighet.
- Hvis avtrekksluft samles i en felles sjakt bør det monteres en avtrekksvifte på toppen av sjakten slik at trykkforhold i sjakten ikke påvirkes av hver enkel leilighet.

5 Energisentral og nærvarmeanlegg

5.1 Underlag for dimensjonering

Energi- og effektbehov til for oppvarming og tappevann som underlag for dimensjonering av energiforsyningsløsningen er vist i tabell 5-1.

TABELL 5-1 Termisk energi- og effektbehov for utbyggingen på 60 000 m².

Post	Spes. Energibehov	Energibehov (for 60 000 m ²)	Spes. effektbehov	Energibehov (for 60 000 m ²)
Oppvarmingsbehov	15 kWh/m ² år	1 800 000 kWh/år	12 W/m ²	600 kW
Tappevann	30 kWh/m ² år	900 000 kWh/år	10 W/m ²	720 kW
Sum termisk behov	45 kWh /m ² år	2 700 000 kWh/år	22 W/m ²	1 320 kW

Det totale effektbehovet på 1 320 kW, skal dekkes inn av kombinasjonen sol + bio (pellets) + spisslast / backup basert på andre energikilder – d.v.s. el., gass eller olje. En hensiktsmessig dimensjonering av energisentral krever imidlertid at man tar hensyn til fordelingen over året av bidraget fra sol slik at dette blir maksimert, det krever at man estimerer fordelingen over året av det totale oppvarmingsbehovet, og det krever at man tar hensyn til fordelingen mellom grunnlast og spisslast.

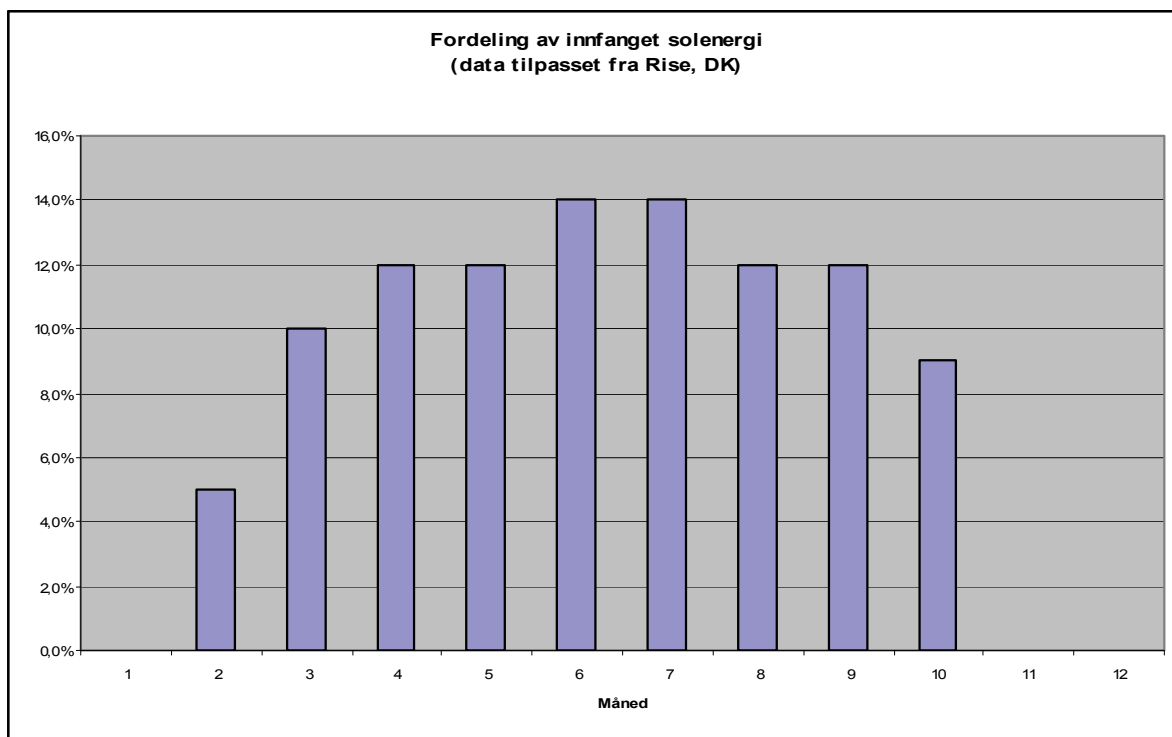
5.2 Bidrag fra sol

Følgende bidrag fra sol er lagt til grunn:

- 2 100 kWh pr. for en 100 m² rekkehusleilighet. Dette tilsvarer fra 5-8 m² solfangere, avhengig av type og plassering.
- 27 000 kWh for en blokk med 16 leiligheter a' 80 m². Dette tilsvarer fra 60-85 m² solfangere pr. blokk, avhengig av type og plassering.

De korresponderende tallene for hele området på 60 000 m² bebyggelse vil være 1 260 000 kWh pr. år (1.26 GWh/år).

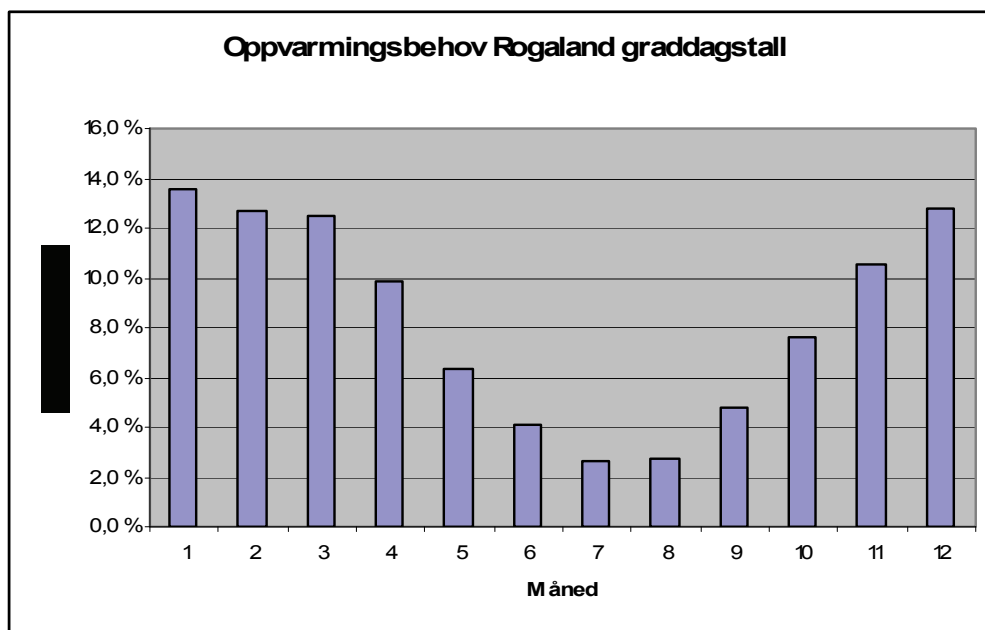
Fordelingen over året av bidraget fra sol er her estimert utfra publiserte data for et anlegg i Rise, DK. Fordelingen er gjengitt i neste figur 5-1. Tallene er justert slik at fordelingen gjenspeiler at solfangeranlegget tas ut av drift i vintermånedene november, desember og januar.



FIGUR 5-1 Fordeling av innfanget solenergi over årets tolv måneder.

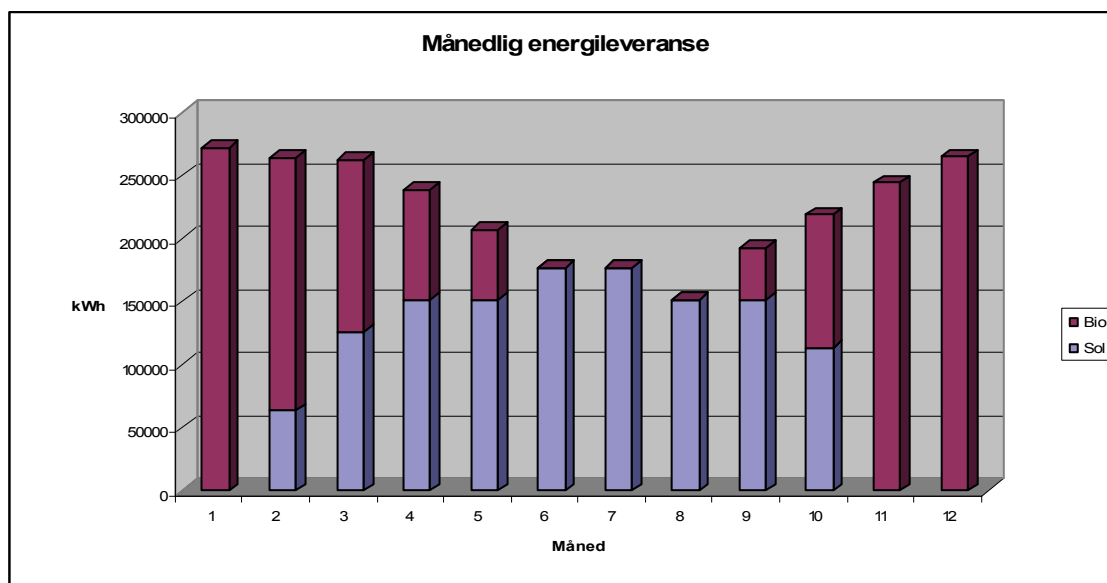
5.2 Årlig fordeling av oppvarmingsbehov og tappevannbehov

Det forsettes her at forbruk av tappevann fordeler seg likt utover hele året, og at oppvarmingsbehovet fordeler seg proporsjonalt med månedlige graddagstall. Den årlige fordelingen av månedlige graddagstall for Rogaland (gjennomsnitt for perioden 1971 – 2000) er gjengitt i neste figur 5-2.



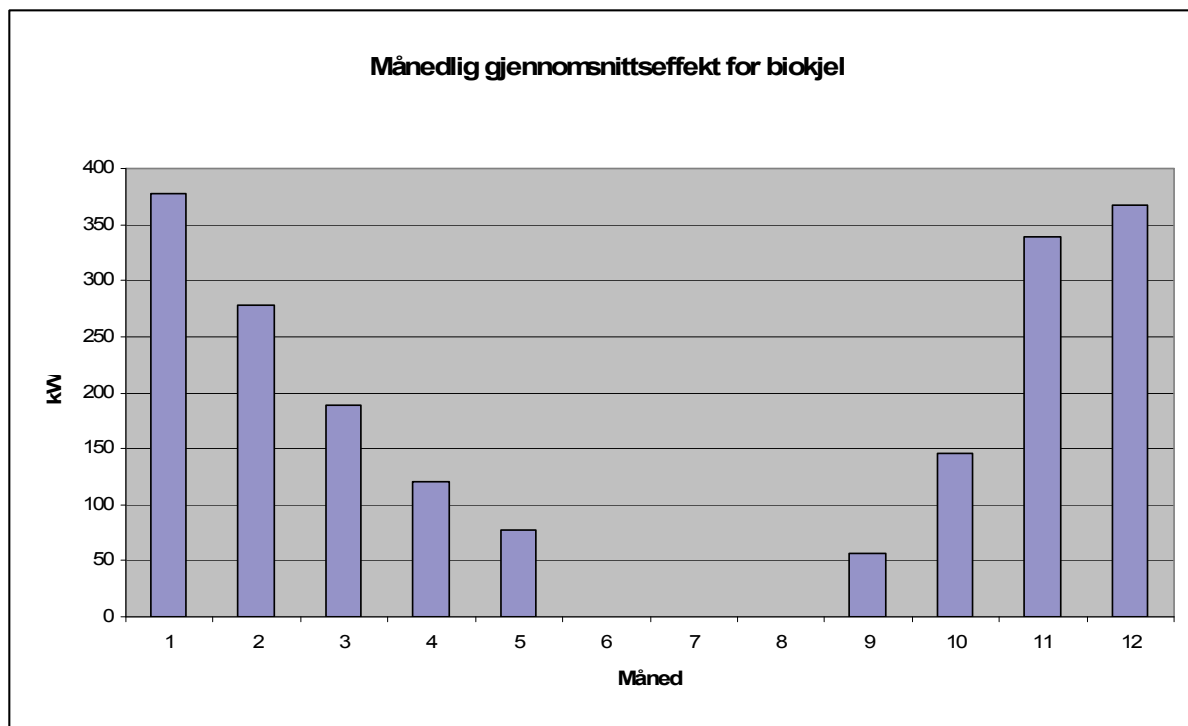
FIGUR 5-2 Prosentvis fordeling av oppvarmingsbehovet for de ulike månedene, basert på en graddagsbetraktning.

Det forutsettes videre at en biobasert energisentral ikke leverer energi i sommermånedene juni, juli og august, men at spisslasterkapasitet vil være tilgjengelig for de dagene / periodene hvor energileveransen fra solenergianlegget ikke vil være tilstrekkelig til å dekke behovet. Dette gir følgende fordeling av energileveransen fra sol og bio over året⁵:



FIGUR 5-3 Energileveranse fra sol og bio, fordelt på måneder.

Gjennomsnittlig effektbehov på månedsbasis for leveranse fra biokjel i energisentralen er gjengitt i neste figur.



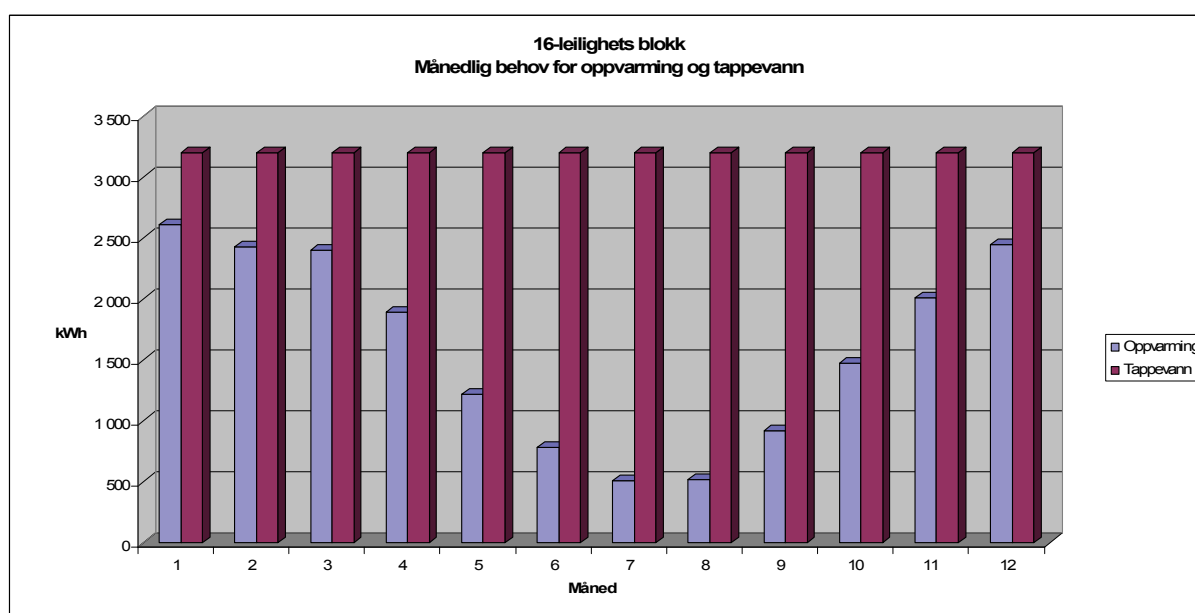
FIGUR 5-4 Nødvendig levert effekt (snitt) fra biokjel på månedsbasis.

⁵ Basert på data for blokkbebyggelse. Utbygd som rekkehusområde vil solenergiandelen kunne bli noe større.

Sammenlignet med det forutsatte effektbehovet på totalt 1320 kW er dette måneds-gjennomsnittet lavt. For bioanlegg er det en vanlig tommelfingeregel at man dimensjonerer biokjeler som grunnlast-kjeler med en effekt på 40 % av max. effekt. Det ville her tilsvare en biokjel installasjon i overkant av 500 kW.

5.3 Grunnlag for dimensjonering av biokjel og spisslaskapasitet

Energisentralens biokjel må dimensjoneres for de vintermånedene da solenergi ikke bidrar til den totale energileveransen. Figur 5-5 viser at selv i disse vintermånedene vil energibehovet til tappevann på månedsbasis være større enn oppvarmingsbehovet, og tappevannsbehovet kan forutsettes å være tilnærmet konstant fra dag til dag.



FIGUR 5-5 Nødvendig levert effekt (snitt) fra biokjel på månedsbasis.

Man kan derfor trekke ut effektbehovet til tappevannsproduksjon og gi denne en høy brukstid. Energisystemer der solenergi inngår vil være utstyrt med romslig akkumulatorkapasitet, og i vintermånedene der denne kapasiteten ikke beslaglegges av solenergiproduksjonen kan den benyttes som døgnakkumulatorkapasitet for tappevann i stedet. Man kan derfor gi tappevannsproduksjonen en månedlig brukstid på opp mot 100 %. Dette betyr at det årlige behovet for tappevann på 30 kWh pr. m² ikke krever mer enn tredjedelen av den forutsatte effekten til tappevann på ti Watt pr. m², og det totale effektbehovet til produksjon av tappevann for hele området kan dekkes av en biokjel med en effektleveranse på 215 kW.

Jåttenområdet har et typisk norsk kystklima med temperaturer som avviker lite fra den månedlige gjennomsnittstemperaturen fra dag til dag. Vedlegg 1 viser kurvene over daglige gjennomsnittstemperaturer i området⁶ for alle måneder tilbake til januar 2000 der det har forekommet døgnmiddeltemperaturer under null. Disse observasjonene viser at der gjennomsnittlig er 26 døgn pr. år med døgnmiddeltemperaturer under 0 °C, av disse er det kun i gjennomsnitt 2,4 døgn som har døgnmiddeltemperaturer under -5 °C, og ingen under -10 °C. Månedsmiddeltemperaturene for de fire kaldeste månedene i året er fra 1 til 3 °C, og andelen døgn med temperaturer under null i disse fire månedene er 22 %.

Oppvarmingsbehovet vil være direkte proporsjonalt med differansen mellom utetemperaturen og innetemperaturen. Dersom innetemperaturen er 22 °C vil derfor en utetemperatur på -5 °C gi et oppvarmingsbehov som er

⁶ Fra Meteorologisk Institutt's målestasjon på Sola, noen få kilometer unna Jåtten-området.

30 % høyere enn oppvarmingsbehovet når det er 1 °C ute. Tilsvarende vil en utetemperatur på -10 °C gi en 60 % økning i oppvarmingsbehovet i forhold til en utetemperatur på 1 °C.

En bioenergikjel i varmesentralen som dimensjoneres for jevn produksjon basert på laveste månedsmiddeltemperatur (januar), vil måtte ha en minimumsyttelse på 175 kW. Denne vil måtte kompletteres med spisslastkapasitet for dager med kuldegrader. Dersom spisslasten dimensjoneres for dager med utetemperaturer på -15 °C, vil spisslastkapasiteten måtte være tilsvarende effekten på biokjelen som sørger for romoppvarming, dvs. rundt 175 kW.

Energileveransen fra spisslastkjelen kan anslås utfra hvor mange døgn den må benyttes pr. år samt hvilken utetemperatur man har disse døgnene. Dataene i vedlegg 1 indikerer at man kan forutsette at de gjennomsnittlig 24,6 døgn pr. år med temperaturer under mellom null og minus fem grader er tilfeldig fordelt med en gjennomsnittsverdi på -2,5 °C, og de 2,4 døgnene mellom minus fem og minus ti grader tilsvarende kan gis en gjennomsnittsverdi på -7,5 °C. Ved en temperatur på -7,5 grader vil en spisslastkjel dimensjonert som beskrevet ovenfor gå på 50 % av full effekt, og ved -2,5 grader vil den gå på rundt 15 % av full effekt. Forventet årlig produksjon fra spisslastkjelen kan derfor anslås til 20 000 kWh pr. år. Dette tilsvarer en årlig brukstid på kun 115 timer, og det tilsvarer under 1 % av total årlig energiproduksjon fra sol og bio.

5.4 Anbefalt løsning

For å ta høyde for usikkerhet og for tap i varmeproduksjon og distribusjon bør dimensjonene som er beskrevet i avsnittet ovenfor oppskaleres noe.

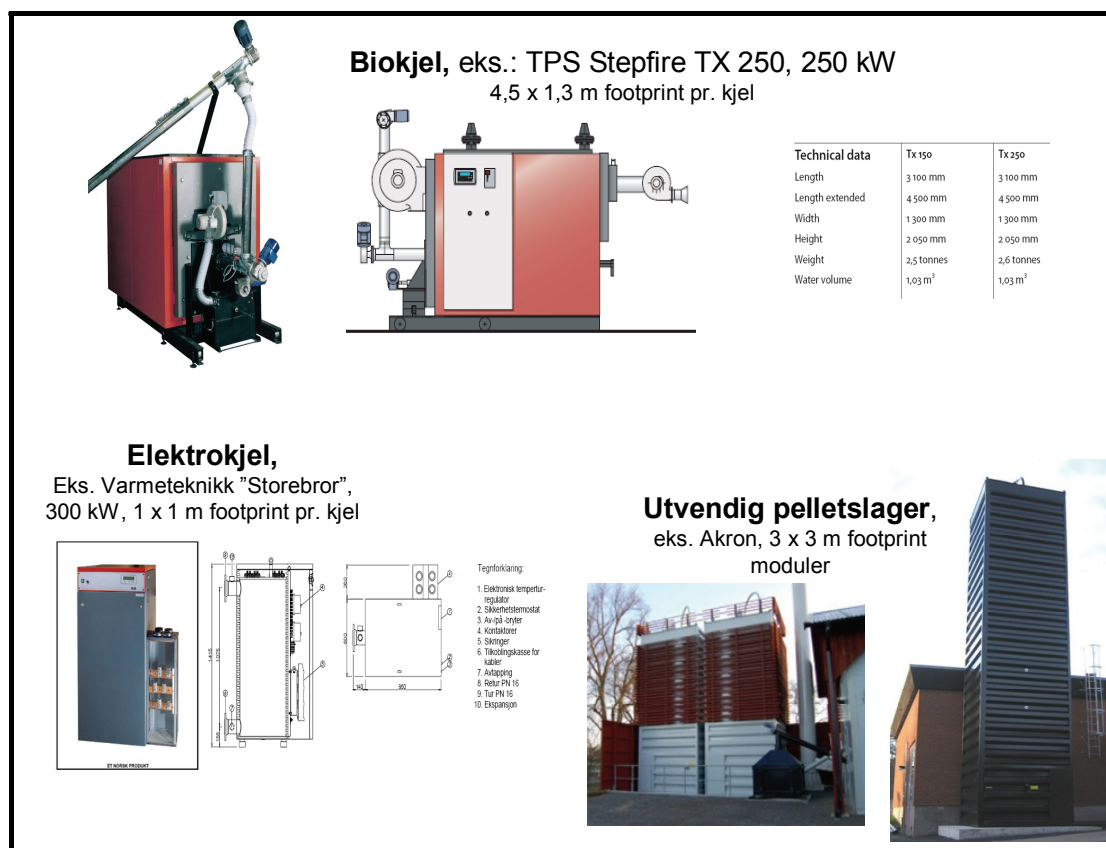
Det foreslås her at biokjel- kapasiteten installeres som 2 x 250 kW kjeler. En løsning med to kjeler medfører at den ene av kjelene vil kunne fungere som backup for den andre ved evt. driftsavbrudd utenom vintermånedene.

Det foreslås videre at der installeres 250 kW spisslastkapasitet pluss 250 kW backupkapasitet. Ved evt. driftsavbrudd på en av biokjelene i vintermånedene må man ha backup for denne i tillegg til spisslastkapasiteten.

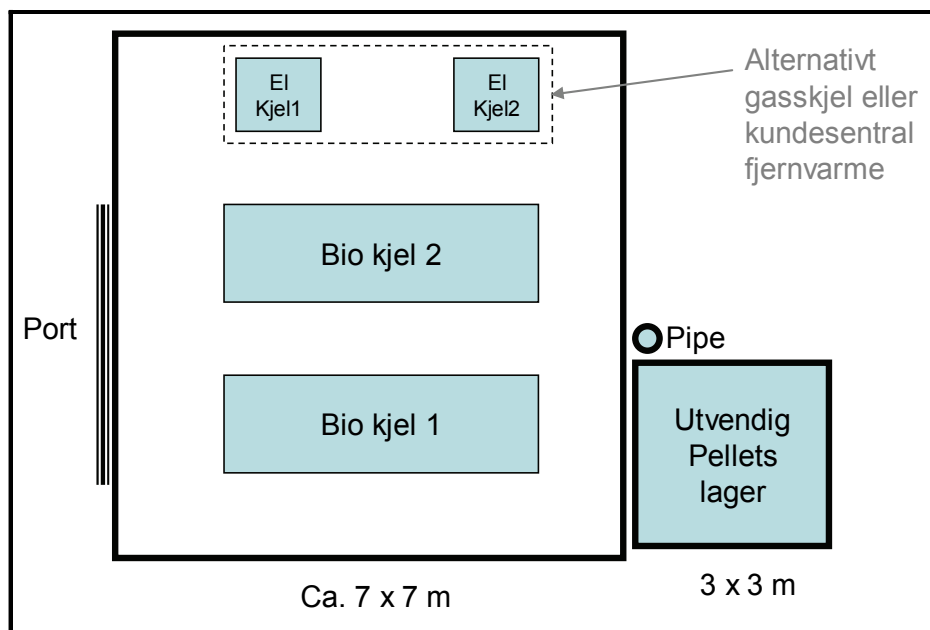
Backupkapasiteten installeres mest kostnadseffektivt som en elektrokjele, og den lave brukstiden for spisslastkapasiteten er en indikasjon på at en elektrokjele vil være egnet også som spisslastkapasitet.

5.4.1 Eksempel på realisering av anbefalt løsning

Figurene 5-6 og 5-7 viser eksempler på komponenter som inngår i varmesentralen, samt et forslag til grov-layout. Det er strengt tatt ikke behov for et eget bygg til varmesentralen – den kan plasseres inn i 1. etg. i en av blokkene dersom dette rommet gis en meter ekstra takhøyde. Det må imidlertid tas hensyn til atkomst til det utvendige pelletslageret med trailer med tilhenger – det forventes 1 – 2 transporter pr. måned i de kaldeste månedene. Det må også være mulig å løfte biokjelene inn i sentralen – et løft på 2,6 tonn pr. kjel. Gulvet i sentralen må være fundamentert for å tåle denne vekten + vekten av vannvolumet i full kjel (1 m³ – dvs. ett tonn), og rommet må være godt isolert mot naboleiligheter og utstyrt med tilstrekkelig ventilasjon for å ta hånd om overskuddsvarme fra kjelene når de er i full drift.



FIGUR 5-6 Aktuelle komponenter som kan inngå i varmesentralen.



FIGUR 5-7 Mulig layout for varmesentral.

6 Mulig driftsmodeller

En energisentral med tilhørende installasjoner som beskrevet i foregående kapitler kan driftes på mange ulike måter. Men det viktigste er at det driftes av kompetente personer, dvs. at en *dugnadsmoell* der beboerne selv drifter anlegget ikke er å anbefale. Kompetent drift av et slikt anlegg er også nært knyttet til eierskapsmodellen som velges. Noen aktuelle modeller for eierskap og drift er:

1. Et lokalt energiselskap både eier og drifter anlegget. Beboerne vil da normalt betale en energipris for tilført varme og eventuelt en tilknytningsavgift, etter samme modell som fjernvarme. Den meste vanlige tariffen er da at man får en varmepris som ligger noen prosent under elektrisitetsprisen i området (typisk 5-10 %), men dette kan også være et bestemmes ved forhandlinger der det er større utbygginger/borettslag. En gevinst ved denne modellen, da primært for energiselskapet, er at energisentralen kan kobles på et eventuelt fjernvarmenett og dermed gi større fleksibilitet.
2. En alternativ modell er at en profesjonell varmeleverandør leverer brensel til anlegget, og drifter anlegget. Varmeleverandøren kan da eie energisentralen i sin helhet, og som et lokalt energiselskap da ta en varmepris(kWh-pris), som enten er fast over en viss tid eller følger elektrisitetsprisen som for fjernvarme. Varmeleverandøren vil da ta mye av risikoen ved å drive et slikt anlegg, men også da ta mye av gevinsten hvis brenselprisen (pellets) er betydelig lavere enn alternativene (se kap. 7). Alternativt kan anlegget leases over for eksempel en 10-årsperiode, og deretter tilfalle beboerne (sameie/borettslaget). Det er selvsagt også mulig at anlegget eies av beboerne, men at varmeleverandøren leverer brensel(pellets) til en avtalt pris + har en serviceavtale på periodisk vedlikehold.
3. Et tredje alternativ er å ha en vaktmester til å drifte anlegget. Vaktmesteren kan da være ansatt av borettslaget/sameiet, eller det kan være en innleid fra et vaktmesterfirma (vanlig løsning i dag). Det som er viktig er at vaktmesteren har kompetanse og en viss erfaring med drift av biobrenselanlegg av denne type. Leverandører av biobrensel vil da typisk ha mer kortsiktige avtaler, for eksempel 1 år, eller at det bare kjøpes til markedspris etter behov. Ofte vil en pelletsleverandør også kunne tilby en viss oppfølging og service på anlegget. Dette er en modell med noe større risiko, men også mulighet for større gevinst hvis pellets/biobrenselprisen er lavere enn alternativene.

TABELL 6-1 Fordeler og ulemper ved ulike drifts- og eierskapsmodeller

Drifts- og eiermodell	Fordeler	Ulemper
1. Lokalt energiselskap	- Sikker drift - Lav risiko for beboerne	- Gir normalt høyere energipris - Beboerne eier ikke, og har ikke råderett over anlegget
2. Profesjonell varmeleverandør	- Relativt sikker drift, avhengig av avtale - Mulighet for avtale om forutsigbar energipris - Mulighet for å eie anlegget	- Varmeleverandør tar "overskuddet" => høyere energipris - Låser seg til en leverandør, et visst antall år
3. Vaktmestermodellen	- Eier og har råderett over anlegget - Normalt den gunstigste energiprisen - Kan skifte leverandører hvis ønskelig	- Større risiko for driftsstans - Mindre forutsigbare energipriser - Avhengig av kompetansen til vaktmester/vaktmesterfirmaet

Konklusjonen er at om man velger en modell som gir presumptivt lavere energipris, må man sikre seg at anlegget driftes av kompetente personer. Der beboerne eier anlegget selv kan nedbetaling og kontinuerlig

veldikehold/service enten betales enten ved månedlig faste kostnader, eller ved betaling av en effektiv energipris som inkorporerer dette.

7 Økonomi

7.1 Bakgrunn

Det tas utgangspunkt i en kombinert anbefalt løsning med solvarme + bioenergi, med elektrisitet som spisslastkapasitet. Solvarmesystemet realiseres med solfangere og akkumulatorkapasitet tilknyttet hver blokk i området, med en sentral nærvarmesentral med 2 x 250 kW biokjeler, en spisslastkjel på 250 kW og en backupkjel på ytterligere 250 kW. Spisslastkjelen vil være nødvendig for de kaldeste vinterdagene, mens backupkjelen er en sikkerhetsreserve i tilfelle en av biokjelene skulle falle ut under en kuldeperiode.

Det forutsettes at på energibasis vil fordelingen over året mellom sol, bio og elektrisitet vil være 45 % + 50 % + 5 %.

Her sammenlignes den foreslåtte løsningen med følgende andre løsninger:

- Elektrisitet
- Naturgass
- Avfallsbasert fjernvarme
- Varmepumpe

7.2 Økonomiske basisdata

Det forutsetter at ingen av løsningene vil være utløsende for anleggsbidrag for tilknytning til omliggende infrastruktur (noe som f. eks. vil kunne skje dersom økningen i det lokale el.-forbruket fører til at der måtte fremføres nye høyspentledninger og / eller installeres nye transformatorer i området).

Det forutsettes videre at kostnadene for distribusjon av varme fra varmesentral ut i boligområdet kan settes lik for alle løsninger, slik at rangeringen av alternativer ikke påvirkes av kostnadene for det interne distribusjonsnettet i området. Disse distribusjonskostnadene er ikke inkludert her.

Alle alternativer er analysert for samme levetid (20 år) og for to forskjellige kalkylerenter (7 % og 3 %), med unntak for alternativet med luft-vann varmpumpe, der teknisk levetid⁷ er satt til 15 år.

Varmeleveranser fra lokale energileverandører kan være tariffert med en kombinasjon av fastledd og forbruksavhengige kostnader. Dette gjelder både elektrisitetsforsyning til naturgassforsyning. Dette kan gjøre det vanskelig med en direkte sammenligning av kWh-priser for forskjellige energiløsninger. Her er det valgt å trekke fastleddene inn og fordele dem utover antallet forbrukte kWh, slik at man får en "effektiv kWh-pris", analogt til bankenes bruk av *effektiv rente*, der faste gebyrer er trukket inn. Det er disse effektive energiprisene som sammenlignes her.

Noen av løsningene vil kunne være berettiget til støtte fra Enova. Her benyttes som forutsetning at løsninger basert på varmpumper, bioenergi eller sol vil kunne være støtteberettiget⁸ med 50 øre pr. årlig produsert kWh. Dette tilsvarer 5 øre pr. kWh produsert ved 7 % rente, og 3 øre pr. kWh ved 3 % rente.

⁷ Dette er nye løsninger med begrenset erfaringsbase, og kanskje er 15 år uten vesentlige overhalinger her optimistisk.

⁸ Avfallsbasert fjernvarme vil også kunne være støtteberettiget, men her forutsettes det at dette er et tilskudd til energiselskapet som eier anlegget, og er uavhengig av den tariffen for fjernvarme som de har etablert.

7.3 De vurderte alternativene

Vedlegg B gir en full oversikt over alle økonomiske parametre som er benyttet i beregningene. Her gis kun en kort oversikt over hovedtrekkene ved de ulike alternativene. Virkningsgraden for alle kjeler er satt til 90 %.

7.3.1 Elektrokjeler i varmesentral

Her er det brukt stedlige tariffer for kraft og nettleie. Investeringene begrenses til anskaffelse av elektrokjeler med samlet installert effekt på 750 kW. Fastleddet i nettleien er i ett eksempel belastet med 50 % av husholdnings-tariffen for de 700 husholdningene i området, og 50 % er brukt fordi ca. halvparten av husholdningens kraftforbruk her går til el.-spesifikke formål og er dermed varmeproduksjonen uvedkommende. I et annet eksempel er fastleddet i nettleien neglisjert, for å illustrere den effektive kraftpris som oppstår ved andre løsninger som krever mindre mengder elektrisk kraft (f. eks. spisslast i bioløsninger eller ved bruk av varmepumpe).

7.3.2 Gasskjel i varmesentral

Her er det brukt stedlige tariffer. Investeringene begrenses til anskaffelse av gasskjel. Ett eksempel viser effektiv kWh-pris med dagens månedlige tariff pr. husholdning som et fastledd som fordeles utover det totale gassforbruket. Et annet eksempel viser effektiv kWh-pris for det tilfelle at dagens stedlige fastledd-tariff halveres.

7.3.3 Fjernvarme:

Stedlig tariff brukes. Investeringer begrenses til kundesentral.

7.3.4 Varmepumpe

Forutsatt luft-vann varmepumper med installert effekt på 750 kW. Økonomitallene er her basert på et eksempel presentert av Østfold Enøk og oppskalert lineært. Kraftprisen baseres på lokale tariffer uten fastledd for nettleie.

7.3.5 Bioenergi

Her presenteres flere eksempler. Alle har det til felles at de består av 500 kW biokjeler + 250 kW elektrokjel spisslast + 250 kW elektrokjel backup.

Den første viser effektiv kWh-pris for det tilfelle at biokjelen er en pellets-kjel, uten akkumulator, der biokjelen sammen med spisslastkapasiteten står for hele varmeforsyningen (dvs. uten sol).

Den andre bio-løsningen, som er den som anbefales her, er en kombinasjonsløsning mellom sol (45%) og bio (50%) (pellets) og spisslast (5%). Her fører bidraget fra sol til at biokjelen får redusert årlig brukstid sammenlignet med rene bioløsninger.

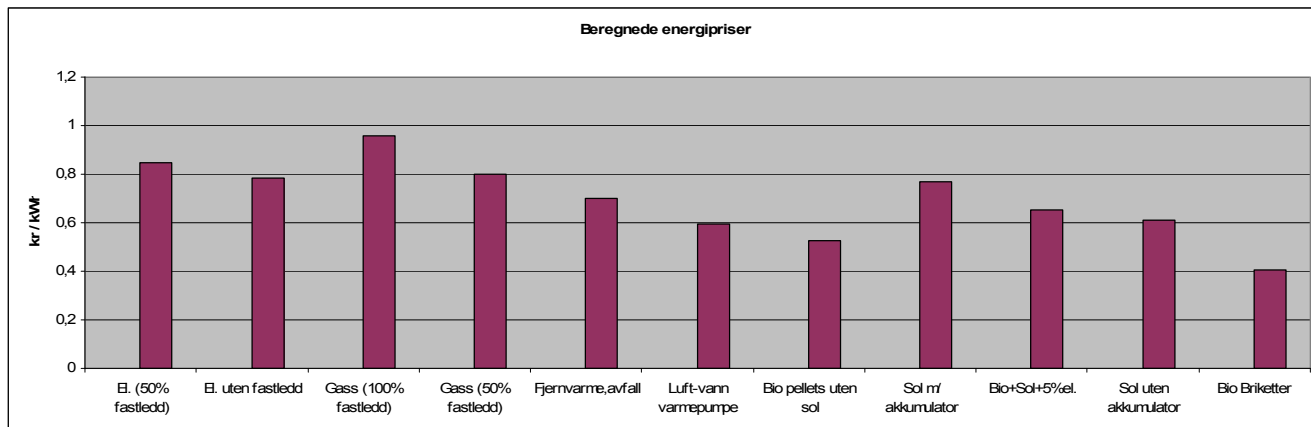
Det siste eksemplet på en bio-løsning er basert på briketter istedenfor pellets. Dette krever en noe mer kostbar utrustning, men muliggjør bruk av billigere brensel.

7.3.6 Sol

Tre solenergiløsninger er presentert. Kun nr. 2 av disse er realistisk gjennomførbar – den er kombinasjonen med bio som er beskrevet ovenfor. De to andre løsningene er mer illustrerende eksempler – den første viser effektiv kWh-pris for en løsning som både omfatter selve solfangersløyfen og akkumulator-kapasiteten som er nødvendig i et kombinert sol-bio anlegg. Den tredje viser effektiv kWh-pris for selve solfanger-sløyfen uten akkumulator. Det sees at akkumulator-kostnadene er betydelige.

7.3 Resultater

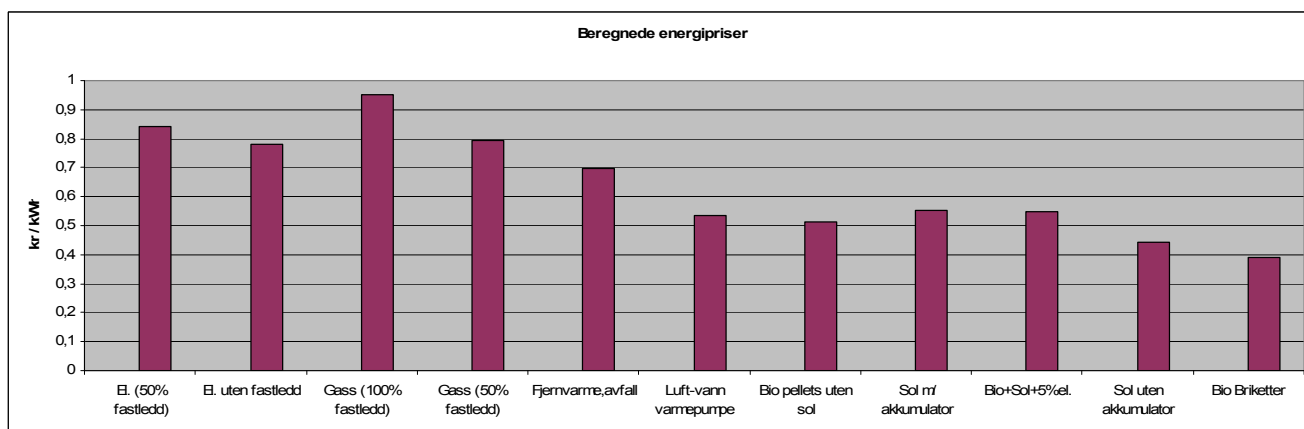
De to følgende figurene med tilhørende tabeller viser beregnet effektiv kWh-pris for de løsningene som er beskrevet ovenfor, med kalkulasjonsrenter på hhv. 7 % og 3 %.



FIGUR 7-1 Effektiv energipris for de ulike alternativene beskrevet ovenfor, med en kalkulasjonsrente på 7 %.

TABELL 7-1 Effektiv energipris for de ulike alternativene, med 7 % kalkulasjonsrente.

Varmeproduksjons-alternativer	Effektiv energipris
El. (50% fastledd)	0.85 kr/kWh
El. uten fastledd	0.78 kr/kWh
Gass (100% fastledd)	0.96 kr/kWh
Gass (50% fastledd)	0.80 kr/kWh
Fjernvarme, avfall	0.70 kr/kWh
Luft-vann varmepumpe	0.60 kr/kWh
Bio pellets uten sol	0.53 kr/kWh
Sol m/ akkumulator	0.77 kr/kWh
Bio+Sol+5%el.	0.65 kr/kWh
Sol uten akkumulator	0.61 kr/kWh
Bio Briketter	0.40 kr/kWh

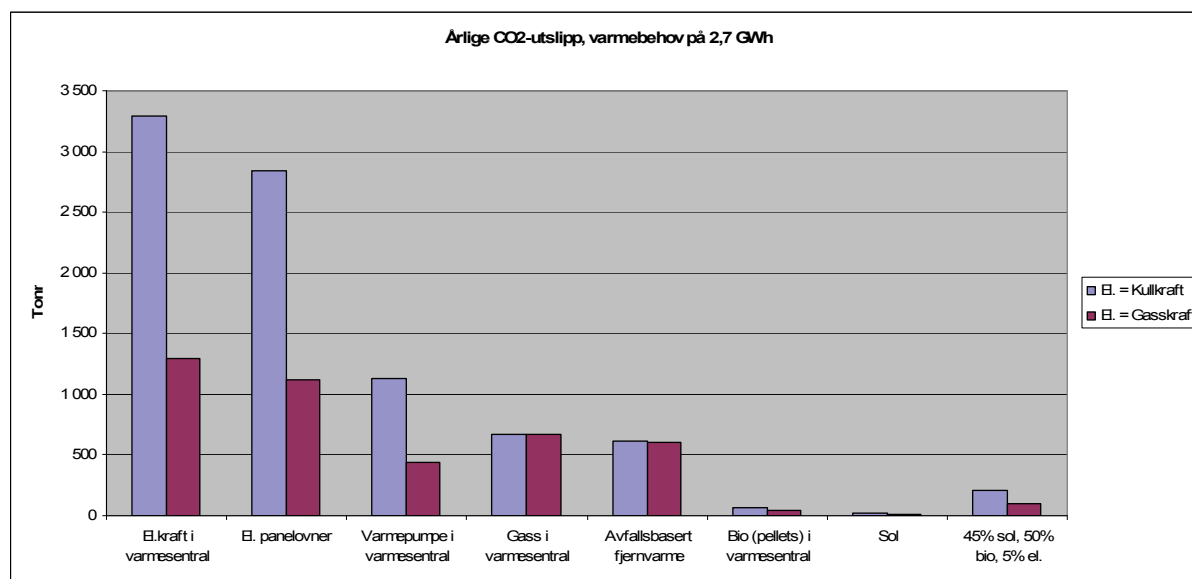


FIGUR 7-2 Effektiv energipris for de ulike alternativene beskrevet ovenfor, med en kalkulasjonsrente på 3 %.

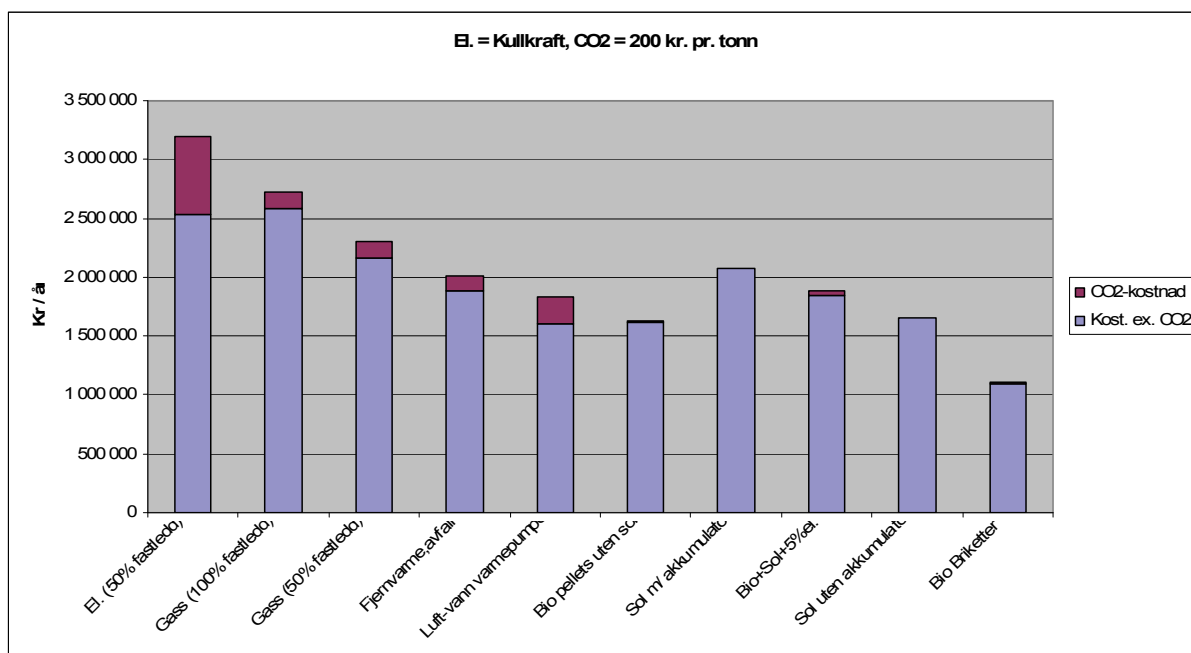
TABELL 7-2 Effektiv energipris for de ulike alternativene, med 3 % kalkulasjonsrente.

Varmeproduksjons-alternativer	Effektiv energipris
El. (50% fastledd)	0.84 kr/kWh
El. uten fastledd	0.78 kr/kWh
Gass (100% fastledd)	0.95 kr/kWh
Gass (50% fastledd)	0.79 kr/kWh
Fjernvarme, avfall	0.70 kr/kWh
Luft-vann varmepumpe	0.54 kr/kWh
Bio pellets uten sol	0.52 kr/kWh
Sol m/ akkumulator	0.55 kr/kWh
Bio+Sol+5%el.	0.55 kr/kWh
Sol uten akkumulator	0.44 kr/kWh
Bio Briketter	0.39 kr/kWh

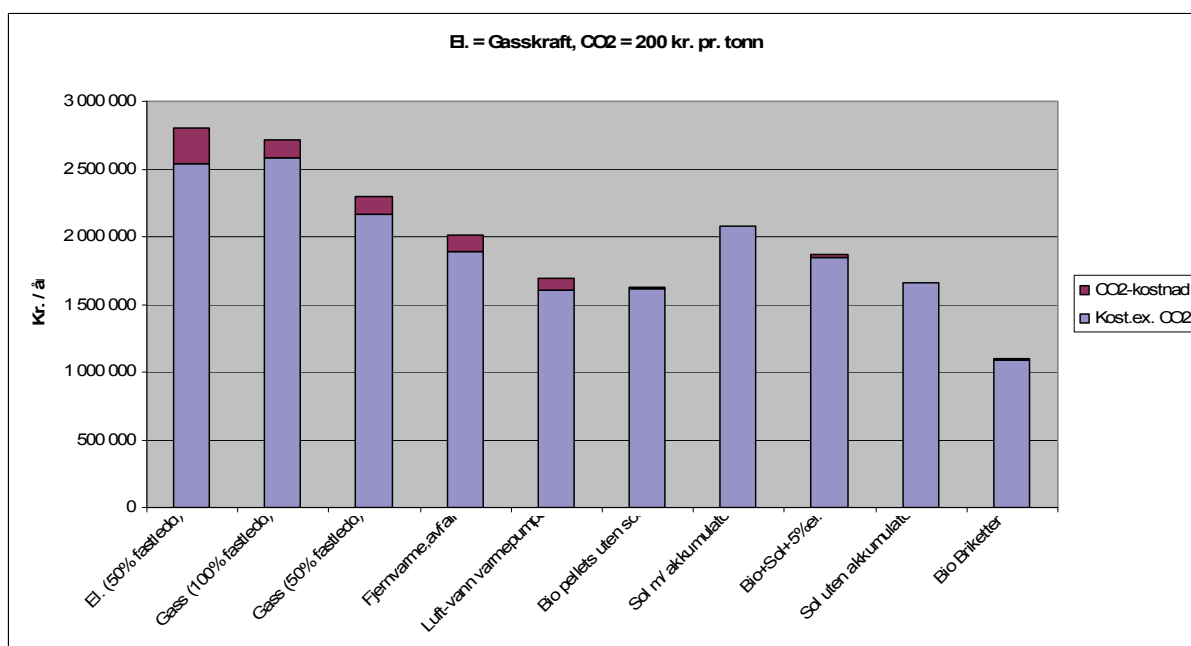
I regnestykker som er basert på et så stort antall forutsetninger som det som er tilfelle her, skal man være forsiktig med å trekke bastante konklusjoner basert på små forskjeller mellom alternativene. Det synes imidlertid som om der kan være en nivåforskjell mellom den effektive kWh-prisen på løsninger som allerede tilbys av stedlige energiselskaper sammenlignet med det som er mulig å oppnå ved å etablere en nærvarmesentral. Dette bildet blir ytterligere forsterket når man trekker inn CO₂-utslippene hos de forskjellige løsningene. Som neste figur viser, er der stor forskjell i CO₂-utslipp mellom de forskjellige løsningene, og det er de løsningene som allerede tilbys av de stedlige energiselskapene som har de største CO₂-utslippene.


FIGUR 7-3 Årlig CO₂ utslipp for de ulike varmealternativene.

De to neste figurene illustrerer årlige energikostnader basert på de ovenstående effektive kWh-prisene, for en kalkylerente på 7 %. På toppen av de årlige energikostnadene er det her lagt et kostnadselement som reflekterer en CO₂-pris pr. tonn på 200 kr.

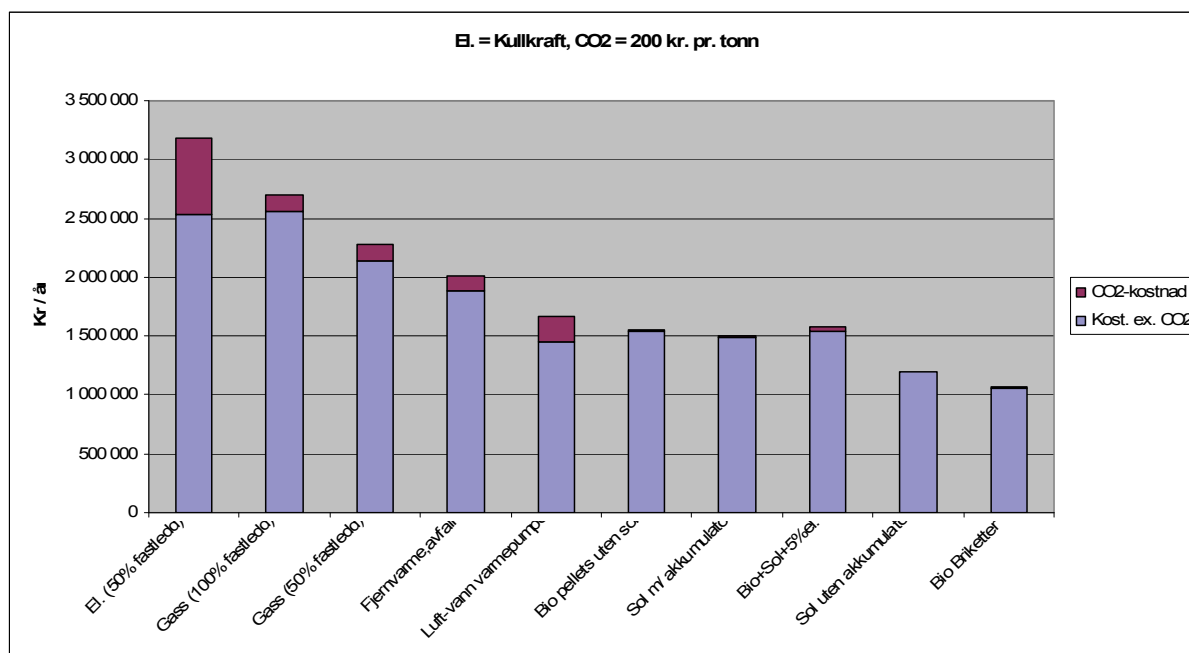


FIGUR 7-4 Årlige energikostnader for de ulike varmealternativene med kalkylerente på 7 %. En CO₂-kostnad på 200 kr/tonn er vist på toppen (mørke rødt) av vanlige energikostnader (blå). CO₂ utslipp fra el er regnet med kommer fra kullkraftverk.

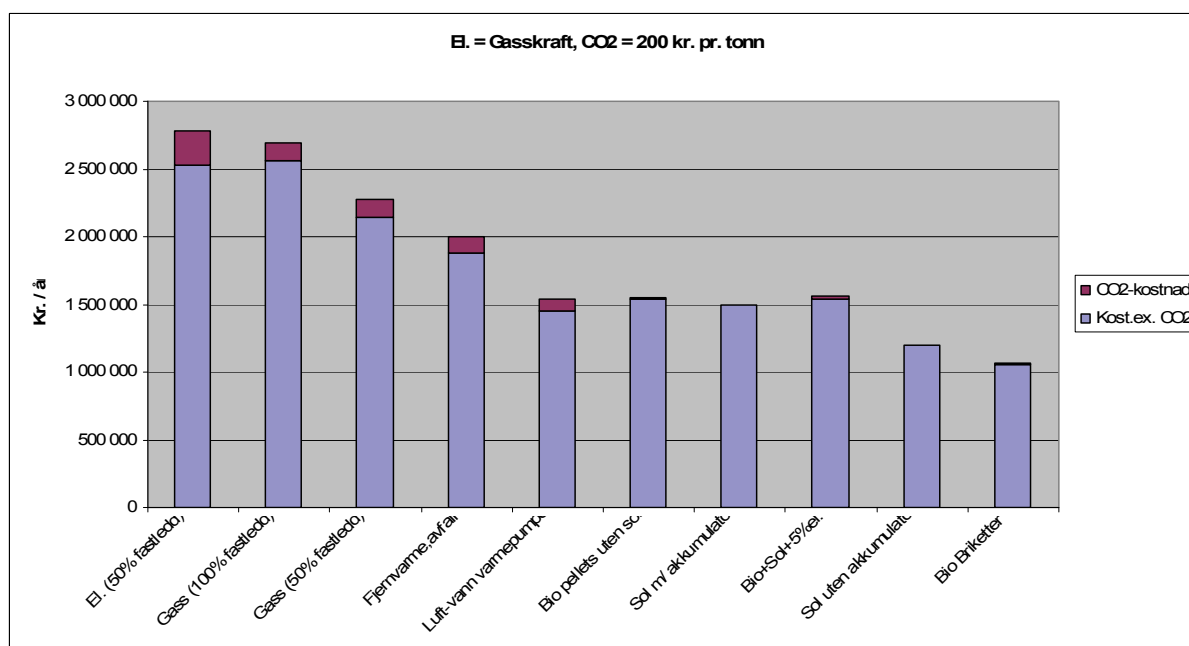


FIGUR 7-5 Årlige energikostnader for de ulike varmealternativene med kalkylerente på 7 %. En CO₂-kostnad på 200 kr/tonn er vist på toppen (mørke rødt) av vanlige energikostnader (blå). CO₂ utslipp fra el er regnet med kommer fra gasskraftverk.

De to neste figurene viser samme beregning for en kalkylerente på 3 %:



FIGUR 7-6 Årlige energikostnader for de ulike varmealternativene med kalkylerente på 3 %. En CO₂-kostnad på 200 kr/tonn er vist på toppen (mørke rødt) av vanlige energikostnader (blå). CO₂ utslipp fra el er regnet med kommer fra kullkraftverk.



FIGUR 7-7 Årlige energikostnader for de ulike varmealternativene med kalkylerente på 3 %. En CO₂-kostnad på 200 kr/tonn er vist på toppen (mørke rødt) av vanlige energikostnader (blå). CO₂ utslipp fra el er regnet med kommer fra gasskraftverk.

7.4 Konklusjoner

Den anbefalte løsningen med sol + bio kommer økonomisk fordelaktig ut sammenlignet med de varmeløsninger som i dag tilbys fra lokale energileverandører, samtidig som den har vesentlig lavere CO₂-utslipp.

Løsningen er riktignok ikke den absolutt rimeligste av de alternativene som er vurdert – beregningsresultatene viser at det ville vært rimeligere å satse på en ren bio-løsning.

8 CO₂ utslipp fra ulike oppvarmingsløsninger

8.1 Bakgrunn

Boligområdet Jåtten Øst II med rundt 700 boenheter og totalt areal på rundt 60 000 m² vil få et forventet varmebehov til tappevann og romoppvarming på 2,7 GWh. Forskjellige løsninger vil her gi forskjellige CO₂-utslipp.

Her vil følgende energibærere / energikilder bli vurdert mht. utslipp CO₂:

- Elektrisk oppvarming, lokalt i hver boenhet eller med elektrokjelbasert nærvarmesentral
- Nærvarmesentral med elektrisk drevet varmepumpe
- Nærvarmesentral fyrst med naturgasskjel
- Fjernvarme basert på energigjenvinning fra avfall
- Nærvarmesentral fyrst med bioenergi (pellets)
- Solfangerbasert varmeforsyning

Flere av disse vil ikke kunne stå for hele varmeforsyningen alene – eksempelvis vil der ikke være tilstrekkelig solenergi tilgjengelig i vintermånedene til å dekke mer enn en del av varmekbehovet. Videre vil det sjelden være lønnsomt å la en bioenergibasert løsning dekke hele varmebehovet de kaldeste dagene – dette ville kreve en kostbar installasjon som ville ha stor ledig kapasitet mesteparten av året.

Her er det sett på en kombinasjonsløsning med 45 % solenergi og 50 % bioenergi som basislastkapasitet, i tillegg til en spisslastkapasitet for de siste 5 prosentene av varmeforsyningen basert på elektrisitet. Elektrisitet er her valgt fremfor andre alternative spisslastløsninger fordi elektrokjeler er rimelige investeringsmessig og vil ikke kreve fremføring av ny infrastruktur – elektrisk infrastruktur vil i alle fall måtte fremføres til området for å forsyne el.-spesifikke energibehov til lys og diverse husholdningsmaskiner.

8.2 Spesifikke CO₂ utslipp

Marit Thyholt gjengir i sin dr.ing. avhandling [10] spesifikke utslipp av CO₂ pr. kWh sluttforbruk av varme basert på forskjellige energikilder / energibærere. Det er disse dataene som er brukt her, med ett unntak: Thyholt betrakter energi fra avfall som spillvarme med tilhørende lave CO₂-utslipp. Her er det i stedet tatt utgangspunkt i norske myndigheters beskatning av avfall til forbrenning som en delvis fossil energikilde.

8.2.1 Restavfall og CO₂-utslipp

Avfall er en flyttbar ressurs og er i dag en handelsvare både nasjonalt og internasjonalt. Dette i motsetning til spillvarme, som oppstår som et biprodukt i produksjonen av andre varer. Konkret er det her tatt utgangspunkt i at dagens norske restavfall har en plastfraksjon på 25 % (vektbasis). Denne plastfraksjonen utgjør mer enn 50 % av energiinnholdet i restavfallet. Virkningsgraden for varmeproduksjon fra avfall er her satt til 85 %, og energiutnyttelsen fra forbrenningsanlegget er satt til 70 %. Dette er typiske norske gjennomsnittstall for virkningsgrad og energiutnyttelse. Forbrenning av et kg plast vil gi CO₂-utslipp på 3,15 kg CO₂, og det regnes her med at resulterende varmemengde blir 13 kWh. Utslippene pr. kWh varme levert ut på fjernvarmenettet blir med disse forutsetningene 211 gram pr. kWh varme.

8.2.2 Elektrisitet og CO₂-utslipp

Norsk elektrisitetsproduksjon er i all hovedsak basert på vannkraft, som gir svært lave CO₂-utslipp. Det betyr imidlertid ikke at elektrisitetsforbruket i Norge bør betraktes som CO₂-fritt i en global sammenheng: Norge er i dag en integrert del av det nordiske kraftmarkedet, som integreres stadig tettere i det europeiske kraftmarkedet.

Redusert elektrisitetsforbruk i Norge må derfor, unntatt i visse unntakssituasjoner⁹, betraktes på samme måte som redusert elektrisitetsforbruk i Europa.

Der er mange oppfatninger om hvordan man skal vurdere effektene på CO₂-utslipp av redusert elektrisitetsforbruk i Europa. Noen mener man bør se på CO₂-utslippene fra gjennomsnittet i dag, dvs. den blandingen av kullkraft, gasskraft, kjernekraft og fornybar produksjon som eksisterer i dag. Andre mener at man bør se på de marginale effektene, dvs. CO₂-utslippene fra de produsentene som har lavest årlig brukstid og kun produserer når kraftprisene er høyest – når etterspørselen etter kraft reduseres og prisene synker er det disse produsentene som vil redusere sin produksjon mens de andre produserer uanfektet av reduksjonen i etterspørsel. Atter andre mener at dagens sammensetning av kraftproduksjon ikke vil være representativ for fremtiden, slik at når man skal analysere effektene av nye tiltak som har lang levetid, så skal man forsøke å se fremover og legge til grunn CO₂-utslippene fra den sammensetningen av energikilder som vil være representativ over tiltakets levetid.

Her er det en marginalbetraktning som er lagt til grunn, men det er ikke dagens mest forurensende kilder som er lagt til grunn. Dagens mest forurensende kilder vil være de minst effektive eksisterende kullkraftverkene i Europa, med virkningsgrader på 30 % eller lavere. I stedet er det lagt til grunn et Kullkraft-scenarie, der det forutsettes at kraften kommer fra kullkraftverk med 40 % virkningsgrad, og et Gasskraft-scenarie, der det forutsettes at kraften kommer fra gasskraftverk (uten CO₂ rensing) med 60 % virkningsgrad. Disse scenariene er for øvrig representative for analyser utført tidligere av ECON, av NVE og Oljedirektoratet, og av SFT.

8.2.3 Tap og CO₂-utslipp fra produksjon av brensel

Her benyttet datamaterialet fra Thyholts avhandling uten endringer. Der oppstår eksempelvis CO₂-utslipp i produksjonen av biomasse, gass og kull før disse blir forbrent, og driften av kjeler og pumper i et fjernvarmenett eller nærvarmenett krever elektrisitet.

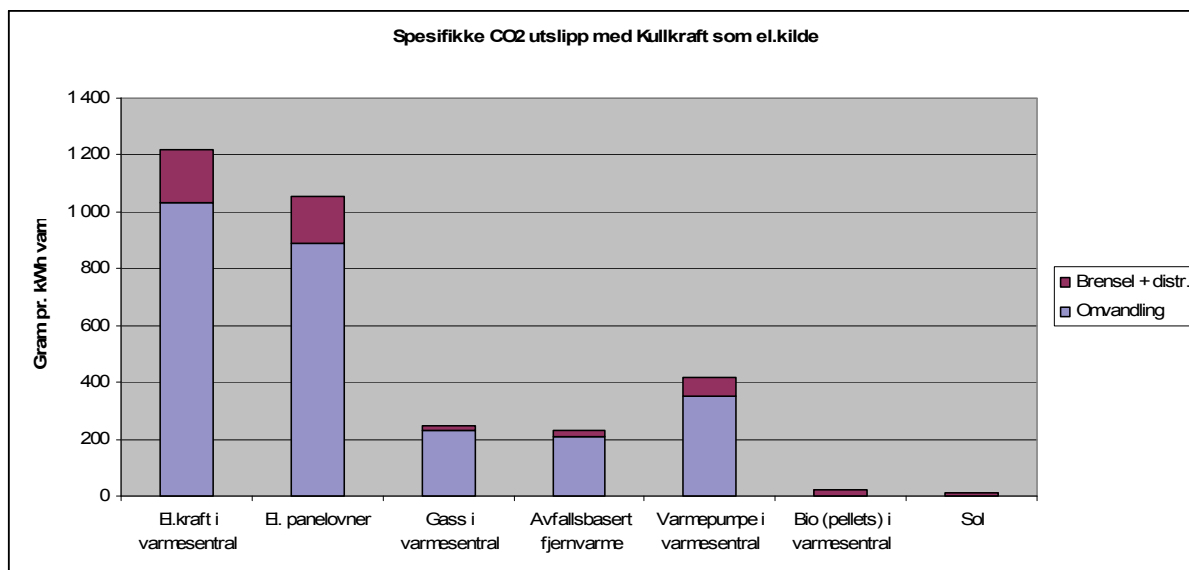
8.2.4 CO₂-utslipp fra fremstilling av utstyr

Det er ikke tatt hensyn her til de CO₂-utslipp som har funnet sted i fremstillingen av utstyret for varmeproduksjonen, eksempelvis CO₂-utslippene ved produksjon av en biokjel, en solfanger eller et avfallsforbrenningsanlegg.

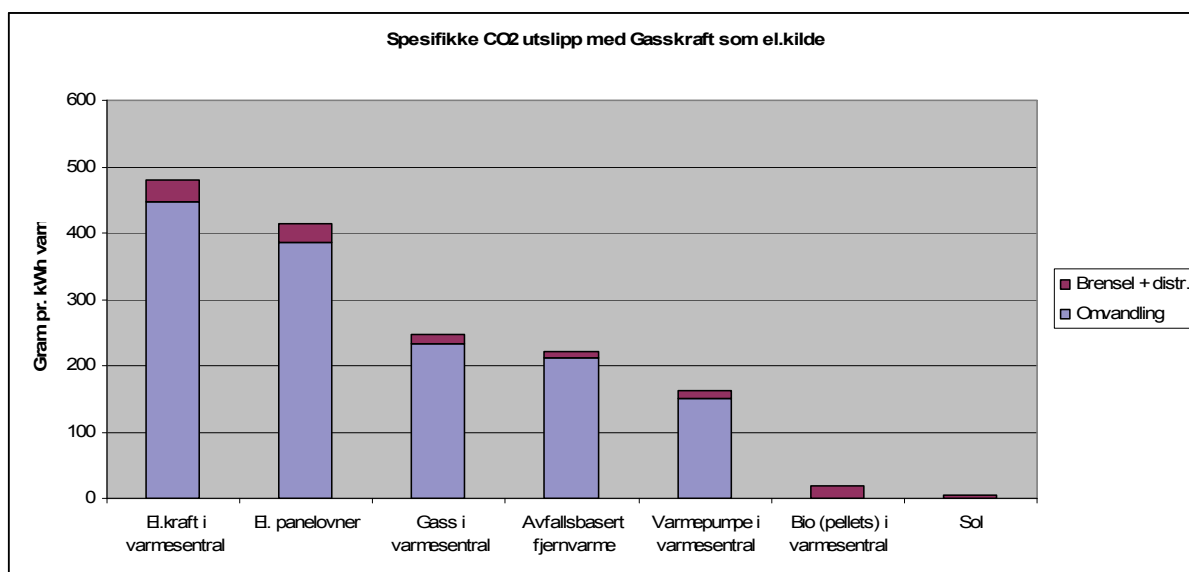
⁹ Dette gjelder overløpssituasjoner – perioder der det regner så mye at man ikke klarer å ta vare på alt vannet, men må la det gå utenom turbinene. Disse situasjonene inntreffer periodisk, men utgjør samlet sett en liten del av tiden.

8.3 Resultater

De neste to figurene viser spesifikke CO₂-utslipp for hhv. Kullkraftscenariet og Gasskraftscenariet:



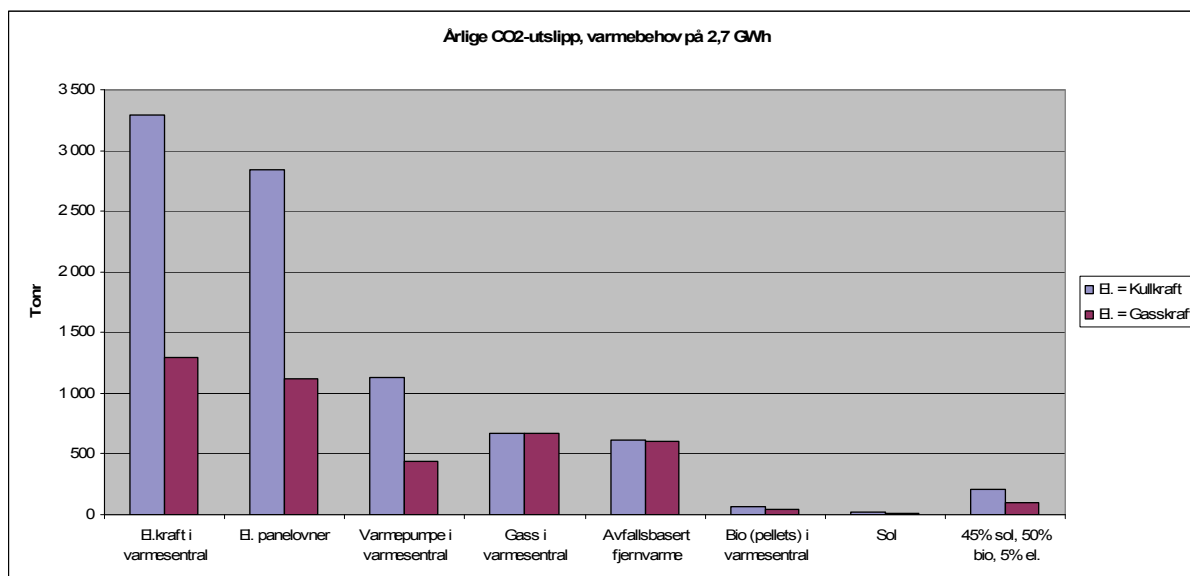
FIGUR 8-1 Spesifikke CO₂-utslipp pr kWh med antatt kullkraftscenarie.



FIGUR 8-2 Spesifikke CO₂-utslipp pr kWh med antatt gasskraftscenarie.

8.3.1 CO₂-utslipp for hele området

Figur 8.3 viser de samlede forventede globale CO₂-utslippene i tonn pr. år for hele området, med et varmebehov på 2,7 GWh pr. år. I tillegg til de energikildene / energibærerne som er gjengitt ovenfor, er det her også tatt med et forslag til totalløsning med en kombinasjon av sol og bioenergi, med elektrisitet som spisslast.



FIGUR 8-3 Viser totale CO₂-utslipp for å dekke varmebehovet, for hele området.

Rangeringen er svært tydelig – sol og bio kommer ut som klart beste alternativ. Gass og avfallsbasert fjernvarme skiller seg, kanskje noe forbausende, ikke vesentlig fra hverandre. Og varmepumpe er kun en god løsning sammenlignet med f. eks. gass og avfallsbasert fjernvarme dersom man legger til grunn at elektrisiteten ikke kommer fra kullkraft.

For kombinasjonen av sol og bio med el. som spisslast er det hovedsaklig spisslasten som slår ut på CO₂-utslippene, selv om andelen spisslast kun er 5 %. For sol – bio kombinasjonen kunne CO₂-utslippene blitt ytterligere redusert dersom gass ble benyttet som spisslast, men her er det først og fremst et økonomisk spørsmål om kostnadene ved fremføring av gass til området samt investering i en gasskjel med svært lav brukstid ville kunne gi akseptable tiltakskostnader for den CO₂-reduksjonen som slik ville kunne oppnås.

En mulig alternativ spisslastløsning med lave CO₂ utslipp kunne være en oljekjel fyrt med biodiesel eller bioetanol. Denne spisslastløsningen er ikke videre utredet her.

Referanser

- [1] IEA, "WORLD ENERGY OUTLOOK 2004", (<http://www.iea.org/Textbase/publications>)
- [2] NOU 2006:18 "Et klimavennlig Norge", Lavutslippsutvalget (www.regjeringen.no/Rpub/NOU/20062006/018/PDFS/NOU200620060018000DDDPDFS.pdf)
- [3] Passivhaus Institut, Dr. Wolfgang Feist (www.passiv.de)
- [4] Cost Efficient Passive Houses as European Standards (www.cepheus.de)
- [5] PEP: Promotion of European Passive houses; Project description. EC EIE Programme (www.europeanpassivehouses.org/)
- [6] Johan Reiss, "Tyskland: Rekkehus med 52 boligenheter", Foredrag på konferansen: "Lær av de beste lavenergiboligene i Europa", Maihaugen, Lillehammer April 2004.
- [7] Andresen I, Dokka TH, Lexow TE, "New Norwegian Standard for Certification of Low Energy and Passive Houses" Paper at the 12th International Passive House Conference, 11-12 April 2008, Nuremberg, Germany.
- [8] Dokka, T.H. and I. Andresen (2006). "Passive Houses in Cold Norwegian Climate", Paper at the 10th International Passive House Conference, 19-20 May 2006, Hanover, Germany.
- [9] NS 3031 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data. Standard Norge, Oktober 2007.
- [10] Thyholt, Marit; "Varmeforsyning til lavenergiboliger i områder med fjernvarmekonsesjon – Analyser av CO₂-utslipp og forsyningssikkerhet for elektrisitet". Doktoravhandling ved NTNU 2006: 162.

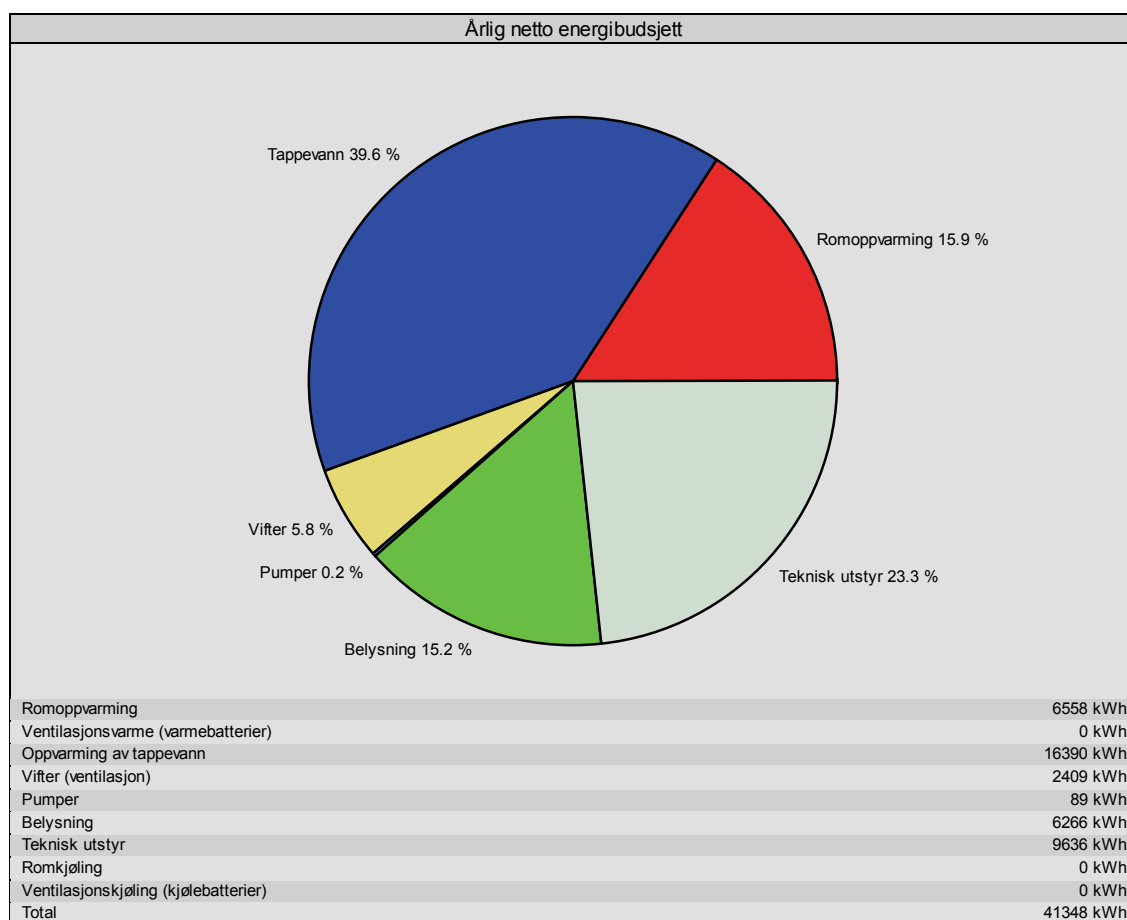
VEDLEGG A Inndata og detaljerte energieresultater for byggmodeller

A.1 Rekkehus

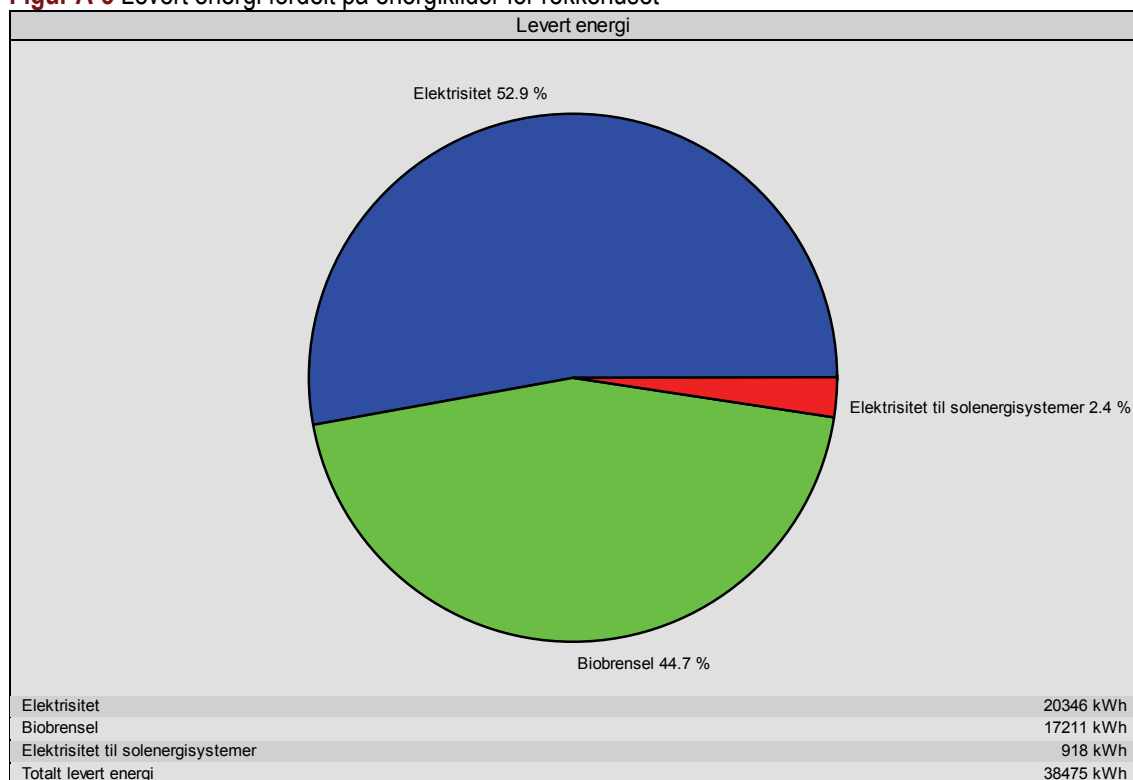
Figur A-1 Inndataverdier brukt i simuleringen av rekkehuset

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)	
Beskrivelse	Verdi
Areal yttervegger [m ²]:	286
Areal tak [m ²]:	275
Areal gulv [m ²]:	275
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	110
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	550
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	1287
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0.14
U-verdi tak [W/m ² K]	0.10
U-verdi gulv [W/m ² K]	0.09
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0.80
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20.0
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0.01
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	28
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0.60
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	75
Frostsikringstemp. varmegjenvinner [°C]:	0.0
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ² /s]:	1.50
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1.2
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1.2
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	4.5
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	13
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)	
Beskrivelse	Verdi
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20.3
Systemeffektfaktor kjøling:	2.50
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0.0
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0
Spesifikk pumpeeffekt [kW/m ² /s]:	0.50
Driftstid oppvarming (timer)	24.0
Driftstid kjøling (timer)	0.0
Driftstid ventilasjon (timer)	24.0
Driftstid belysning (timer)	24.0
Driftstid utstyr (timer)	24.0
Oppholdstid personer (timer)	24.0
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	2.0
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1.2
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3.4
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0.0
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1.5
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0.05
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0.30
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1.00

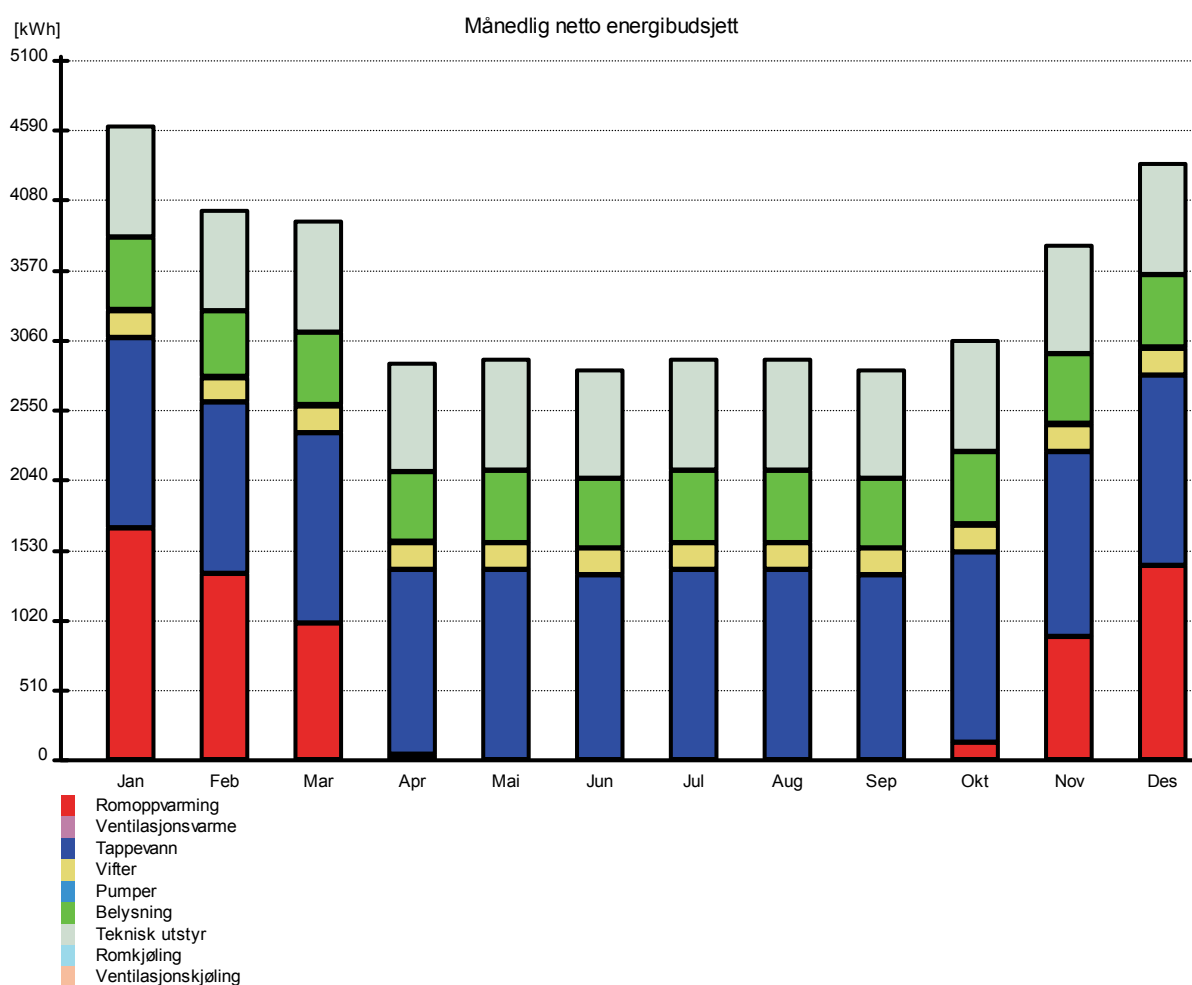
Figur A-2 Netto energibudsjett for rekkehuset



Figur A-3 Levert energi fordelt på energikilder for rekkehuset



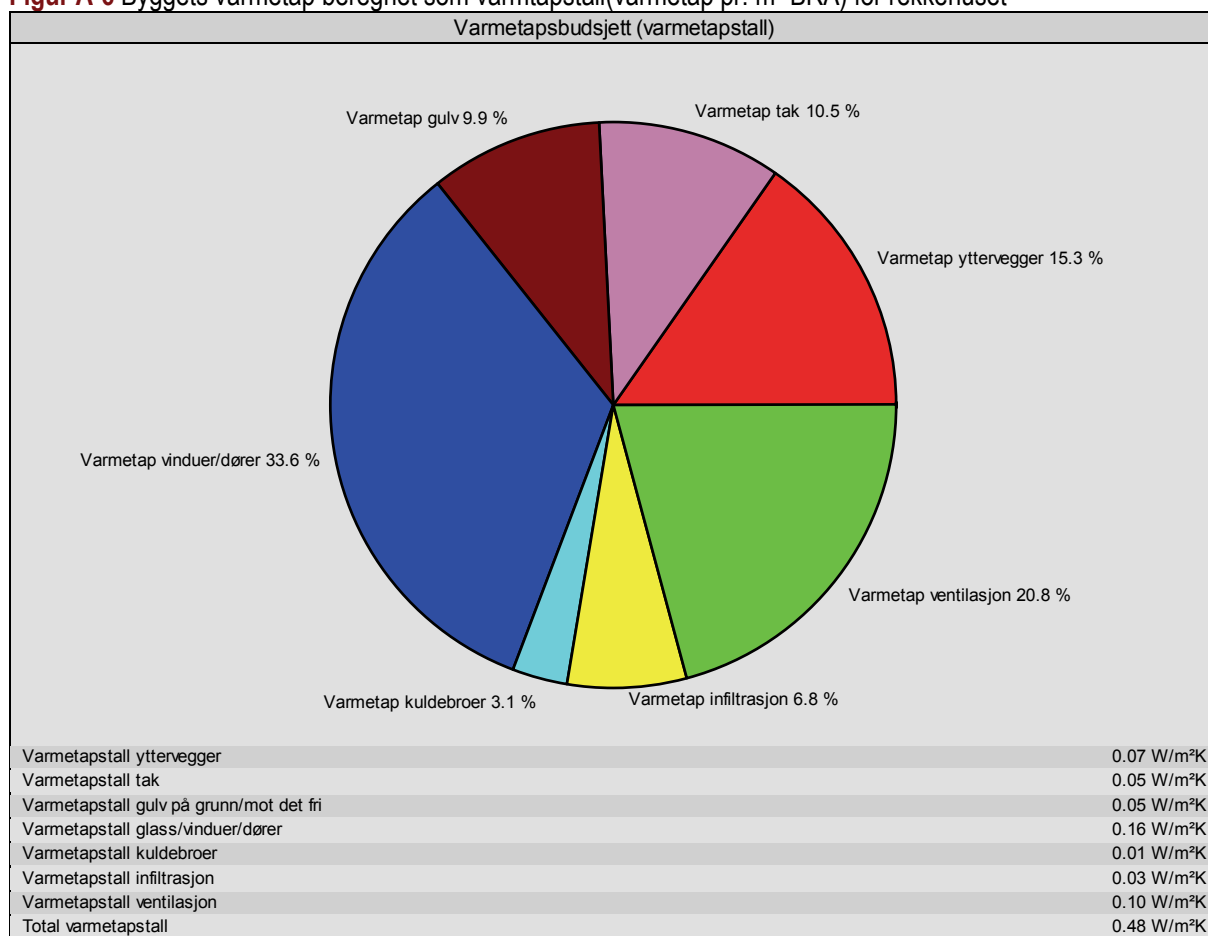
Figur A-4 Netto energibudsjett fordelt månedsvise for rekkehuset



Figur A-5 Årlig CO₂-utslipp fordelt på energikilder for rekkehuset

Energikilde	Årlige utslipp av CO ₂	
	Utslipp	Spesifikt utslipp
Elektrisitet	7223 kg	13.1 kg/m ²
Biobrensel	861 kg	1.6 kg/m ²
Elektrisitet til solenergisystemer	326 kg	0.6 kg/m ²
Totalt utslipp	8409 kg	15.3 kg/m ²

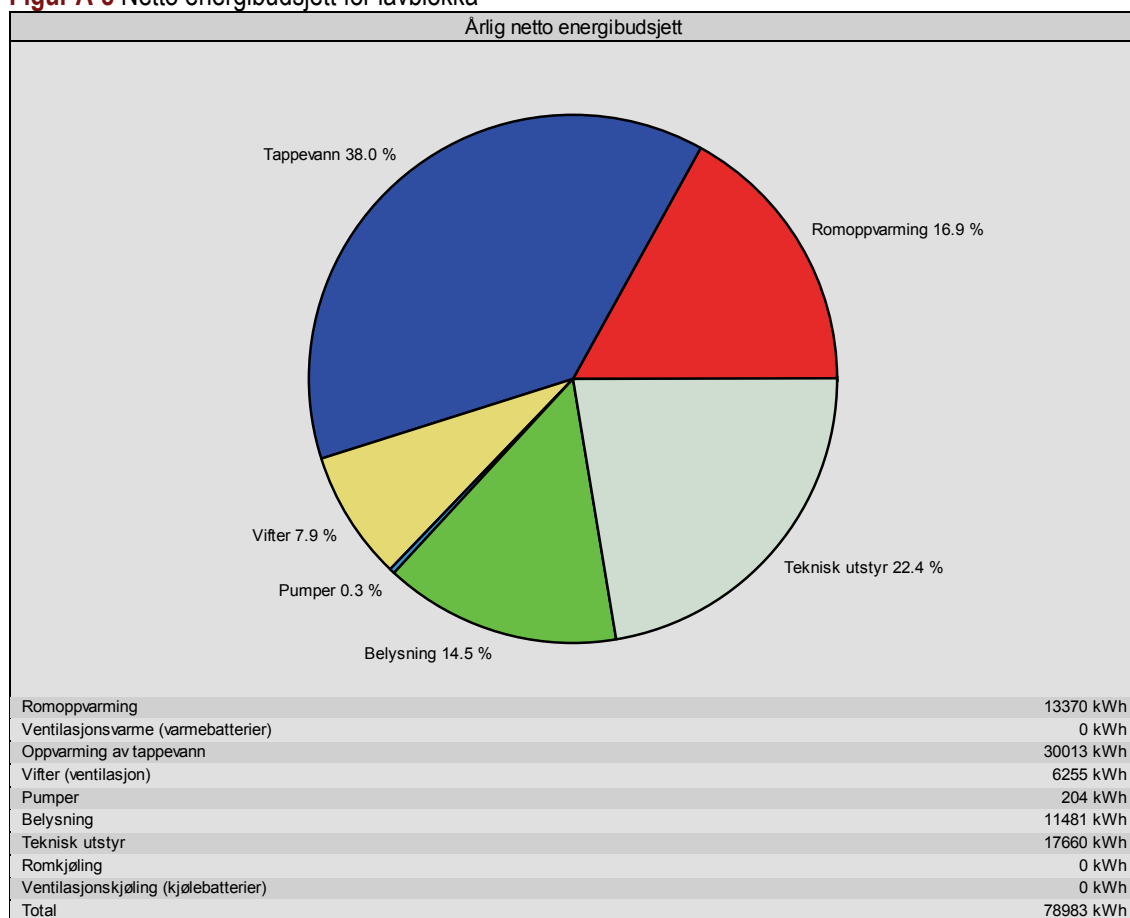
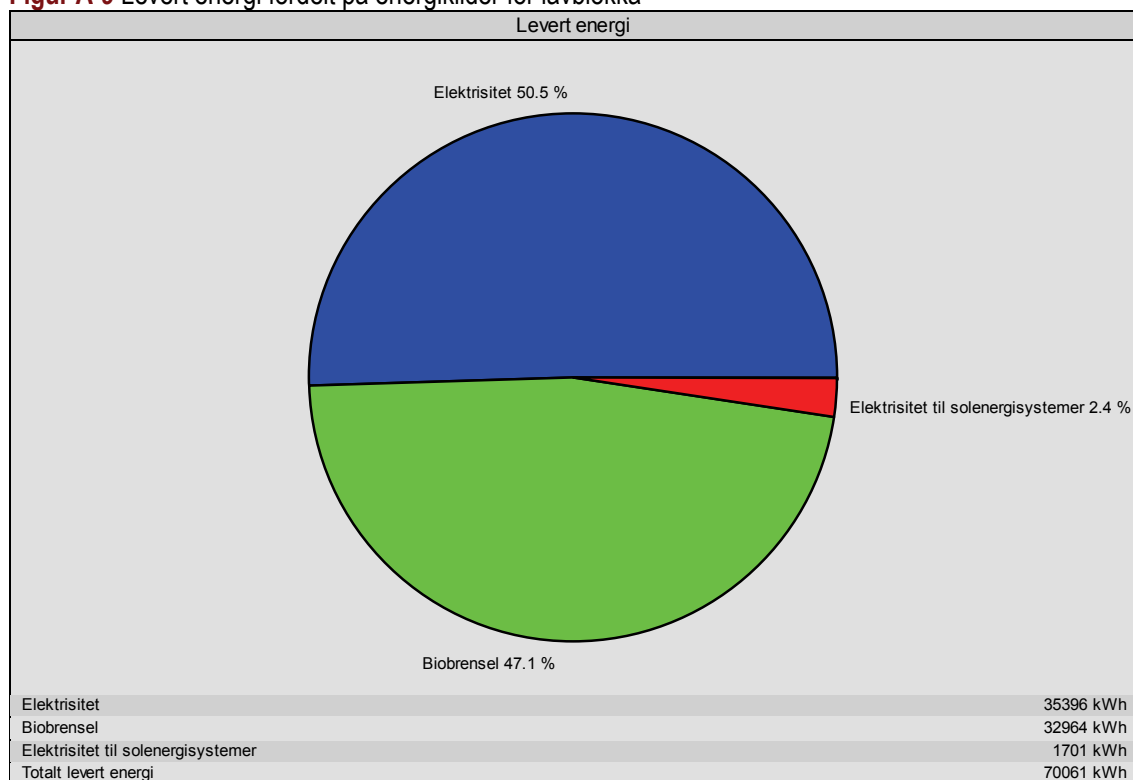
Figur A-6 Byggets varmetap beregnet som varmetapstall(varmetap pr. m² BRA) for rekkehuset

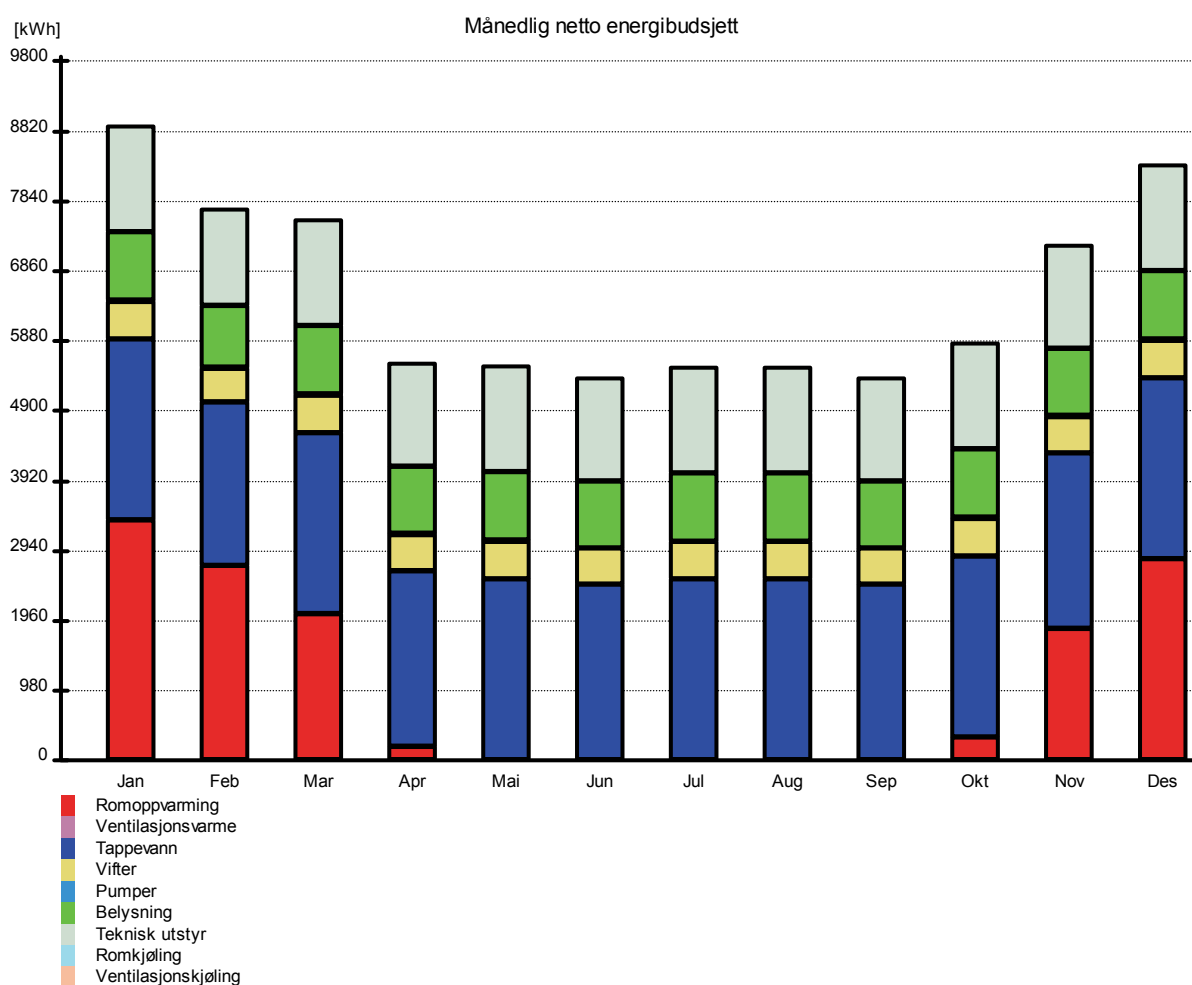


A.2 Lavblokk

Figur A-7 Inndataverdier brukt i simuleringen av lavblokka

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)	
Beskrivelse	Verdi
Areal yttervegger [m ²]:	590
Areal tak [m ²]:	252
Areal gulv [m ²]:	252
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	202
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	1008
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	2359
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0.15
U-verdi tak [W/m ² K]	0.12
U-verdi gulv [W/m ² K]	0.11
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0.80
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20.0
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0.01
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	30
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0.60
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	78
Frostsikringstemp. varmegjenvinner [°C]:	0.0
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ² /s]:	1.50
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1.7
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1.7
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	4.4
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	14
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)	
Beskrivelse	Verdi
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20.3
Systemeffektfaktor kjøling:	2.50
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0.0
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0
Spesifikk pumpeeffekt [kW/m ² /s]:	0.50
Driftstid oppvarming (timer)	24.0
Driftstid kjøling (timer)	0.0
Driftstid ventilasjon (timer)	24.0
Driftstid belysning (timer)	24.0
Driftstid utstyr (timer)	24.0
Oppholdstid personer (timer)	24.0
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	2.0
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1.2
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3.4
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0.0
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1.5
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0.05
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0.30
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1.00

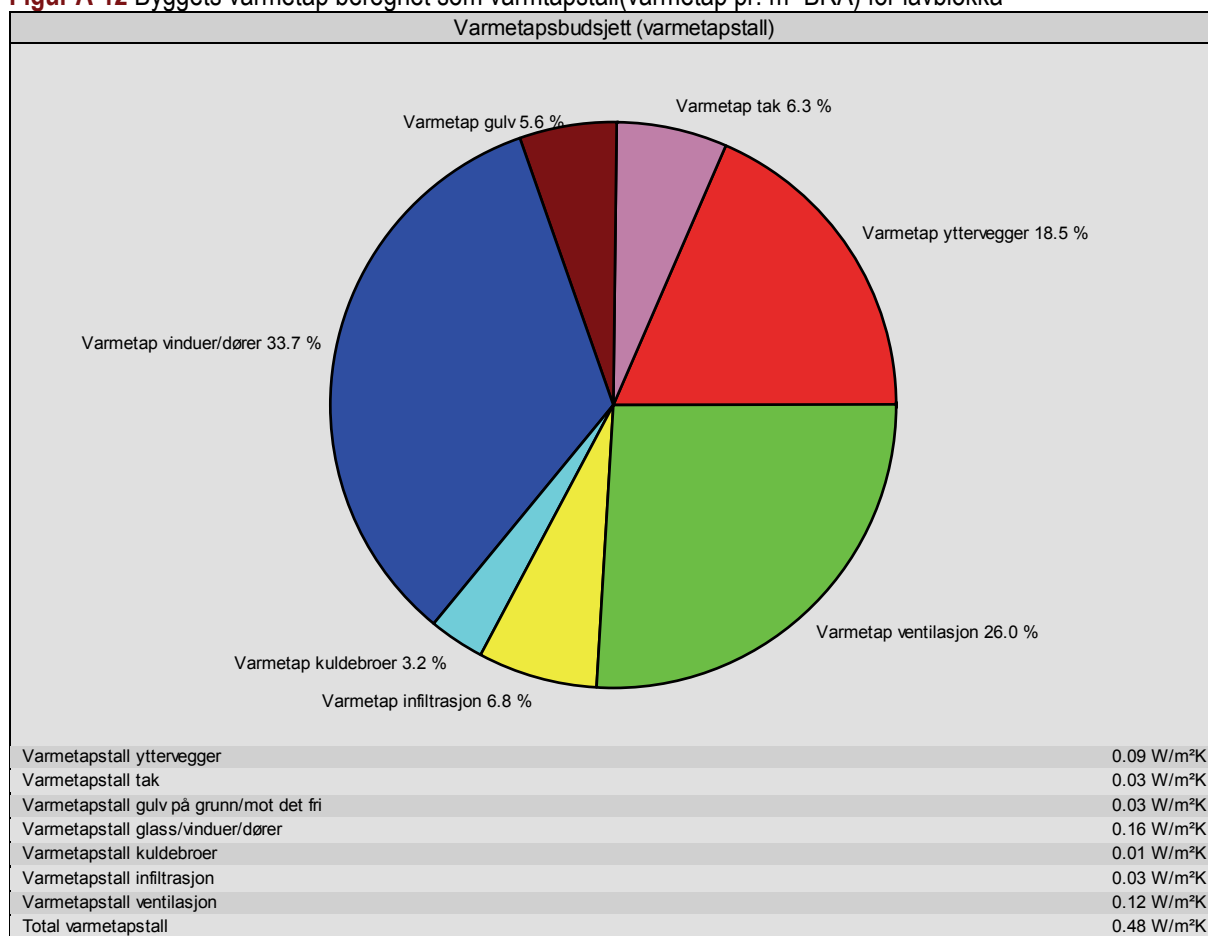
Figur A-8 Netto energibudsjett for lavblokka

Figur A-9 Levert energi fordelt på energikilder for lavblokka

Figur A-10 Netto energibudsjett fordelt månedsvise for lavblokka



Figur A-11 Årlig CO₂-utslipp fordelt på energikilder for lavblokka

Energikilde	Årlige utslipp av CO ₂	
	Utslipp	Spesifikt utslipp
Elektrisitet	12566 kg	12.5 kg/m ²
Biobrensel	1648 kg	1.6 kg/m ²
Elektrisitet til solenergisystemer	604 kg	0.6 kg/m ²
Totalt utslipp	14818 kg	14.7 kg/m ²

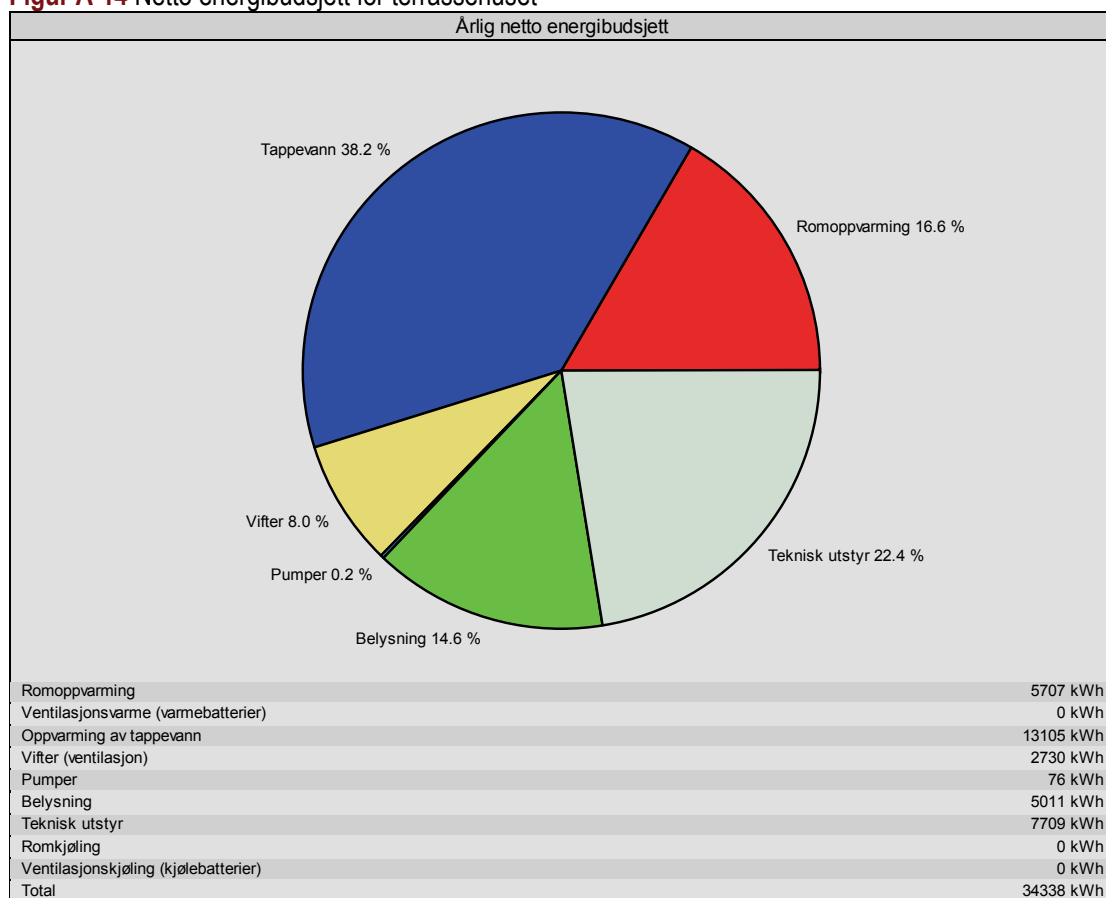
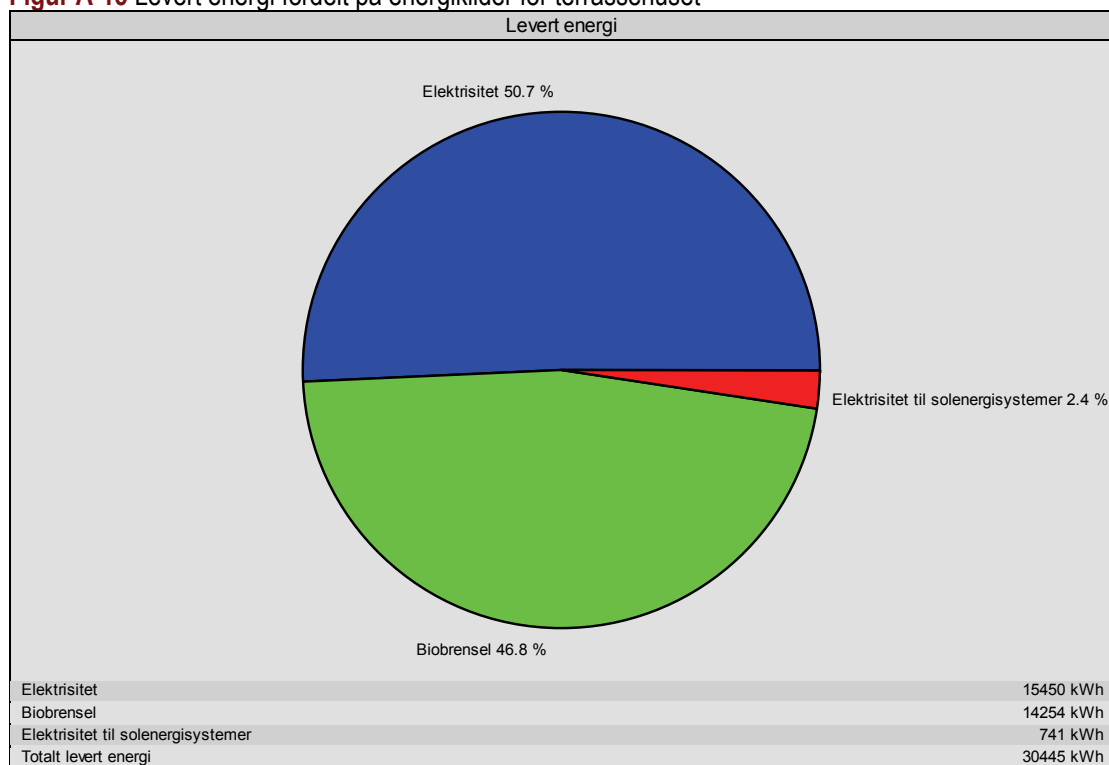
Figur A-12 Byggets varmetap beregnet som varmetapstall (varmetap pr. m² BRA) for lavblokka

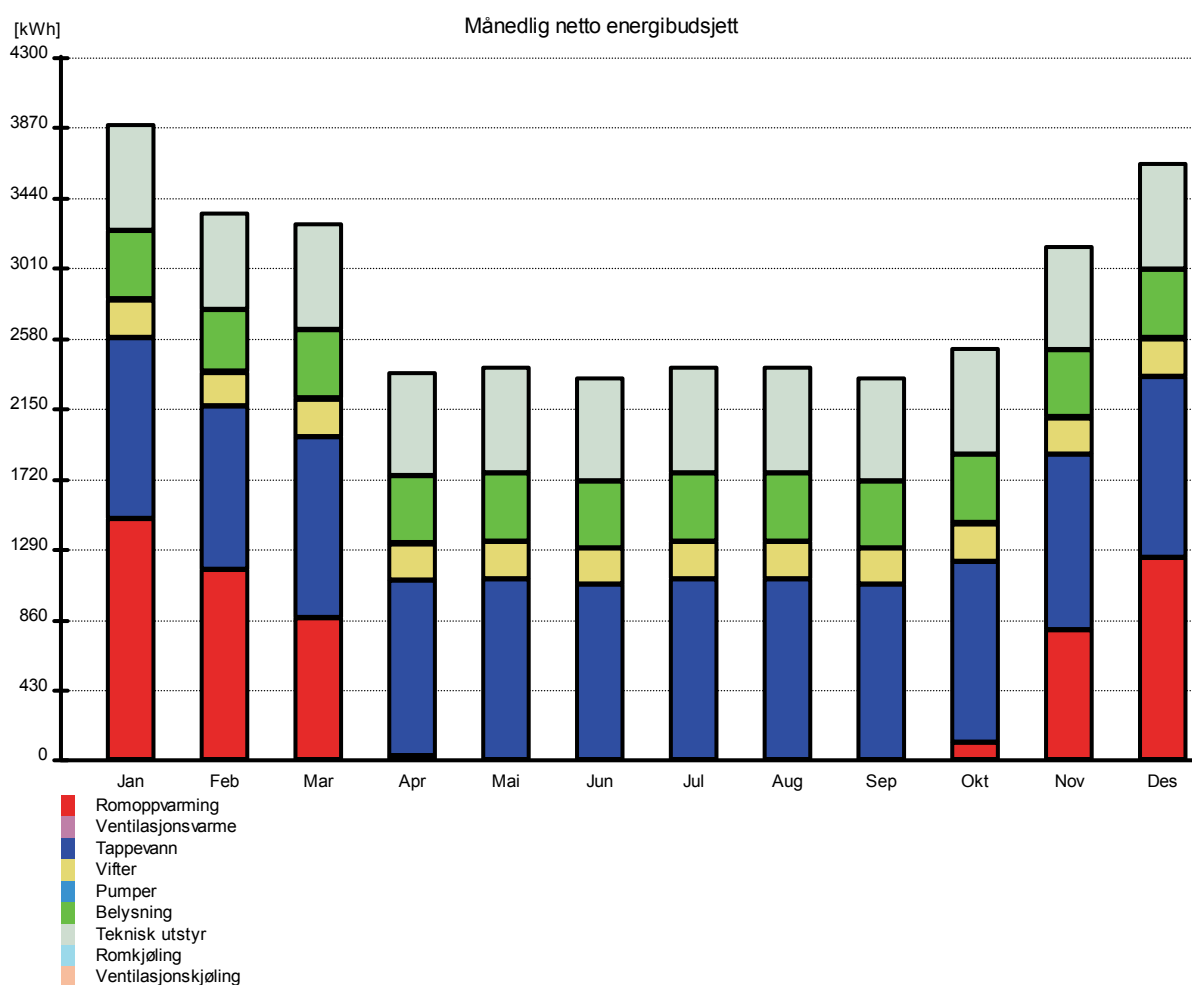


A.2 Terrassehus

Figur A-13 Inndataverdier brukt i simuleringen av terrassehuset

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)	
Beskrivelse	Verdi
Areal yttervegger [m ²]:	317
Areal tak [m ²]:	264
Areal gulv [m ²]:	264
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	88
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	440
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	1030
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0.12
U-verdi tak [W/m ² K]	0.09
U-verdi gulv [W/m ² K]	0.08
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	0.80
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	20.0
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0.02
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	62
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0.60
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	82
Frostsikringstemp. varmegjenvinner [°C]:	0.0
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ² /s]:	1.50
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	1.7
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	1.7
Systemvirkningsgrad oppvarmingsanlegg:	4.4
Installert effekt romoppv. og varmebatt. [W/m ²]:	14
Dokumentasjon av sentrale inndata (2)	
Beskrivelse	Verdi
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20.3
Systemeffektfaktor kjøling:	2.50
Settpunkttemperatur for romkjøling [°C]	0.0
Installert effekt romkjøling og kjølebatt. [W/m ²]:	0
Spesifikk pumpeeffekt [kW/m ² /s]:	0.50
Driftstid oppvarming (timer)	24.0
Driftstid kjøling (timer)	0.0
Driftstid ventilasjon (timer)	24.0
Driftstid belysning (timer)	24.0
Driftstid utstyr (timer)	24.0
Oppholdstid personer (timer)	24.0
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	1.3
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	2.0
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	1.2
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	3.4
Varmetilskudd varmtvann i driftstiden [W/m ²]	0.0
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	1.5
Total solfaktor for vindu og solskjerming:	0.05
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer:	0.23
Solskjermingsfaktor horisont/bygningsutspring:	1.00

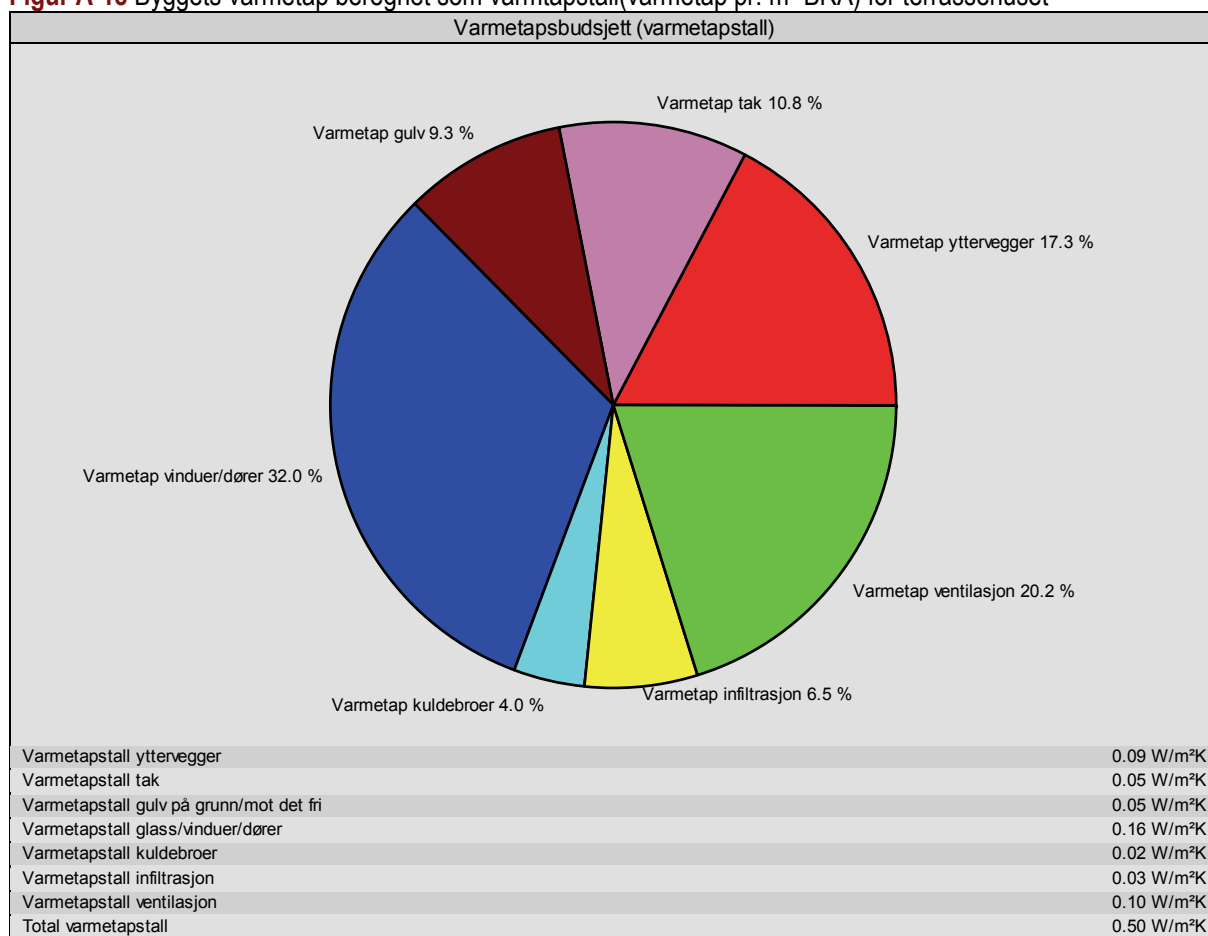
Figur A-14 Netto energibudsjett for terrassehuset

Figur A-15 Levert energi fordelt på energikilder for terrassehuset

Figur A-16 Netto energibudsjett fordelt månedsvise for terrassehuset



Figur A-17 Årlig CO₂-utslipp fordelt på energikilder for terrassehuset

Energikilde	Årlige utslipp av CO ₂	
	Utslipp	Spesifikt utslipp
Elektrisitet	5485 kg	12.5 kg/m ²
Biobrensel	713 kg	1.6 kg/m ²
Elektrisitet til solenergisystemer	263 kg	0.6 kg/m ²
Totalt utslipp	6460 kg	14.7 kg/m ²

Figur A-18 Byggets varmetap beregnet som varmetapstall(varmetap pr. m² BRA) for terrassehuset



VEDLEGG B Økonomisk parametre i sin helhet

	Base case	Alt. 1
El.-spesifikt forbruk, kWh / år	0	0
Oppvarming + tappevann, kWh / år	2 700 000	2 700 000
Enovastøtte, årlig kWh pr. støttekrone	2	
Enovastøtte beløp	1 350 000	
Kalkulasjonsrente	7 %	
Økonomisk levetid, år	20	
Annuitetsfaktor	10,6	11
Enovastøtte pr. kWh (bio, vp, sol)	0,05	
El.kraft, Lyse		
Nettleie energiledd, kr pr. kWh	0,32	0,32
Nettleie fastledd blokk, kr/år	189 000,00	0,00
Virkningsgrad elektrokjel	90 %	90 %
Kraftpris, 1 års fastprisavtale	0,45	0,45
Totalt el.forbruk, kWh / år	3 000 000,00	3 000 000,00
Resulterende kraftpris, kr/kWh	0,83	0,77
Installert kjel-effekt, kW	750,00	750,00
Investering elektrokjel	375 000,00	375 000,00
Kapitalkost pr. kWh	0,01	0,01
SUM pr. kWh	0,85	0,78
Årlig utgift	2 538 330,39	2 349 330,39
Bioenergi (pellets fra Statoil) med sol i bunn		
Pris tilkjørt eks. MVA, kr / tonn	1 600,00	
Pris tilkjørt inkl. MVA, kr / tonn	2 000,00	
Pris energisentral, kr / kW	4 500,00	
Årlig brukstid, timer	2 700,00	
Energiinnhold pellets kWh / kg	4,80	
Virkningsgrad biokjel	90 %	
Nyttbar varme fra kjel, kWh/kg bio	4,32	
Resulterende brenselpris inkl. MVA, kr / kWh	0,46	
Kapitalkost pr. kWh	0,16	
Drift og vedlikehold	0,03	
SUM pr. kWh	0,60	0,60
Årlig energiutgift	1 620 237,72	
Gass fra Lyse		
Pris energisentral, kr / kW	1 000,00	1 000,00
Installert effekt, kW	750,00	750,00
Årlig brukstid, timer	3 600,00	3 600,00
Investering gasskjel	750 000,00	750 000,00
Kapitalkost driftssentral, kr pr. kWh	0,03	0,03
Gasspris inn, kr. pr. kWh	0,54	0,54
Kjelvirkningsgrad	90 %	90 %
Effektiv gasspris, kr pr. kWh	0,60	0,60
Gasspris, kr. pr. mnd. fastledd	70 000,00	35 000,00
Estimert gassforbruk pr. mnd., kWh	225 000,00	225 000,00
Driftskostnader	0,02	0,02
SUM, kr / kWh	0,96	0,80
Årlig energiutgift	2 584 794,69	2 164 794,69
Varmepumper (luft-vann, eks. fra Østfold enøk)		

Innkjøp	43 125,00
Installasjon	37 500,00
SUM kapital	80 625,00
Levetid, år	15,00
Effekt, kW	8,00
Brukstid	3 600,00
Kapitalkost	0,31
COP	2,70
Energikost	0,29
Drift og vedlikehold	0,05
Totalkost pr. kWh	0,60
Årlig energiutgift	1 607 462,51
Fjernvarme fra Lyse	
90 % av el., tak på 87 øre/kWh	0,69
Kundesentral investering	200000,00
KWH kost kundesentral	0,01
SUM kWh kost, kr / kWh	0,70
Årlig energiutgift	1 889 978,59
Solvarme (Enova's SolarNor Estimert for 100 m2 hus)	
Investering slofangersløyfe	30 500,00
Energiutbytte kWh pr. år	4 500,00
Akkumulatorkostnad hele feltet	2 000 000,00
Solenergi innfanget pr. År, kWh	1 215 000,00
Driftskostnader, kr pr. kWh	0,02
Energipris solfangersløyfe, kr / kWh	0,61
Ditto for akkumulator	0,16
SUM pris pr. kWh	0,77
45% sol, 50% bio, 5% el.	0,68
	1 847 136,75
Bio uten sol i bunn	
Pris tilkjørt eks. MVA, kr / tonn	1 600,00
Pris tilkjørt inkl. MVA, kr / tonn	2 000,00
Pris energisentral, kr / kWh	4 500,00
Årlig brukstid, timer	5 130,00
Energiinnhold pellets kWh / kg	4,80
Virkningsgrad biokjel	0,90
Nyttbar varme fra kjel, kWh/kg bio	4,32
Resulterende brenselpris inkl. MVA, kr / kWh	0,46
Kapitalkost pr. kWh	0,08
Drift og vedlikehold	0,03
SUM pr. kWh	0,53
Årlig energiutgift	1 620 237,72

Briketter uten sol i bunn	
Pris tilkjørt eks. MVA, kr / tonn	1 066,67
Pris tilkjørt inkl. MVA, kr / tonn	1 333,33
Pris energisentral, kr / kW	5 000,00
Årlig brukstid, timer	5 130,00
Energiinnhold briketter, kWh/kg	4,50
Virkningsgrad biokjel	0,90
Nyttbar varme fra kjel, kWh/kg bio	4,05
Resulterende pris inkl. MVA, kr / kWh	0,33
Kapitalkost pr. kWh	0,09
Drift og vedlikehold	0,03
SUM pr. kWh	0,40
Årlig energiutgift	1 090 860,88

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er det tredje største byggforskningsinstituttet i Europa. Vi har rom både for store forskningssatsinger og for tett oppfølging av de mange små bedriftene. Vårt mål er bedre produktivitet og økt kvalitet i det bygde miljø.

SINTEF Byggforsk er Norges ledende formidler av forskningsbasert kunnskap til byggenæringen. Våre publikasjoner inneholder tilrettelagte erfaringer og resultater fra praksis og forskning. Vi utgir Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

