

Nullutslippsbygg

– er det mulig?



Tekniske og økonomiske perspektiver
fra utbyggers ståsted

Fremtidens eiendomsbransje er grønn



Miljøeffektive bygg er god økonomi – både for lommeboka, samfunnet og omdømmet. Grønn Byggallianse er Norges største nettverk for miljøbevisste eiendomsaktører.

Aldri tidligere har byggenæringen opplevd et sterkere miljøfokus – fra publikum, fra myndighetene og fra næringen selv. Våre medlemmer får førstehånds kunnskap om hva som skjer innen miljøområdet og hvilke konsekvenser og muligheter det gir for virksomheten, for eksempel i spørsmål om energibruk, miljøriktig materialvalg og klimanøytrale bygg – eller i spørsmål om hva som er lovkrav og hva som etterspørres i markedet. Vi hjelper med å gjøre kost-/nyttevurderinger av miljøtiltak og å bestille og markedsføre miljøeffektive bygg.

Innhold

1 Innhold	side 4
2 Forord	side 5
3 Innledning	side 7
4 Konklusjoner og sammendrag	side 9
5 Nullutslippsbygg – begreper og definisjoner	side 11
5.1 Internasjonale og nasjonale klimamål	side 11
5.1.1 Internasjonale mål	side 11
5.1.2 Nasjonale mål	side 11
5.2 Nullutslippsbygg og nullenergibygg – definisjon	side 12
5.2.1 Nullutslippsbygg	side 12
5.2.2 Nullenergibygg	side 13
5.3 Designstrategier – helhetsperspektivet er viktig	side 13
6 Scenarier – energibruk og klimagassutslipp	side 15
6.1 Målsetning	side 15
6.2 Valgte prosjekttyper	side 15
6.3 Valgte forutsetninger	side 16
- Valgte utslippsfaktorer	side 17
6.4 Oppbygging av scenariene	side 18
- Energibruk	side 18
- Klimagassutslipp til energi i drift	side 18
- Klimagassutslipp til materialbruk	side 18
6.5 Hovedresultater	side 19
- Resultater rehabilitering	side 20
- Resultater nybygg	side 21
6.6 Beskrivelse av valgte energieffektiverende tiltak	side 22
6.6.1 Form og dagslysinnslipp	side 22
- Form	side 22
- Dagslys	side 23
6.6.2 Bygningskroppen	side 24
6.6.3 Effektivisering av tekniske anlegg	side 29
- Ventilasjonsanlegg	side 29
- Belysning	side 30
6.7 Energiforsyning og samlet teknisk vurdering	side 30
6.7.1 Bioenergi	side 32
6.7.2 Varmepumpe	side 33
6.7.3 Solenergi	side 39
6.7.4 Andre energiproduserende teknologier	side 42
7 Framtidige rammebetingelser	side 43
7.1 Fjernvarmens plass i et nullutslippssamfunn	side 43
7.2 Systemgrense for nullutslippsbygg	side 45
7.3 Bygningskroppens betydning	side 45
8 Referanser	side 46
9 Vedlegg	side 47
Vedlegg 1 – 1930 Bygg – 3 etasjer	side 48
Vedlegg 2 – 1930 Bygg – 10 etasjer	side 50
Vedlegg 3 – 1930 Bygg – 3 etasjer	side 52
Vedlegg 4 – 1930 Bygg – 10 etasjer	side 54
Vedlegg 5 – 1990 Bygg – 3 etasjer	side 56
Vedlegg 6 – 1990 Bygg – 10 etasjer	side 58
Vedlegg 7 – 1990 Bygg – 3 etasjer	side 60
Vedlegg 8 – 1990 Bygg – 10 etasjer	side 62
Vedlegg 9 – Nybygg TEK – 3 etasjer	side 64
Vedlegg 10 – Nybygg TEK – 10 etasjer	side 66

2 Forord

Et sentralt mål med denne rapporten er å gi byggherrer en innføring i problemstillinger som knytter seg til definisjon av nullutslippsbygg og bidra i samfunnsdebatten om veien til en karbonnøytral byggsektor.

Nasjonale og internasjonale myndigheter har fattet vedtak om at vi på sikt skal få et karbonnøytralt samfunn og kommende regelverk vil tilpasse seg denne beslutningen. Det er ikke definert hva dette konkret vil bety for en utbygger, men et bygg som bygges nå skal stå i mange år framover. Mange byggherrer ønsker å ligge i forkant av utviklingen og forholde seg til kommende mål og krav. Det finnes ingen fasitsvar på hvordan han da skal bygge eller rehabilitere. Og det er ikke definert hvilke rammebetingelser og forutsetninger han bør legge til grunn.

Utgangspunktet vårt er at utbygger eller byggeier ønsker et bygg som bidrar med lavest mulig klimagassutslipp til lavest mulig kostnad.

De økonomiske konsekvensene av løsningsvalg vil ikke bare variere med tekniske forutsetninger, markedspris på løsningene og energipris, men også med hvilke rammebetingelser som myndighetene vil gi i årene som kommer. Mulighet for å levere tilbake el, varme og kjølevann på nett, systemgrenser for energimerkeordningen og betingelser for lån og støtte er eksempler på forutsetninger som vil ha stor betydning for byggeiers lønnsomhet av ulike løsningsstrategier.

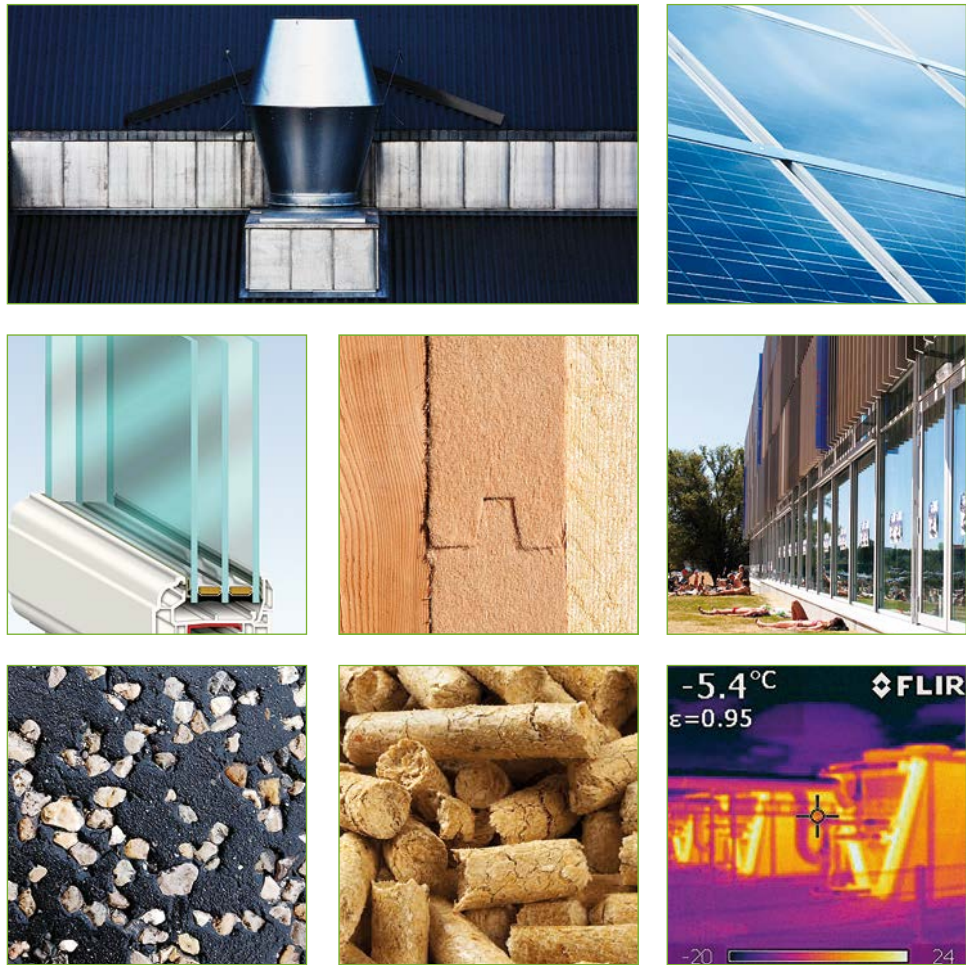
Da det er usikkert hvordan både kommende forskrifter og rammebetingelser på dette området vil utvikle seg, har vi måttet legge inn noen forutsetninger i våre betraktninger. Forutsetningene er basert på foreløpige signaler fra norske myndigheter, rammebetingelser i andre land og det som fra utbyggers perspektiv virker som fornuftige rammebetingelser.

Grønn Byggallianse ønsker å være en aktiv sparringpartner for myndighetene i utarbeidelse av forskrifter og rammebetingelser på dette området og ønsker også at denne rapporten skal kunne bidra i dette arbeidet. Siste kapittel inneholder noen betraktninger om utforming av rammebetingelser framover, basert på våre funn.

EU krever «nesten nullenergibygging» i 2020. EU-direktivet springer ut fra en overordnet målsetning om å redusere klimagassutslipp fra byggsektoren. Denne rapporten har valgt å fokusere på nullutslippsbygg direkte. Klimagassutslipp fra byggsektoren er knyttet til energibruk, materialbruk og transport. Energibruk og materialbruk henger tett sammen, f.eks. i diskusjon om hvorvidt en fasade på et eksisterende bygg skal skiftes eller ei. Ved å ha et lavt klimagassutslipp som overordnet mål i stedet for kun lav energibruk, vil slike vurderinger bli en del av beslutningsgrunnlaget, og man risikerer i mindre grad suboptimale løsninger.

Ved hjelp av rapportens overslagsberegninger for energibruk og klimagassutslipp ved ulike prosjektscenarier kan byggherren gjøre tidlige prinsippvalg for å oppnå lave klimagassutslipp og nullutslippsbygg.

Rapporten har fokus på yrkesbygg. For boliger vil anbefalt strategi ofte være annerledes da det for boliger kan være viktigere å optimalisere bygningskroppen fremfor tekniske



anlegg. Men for eiere og utviklere av yrkesbygg vil rapporten forhåpentligvis være en hjelp til å gjøre de drastiske grepene som kreves for at vi skal nå 2-graders målet som krever en faktor 10 reduksjon i klimagassutslipp fra byggsektoren innen 2050.

Rapporten går også i dybden på de løsningsvalgene som er mest sentrale i et nullutslippsbygg; optimal isolasjon, sammenhengen mellom dagslysinnslipp og vindusareal, energioptimalisering av ventilasjonsanlegg og ikke minst valg av fornybare energikilder.

Arne Førland-Larsen og Katharina Th. Bramslev er hovedforfattere til rapporten. Jeg vil også benytte anledning til å takke Ingunn Marton for gode innspill og kommentarer, Randi Ramstad Kalskin fra Asplan Viak for et avsnitt om grunnvarme, Magnhild Kalhovd fra Asplan Viak for et avsnitt om Stirlingmotorer og Kjell Dybedal fra Toplussto Arkitekter for håndskisser.

September 2013

Erik A. Hammer
Daglig leder
Grønn Byggallianse

3 Innledning

Stadig flere utbyggere har høye energi- og miljøambisjoner fordi de tenker framover og ser at både markedet og myndigheter i stadig større grad forventer det av dem. Utreddinger viser at for å nå to-graders målet, dvs at gjennomsnittstemperaturen på jorden ikke skal stige mer enn to grader, må klimagassutslipp fra byggsektoren reduseres til 1/10 innen 2050 (IEA, 2013). Det betyr ikke nødvendigvis at alle bygg skal være nullutslippsbygg innen sin tomtegrense, men det betyr i praksis at energiforsyningen til bygget må være nær karbonnøytral og at byggene må bli langt mer energieffektive. Det er da behov for drastiske grep på eksisterende bygningsmasse, nye bygg må bli langt mer energieffektive enn vi bygger dag og energiforsyningssystemet må tilpasses nye krav. Det vil komme lovverk for å styre utviklingen i karbonnøytral retning. Stortinget har i Klimaforliket (juni 2012) allerede vedtatt at alle nye bygg og større rehabiliteringer skal nå passivhusnivå i 2015. Enda strengere lovkrav for 2020 utredes samtidig.

De færreste norske utbyggere, om noen, har per i dag erfaring og kunnskap om hva det vil si å bygge eller rehabiliterer bygg i et karbonnøytralt samfunn. Selv om det ikke er vedtatt at alle bygg skal være nullutslippsbygg innen sin tomtegrense, har vi i denne rapporten sett på konsekvensen av en slik eventuell målsetning. Vi har også sett på hvor langt ned det er realistisk å komme i klimagassutslipp for et nybygg eller et eksisterende bygg som skal rehabiliteres, med ulike kombinasjoner av energibesparende tiltak og valg av energiforsyning.

Rapporten fokuserer på yrkesbygg og ikke boliger.

Det overordnede målet for utbyggeren:

Et velfungerende bygg med godt inneklima og fornøyde brukere samt:

- lavest mulig klimagassutslipp
- lavest mulig kostnad

Rapporten beskriver ikke de detaljerte løsningene som skal til for å energieffektivisere bygget. Dette er beskrevet i veilederen «Fra C til A» (Førland-Larsen & al, 2011). Det er ikke mulig å oppnå nullutslippsbygg gjennom energieffektivisering alene. Når man har oppnådd et A-bygg eller et bygg på passivhusnivå, er det aller meste av energieffektivitetspotensialet nådd og man må se på hvilke energiforsyningsløsninger som vil gi de laveste klimagassutslippene for å komme ytterligere ned mot nullutslippsbygget. Utslipp knyttet til materialbruken i bygget eller «the embodied energy» bør også regnes med for å kunne kalle bygg et nullutslippsbygg.

Rapporten går i dybden på ulike energiforsyningsløsninger, da valg av energiforsyningsløsninger er sentralt for å oppnå nullutslippsbygg. Rapporten er dog ingen prosjekteringsanvisning med detaljerte løsningsbeskrivelser. Når energiforsyning er valgt, må prosjekteringsgruppen detaljere løsningene videre. Energiberegningene er også kun overslagsberegninger. Beregningsprogrammet SIMIEN som er brukt, har en usikkerhet vurdert til 5-10 prosent (klasse A/B ihht NS-EN 15265:2007), men beregningene bør likevel være nøyaktige nok til relative sammenligninger og til å vise tendenser.

Rapporten gir:

- en rekke beregningseksempler på energieffektiviseringstiltak og valg av ulike energisystemer for nybygg- og rehabiliteringsprosjekter

- definisjon av ulike systemgrenser og begreper
- beskrivelse og begrunnelse for forutsetninger som er valgt for energi- og utslippsberegningene
- diskusjon av effekten av ytterveggsisolasjon og ny fasade i rehabiliteringsprosjekter
- vurdering av optimalt vindusareal ut fra hensyn til dagslysinnslipp og isolasjonseffekt
- gjennomgang av energieffektiviseringstiltak på tekniske anlegg
- beskrivelse av ulike muligheter for lokal fornybar energiproduksjon på tomten

4 Konklusjoner og sammendrag

EU har et mål om å redusere klimagassutslipp i byggsektoren med 90 prosent innen 2050, og Norge har et mål om å bli klimanøytralt. For å oppnå nullutslipp er det nødvendig å både energieffektivisere byggene og velge energiforsyning med lave klimagassutslipp. Aktørene i byggsektoren har også stor påvirkning på klimagassutslipp knyttet til produksjon og transport av materialer samt persontransport. Det er sammenheng mellom energi- og materialbruk i et bygg, og energi- og materialbruk bør derfor vurderes ut fra en helhetsbetraktning ved utforming av rammebetingelser for byggsektoren og i løsningsvalg i de enkelte prosjekter.

Rapporten inneholder beregningseksempler for ulike scenarier der man enten bygger nytt eller rehabiliterer eksisterende bygningsmasse. Utgangspunktet for valgte løsninger er at utbygger skal bygge eller rehabilitere til lavest mulig klimagassutslipp og lavest mulig kostnad, dvs få «mest miljø for pengene».

Rapporten har kun sett på yrkesbygg og ikke boliger. For yrkesbygg viser våre beregningseksempler at:

- Både nybygg og rehabiliteringsprosjekter kan bli nullutslippsbygg (hvis ikke materialutslipp regnes inn) gjennom en kombinasjon av energieffektivisering og f.eks. biobrensel eller varmepumpe til oppvarming og solceller til elproduksjon. El til brukerrelatert utstyr er da ikke inkludert.
- Hvis man trekker inn utslipp til produksjon og transport av materialer i klimagassregnskapet, er det kun rehabiliteringsprosjektene i scenariene som kan bli nullutslippsbygg. Materialer til et nybygg representerer større utslipp enn man normalt greier å kompensere gjennom å bygge energieffektivt og produsere energi på tomten. Valg av klimateffektive materialer som tre og lavkarbonbetong vil redusere netto klimagassutslipp, men det er likevel meget vanskelig å oppnå netto nullutslippsbygg for nybygg.
- De prosjektene som har lavest netto klimagassutslipp, er rehabiliteringsprosjekter der fasaden ikke skiftes ut, ev. tilleggisoleres noe, hvor man skifter vinduer eller setter inn varevindu og oppgraderer tekniske anlegg.
- Isolasjon av yttervegg ut over dagens forskriftskrav har relativt liten betydning for energi- og utslippsregnskapet sammenlignet med andre tiltak. Det gjelder både nybygg og rehabiliteringsprosjekter. Isolasjon ut over dette er også et lite kostnadseffektivt tiltak ut fra en kost-/nyttebetraktning, spesielt i rehabiliteringsprosjekter. Man vil likevel kunne forsvare etterisolering av en fasade i et kost-/nytteperspektiv dersom det oppnås andre forbedringer enn økt isolasjon. Hvert prosjekt bør gjøre en vurdering av fasadens verneverdi, tekniske tilstand, tetthet og lysinnslipp og vurdere gevinsten av dette opp mot utslipp og kostnader for nye materialer.
- De største energipostene i et bygg krever elektrisitet, og nullutslippsbygg med egen tomt som systemgrense, krever derfor betydelig elproduksjon på tomten. I scenariene kles byggene med solceller, men dette er i dag et kostbart tiltak. Man bør vurdere hvor hensiktsmessig det er at bygg i Norge skal investere i solceller istedenfor at land med mer sol, f.eks. Spania, produserer elektrisitet fra solceller.

Miljø- og kostnadseffekt av lokal kontra sentral elproduksjon har en vesentlig betydning for hvordan man bør definere systemgrensen for nullenergibygg.

- Scenariene er basert på ZEB-faktor for klimagassutslipp til el (132 g CO₂/kWh år). Utslippsfaktoren er basert på at norsk el er en del av et europeisk supergrid og at elproduksjon i Europa gradvis baseres på fornybar energi (karbonnøytralt i 2054). Det er ikke konsensus i Norge om utslippsfaktor for el. Dersom vi hadde lagt dagens norske eller nordiske elmiks til grunn, ville rapportens konklusjoner forsterkes. Med lavere klimagassutslipp for el, ville også bruk av lokal varmepumpe kommet bedre ut i klimagassregnskapet enn biobrensel og fjernvarme.
- Scenariene er basert på utslippsfaktor for fjernvarme tilsvarende energimiks hos Hafslund fjernvarme. Gjennomsnittsutslippet for fjernvarmeanlegg i Norge er dobbelt så høyt. Det forventes at fjernvarmeselskapene får en stadig høyere fornybarandel i sine anlegg. Dersom fjernvarmen blir nær karbonnøytral, vil bruk av fjernvarme gi utslipp for bygget på nivå med biobrensel og lokal varmepumpe.
- Fremtidens bygningsmasse vil kreve mindre energi til oppvarming enn i dag, og fjernvarme kommer relativt dårlig ut i miljøvurderinger med dagens rammebetingelser (nullutslippsberegninger og energimerkeordningen). Fjernvarmeanlegg vil bedre kunne forsvares i framtidens nullutslippssamfunn dersom fjernvarmen:
 - produseres med langt større fornybarandel
 - kan fungere som et distribusjonssystem som sørger for varmembalanse mellom bygg og mellom ulike lokale varme-/kjølesentraler (dvs tar i mot overskuddsvarme/-kjøling fra et bygg og overfører til et annet).

5 Nullutslippsbygg

– begreper og definisjoner

5.1 Internasjonale og nasjonale klimamål

5.1.1 Internasjonale mål

IEA poengterer at “utslipp knyttet til energibruk i bygg må reduseres fra 50 Mt CO₂ i 2010 til rundt 5 Mt CO₂ i 2050” (IEA, 2013). Det betyr en utslippsreduksjon på 90 prosent innen 2050.

Klimagassutslipp fra bygg må reduseres med 20 prosent innen 2020 og 90 prosent innen 2050.

På kort sikt har EU et mål om å redusere klimagassutslippene og energibruken med 20 prosent, samt innfase 20 prosent mer fornybar energi innen 2020. Bakgrunnen er at byggsektoren globalt og i Europa står for 40 prosent av globale klimagassutslipp og at FNs klimapanel viser til at klimatiltak i byggsektoren er de mest lønnsomme, sammenlignet med andre sektorer.

For å oppnå disse målene kreves radikale tiltak for så vel nybygg som eksisterende bygningsmasse.

Reviderte energidirektiv fra EU (vedtatt 17. mai 2010) setter krav om at alle nye bygg skal være «nesten nullenergibygg» fra utgangen av 2020. For offentlige bygg gjelder kravet ved utgangen av 2018. Det skal i tillegg lages nasjonale handlingsplaner for innfasingen av nullenergibygg. Norge har ikke vedtatt om det reviderte bygningsenergidirektivet er EØS-relevant.

Fornybardirektivet er tatt inn i EØS-avtalen. Økt andel fornybar energi i bygningsmassen, samt økt energieffektivisering fører til en bedre nasjonal fornybarandel i det enkelte land.

5.1.2 Nasjonale mål

Stortinget vedtok nasjonale klimaforpliktelser i juni 2012 (Klimaforliket) da Klimameldingen ble vedtatt (Miljøverndepartementet). Det ble da stadfestet at:

- Norge skal være karbonnøytralt i 2050
- Dersom det etableres en global klimaavtale, vil Norge forplikte seg til karbonnøytralitet allerede i 2030
- Regjeringen vil:
 - Skjerpe energikravene i byggeteknisk forskrift til passivhusnivå i 2015 og nesten nullenerginivå i 2020
 - Innføre komponentkrav for eksisterende bygg og klargjøre for hvilke byggearbeider og komponenter disse kravene skal gjelde
 - Fase ut bruken av oljekjeler i husholdninger og til grunnlast fram mot 2020
 - Utvide forbudet mot å installere kjel for fossilt brensel til grunnlast slik at det omfatter alle eksisterende bygg
 - Sørgje for at staten som byggherre og eiendomsbesitter er pådriver i arbeidet med energiomlegging og utfasing av fossile brenslere i bygningsmassen

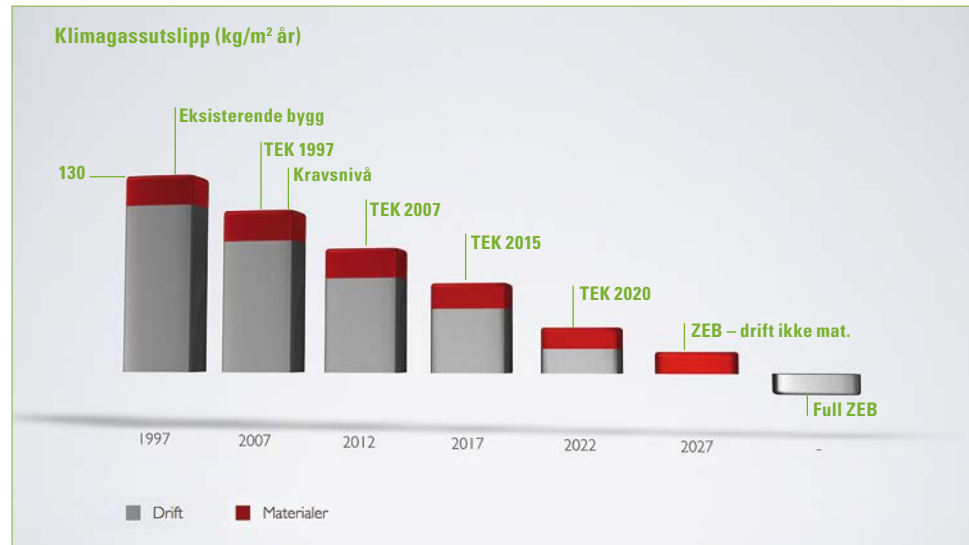
Direktoratet for Byggkvalitet (DiBK) har ansvar for å definere hvordan kommende byggeforskrifter må utformes for å møte disse beslutningene.

5.2 Nullutslippsbygg og nullenergibygge - definisjon

5.2.1 Nullutslippsbygg

Det finnes ingen entydig definisjon på et nullutslippsbygg. Det norske forskningscenteret ZEB (Zero Emission Building) definerer nullutslippsbygg som bygg med: «Null klimagassutslipp knyttet til produksjon, drift og avhending av bygget». De inkluderer da de utslippene som er knyttet til produksjon, transport og avhending av materialer til bygget, samt utslipp knyttet til avhending. For å oppnå et nullutslippsbygg, må man kompensere klimagassutslipp knyttet til materialer og avhending gjennom å produsere mer energi enn bygget behøver til drift.

Figur 1: Klimagassutslipp fra materialer har stigende betydning i energieffektive bygg.



I denne rapporten ser vi på hvilken energi- og utslippsbalanse som er realistisk å oppnå og hvor mye plussenergi man kan oppnå ved egenproduksjon av energi til å dekke utslipp knyttet til materialer og avhending.

Forbildeprogrammene FutureBuilt og Framtidens byer krever klimagassregnskap for sine prosjekter. Prosjektene må dokumentere utslipp til energibruk i drift, materialbruk samt transport av byggets brukere i bruksfasen. Erfaringen herfra viser at klimagassutslipp knyttet til persontransport utgjør en stor andel av totale utslipp gjennom bygnings livsløp. Utbygger har stor mulighet til å påvirke utslipp knyttet til persontransport gjennom f.eks. beliggenhet, parkeringsdekning, tilrettelegging for sykkelbruk og elbiler.

Figur 2: Klimagassutslipp fordelt på utslipp knyttet til transport av brukere av bygget, energibruk i driftsfasen og materialbruk i et nytt kontorbygg (Papirbredden II, FutureBuilt).



I miljøklassifiseringsverktøyet BREEAM-NOR er det f.eks. definert en rekke tiltak som vil redusere personbiltrafikk og dermed gi lavere klimagassutslipp. Transporttiltak og effekter av disse er imidlertid ikke behandlet i denne rapporten.

5.2.2 Nullenergibygge

EUs reviderte energidirektiv inneholder som nevnt krav om «nesten nullenergibygge». Klimaforliket (Miljøverndepartementet) stadfester at Norge vil innføre forskriftskrav om det samme i 2020, uten at «nesten nullenergibygge» er definert i Norge. En foreløpig definisjon (Arnstad & et.al., 2010) er at «nesten nullenergibygge» er et bygg på passivhusnivå der en betydelig andel av varmebehovet er dekket med lokal fornybar energi. Det diskuteres også om definisjonen skal inkludere at betydelig del av elektrisitetsbehovet må dekket av lokal fornybar energi (sol, vind, mv.). Disse definisjonene vil bety at et yrkesbygg som skal tilfredsstillere «nesten nullenergibygge» har behov for levert energi i størrelsesorden 25 kWh/m² år for å dekke varmebehov lokalt og 60 kWh/m² år for å dekke varme- og elbehov lokalt.

Nullenerginiivå ble i samme rapport definert som at «byggets energibehov er likt eller lavere enn fornybar energi produsert på eller i nærheten av bygget».

5.3 Designstrategier – helhetsperspektivet er viktig

Energieffektivisering er viktig i seg selv. Dette kan begrunnes med at:

- den mest miljøvennlige kilowatt-time er den som ikke brukes
- energieffektivisering gir bedre forsyningssikkerhet
- Norge har både nasjonale og internasjonale forpliktelser knyttet til redusert energibruk

Punktene over gjelder dersom bygget har behov for kjøpt energi eller levert energi til bygget. Dersom et bygg forsynes 100 prosent av lokal fornybar energi og ikke er tilsluttet nett (foreløpig utopisk), har det mindre betydning hvor mye energi bygget bruker. Ut fra et overordnet mål om mest mulig miljø for pengene, bør vi finne den beste kombinasjonen av energieffektivisering og energiforsyning som gir lavest mulig energituttspill til lavest mulig kostnad. Ulike prosjektforutsetninger vil gi forskjellige optimale løsningskombinasjoner.

Lave klimagassutslipp = lave utslipp fra materialbruk
+ energieffektivisering
+ fornybar karbonnøytral energiforsyning

For **nybygg** vil anbefalt rekkefølge av tiltak ofte være:

1. prosjektere for lavt energibehov med energieffektivt klimaskall og energieffektive tekniske systemer
2. bruke fornybar energi til å dekke behovet for varme og ev. kjøling
3. dekke behovet for elektrisitet enten lokalt eller via strømnnett
4. velge materialer med lave klimagassutslipp

Det er viktig å se punktene i sammenheng. For rehabiliteringsprosjekter er sammenhengene enda tydeligere enn for nybygg. Grad av energieffektivisering må vurderes opp mot klimagasskonsekvenser av å skifte ut materialer. Økonomiske kostnader for å redusere energibehov må vurderes opp mot kostnader for konvertering til lokale fornybare energiløsninger.



6 Scenarier

– energibruk og klimagassutslipp

6.1 Målsetning

Målet med dette kapitlet er å vise hvordan man på ulik vis kan oppnå et nullutslippsbygg ut fra det overordnede målet om:

Et velfungerende bygg med godt inneklima og fornøyde brukere samt:

- lavest mulig klimagassutslipp
- lavest mulig kostnad

Vi har definert scenarier med både nybygg og rehabiliteringsprosjekter. Man kan sette opp et utall scenarier og våre valgte scenarier vil ikke passe 100 prosent til noen gitt situasjon, men scenariene kan forhåpentligvis være nyttige for å synliggjøre hvilke kombinasjoner av løsninger som vil være relevante å vurdere på veien mot nullutslippsbygget.

Viktige forutsetninger som vil påvirke valg av energieffektiviserings- og energiforsyningsløsninger, er om bygget:

- er et nybygg- eller rehabiliteringsprosjekt
- har stor eller liten takflate i forhold til byggets volum eller samlede etasjereal (stor takflate i forhold til samlet areal for bygget er generelt gunstigere for utnyttelse av solceller)
- kan få nye vinduer ut fra vernehensyn
- kan/bør få ny fasade ut fra vernehensyn, kost-/nyttebetraktning, teknisk tilstand og klimagassutslipp
- har tilgang til fjernvarme
- har plass til biobrenselanlegg
- har grunnforhold som er gunstige for jord- eller bergvarmepumpe

Vi har valgt ti scenarier basert på disse variasjonene. Scenariene er merket fra A-E.

6.2 Valgte prosjekttyper

A1 og A2: Rehabilitering av 1930-bygg der fasaden beholdes uforandret og vinduer får ekstra varevindu – hhv 3 og 10 etasjer.

Utgangsbygget er et kontorbygg fra 1930 uten isolasjon i yttervegg og med ett-lags vinduer. I disse scenariene tas det utgangspunkt i at fasaden er verneverdig og at det ikke er tillatt å skifte vinduer. Det monteres et ekstra varevindu/nytt glass for å forbedre U-verdien på vinduet. Det er forutsatt at eksisterende bygningskropp begrenser optimalisering av dagslys og at det ikke er mulig å etterisolere gulv mot grunn. Taket isoleres med samme U-verdi som passivhusnybygget (E). Tekniske anlegg skiftes ut og tilsvarer kvaliteten i passivhusnybygget.

B1 og B2: Rehabilitering av 1930-bygg der fasaden etterisoleres på innsiden og vinduer får ekstra varevindu – hhv 3 og 10 etasjer.

I disse scenariene tas det også utgangspunkt i at fasaden er verneverdig og at det ikke er tillatt å skifte vinduer. I dette scenariet får fasaden 100 mm ekstra isolasjon på innsiden da 1930-bygget i utgangspunktet mangler isolasjon. Bygget oppgraderes for øvrig som A1/A2.

Bildet på side 14:

Eksempel på A1 og A2: Brandenga skole i Drammen ble ferdig rehabilitert i 2012. Foto: Inge Trondsen.



Eksempel på B1 og B2: Telegrafbygningen i Oslo.



Eksempel på C1 og C2: Skatteetaten, Helsfyr Oslo, Illustrasjon LPO Arkitekter.

C1 og C2: Rehabilitering av 1990-bygg med ny fasade og nye vinduer – hhv 3 og 10 etasjer.

Utgangspunktet er et kontorbygg fra 1990 bygget etter teknisk forskrift fra 1987. Etter energieffektivisering får bygget ny fasade og vinduer med samme U-verdi som passivhusnybygget (E). Det er forutsatt at eksisterende bygningskropp begrenser optimalisering av dagslys og at det ikke er mulig å etterisolere gulv mot grunn/parkeringskjeller. Taket isoleres med samme U-verdi som passivhusnybygget. Tekniske anlegg skiftes ut og tilsvarende også kvaliteten i passivhusnybygget.

D1 og D2: Rehabilitering av 1990-bygg med nye vinduer med der fasaden beholdes – hhv 3 og 10 etasjer.

I disse scenariene beholdes fasaden, og den får ingen ekstra ytterveggisolasjon. Det gjennomføres noen tiltak for å bedre tettheten bl.a. tetting rundt nye vinduer. Vinduene skiftes til passivhusstandard. Det er forutsatt at eksisterende bygningskropp begrenser optimalisering av dagslys og at det ikke er mulig å etterisolere gulv mot parkeringskjeller. Taket isoleres med samme U-verdi som passivhusnybygget (E). Tekniske anlegg skiftes ut og tilsvarende kvaliteten i passivhusnybygget.

E1 og E2: Nybygg – hhv 3 og 10 etasjer.

Utgangspunktet er et kontorbygg bygget etter teknisk forskrift fra 2010. Etter energieffektivisering har bygget passivhusstandard med 350 mm isolasjon i yttervegg, 400 mm isolasjon i tak, vinduer med 3-lags energiglass (U-verdi 0,8) og meget god tetthet (0,6). Balansert ventilasjon får meget god varmegjenvinner (86 prosent).



Eksempel på E1 og E2: Danmarks første nullenergi kontorbygg. Foto: schmidt/hammer/lassen architects.

6.3 Valgte forutsetninger

Vi viser beregninger både for energibruk og klimagassutslipp. Beregningene kan



dermed brukes både ved mål om nullenergibygg og nullutslippsbygg. Utslippsfaktorer for ulike energikilder er meget omdiskutert i Norge. Utslippsfaktorene som legges til grunn er avgjørende for resultatet av klimagassberegningene og dermed hvilken energiløsning som kommer ut som mest optimal. Vi har valgt de samme utslippsfaktorene som definert av ZEB (The Reaserach Centre on Zero Emission Building) med unntak for fjernvarme. ZEB-faktorene brukes også av BREEAM-NOR, FutureBuilt og Statsbygg. Disse og andre valgte forutsetninger er spesifisert under.

Eksempel på D1 og D2: Grensesvingen 7, Helsfyr Oslo.
Illustrasjon: Kima Arkitekter.

Valgte utslippsfaktorer

El: 132 g CO₂/kWh. Utslippsfaktoren er basert på forutsetning om at norsk el er en del av en europeisk elgrid i fremtiden. Det regnes med at klimagassutslipp fra energimiksen til produksjon av el i Europa gradvis reduseres fra dagens utslipp på 361 g CO₂/kWh til null utslipp i 2054. Bakgrunnen for dette estimatet er bl.a. EUs krav om minst 90 prosent reduksjon av klimagassutslipp innen 2050.

$$361/2 * (2054-2010)/60=132$$

Gjennomsnittlig utslipp pr år i løpet av de neste 60 årene (gjennomsnittlig levetid for et bygg) blir da 132 g CO₂/kWh. (I vurdering av alternative energiforsyningsløsninger i BREEAM-NOR, er det lagt til grunn gjennomsnittsutslipp over 20 år i stedet for 60 år, da tekniske løsninger forutsettes å ha en levetid på 20 år og BREEAM-NOR bruker da en utslippsfaktor for el på 278 g CO₂/kWh.)

For materialutslipp er utslippsfaktor for el dagens europeiske miks: 361 g CO₂/kWh, da materialene produseres nå.

Bio: 14 g CO₂/kWh. Dette er ZEB-faktoren beregnet av Sintef. Det er her medregnet felling av tre, transport til vei, veitransport, foredling til brensel (ved/flisopphugging, pelletsproduksjon, annen foredling), virkningsgrad for omforming til nyttbar energiform (varme).

Fjernvarme: 111 g CO₂/kWh (Hafslund, 2011). ZEB-faktor for fjernvarme er 231 g CO₂/kWh basert på et gjennomsnittlig utslipp fra norske fjernvarmeanlegg i dag. Som for energimiksen til produksjon av el, kan det forventes at også fjernvarmeselskapene vil øke andel av fornybar energi i framtiden og at 231 g CO₂/kWh vil være for

høyt snittutslipp i et 60 års perspektiv. Vi har i denne rapporten i stedet valgt å bruke dagens utslipp fra Hafslund fjernvarme i Oslo som allerede har en høyere fornybarandel enn landsgjennomsnittet. Dette for å illustrere et reelt eksempel. Faktiske utslipp varierer mye med ulike fjernvarmeanlegg.

Fjernkjøling: 55 g CO₂/kWh. Faktoren er basert på at fjernkjøling er tenkt produsert med varmepumpe (kjølemaskin) med systemeffektfaktor 2,4 og med ZEB-faktor for utslipp for el til drift av varmepumpen.

Sol: 0 g CO₂/kWh.

Energibalanse: I beregningene har vi tillatt utveksling av egenprodusert el til el-nettet, slik at lokal produksjon er regnet som netto produksjon over året. Det er ikke regnet med utveksling av varme eller kjøling til et eksternt fjernvarmenett da utgangspunktet for varmepumpen i eksemplene kun er dimensjonert for å dekke 90 prosent av byggets behov.

Tradisjonell varmepumpedimensjonering for varmeløse leveranse innebærer relativt lang brukstid (2500-4000 timer/år) der varmepumpen leverer 40-60 prosent av anleggets dimensjonerende effekt. På denne måten er varmepumpens energidekningsgrad mellom 85-95 prosent. I scenariene med varmepumpe er det forutsatt en samlet dekningsgrad på 90 prosent for alle varmepumpeløsningene. Det er forutsatt at COP (Coefficient of Performance) varierer med byggets energistandard. Forutsetningen er at energieffektive bygg med passive egenskaper på lavenergi-/ passivhusnivå, vil kunne oppvarmes med lavere fremløpstemperatur i varmekursen, mens bygg med lavere energieffektivitet krever noe høyere fremløpstemperatur. Varmepumpen vil derfor ha høy COP i bygg på passivhusnivå og lavere COP i bygg med dårlige energistandard. Sammenhengen er nærmere beskrevet i et eget avsnitt.

Energibruk til teknisk utstyr: I norske beregninger skal brukeravhengig teknisk utstyr inkluderes i energibudsjettet for energimerkeberedning og i byggesaksbehandling. NS 3031 som benyttes til slike beregninger, definerer en standardverdi for teknisk utstyr på 34,4 kWh/ m² år. I de fleste andre europeiske land regnes brukeravhengig utstyr ikke med i beregninger av et byggs energibruk og klimagassutslipp. Det er ikke vedtatt om teknisk utstyr skal innregnes i nullutslippsdefinisjonen i Norge. (Power-House regner f.eks. ikke dette inn i utslippsbalansen for bygget). Denne rapporten viser beregninger både med og uten brukeravhengig utstyr slik at resultatene også kan sammenlignes med utenlandske beregninger.

6.4 Oppbygging av scenariene

Energibruk

Første trinn er å vise effekt av energieffektiverende tiltak i de ulike scenariene. Beregninger er gjort stegvis slik at det er mulig å se effekt av tiltak på henholdsvis bygningskropp og tekniske anlegg.

Klimagassutslipp til energi i drift

Neste trinn er å balansere og optimalisere energiforsyningen. Med utgangspunkt i scenariene er det vist hvordan ulike kombinasjoner av energisystemer påvirker levert energi og klimagassutslipp. Det er i dette trinnet ikke medtatt utslipp til produksjon og transport av materialer.

Klimagassutslipp til materialbruk

Det finnes ingen omforent nøyaktig metode for beregning av klimagassutslipp knyttet til materialbruk. Ulike verktøy og databaser baserer seg på ulike utslippsfaktorer for energibruk til produksjon av materialene og verdier som oppgis har ulike grensesnitt (vugge-port, vugge-grav, vugge-vugge). Det er også store produktforskjeller innen ulike materialtyper (f.eks. forskjell på lavkarbonbetong og tradisjonell betong). Utslipp fra materialer utgjør likevel så stor betydning at det vil være feil å se bort fra dem. Vi har derfor valgt å inkludere utslipp fra materialer i våre betraktninger, men å angi et stort

spenn for å tydeliggjøre variasjonene. Basert på erfaringer fra FutureBuilt-prosjektene og beregninger i verktøyet *Klimagassutslipp.no*, vil utslippene ligge i størrelsesorden:

- nybygg: 10-20 kg CO₂/m² år (utslipp varierer avhengig av hvor klimaeffektive materialer som er benyttet)
- rehabilitering med ny fasade og nye vinduer: 2-4 kg CO₂/m² år
- rehabilitering der fasaden beholdes: 1-2 kg CO₂/m² år

Disse utslippene inkluderer utvinning og transport av råvarer og produksjon av ferdige produkter som inngår i bygget. Utslippene skjer når materialene produseres, men er her fordelt pr år over forutsatt levetid for bygget på 60 år. Materialenes forventede levetid er tatt hensyn til, slik at et materiale med levetid på f.eks. 20 år er lagt inn 3 ganger.

6.5 Hovedresultater

Tabell 1 og 2 viser hovedresultater for beregningene i alle scenariene. Mer detaljerte beregninger finnes i vedlegg. Beregningsprogrammer har alltid en viss usikkerhet (her 5-10 prosent) og tallene kan ikke leses som absolutte, men som relative størrelser og en indikator på effekten av de ulike tiltakene.

Tabell 1: Energibruk og klimagassutslipp for scenarier med 3-etasjer. Energibruk og klimagassutslipp fra økt materialbruk er ikke medtatt i tabellen.

Tabell 2: Energibruk og klimagassutslipp for scenarier med 10 etasjer. Energibruk og klimagassutslipp fra økt materialbruk er ikke medtatt i tabellen.

Oversikt 3 plan bygning	1930 Bygg eks. Fasade		1930 bygg litt isol.		1990 ny Fasade		1990 eks. fasade		Nybygg	
	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år
	A1		B1		C1		D1		E1	
Levert energibruk før tiltak										
El inkl. Pumper og vifter (uten teknisk utstyr)	52		52		68		68		40	
Varme (fjernvarme)	223		223		136		136		61	
Kjøling (fjernkjøling)	8		8		18		18		26	
Samlet uten teknisk utstyr	283		283		222		222		127	
Klimagassutslipp		31,6		31,6		24,1		24,1		12,1
Energibruk og utslipp etter tiltak										
Energibruk etter energitiltak på bygningskropp	164	18	135	15	175	18	183	19	117	10
Reduksjon energibruk pga forbedring bygningskropp	42 %	42 %	52 %	52 %	21 %	25 %	18 %	20 %	8 %	18 %
Energibruk etter energitiltak på bygningskropp og tekn. anlegg	115	12	89	9	79	7	87	8	67	5
Reduksjon energibruk pga forbedring av tekniske anlegg	17 %	21 %	16 %	21 %	43 %	48 %	43 %	48 %	40 %	38 %
Samlet reduksjon med forbedring av bygningskropp og tekn. anlegg.	60 %	63 %	69 %	73 %	65 %	72 %	61 %	67 %	48 %	56 %
Energibalanser / klimagassutslipp med egenproduksjon på bygget										
Bygg energisystem, fVj (Hafslund 2012), + egen prod. Kjøling	-104	12,2	-77	9,1	-61	7,4	-72	8,6	-50	6,1
Bygg energisystem, bio kjel, + egen prod. Kjøling	-115	5,0	-83	4,7	-65	4,6	-77	4,7	-53	3,9
Bygg energisystem, stirling - mikro CHP (bio), + egen prod. Kjøling	-104	3,3	-77	3,6	-61	4,0	-71	3,8	-50	3,4
Bygg energisystem, varmepumpe, + egen prod. Kjøling	-57	6,6	-44	5,2	-38	4,6	-42	5,0	-31	3,7
Bygg energisystem, bio kjel + solceller, + egen prod. Kjøling	-75	-0,3	-43	-0,6	-25	-0,7	-37	-0,6	-13	-1,4
Bygg energisystem, stirling - mikro CHP (bio)+solceller, + egen prod. Kjøling	-64	-2,0	-36	-1,7	-21	-1,3	-31	-1,5	-9	-2,0
Bygg energisystem, varmepumpe + solceller, + egen prod. Kjøling	-17	1,3	-4	-0,1	2	-0,7	-2	-0,3	10	-1,6
Bygg energisystem, fjernvarme + solceller, + egen prod. Kjøling	-64	6,9	-36	3,8	-21	2,1	-31	3,3	-10	0,8

Scenarier der produksjon av energi på bygget (varme, kjøling, el) er større eller lik energibruken i bygget, er markert med mørkegrønt i tabellen (positive tall).
Scenarier der klimagassreduksjonen ved produksjon av energi på bygget er større eller tilnærmet lik byggets klimagassutslipp, er markert med lysegrønt i tabellen (negative tall).

Oversikt 10 plan bygning	1930 Bygg eks. Fasade		1930 bygg litt isol.		1990 ny facade		1990 eks. Fasade		Nybygg	
	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år	kWh/m ² år	kg CO ₂ /m ² år
	A2		B2		C2		D2		E2	
Levert energibruk før tiltak										
El inkl. Pumper og vifter (uten teknisk utstyr)	52		52		68		68		41	
Varme (fjernvarme)	222		222		129		129		61	
Kjøling (fjernkjøling)	8		8		19		19		27	
Samlet uten teknisk utstyr	282		282		216		216		129	
Klimagassutslipp		31,5		31,5		23,3		23,3		12,1
Energibruk og utslipp etter tiltak										
Energibruk etter energitiltak på bygningskropp	191	21	139	16	170	17	181	19	119	10
Reduksjon energibruk pga forbedring bygningskropp	32 %	32 %	51 %	50 %	21 %	25 %	17 %	19 %	7 %	18 %
Energibruk etter energitiltak på bygningskropp og tekn. anlegg	142	15	96	9	77	6	85	8	67	5
Reduksjon energibruk pga forbedring av tekniske anlegg	17 %	21 %	15 %	21 %	43 %	49 %	44 %	49 %	41 %	39 %
Samlet reduksjon med forbedring av bygningskropp og tekn. anlegg.	50 %	53 %	66 %	71 %	65 %	74 %	61 %	68 %	48 %	57 %
Energibalanser / klimagassutslipp med egenproduksjon på bygget										
Bygg energisystem, fVj (Hafslund 2012), + egen prod. Kjøling	-132	15,2	-82	9,7	-56	6,9	-69	8,3	-49	6,0
Bygg energisystem, bio kjel, + egen prod. Kjøling	-146	5,5	-89	4,8	-59	4,7	-74	4,7	-52	3,9
Bygg energisystem, stirling - mikro CHP (bio), + egen prod. Kjøling	-132	3,1	-82	3,6	-56	4,2	-69	3,9	-49	3,4
Bygg energisystem, varmepumpe, + egen prod. Kjøling	-69	7,7	-46	5,4	-36	4,5	-41	4,9	-30	3,7
Bygg energisystem, bio kjel + solceller, + egen prod. Kjøling	-120	2,0	-63	1,4	-33	1,2	-48	1,3	-26	0,5
Bygg energisystem, stirling - mikro CHP (bio)+solceller, + egen prod. Kjøling	-105	-0,3	-56	0,2	-30	0,7	-42	0,4	-23	0,0
Bygg energisystem, varmepumpe + solceller, + egen prod. Kjøling	-42	4,2	-20	1,9	-10	1,0	-15	1,5	-4	0,2
Bygg energisystem, fjernvarme + solceller, + egen prod. Kjøling	-106	11,8	-56	6,3	-30	3,5	-42	4,8	-23	2,5

Scenarier der klimagassreduksjonen ved produksjon av energi på bygget er større eller tilnærmet lik byggets klimagassutslipp, er markert med lysegrønt i tabellen (negative tall).

Tabellene viser:

1. Byggets leverte energibruk i kWh/m² år før det gjennomføres energireducerende tiltak. Her er valgt en energiforsyning med fjernvarme og fjernkjøling, samt el fra elnett. Energibruken er oppdelt i:
 - elektrisitet (samlet elbruk for bygget uten el til teknisk utstyr)
 - varme (energibruk til oppvarming (fjernvarme), ventilasjon og varmt tappevann)
 - kjøling (fjernkjøling)
2. Byggets årlige klimagassutslipp før det gjennomføres energireducerende tiltak, uten klimagassutslipp fra materialer.
3. Energiforbruk og klimagassutslipp etter at det er gjennomført energireducerende tiltak. Først vises energibruk og utslipp etter at det er gjennomført tiltak på bygningskroppen. Deretter etter at det er gjennomført tiltak på tekniske anlegg og til slutt energibruk og utslipp etter alle tiltak. Energiforbruk er vist i kWh/m² år og klimagassutslipp i kg CO₂-ekv/ m² år. Det er også vist prosentvis besparelse. Dette svarer til en stegvis forbedring av bygget som beskrevet i tidligere avsnitt, og gir muligheten for å vise hva forbedringen av bygningskroppen relativt betyr i forhold til forbedring av tekniske anlegg.

Tiltak på bygningskroppen er tetteltak, tilleggsisolasjon av vegger (ikke alle scenarier), tak, gulv (ikke alle scenarier), nye vinduer (to scenarier får kun ekstra varevindu) og økt tetthet til passivhusstandard. Tiltak på tekniske anlegg er egen kjølemaskin med god effektfaktor (COP/systemeffektfaktor 4,0), bedre varmegjenvinnere, vifter med lavere elbruk og effektiv belysning. Tiltakene er utdypet i kapittel 6.6.
4. Energibalanser/klimagassutslipp som viser oversikt over mulige (undersøkte) energiforsyningsløsninger, mulighet for å balansere energibruken og mulighet for å redusere klimagassutslipp til null eller lavere. For at bygget skal bli **nullenergihus**, må energibalansen være null eller positiv (markert med mørkegrønt). Bygget produserer da mer energi enn det bruker. For at bygget skal bli **nullutslippshus** knyttet til energibruk i drift må klimagassutslippet i tabellen være null eller negativt (markert med lysegrønt). Hvis nullutslippdefineringen skal inkludere utslipp knyttet til materialbruk, må klimagassutslippet i tabellen ha negativ verdi som veier opp utslipp knyttet til materialbruk.

Resultater rehabilitering

- 1930-tallsbygget på 3 etasjer som får takisolasjon, ekstra varevindu og tiltak på tekniske anlegg (A1) energieffektiviseres ned til 115 kWh/m² år i levert energi (150 kWh/m² år inkl teknisk utstyr). 42 prosent av reduksjonen skyldes tiltak på bygningskroppen og 17 prosent skyldes tiltak på tekniske anlegg. Hvis ytterveggen i tillegg isoleres på innsiden med 100 mm isolasjon, kan energibruken reduseres ytterligere 26 kWh/m² år (B1). Hvis bygget er høyere vil effekten av tilleggsisolasjon øke, grunnet større veggareal / BRA for høyt bygg (A1 til A2)
- 1990-tallsbygget som får økt takisolasjon, nye vinduer, tetteltak og tiltak på tekniske anlegg (D1 og D2), men beholder fasaden, energieffektiviseres ned til 85-87 kWh/m² år i levert energi, avhengig av bygghøyden (120-122 kWh/m² år inkl teknisk utstyr). 17-18 prosent av reduksjonen skyldes tiltak på bygningskroppen og 43-44 prosent skyldes tiltak på tekniske anlegg.
- Ved å bruke varmepumpe til oppvarming og kjøling, vil energibruk knyttet til termisk forbruk ha mindre betydning. Ny fasade med ytterveggisolasjon tilsvarende passivhusstandard på 1990-tallsbygget, vil øke energibesparelsen med 7-10 kWh/m² år hvis bygget nytter fjernvarme og 4-5 kWh/m² år hvis bygget har varmepumpe.
- Av rehabiliteringsprosjektene, er det kun 1990-tallsbygget med ny fasade (C) på 3 etasjer som blir nullenergibygg (markert med mørkegrønt i tabell 1). Det oppnås ved

å kle bygget med solceller til produksjon av el og bruk av varmepumpe til oppvarming og kjøling. Det kan likevel ikke gis generelle anbefalinger om at fasaden alltid bør skiftes. Hvert prosjekt må gjøre en vurdering av fasadens verneverdi, tekniske tilstand, tetthet og lysinnslipp og hva ny fasade betyr for energibruken.

- Alle scenariene med 3 etasjer greier å bli nullutslippsbygg når vi kun ser på klimagassutslipp knyttet til energibruk i drift av bygget. Dette kan oppnås med solceller til produksjon av el og stirlingmotor, bio eller varmepumpe til oppvarming og kjøling.
- Produksjon av termisk energi med varmepumpe, biokjel og stirlingmotor har lave klimagassutslipp. Det fører bl.a. til at det er relativt liten forskjell på klimagassutslipp om byggene får ny fasade eller ei. Klimagassutslipp for ny fasade vil variere med materialvalg og må ses i sammenheng med klimagevinst på energisiden. I våre scenarier er det ikke mulig å oppnå nullutslippsbygg med ny fasade hvis man inkluderer materialbruk i nullutslippsdefinisjonen (for utslippstall knyttet til materialbruk, se kapittel 6.4).
- Det rehabiliteringsprosjektet som oppnår lavest netto klimagassutslipp med materialutslipp inkludert, er 1990-tallsbygget som beholder fasaden, men ellers rehabiliteres til passivhusstandard (D).
- Unntak er hvis bygget kan bruke bioenergi til stirlingmotor. Med stirlingmotor som bruker bioenergi til å produsere både varme og el, får 1930-talls bygget som beholder fasade og vinduer (A) lavest klimagassutslipp. Dette på grunn av at en stirlingmotor produserer mest el ved høyt varmebehov og dermed kan erstatte mer bruk av el fra nettet med høyere utslippsfaktor enn bioenergi. Et slikt prosjekt har utslipp på nivå med et passivhusnybygg uten materialutslipp (E) og langt lavere utslipp enn alle de andre scenariene med materialutslipp inkludert.

Resultater nybygg

- Nybygg med passivhusstandard (E) oppnår energibruk på 67 kWh/m² år i levert energi (101 kWh/m² år inkl teknisk utstyr ihht. NS 3031). Tiltak på tekniske anlegg gir en reduksjon på 40-41 prosent målt i levert energi. Tiltak på bygningskroppen gir en reduksjon på 7-8 prosent målt i levert energi.
- Tiltak på bygningskroppen (fra TEK10 - passivhus) reduserer kun energibruken med 9-10 kWh/m² år og klimagassutslipp med ca 2 kg/m² år. Noe av energibesparelsen til oppvarming som følge av bedre isolasjon og bedre vinduer «nulles ut» av økt kjølebehov på grunn av bedre isolasjon. Det er da tatt utgangspunkt i dagens beregningsverdier i TEK10 og NS 3031, basert på normale tekniske internlaste (belysning og teknisk utstyr) og dagens krav til kjøletemperatur (22 grader). Ved mer energieffektivt utstyr og belysning og aksept av høyere temperaturer sommerstid, vil energibesparelsen ved å etterisolere bli bedre.
- Nybygg med passivhusstandard kan bli plussenergihus ved å kles med solceller og bruke varmepumpe til oppvarming og kjøling.
- Nybygg med passivhusstandard kan også bli nullutslippsbygg hvis man ikke tar hensyn til utslipp fra materialer. Lavest utslipp oppnås ved å kle bygget med solceller og sette inn en stirlingmotor som bruker bioenergi til produksjon av el og termisk energi. Nullutslippsbygg kan også oppnås med kombinasjon solceller og biokjel eller varmepumpe.
- Hvis man regner inn klimagassutslipp fra materialer, er det kun rehabiliteringsprosjektene som kan bli nullutslippsbygg, da materialutslipp for et nybygg er så stort at klimagassregnskapet ikke kan komme i balanse. Klimagassutslipp knyttet til materialbruk utgjør erfaringsmessig 10-20 kg/m²år.

6.6 Beskrivelse av valgte energieffektiviserende tiltak

Avsnittet beskriver eksempler på energieffektiviseringstiltak for scenarienes ulike bygningstyper, 3 og 10 etasjers bygg med et antall forskjellige energistandarder.

6.6.1 Form og dagslysinnslipp

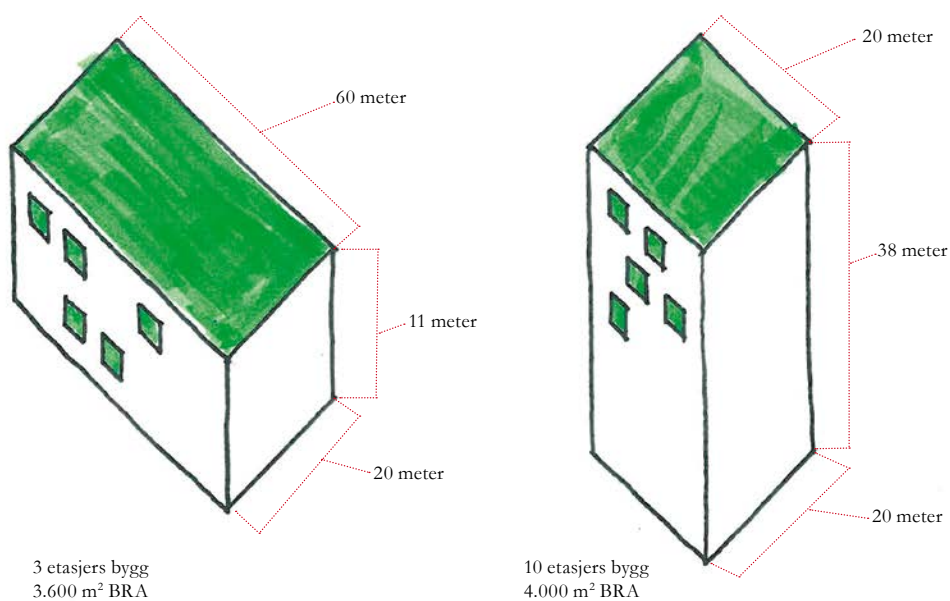
Form

I de ulike scenariene er det tatt utgangspunkt i to relative kompakte kontorbygg på hhv. 3 og 10 etasjer. Det er forutsatt at solutsatte fasader har solskjerming i samsvar med krav i TEK 10, et samlet glassareal på ca. 20 prosent av BRA fordelt likt på alle fasaderetninger og at bygget har plan fasade uten inntrukne deler eller utspring som øker fasaden overflate. Geometri for de to byggene er vist figur 3.

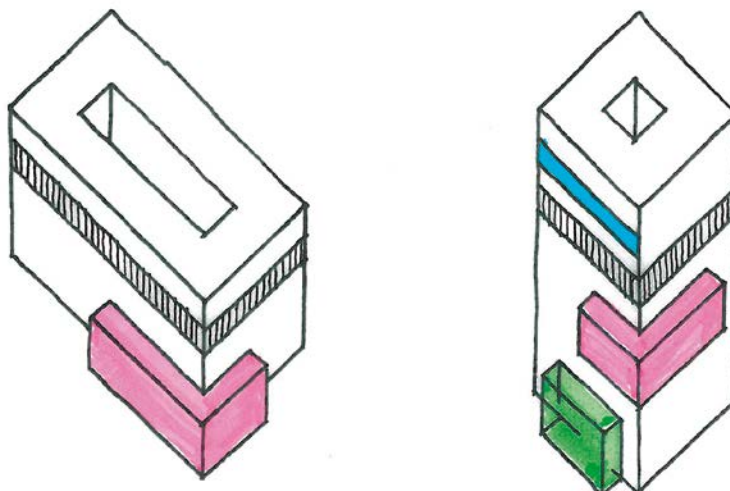
Dette betyr at scenariene er relativt «energioptimale». Det må forventes at reelle prosjekter ikke alltid er like optimale, spesielt ikke rehabiliteringsprosjekter.

Dersom et eksisterende bygg har relativt mange utspring i fasaden og stor overflate i forhold til volum, bør man vurdere å redusere fasadearealet. Det vil redusere byggets varmetap gjennom overflater, men vil også kunne redusere kuldebroer og tetthet i konstruksjonen. Eksempel på dette er Skatteetatens kontorbygg på Helsefy, se veilederen *Fra C-A* (Førland-Larsen & al, 2011), og bilde på side 16.

Figur 3: Geometri lavt og høyt bygg.



Figur 4: Optimalisering av byggets form reduserer energibruken. Bygg med mange utstikkere bruker mer energi.



Dagslys

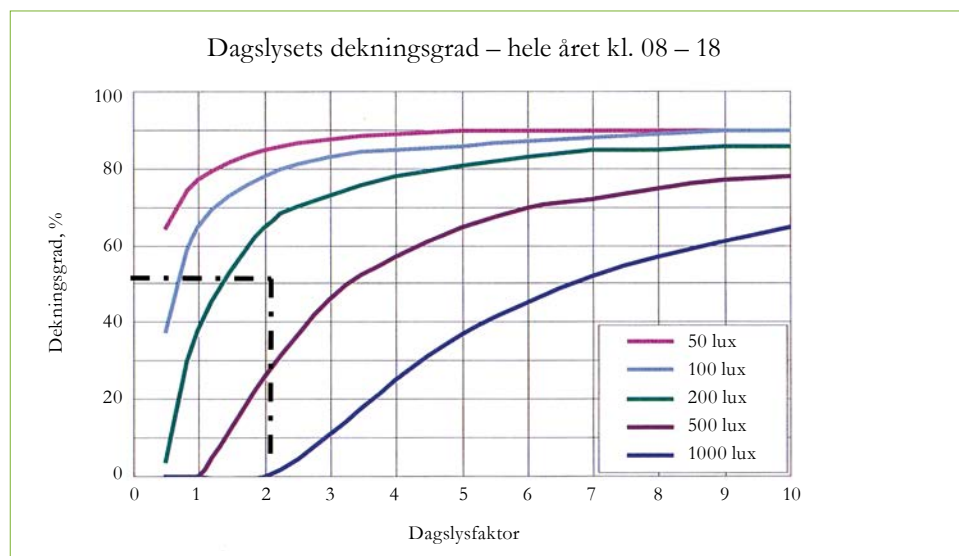
I mange yrkesbygg utgjør belysning en betydelig del av elektrisitetsforbruket. Økt dagslys vil kunne redusere energibruken til kunstig belysning. Man må derfor vurdere både dagslysinnslipp og utforming av fasaden i sammenheng og velge den beste total-løsningen.

Effekten av energireduksjon på grunn av økt dagslysinnslipp øker med dagslysstyring av kunstig belysning. I tillegg vil man oppnå betydelig energisparing ved å styre kunstig belysning etter tilstedeværelse.

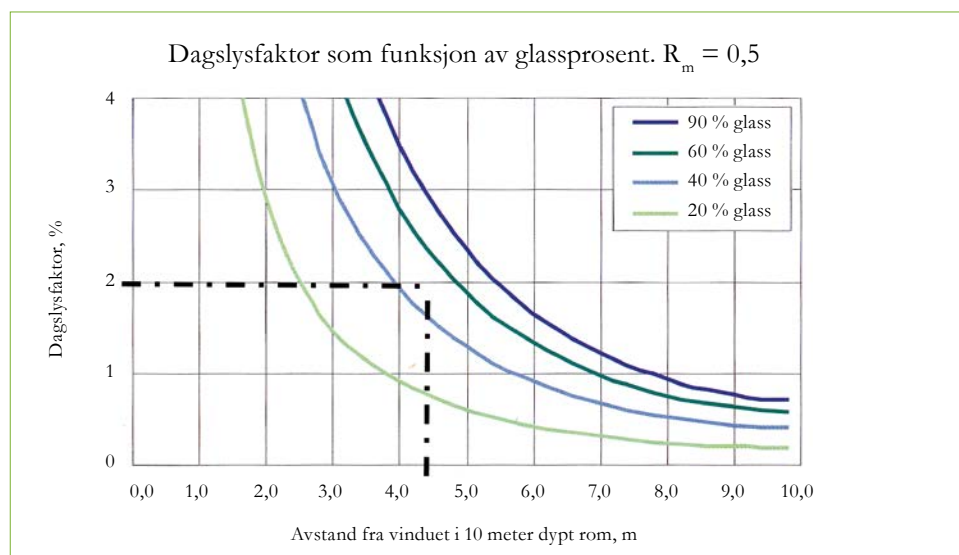
Figur 5 og 6 viser dagslysnivået som funksjon av glassandel i fasaden og andel av året som dagslys kan gi et belyningsnivå på 300 lux, som regnes som godt arbeidslys.

Figur 5 viser at man ved dagslysfaktor på $DF=2$, vil kunne dekke opp mot 50 prosent av lysbehovet over året med naturlig dagslys (eksempel der glassarealet av innvendig fasade er 50 prosent eks ramme). Det vil redusere energibruk til kunstig belysning betydelig. I mange prosjekter har målet om lavt oppvarmingsbehov gitt betydelig lavere glassarealer enn 50 prosent. Glassarealet må optimaliseres i hvert enkelt prosjekt ut fra funksjon, inneklimate, dagslysforhold og energibruk. Med vinduer med god U-verdi (0,8), vil man kunne tillate relativt høye glassarealer også i energieffektive bygg. Dynamiske fasader der man f.eks. skjerner vinduer om natten for å redusere byggets oppvarmingsbehov, gir enda større muligheter for å ha store glassarealer i energieffektive bygg.

Som figur 6 viser, er det vanskelig å oppnå en dagslysfaktor på $DF=2$ for arbeidsplasser på et punkt lenger inn i bygget enn 4-5 m fra yttervegg. Det er krav om gjennomsnittlig $DF=2$ både i TEK10 og $DF=2,1$ i BREEAM-NOR. Det kan man få til i et areal fra vindusflaten og 7 m inn (med 50 prosent glassareal av fasaden).



Figur 5: Med en dagslysfaktor på $DF=2$ kan naturlig dagslys gi tilstrekkelig lys (300 lux) i ca. 50 prosent av arbeidstiden (Johnsen, 2008).



Figur 6: 50 prosent glass av innvendig fasadeareal gir en dagslysfaktor på $DF=2$ ca. 4,5 m inn i rommet (Johnsen, 2008).

Arealer med store internlastar på grunn av høy persontetthet og/eller mye teknisk utstyr med stort elbruk bør ikke plasseres i nærheten av solutsatte fasader, mens rom med lavere internlastar kan plasseres mot solutsatte fasader.

Dersom det er mulig å utnytte byggets termiske masse, bør det vurderes. Det vil redusere energibruk til oppvarming og kjøling.

6.6.2 Bygningskroppen

Tabell 3 viser forutsetninger for bygningskroppen for våre ulike scenarier.

Figur 8 fra en rapport fra Multiconsult/Sintef (Simonsen, 2012), viser henholdsvis energibesparelse pr år og lønnsomhetsindikator for ulike tiltak på et kontorbygg fra 1985/-87 rehabilitert til TEK10-standard. Lav verdi på lønnsomhetsindikatoren gir best lønnsomhet. Indikatoren må ikke forveksles med tilbakebetalingstid selv om den har likheter i beregningsmetodikk.

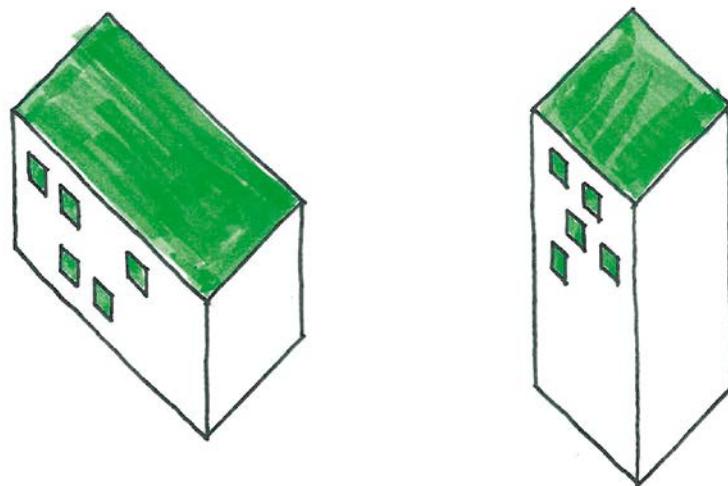
Ut fra figurene kan man generelt se at tiltak på bygningskroppen har lav lønnsomhetsindikator, og at tiltak på bygningskroppen er mindre kostnadseffektive enn tiltak på tekniske systemer.

I (Simonsen, 2012) konkluderes at anslag for kostnader kan variere med flere hundre prosent avhengig av hvem som kalkulerer, hvilke forutsetninger som ligger til grunn og hvor i markedet vi befinner oss. Energibesparelser er også avhengig av ”hvordan man regner”.

I både (Simonsen, 2012) og (Førland-Larsen A. e., 2012), vises at tiltak på bygnings klimaskjerm (yttervegg, vinduer, tak og golv) har høyest entreprisekostnad i rehabiliteringsprosjekter. Deretter kommer entreprisekostnader for varmesystemet. Tiltak på ventilasjonsanlegget har lavest kostnad.

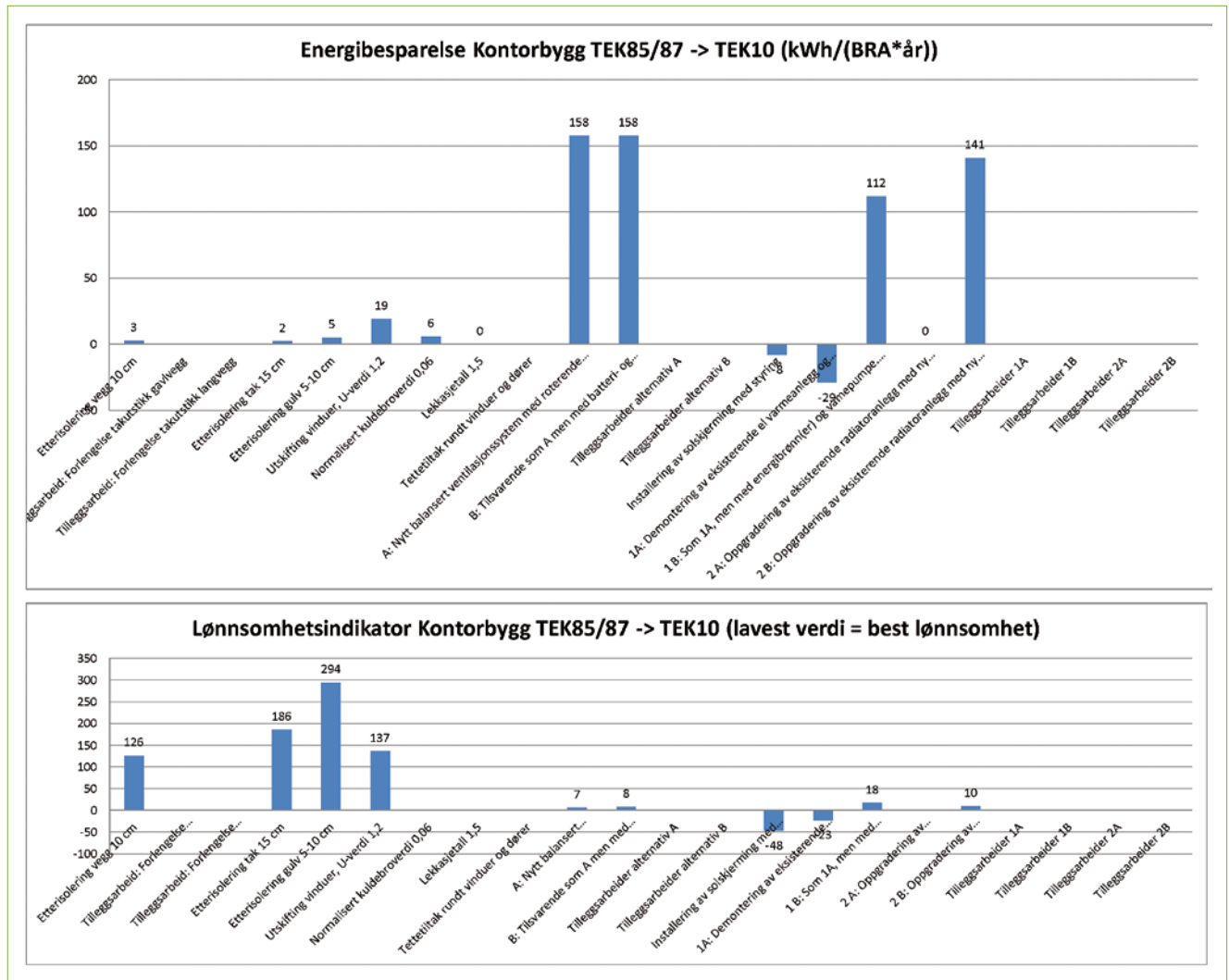
(Simonsen, 2012) konkluderer med at selv om tiltakene på klimaskjermen isolert sett har høy entreprisekostnad, kan de likevel gi god totaløkonomi i kombinasjon med allerede planlagte arbeider på klimaskjermen. Etterisolering av yttervegg kan gi god lønnsomhet hvis veggen er dårlig isolert og kledningen uansett skal skiftes. Tilsvarende gjelder at det oftest er lønnsomt å velge god U-verdi på vinduer (0,8 W/m² K), hvis vinduene uansett skal skiftes.

Figur 7: I alle rapportens scenarier er det gjort tiltak på tak og vinduer.



Tabell 3: Energikvalitet på bygningskroppen i de ulike scenariene.

Bygningskall	Bygningsmodell							
	1930 Bygg som bygget	1930 Bygg eks. Fasade	1930 bygg litt isol.	1990 bygg som bygget	1990 bygg ny Fasade	1990 bygg eks. fasade	Nybygg TEK 10	Nybygg Passiv nivå
	A1 / A2	B1 / B2		C1 / C2	D1 / D2		E1 / E2	
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	1,00	1,00	0,35	0,28	0,14	0,28	0,17	0,12
U-verdi tak [W/m ² K]	1,00	0,10	0,10	0,22	0,10	0,1	0,13	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,19	0,19	0,19	0,36	0,36	0,36	0,13	0,13
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,80	1,00	1,00	1,80	0,80	0,8	1,2	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,15	0,15	0,15	0,12	0,03	0,09	0,09	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	4,00	1,00	1,00	2,00	0,60	0,8	1,5	0,6



Våre scenarier viser samme tendens. Figur 9 viser energibruk for et bygg der klimaskallet er optimalisert der det er realistisk (se spesifikasjoner under) og med energieffektive tekniske systemer, konferer tidligere tabell 3. I beregningen er isolasjonstykkelsen på ytterveggen stegvis forbedret fra 0 mm isolasjon til 400 mm isolasjon. Med en økning på 25 mm for hvert steg, er det beregnet:

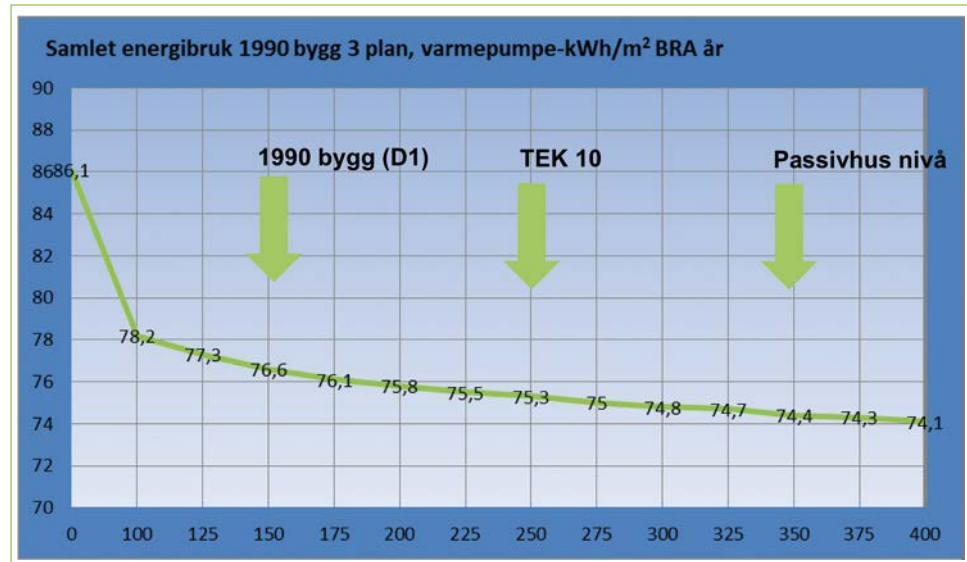
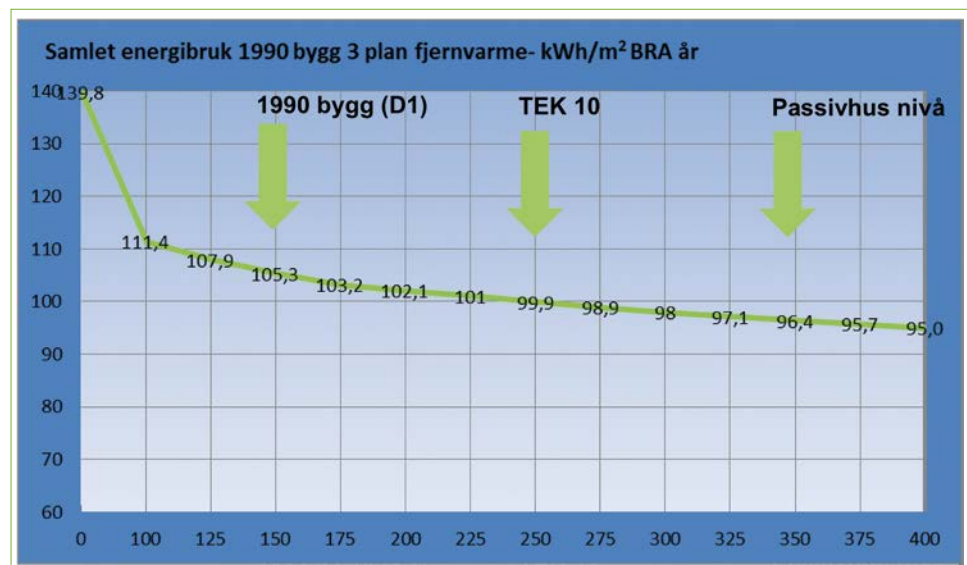
- *marginal nåverdi*, som er den økningen i nåverdien som nås ved å øke isolasjonstykkelsen med 25 mm, for eksempel den økningen i nåverdi som nås ved å øke isolasjonstykkelsen fra 100 mm til 125 mm isolasjon. Marginal nåverdi er relevant å vurdere der man ønsker å tilleggisolere en eksisterende vegg eller der man vurderer å rive en eksisterende vegg for å erstatte den med en ny vegg med lavere U-verdi.
- *akkumulert nåverdi*, som er den samlede besparelsen for å øke isolasjonstykkelsen fra 0 mm til aktuell tykkelse, for eksempel nåverdi for samlet isolasjonstykkelse på 200 mm. Akkumulert nåverdi er relevant å vurdere der man ønsker en samlet nåverdi for en ny vegg.

I beregningene er det forutsatt kalkulasjonsrente på 4 prosent, energipris på 1,1 kr/kWh eks. mva, marginalkostnad for 100 mm ekstra isolasjon på 300 kr/m² vegg, levetid på 60 år, energiforsyning med fjernvarme/ varmepumpe med systemvirkningsgrad/systemeffektfaktor for varme og kjøling på 4,0. Resultatene er vist på figur 9 og 10 under. Disse forutsetningene gir:

- Den største energibesparelsen fås ved de første 100 mm isolasjon. Deretter avtar effekten kraftig og det er lite energibesparelse å hente utover isolasjonskrav til yttervegg i TEK 10, se figur 9.
- Marginal nåverdi er positiv til isolasjonstykkelsen er ca. 300 mm (fjernvarme) og 125 mm (varmepumpe), se figur 10.

Figur 8: Energibesparelse og lønnsomhetsindikator for tiltak på bygningskroppen og tekniske systemer for tilnærmet «1990 bygg» som rehabiliteres til TEK10-nivå (Simonsen, 2012).

Figur 9: Samlet energibruk (kWh/m² år) for scenario C/D (1990 bygg) med variabel isolasjonstykkelse på yttervegg. Isolasjonstykkelse varierer mellom 0-400 mm isolasjon, kuldebroverdi mellom 0,15 - 0,03 W/m²K, gulfv mot P-kjeller 0,4 W/m² K og lekkasjetall er 0,8 h⁻¹. Øverst med energiforsyning fjernvarme, nederst med energiforsyning varmepumpe (systemvirkningsgrad/ systemeffekt-faktor for varme og kjøling er 4,0).



- Akkumulert samlet nåverdi er positiv til isolasjonstykkelse på minst 400 mm (fjernvarme) og 325 mm (varmepumpe). Det vil si at dersom det **ikke er isolasjon i vegg**, er det lønnsomt å isolere til denne tykkelsen, enten ved innvendig tilleggsisolasjon eller ved å skifte til bedre isolert vegg, se figur 10.
- **Dersom bygget har 150 mm isolasjon** i utgangspunktet (U-verdi på ca. 0,28 W/m² K og varmepumpe), vil en økning til (konferer figur 10):

- 200 mm få nåverdi på	= -23 (-9+(-14))	kr m ² BRA år
- 250 mm få nåverdi på	= -54 (-23+(-14)+(-17))	kr m ² BRA år
- 300 mm få nåverdi på	= -81 (-54+(-14)+(-17))	kr m ² BRA år

¹ Data hentet fra EPD for Glava isolasjon.

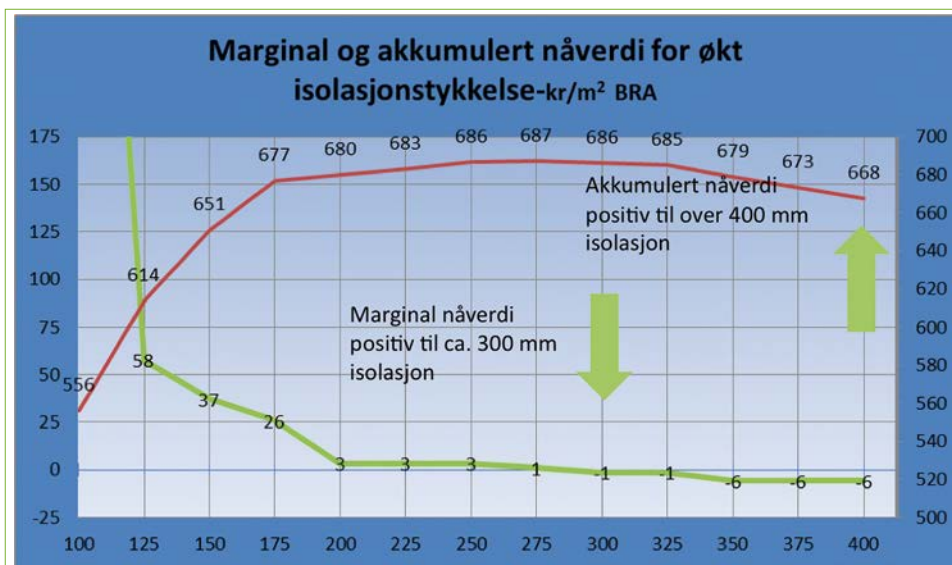
Det vil si at det med disse forutsetninger ikke er lønnsomt å etterisolere da bygget i utgangspunkt har ca. 150 mm isolasjon, ut fra hensyn til bedre U-verdi alene.

Tilsvarende kan marginal reduksjon i *klimagassutslipp* beregnes for stegvis endring av isolasjonstykkelsen.

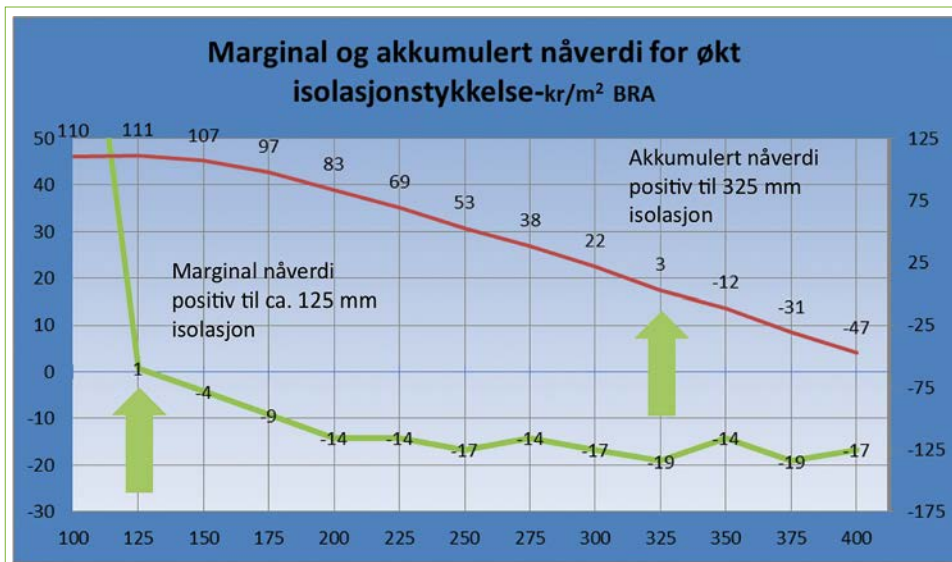
Forutsetninger for beregning av reduserte klimagassutslipp er de samme som energieksemplet over. Utslippsfaktorer for samlet energireduksjon er satt til 132 g CO₂ /kWh for varmepumpeløsning, og 111 g CO₂ /kWh for fjernvarmeløsning, som brukt ellers i rapporten.

Marginalt klimagassutslipp for å øke isolasjonstykkelsen med 100 mm er satt til 0,05 CO₂/m² vegg (dekker 100 mm isolasjon, ca. 0,03 kg/m² vegg og stender, spiker, beslag mm 0,02 kg/ m²vegg). Resultatene er vist i figur 11 og 12. Disse forutsetningene og bruk av fjernvarme gir:

- Marginal reduksjon i klimagassutslipp med isolasjonstykkelse opp til minst 400 mm.



Figur 10: Marginal- og akkumulert nåverdi (kr/m² BRA) for økning av isolasjonstykkelse på scenario C/D (1990 bygg). Isolasjonstykkelse varierer mellom 0-400 mm isolasjon, kuldebroverdi mellom 0,15 - 0,03 W/m²K, golv mot P-kjeller 0,4 W/m² K og lekkasjetall er 0,8 h⁻¹. Øverst med energiforsyning fjernvarme, nederst med energiforsyning varmepumpe (systemvirkningsgrad/ systemeffektfaktor for varme og kjøling er 4,0).



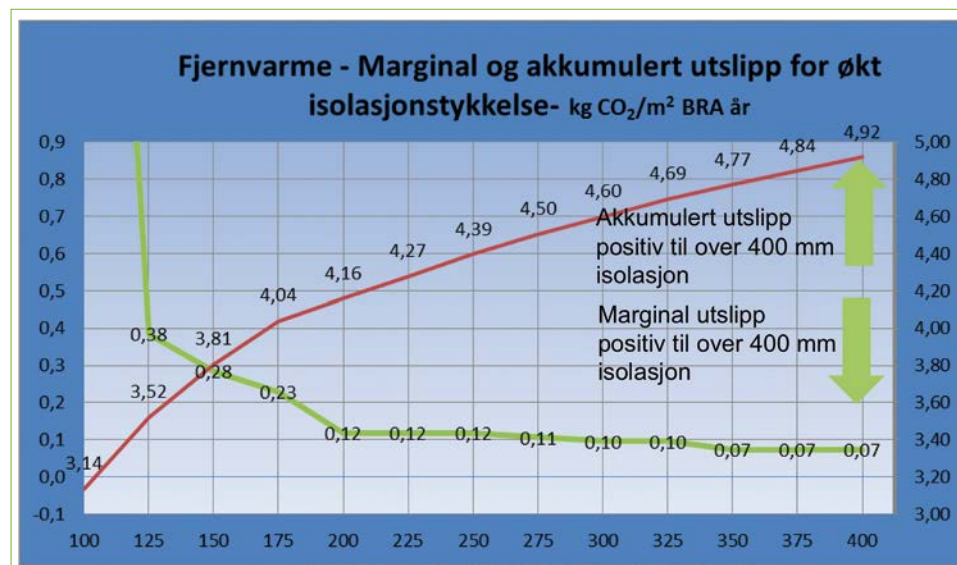
- Akkumulert samlet reduksjon i klimagassutslipp er positiv til isolasjonstykkelse over 400 mm. Det vil si at hvis man ser på isolasjon alene, vil det gi en klimagassbesparelse å isolere fra 0 mm opp til minst 400 mm. Dersom bygget i utgangspunktet har 150 mm isolasjon (U-verdi 0,28 W/m² K), vil en økning til:
 - 200 mm gi reduserte utslipp = 0,35 (0,23+0,12) kg CO₂ /m² BRA år
 - 250 mm gi reduserte utslipp = 0,59 (0,35+0,12+0,12) kg CO₂ /m² BRA år
 - 300 mm gi reduserte utslipp = 0,80 (0,59+0,11+0,10) kg CO₂ /m² BRA år
 - 400 mm gi reduserte utslipp = 1,11 (0,8+0,1+0,07+0,07+0,07) kg CO₂ /m² BRA år

For at utskifting av fasade skal føre til reduserte klimagassutslipp, må klimagassutslipp fra materialer til ny vegg (alle materialer unntatt isolasjon) være lavere enn reduserte utslipp som følge av energibesparelsen. For eksempel vil økning av isolasjonstykkelser fra 150 mm til 400 mm, kun gi reduserte klimagassutslipp hvis det samlede klimagassutslipp knyttet til materialbruk i ny fasade (eks isolasjon) er lavere enn 1,11 kg CO₂ /m² BRA år.

De samme forutsetningene og bruk av en effektiv grunnvannsvarmepumpe gir:

- Positiv marginal reduksjon i klimagassutslipp med isolasjonstykkelse opp til 400 mm, men reduksjonen er lav for tykkelser over 250 mm.
- Akkumulert samlet reduksjon i klimagassutslipp er positiv til isolasjonstykkelse over 400 mm. Det vil si at hvis man ser på isolasjon alene, vil det gi en klimagassbesparelse å isolere fra 0 mm opp til minst 400 mm. Besparelsen er imidlertid langt mindre enn ved bruk av fjernvarme til oppvarming. Dersom bygget har

Figur 11: Marginalt- og akkumulert klimagassutslipp (kg CO₂/m² BRA år) for økning av isolasjonstykkelsen på scenario C/D (1990 bygg). Isolasjonstykkelse varierer mellom 0-400 mm isolasjon, kuldebroverdi mellom 0,15 - 0,03 W/m²K, gulv mot P-kjeller 0,4 W/m² K og lekkasjetall er 0,8 h⁻¹. Energiforsyning er fjernvarme.



150 mm isolasjon (U-verdi 0,28 W/m² K), vil en økning til:

- 200 mm gi reduserte utslipp = 0,1 (0,06+0,04) kg CO₂ /m² BRA år
- 250 mm gi reduserte utslipp = 0,16 (0,1+0,04+0,02) kg CO₂ /m² BRA år
- 300 mm gi reduserte utslipp = 0,22 (0,16+0,04+0,02) kg CO₂ /m² BRA år
- 400 mm gi reduserte utslipp = 0,30 (0,22+0,01+0,04+0,01+0,02) kg CO₂ /m² BRA år

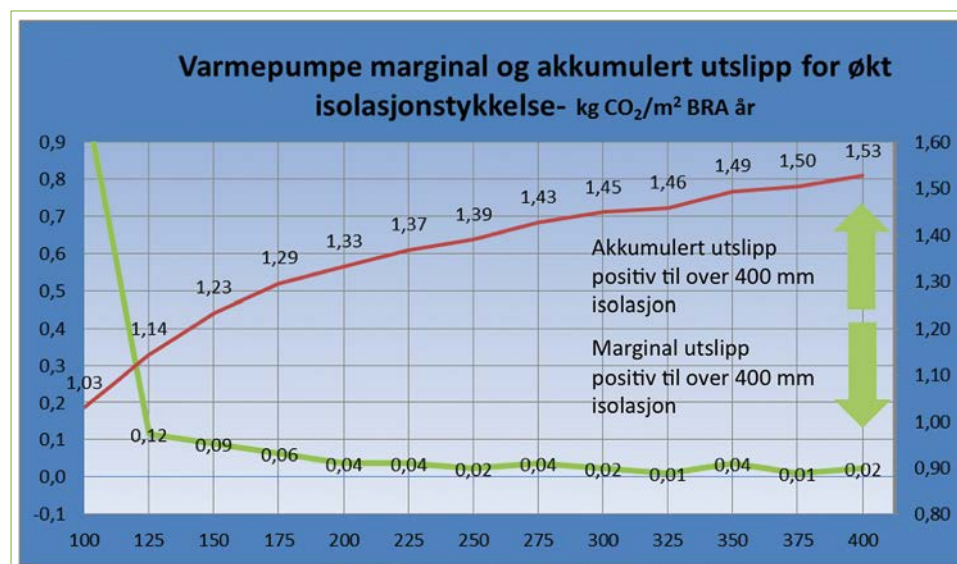
For eksempel vil økning av isolasjonstykkelsen fra 150 mm til 400 mm, kun gi reduserte klimagassutslipp hvis det samlede klimagassutslipp knyttet til materialbruk i ny fasade (eks isolasjon) er lavere enn 0,30 kg CO₂ /m² BRA år. Dette er neppe mulig.

Resultatene er basert på et relativt forenklet datagrunnlag og må brukes som en indikasjon og ikke som veldokumentert vitenskapelig dokumentasjon. Hovedkonklusjonen er at utskiftning av fasaden bør og må vurderes nøye. Andre mer kostnadseffektive tiltak kan gi samme eller større reduksjon av både energibruk og klimagassutslipp.

Andre miljøforbedringer ved ny fasade kan imidlertid være:

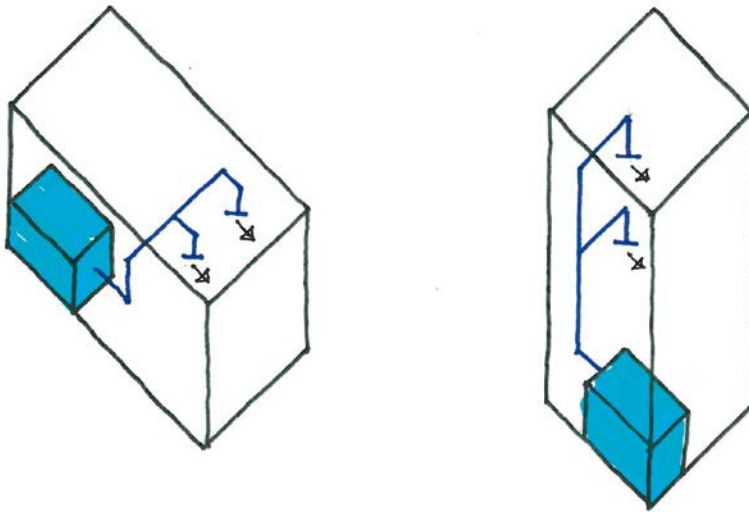
- mulighet for å forbedre dagslysforhold
- mulighet for å redusere høye kuldebroverdier og dermed risiko for innvendig kondens
- mulighet for å forbedre lekkasjetallet og dermed også komforten

Figur 12: Marginalt- og akkumulert klimagassutslipp (kg CO₂/m² BRA år) for økning av isolasjonstykkelsen på scenario C/D (1990 bygg). Isolasjonstykkelse varierer mellom 0-400 mm isolasjon, kuldebroverdi mellom 0,15 - 0,03 W/m²K, gulv mot P-kjeller 0,4 W/m² K og lekkasjetall er 0,8 h⁻¹. Energiforsyning er varmepumpe (systemvirkningsgrad/systemeffektfaktor for varme og kjøling er 4,0).



Oversikt energikvalitet 3 og 10 plan bygg	Bygningsmodell							
	1930 Bygg som bygget	1930 Bygg eks. Fasade	1930 bygg litt isol.	1990 bygg som bygget	1990 bygg ny Fasade	1990 bygg eks. fasade	Nybygg TEK 10	Nybygg Passiv nivå
	A1 / A2	B1 / B2		C1 / C2	D1 / D2		E1 / E2	
Tekniske systemer								
Temperaturvirkningssgr. varmegjenvinner [%]:	60,0	86,0	86,0	60,0	86,0	86,0	70,0	86,0
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m³/s]:	3,0	1,0	1,0	3,0	1,0	1,0	2,0	1,0
Luftmengde i driftstiden [m³/hm²]	7,0	7,0	7,0	12,0	7,0	7,0	12,0	7,0
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]:	0,5-0,6	0,3	0,3	0,5-0,6	0,3	0,3	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m²]	8,0	5,0	5,0	8,0	5,0	5,0	8,0	3,5
Vannbåren varme	nej	ja	ja	ja/nej	ja	ja	ja	ja
Lokal kjøling	nej	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Kjøling grunnmodeller	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.	Fjernkjøl.

Tabell 4: Energekvalitet på tekniske anlegg i de ulike scenariene.



Figur 13: Illustrasjonen viser lavt og høyt bygg med tiltak på tekniske anlegg.

Alternativer til ny fasade kan være:

- mulighet for innvendig isolasjon av eksisterende fasade
- mulighet for å forbedre lekkasjetall gjennom tetttiltak på eksisterende fasade

6.6.3 Effektivisering av tekniske anlegg

Tabell 4 viser forutsetninger for tekniske anlegg for de ulike scenariene. For alle scenarier er det forutsatt vannbåren varme.

Ventilasjonsanlegg

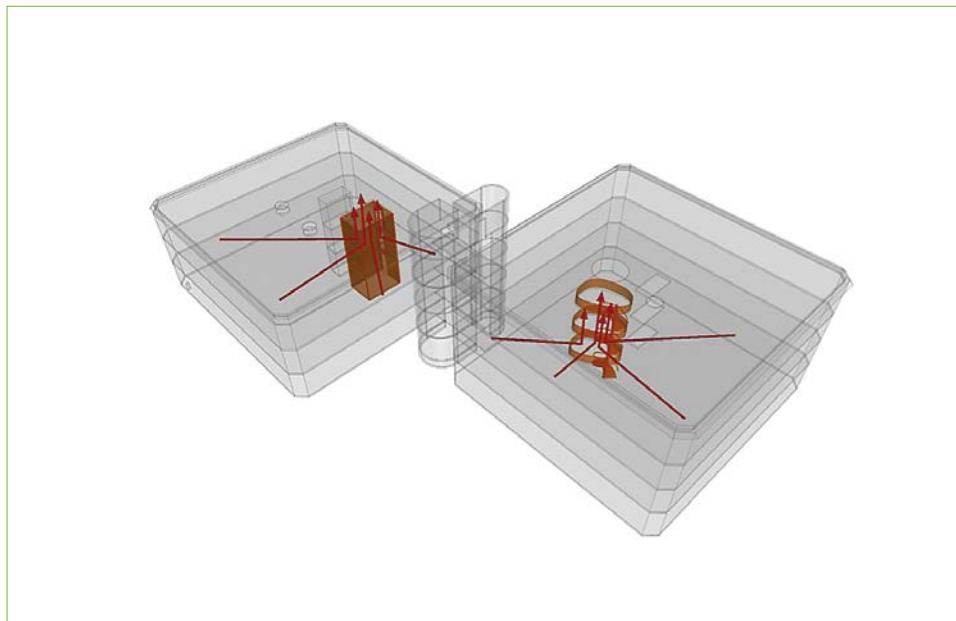
For alle scenarier er det forutsatt at ventilasjonssystemet rehabiliteres til effektiv energistandard. Ved gjennomgang av et ventilasjonssystem bør man vurdere effektivitet på varmegjenvinning og vifter, behov for luftmengder, muligheter for kapasitetsstyring av samlet system, energiforsyning, materialvalg mm. Optimal løsning for ventilasjonsanlegget gir tilfredsstillende inneklima og komfort, minst mulig bruk av ikke fornybar energi og lavest mulig klimagassutslipp. Følgende tiltak bør vurderes for å oppnå lavt elbruk til ventilasjon:

- velge romslige aggregater, lave lufthastigheter og effektive vifter
- redusere trykktapet i kanaler. Det kan gjøres ved å velge større kanaldimensjoner eller ved å benytte bygningsmessige kanaler som avtrekkskanaler. Power House Kjørbo er et eksempel på dette, se figur 14
- tilrettelegge for og bruke naturlige drivkrefter og hybrid ventilasjon

Mange bygg har ventilasjonsanlegg som kjører med unødig store luftmengder. Luftmengdene kan reduseres ved behovsstyring. Det vil redusere elbruken vesentlig.

Ventilasjonsbehovet skal tilpasses bruk av lavemitterende materialer (krav i TEK10) og redusert kjølebehov fra internlast (teknisk utstyr) og soloppvarming. Hvis mulig bør vann brukes som energibærer for kjøling, spesielt dersom byggets energiforsyning

Figur 14: Power House Kjørbo har sentralt avtrekk for 3 etasjer gjennom trapperom. Man oppnår lav luftfuktighet gjennom stor sjakt- og kanal-dimensjon, noe som her oppnås ved å nytte trapperommet. Illustrasjon Snøhetta (Powerhouse-Alliansen, Power House Kjørbo, Sluttrapport, 2012).



kommer fra energibrønner. Vannbåren kjøling i kombinasjon med energibrønner gir høy systemvirkningsgrad for det samlede systemet.

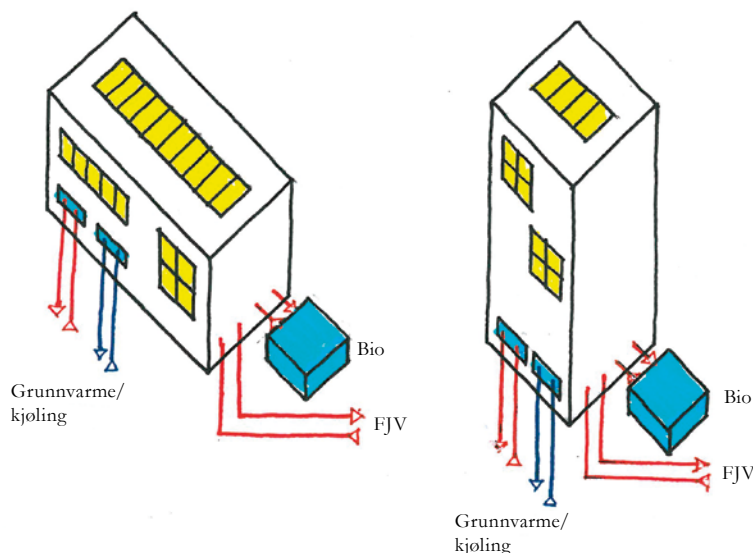
Belysning

Regulering av belysning er svært viktig. Effektiv belysning gir redusert elbruk og redusert kjølebehov. For rehabiliteringer hvor fasaden ikke kan eller skal endres, kan man sannsynligvis redusere effektbehov til belysning til ca 5 W/m². For nybygg der det er mulig å optimalisere bygningskropp, fasade og innredning med hensyn på dagslysforhold, er det mulig å redusere effektbehov til ca 3,5 W/m² (Morten Olav Berg, 2011).

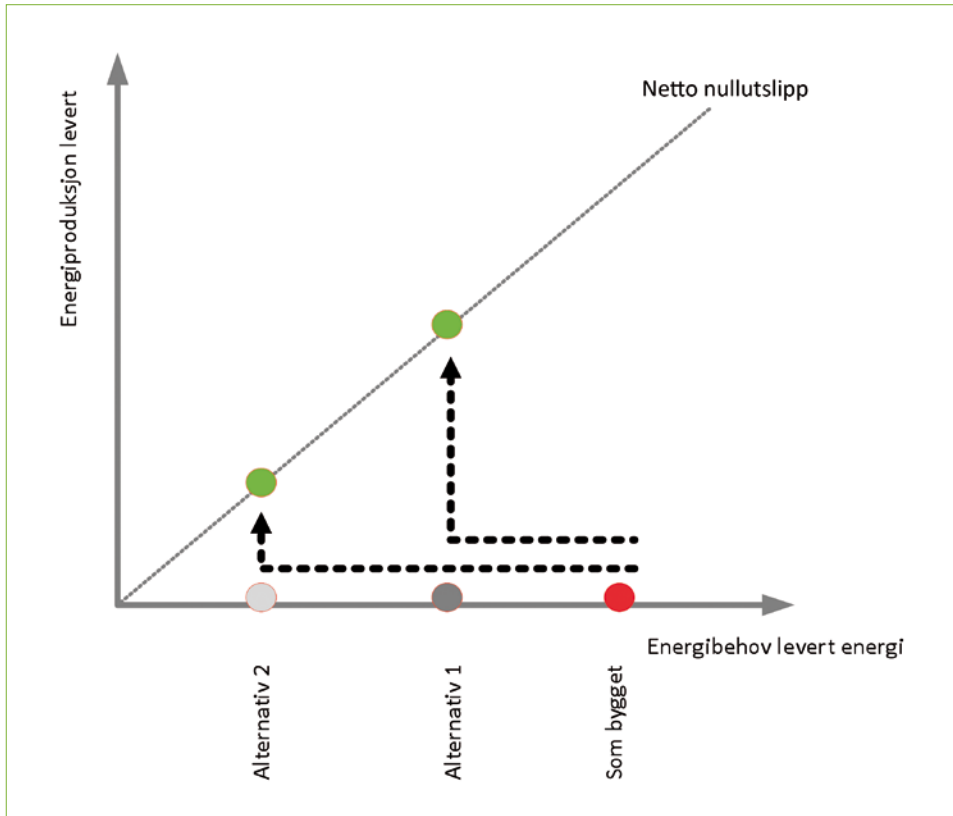
6.7 Energiforsyning og samlet teknisk vurdering

Valg av energiforsyning har stor påvirkning på behov for levert energi og byggets klimagassutslipp. Energiforsyning må vurderes sammen med valg av tiltak på bygningskropp og tekniske anlegg. Den mest optimale og kostnadseffektive løsningen vil være en kombinasjon av tiltak på bygningskroppen, effektive tekniske anlegg og valg av energiforsyning.

Figur 16 illustrerer prinsipp for balansering av klimagassutslipp og energibruk, ulike scenarier for energibehov og levert energi.



Figur 15: Illustrasjonen viser alternative energiforsyninger.

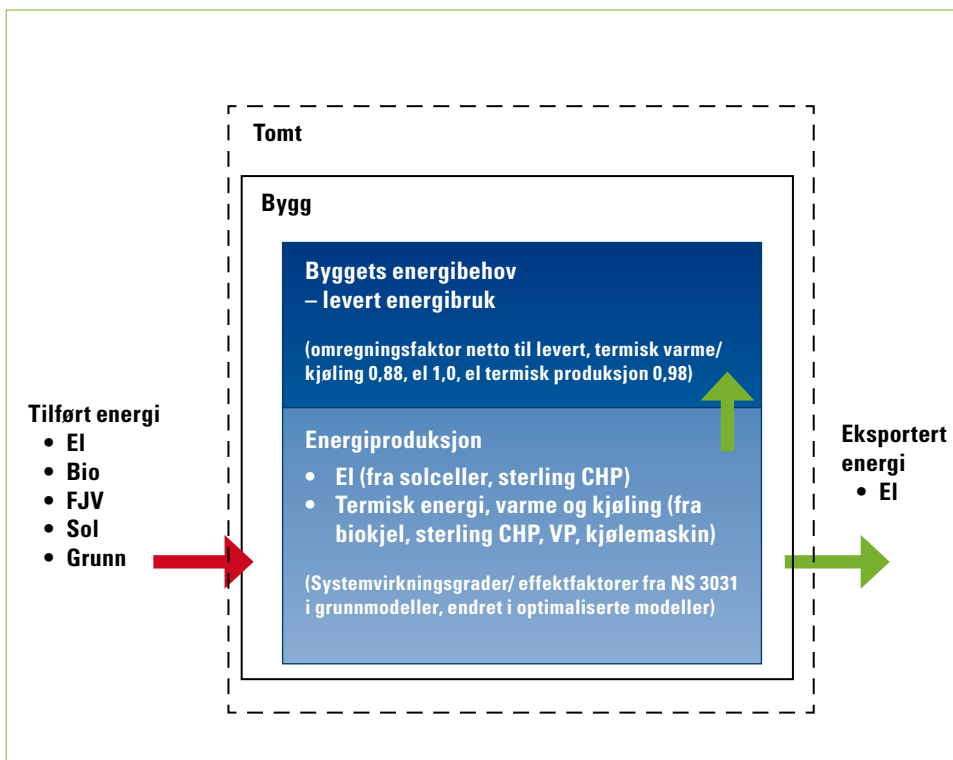


Figur 16: Prinsipp for balansering av energibruk/klimagassutslipp. Rød prikk viser byggets energibruk for energieffektiviseringstiltak.

For alternativ 1 er det gjort få energieffektiviseringstiltak på bygget, og da kreves stor energiproduksjon på bygget og kompensering av klimagassutslipp for å oppnå nullutslippbygg.

For alternativ 2 er det gjennomført en del energieffektiviseringstiltak på bygget og da kreves mindre energiproduksjon og kompensering av klimagassutslipp for å oppnå nullutslippbygg.

Figur 17 illustrerer prinsipp for beregning og balansering av energibruk med anvendte systemgrenser.



Figur 17: Prinsipp for beregning og balansering av energibruk med anvendte systemgrenser.

I våre scenarier er det gjort beregninger for følgende syv alternative energiforsyninger:

1. Fjernvarme (Hafslund, 2011)
2. Bioenergi
3. Stirling - micro CHP (basert på bioenergi)
4. Varmepumpe
5. Bioenergi + solceller
6. Varmepumpe + solceller
7. Fjernvarme + solceller

I beregningene er det forutsatt systemvirkningsgrader og utslippsfaktorer som vist i tabell 5 og 7.

Tabell 5: Forutsatte systemvirkningsgrader i rapportens scenarier.

Systemvirkningsgrader		
Biokjel	0,77	NS3031
Systemvirkningsgrad el	1	NS3031
Systemvirkningsgrad varme	0,88	NS3031
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88	NS3031
El-oppvarming	0,98	NS3031
Stirling varme	0,6	www.stirling.dk
Stirling el	0,15	www.stirling.dk

6.7.1 Bioenergi

Bioenergi er et samlebegrep for energiproduksjon fra biomasse. Råvarekilden er restprodukter fra bearbeiding av trevirke, trevirke som ikke kan brukes til andre produkter, samt flis fra returtrevirke. Eksempler er:

- ved
- bark
- skogsflis (stammeflis, grønnflis)
- flis fra returtrevirke
- briketter
- pellets
- avfall

Trepellets.



I energiforsynings-scenariene er det vurdert to alternative bioenergiløsninger, vanlig biopellets-kjel og biopellets-kjel som både produserer varme og el (Stirling-prinsippet). Bioenergi ansees som mindre relevant i bysentra, da det har lokalt utslipp av partikler og NO_x, samt at løsningen innebærer stort behov for transport av brensel.

Biopellets-kjel

Biopellets-kjel produserer kun varme. Det er forutsatt at biopellets-kjelen har en samlet systemvirkningsgrad på 0,77.

Bioenergi til varme og el – Stirlingprinsippet

CHP-anlegg (CHP – Combined Heat and Power) produserer både elektrisitet og varme ved hjelp av en Stirlingmotor. Stirlingmotoren omdanner varme til elektrisitet. Den kan bruke ulike typer brensel, samt solvarme eller spillvarme som energikilde. En Stirlingmotor kan også benyttes som kjølemaskin eller varmpumpe. Mikro-CHP kan produsere opp til 5 kW el, men de fleste anleggene har en el-effekt på opp til 1 kW og en varmeeffekt på rundt 6 kW. Dersom varmebehovet blir høyere, startes en spisslast-kjel. El-virkningsgraden i disse installasjonene ligger på mellom 13 og 15 prosent og totalvirkningsgraden fra 80 prosent opp mot 95 prosent. Det finnes prototyper hvor el-virkningsgraden kommer opp i 28 prosent (Enrico Saverio Barbieri, 2011). På kontinentet, i Storbritannia og i Japan finnes det flere kommersielle leverandører av mikro-CHP-anlegg til bruk i eneboliger og mindre bygg.

Den vanligste energikilden i CHP-anlegg er naturgass. I Norge vil bruk av naturgass til å drive CHP-anlegget ikke være like aktuelt. Det pågår et EU-prosjekt som utvikler mikro-CHP anlegg med pellets som varmekilde (<http://www.okofen-e.com/en/okofen-e.html>), men denne løsningen er ikke kommersielt tilgjengelig ennå.

Stirlingmotorer kan også utnyttes i større anlegg. Et eksempel på dette er en flisfyrt Stirlingenhet ved Technical University of Denmark, som produserer 35 kW el og 140 kW varme. El-virkningsgraden i dette anlegget er på 17,5 prosent.

Det er en slik Stirlingmotor som er regnet på i våre scenarier. Det er her forutsatt at et CHP-anlegg med Stirlingmotor kan oppnå en samlet systemvirkningsgrad på 0,75, hvorav 0,15 på elproduksjon og 0,6 på varmeproduksjon.

6.7.2 Varmepumpe

En varmpumpe utnytter varmen fra omgivelsene eller et reservoar til å varme opp vann eller luft. For å drive varmpumpen kreves vanligvis elektrisitet. Hvor mye elektrisitet som må tilføres, avhenger av COP-faktoren (Coefficient of Performance) og varmpumpens SPF (Seasonal Performance Factor).

Effekt faktoren (COP) sier noe om hvor mye varme som produseres i forhold til elektrisiteten som kompressoren bruker. Effekt faktoren varierer avhengig av hvor stort sprang det er mellom varme fra omgivelsene og nyttig varme, desto større temperaturforskjell, jo dårligere effekt faktor.

I mange tilfeller henter varmpumpen varme fra en varmekilde som varierer med årstiden. For å ta høyde for dette, brukes årsvarmefaktoren, SPF.

Varmepumpens teoretiske COP kan beregnes av:

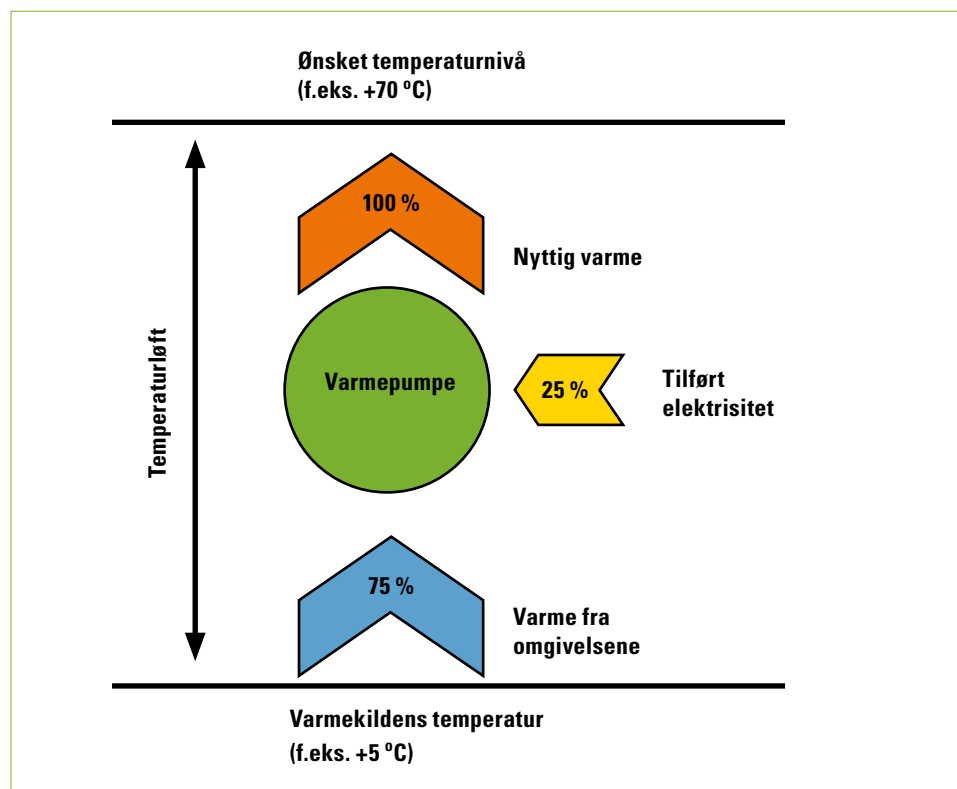
$$COP = \frac{T_{\text{varm}}}{(T_{\text{varm}} - T_{\text{kald}})}$$

der T_{varm} er kondenseringstemperaturen (krav til turtemperatur i varmeanlegget) i Kelvin grader ($273 + ^\circ\text{C}$) og T_{kald} er temperaturen i reservoaret der den termiske energi hentes.

Den praktiske COP er vanligvis mellom 0,5 – 0,6 (kvalitetsfaktor) av teoretisk COP. I beregningene i rapportens scenarier er det benyttet 0,6.

Tabell 6 viser COP-faktor beregnet for ulike turtemperaturer, der varmen er hentet

Figur 18: Prinsipp varmepumpe. Varmepumpen utnytter varme fra omgivelsene til å varme opp vann eller luft som kan brukes til oppvarming. Varmepumpen bruker elektrisitet for å heve temperaturen på varme fra omgivelsene/reservoaret til nyttig varme.



fra et reservoar på 5 °C. Ut fra tabellen kan man se at COP-faktoren øker dersom det er mulig å redusere turtemperaturen på varmeanlegget. Følgende tiltak vil heve COP-faktoren:

- velge varmepumpe med god SPF
- dekke spisslasteffekt med alternativ energibærer, eks. el eller biokjel
- energieffektivisere bygningskroppen og tekniske anlegg, da det vil redusere krav til effekt på oppvarmingssystemet
- øke varmekildens temperatur

Tabell 6: Praktisk COP-faktor for ulike krav til turtemperaturer i varmeanlegget. Det er forutsatt at kaldt reservoar har temperatur på 5°C. Samlet systemeffektfaktor er beregnet som COP x 0,88 for vannbårne systemer. Varmepumpen har energiforsyning fra el, der vi har valgt utslipp for el på 132 g CO₂/kWh.

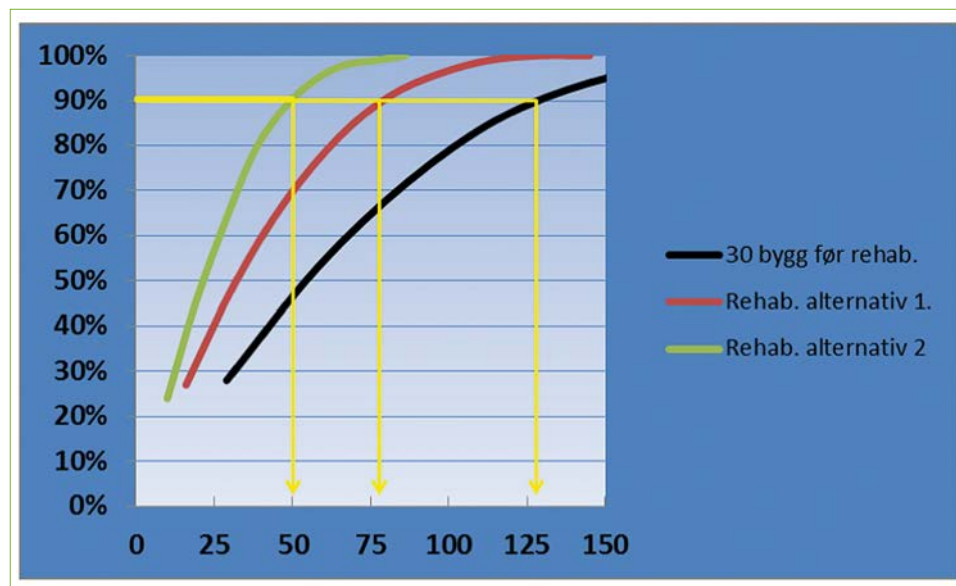
Varmepumpe COP med dekningsgrad på 90 prosent				
Tur temp (maksimal) °C	Grunn °C	"Kvalitetsfaktor"	COP	
70	5	0,6	3,2	
60	5	0,6	3,6	
50	5	0,6	4,3	
40	5	0,6	5,4	
35	5	0,6	6,2	

Tradisjonell varmepumpedimensjonering innebærer relativt lang brukstid (2500-4000 timer/år) der varmepumpen leverer 40-60 prosent av anleggets dimensjonerende effekt. På denne måten er varmepumpens energidekningsgrad mellom 85-95 prosent.

I beregnings-scenariene med varmepumpe er det forutsatt en samlet dekningsgrad på 90 prosent for varmepumpeløsningene. Det er svært vanskelig å oppnå høy COP på varmepumpen dersom effektbehovet skal dekkes 100 prosent. 90 prosent dekning av energibruk til oppvarming, ventilasjonsvarme og tappevann kan nås med ca 50- 60 prosent av dimensjonerende effekt, se figur 19.

Samlet teknisk vurdering

Det bør gjennomføres individuelle vurderinger av effektbehov og energiforsyning for hvert prosjekt. I denne rapporten beskrives mer generelle betraktninger og konsekvenser av ulike valg.



Figur 19 : Sammenheng mellom dekningsgrad av energibruk til oppvarming og nødvendig effekt på varmesystemet (radiatorer). Antar vi at energiforsyning dekkes med varmepumpe, og at varmepumpe skal dekke 90 % av årlig varmebehov, krever det samlet effekt på:

- 30 bygg før rehab: 130 kW
- Rehab med noe isolasjon: 75 kW
- Rehab med ny fasade: 50 kW

Samspill mellom bygningskropp og varmepumpe

Scenariene som er beregnet for bygg med 10 etasjer fra 1930, har to alternativer for rehabilitering av bygningskroppen. Følgende antagelser gjelder:

- bygget har et eksisterende varmesystem, med tur/returtemperatur 80/60 °C.
- byggets transmisjonstap er ca. 260 kW.

Figur 20 viser sammenheng mellom dekningsgrad av energieffekt til oppvarming og nødvendig effekt på varmesystemet (radiatorer).

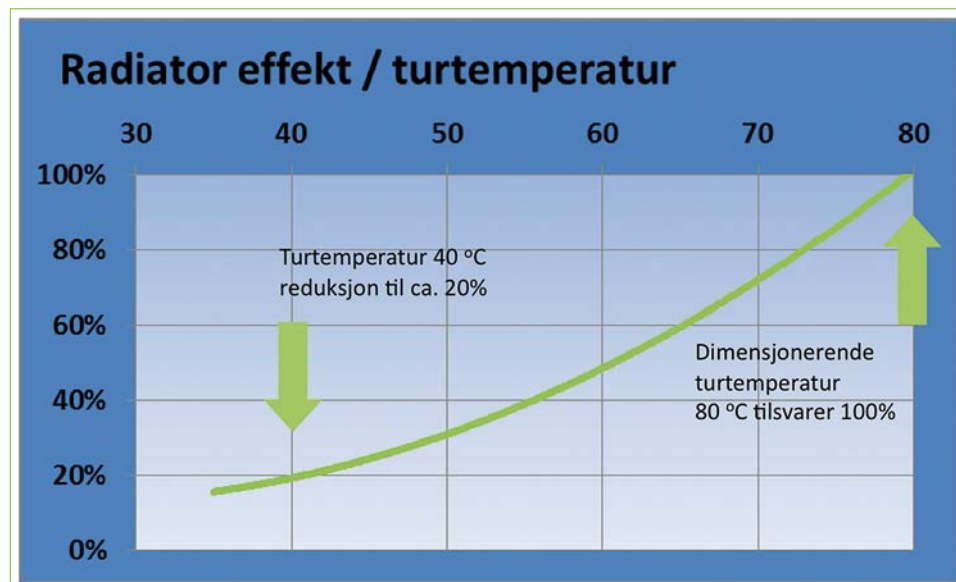
Antar vi at energiforsyningen dekkes med varmepumpe og at varmepumpen skal dekke 90 prosent av årlig varmebehov*, krever det en samlet effekt for varmesystemet på:

- ca. 130 kW for eksisterende bygg
- ca. 75 kW for rehabilitert bygg med noe bedring av bygningskropp (fig. 19)
- ca. 50 kW for rehabilitert bygg med stor bedring av bygningskropp (fig. 20)

* Dvs. ca 50 prosent av byggets dimensjonerende effekt til oppvarming.

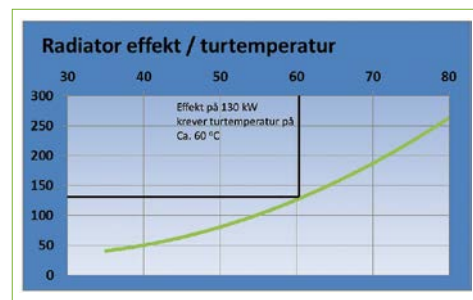
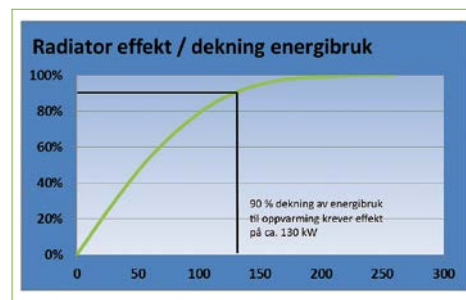
Dersom bygget har et eksisterende vannbårent oppvarmingssystem, er det ofte dimensjonert for tur/returtemperatur på 80/60 °C. For å oppnå høy COP på varmepumpen (lite elbruk til varmepumpen) ønskes lavest mulig turtemperatur på varmesystemet. Kurven i figur 20 viser sammenhengen mellom turtemperatur og mulig effekt fra varmesystemet (radiatoreffekt). Effekten reduseres betydelig, til 20 prosent, dersom turtemperaturen senkes til ca. 40 °C.

Det vil si at dersom man kan varme opp bygget tilstrekkelig med en lavere tempe-

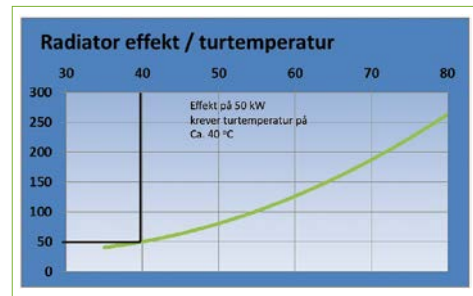
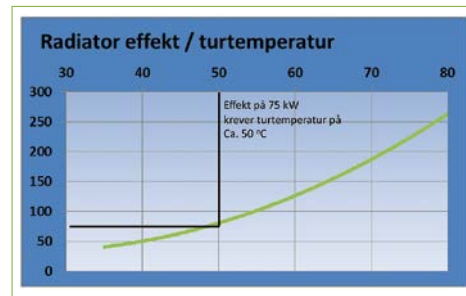


Figur 20: Radiatoreffekt som funksjon av turtemperaturen. Utgangspunkt er tur/retur temperatur på 80/60 °C.

Figur 21: Eksisterende bygning uten tiltak, 90 prosent dekning av oppvarmingsbehov krever turtemperatur på ca. 60 °C. Dette gir en teoretisk COP på ca. 3,6.



Figur 22: Rehabiliteret bygg med noe bedring av bygningskroppen (alt 1) med 90 prosent dekning av oppvarmingsbehov, krever turtemperatur på ca. 50 °C. Dette vil gi en praktisk mulig COP på ca. 4,3.



Rehabiliteret bygg med stor bedring av bygningskroppen (alt 2) med 90 prosent dekning av oppvarmingsbehov, krever turtemperatur på ca. 40 °C. Dette vil gi en praktisk mulig COP på ca. 5,4.

atur, så vil COP-faktoren til varmepumpen bedres. Derfor bør man vurdere om man skal etterisolere bygget når man vurderer effektbehov for varmesystemet. Om og hvor mye som bør etterisoleres, vil variere fra prosjekt til prosjekt og må beregnes, og det vil påvirke det totale energisystemet, se figur 21-22.

Sannsynligvis vil en løsning med noe etterisolering av fasade, tilsvarende scenario B1, være realistisk, da dette alternativet kan oppnå nullutslippsnivå, se tidligere tabell 1 og 2 og vedlegg.

Varmepumpens energikilde

Som energikilde for varmepumpe finnes det flere muligheter:

1. overskuddsvarme fra prosesser
2. grunnvarme
3. luftvarme
4. sjøvarme

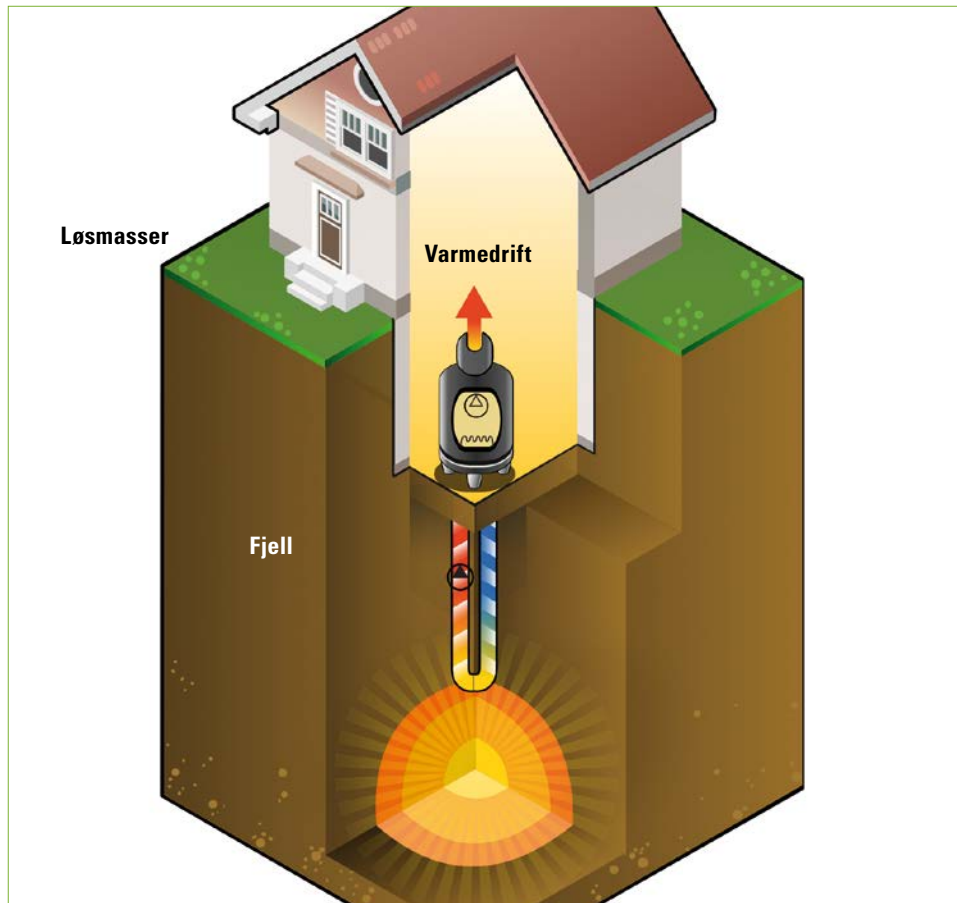
Som tidligere nevnt, får man størst COP og dermed minst energibruk dersom energikilden har høyest mulig temperatur. Det betyr at systemer basert på varmeopptak fra grunnen eller overskuddsvarme vanligvis vil ha størst energieffektivitet.

I våre scenarier er det antatt at varmepumpeløsningene henter energi fra grunnen og at temperatur er konstant på 5 °C.

Figur 23 viser en prinsippskisse av grunnvarmeløsning med borehull i fjell med lukket U-rørs kollektor som er tilknyttet en væske-vann varmepumpe. En frostsikker væske sirkulerer i borehullets kollektor og henter opp energi som heves til ønsket temperatur i varmepumpen. Boreddybde for en slik energibrønn av denne typen varierer typisk fra 100-300 meter, og kostnader er i hovedsak knyttet til boring, grøfter, varmepumpe og montering. Boring i fast fjell koster ca. 150-250 kr/m eks. mva. Nye testanlegg går ned til dybder på 500-1000 m. Energibrønner gir en forholdsvis stabil temperatur gjennom året.

Vanlige forutsetninger for energibrønner:

- borehull med diameter 11,5 eller 13,9 cm
- borehullslengde 100-300 m
- enkel kollektor fylt med vann og frostsikker væske
- magasinert solvarme
- effekt- og energiuttak skjer i den vannfylte delen av borehullet (vist som lyseblått i figur 21).
- spesifikt effektuttak i vannfylt del av borehull, ca. 30 ±10 W/m ved bruk til oppvarming (avhenger av driftstid).



Figur 23: Prinsipp for energibrønner.

- komplett utendørsdel (200 m dypt borehull uten løsmasser, fylt kollektor, grøft mm) koster ca. 65-70 000 kr. Eventuelt 50 m³ løsmasser i grunnen koster ca. 25-35 000 kr i tillegg.

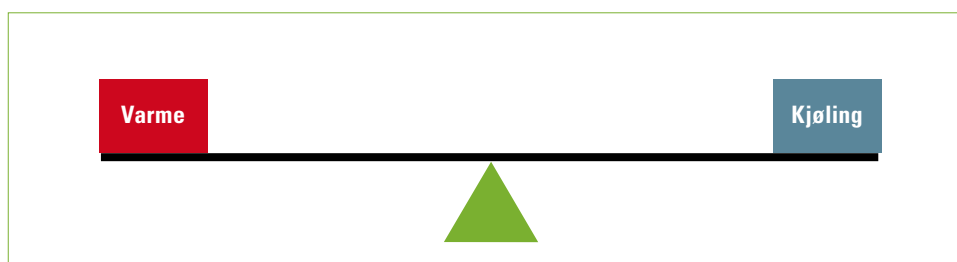
Fordeler ved energibrønner:

- kan etableres i hele Norge
- driftssikker
- lang levetid (kollektor minst 40 år og borehull tilnærmet evig)
- nærhet til bruker (4 m til vegg til teknisk rom)
- stabil temperatur over året.
- passer for alle anleggsstørrelser (6 kW – flere MW)

Ulemper ved energibrønner:

- stor investering

Grunnvarmeanlegg kan utformes for kun uttak av varme eller som et energilager med balansert uttak og tilbakeføring av varme. På denne måten kan grunnen betraktes som et batteri eller en stor lagertank der sommerens overskuddsvarme lagres til bruk på kalde vinterdager. Tilgang til batteriet/lagertanken skjer via borehull. Forutsatt balanse vil et energilager dekke samme energibehov med færre borehull, lavere investeringskostnader, kortere inntjeningstid og deretter store besparelser hvert år.

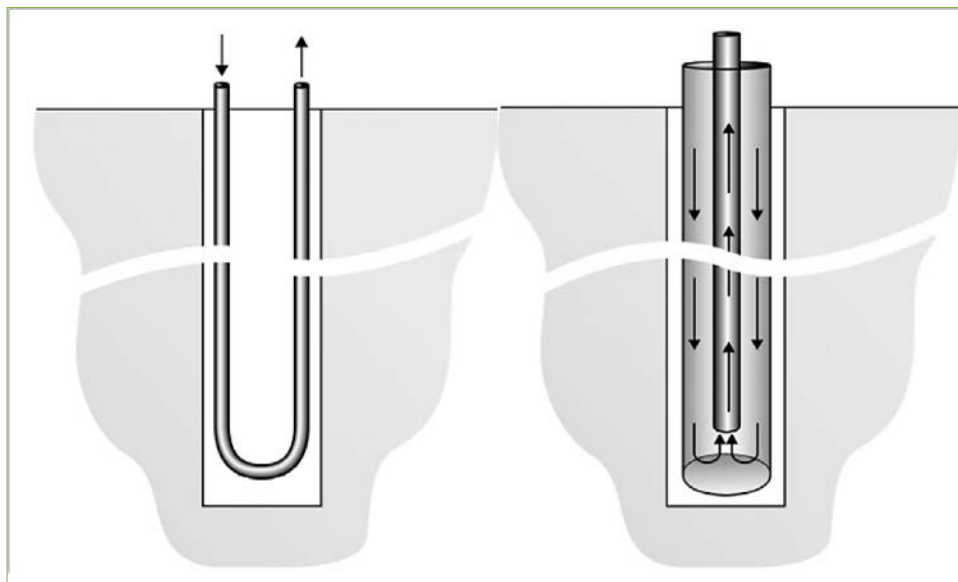


Figur 24: Prinsipp for balansering av energi ut og inn i energibrønner. Det bør generelt være balanse mellom energiuttak og tilført energi.

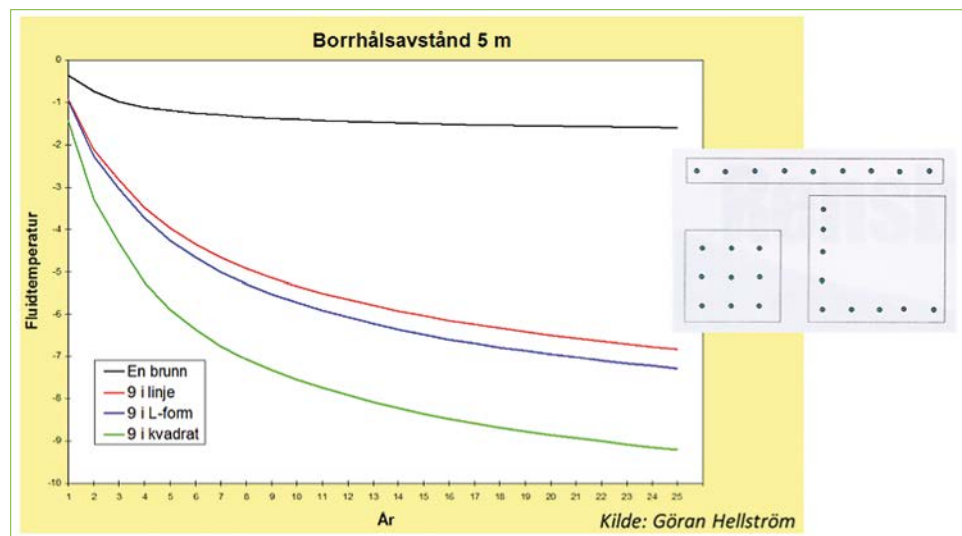
Sesonglagring av energi i borehull i fjell har etter hvert blitt en utprøvd teknologi for energilagring.

Enkel U-kollektor er den vanligste kollektortypen. Av andre kollektortyper finnes både dobbel- og trippel U- kollektor, samt koaksialkollektor (figur 25). Sammenlignet med enkel U-kollektor har disse kollektortypene lavere termisk borehullstmotstand. Enkel-U kollektor er til gjengjeld mye rimeligere.

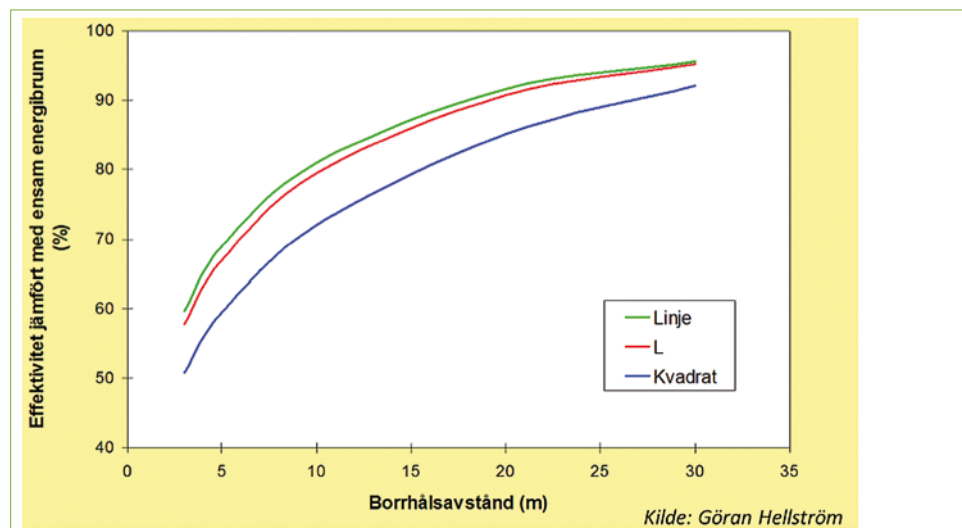
Figur 25: Prinsipp for U-rørs kollektorer og koaksial kollektorer.



Figur 26: Utviklingen av kollektorvæske-temperaturen for driftsår 1-25 for tre forskjellige anleggstyper (linje, L-formet og kvadratisk) sammenlignet med tilsvarende temperaturutvikling for én enkeltstående energibrønn (kilde: Hellström). I dette eksemplet er avstanden mellom borehullene 5 meter.



Figur 27: Energibrønnenes effektivitet for de tre samme anleggskonfigurasjonene sammenlignet med én enkeltstående energibrønn plottet mot avstanden mellom energibrønnene. Selv med 15 m avstand mellom borehullene er energibrønnenes effektivitet redusert til ca. 85 prosent for brønnene på linje og L-form. For energibrønnene plassert i kvadratform er effektiviteten redusert til under 80 prosent.



Figur 26 tar utgangspunkt i tre anleggskonfigurasjoner (linje, L-formet og kvadratisk) og sammenligner energibrønnenes effektivitet med én enkeltstående energibrønn mot avstanden mellom energibrønnene. Selv med 15 m avstand mellom borehullene er energibrønnenes effektivitet redusert til ca. 85 prosent for brønnene på linje og L-form. For energibrønner plassert i kvadratform er effektiviteten redusert til under 80 prosent. Figur 26 viser hvor lang tid det tar å senke temperaturen radielt fra energibrønnen med 0,8 °C. I dette eksemplet er boredybden 110 meter og varmeuttaket er 155 kWh/m/år (kilde: Hellström).

6.7.3 Solenergi

Solceller

Solceller eller fotovoltaiske (PV) systemer produserer elektrisk energi fra sollyset. El-produksjon fra et solcelleanlegg avhenger av solinnstråling, virkningsgrad til solcellene, orientering og helningsvinkel av solcellene, systemtap, samt solcellearealet. Effektiviteten til kommersielt tilgjengelige solcellemoduler varierer pr. i dag fra 6-17 prosent. Den produserte elektriske energien kan omformes til vekselstrøm og benyttes direkte i bygget. Eventuelt overskudd kan leveres til det offentlige elektrisitetsnettet og benyttes av andre (ikke vanlig i Norge i dag, men i andre land). I beregningen er det forutsatt at elproduksjon utveksles med det offentlige elektrisitetsnettet.

Solceller kan i likhet med solfangere integreres i tak og fasader og gi spennende arkitektoniske løsninger. Eksempler på bruk av sol i fasade og bygningsutforming og mer inngående beskrivelse finnes bl.a. i (Kjellerup, 2011) og <http://www.fornybar.no/>.

Solceller er pr. i dag den mest vanlige elproduksjonsmetoden på bygget. Produksjonen vil avhenge av plassering og orientering av solcellene. I Sør-Norge er optimal plassering mot sør med en helning på 45°.

I beregningene i våre scenarier er forutsatt at bygget har solceller på fasader mot øst, sør og vest og på tak. Ytelse for ulike plasseringer er vist i tabell 7 og estimert ytelse for lav og høy bygning er vist i tabell 8 og 9. Ytelse forutsetter at det ikke er skygger på tak, og at 80 prosent av fasaden mot øst, syd og vest ikke ligger i skyggen. Dette er en optimal situasjon, og i tette bystrøk kan dette sannsynligvis ikke nås. Nullutslippsbygg innenfor tomtegrensen er da nær umulig å få til da kontorbygg har stort elbehov. Vi har i denne rapporten satt spørsmålsteget om elproduksjonens systemgrenser skal ligge innenfor eller utenfor tomten når vi definerer nullutslippsbygg (se kapittel 6.7).

Ytelse solceller			
Loddrett på fasader		Tak (optimal orientering)	
Øst	70 kWh/m ² år	Syd 20°	150 kWh/m ² år
Syd	100 kWh/m ² år		
Vest	70 kWh/m ² år		

Tabell 7: Antatt ytelse for solceller for ulike orientering og plassering.

Lav bygning 3600 m ² BRA	Lengde m	Høyde m	Areal m ²	Reduksjon	Vinduer m ²	Areal m ²	Ytelse kWh/m ² år
Fasader							
Øst	20	10,8	216	0,8	86	86	70
Syd	60	10,8	648	0,8	259	259	100
Vest	20	10,8	216	0,8	86	86	70
Tak							
Syd	60	1	1200	0,6	0	720	150
Samlet produksjon					40,3 kWh/m² BRA år		

Tabell 8: Estimert energiproduksjon på lav bygning hvor 80% av fasadens tette felt er kledd med solceller. Balanse oppnås med et samlet energibruk på bygget på 40,3 kWh/m² år.





Figur 29: Oseana Kunst- og kultursenter. Foto: Peter Bernhard.

Foto på side 40: Fasade med integrerte solcellepaneler. Bochum, Tyskland. Foto: iStockphoto.

Høy bygning 4000 m ² BRA	Lengde m	Høyde m	Areal m ²	Reduksjon	Vinduer m ²	Areal m ²	Ytelse kWh/m ² år
Fasader							
Øst	20	36	720	0,8	288	288	70
Syd	20	36	720	0,8	288	288	100
Vest	20	36	720	0,8	288	288	70
Tak							
Syd	20	1	400	0,6	0	240	150
Samlet produksjon					26,2 kWh/m² år		

Tabell 9: Estimert energiproduksjon på høy bygning hvor 80% av fasadens tette felt er kledd med solceller. Balanse oppnås med et samlet energibruk på bygget på 26,2 kWh/m² år.

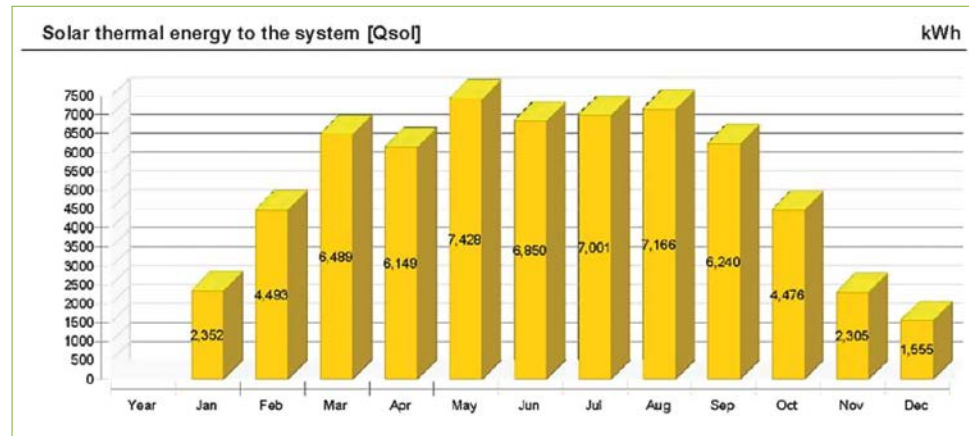
Solvarme

En termisk solfanger utnytter solinnstrålingen og konverterer energien til varme. Lyset som absorberes av solfangeren omdannes til varme i en sirkulerende væske eller luft som ledes dit man trenger varmen.

Termiske solvarmeanlegg produserer i norsk klima ca 350 – 450 kWh/m² solfanger pr. år, hvis de er optimalt plassert mot syd og med helning mellom 30-45°. Typisk fordeling av produksjonen over året er vist på figur 31 under.

For yrkesbygg er varmebehovet oftest skjevt fordelt over året, tappevannsforbruket er svært beskjedent, og det er derfor ofte dårlig samsvar mellom produksjon og forbruk. Utnyttelse av solvarme kan være kostnadseffektivt i bygg med relativt konstant behov for varme, for eksempel boliger med stort tappevannsforbruk. For yrkesbygg vil solvarme sjeldent kunne dekke mer enn mindre deler av det totale varmebehovet, men er gunstig hvis bygget kan utveksle varmtvann med et nabobygg, en lokal energisentral eller fjernvarmenett med lave temperaturer.

Figur 31: Årlig fordeling av energi-
produksjon fra solvarmeanlegg.



6.7.4 Andre energiproduserende teknologier

Denne rapporten gir ingen dekkende beskrivelse av alle mulige fornybare energiteknologier. Alternative lokale fornybare energiteknologier som ikke er behandlet her er:

Energiproduksjon

- husstandsvindmøller
- solvegger– til oppvarming og kjøling
- brenselceller

Energilagring

- hydrogen
- PCM – Phase Changing Materials, faseskiftende materialer
- batterier

FRAMTIDIGE RAMMEBETINGELSER

7.1 Fjernvarmens plass i et nullutslippssamfunn

Regjeringens politikk for energiomlegging bidrar til utbygging av fjernvarme. Begrunnelsen for energiomleggingspolitikken og Enovas virksomhet er økt forsyningssikkerhet innenfor rammene av miljø- og klimapolitiske mål. Enova gir investeringstilskudd til utbygging av infrastruktur og tilhørende fornybar energiproduksjon. Tilskuddsordningene skal bidra til både utbygging av fjernvarmenett og til etablering av ny produksjonskapasitet basert på fornybar energi og spillvarme. Enova har fram til og med 2011 støttet fjernvarmeprosjekter som til sammen vil gi 4 TWh fjernvarmeleveranser basert på fornybar energi, spillvarme og varmepumper.

Etter plan- og bygningsloven kan kommunen bestemme at ny bebyggelse innenfor et konsesjonsområde for fjernvarme skal tilknyttes fjernvarmeanlegget. Formålet med dette er å sikre et kunde grunnlag for anlegget. Der hvor det i plan er fastsatt tilknytningsplikt til fjernvarmeanlegg etter plan- og bygningsloven, skal nye bygninger utstyres med varmeanlegg slik at fjernvarme kan nyttes for romoppvarming, ventilasjonsvarme og varmtvann (Miljøverndepartementet).

Dagens energimiks i fjernvarmeanleggene gir forholdsvis høye klimagassutslipp (landsgjennomsnitt er 231 g CO₂/kWh år). Omtrent en tredel av varmen ble i 2010 produsert fra avfallsforbrenning, ca. 19 prosent fra bioenergi, 14 prosent fra oljekjeler, 14 prosent fra elektrokjeler og det øvrige fra varmepumper, gass og spillvarme. (Miljøverndepartementet). I henhold til nasjonale mål og forventninger vil fornybarandelen øke og utslippene gå ned. I scenariene i denne rapporten er det valgt å benytte en høyere fornybarandel enn landsgjennomsnittet (111 g CO₂/kWh år = Hafslunds miks). Likevel kommer bruk av fjernvarmen dårligere ut i et klimagassregnskap for et bygg enn bruk av f.eks. biobrensel eller lokal varmepumpe til oppvarming. Fjernvarmen må ha mye lavere utslipp for å kunne gi like lave klimagassutslipp som disse i byggets klimagassregnskap.

Ca. halvparten av energimengden fra avfall har fossil opprinnelse. Deponering av avfall forårsaker metanutslipp fra den biologiske komponenten i restavfallet. Denne metangassen er en klimagass som har langt sterkere klimaeffekt enn karbondioksid. Derfor er deponering av nedbrytbart avfall nå forbudt i Norge, og insentiver skal sørge for at mest mulig avfall sorteres ut for gjenbruk, resirkulering, biogassproduksjon og dernest energigjenvinning gjennom forbrenning. Energiutnyttning av restavfall har dermed en klimaeffekt i form av reduserte utslipp for avfall som ikke har annen anvendelse utnyttet (Grønn Byggallianse & et.al., 2012).

Det vil ofte være suboptimalt å ha som mål at hvert bygg skal være et nullutslippsbygg innenfor egen tomtegrense. Hvert bygg har variabelt energibehov, og mange lokale energikilder (f.eks. solvarme, solceller og vindturbiner) har variabel produksjonskapasitet. Utveksling av energi med andre bygg vil jevne ut disse variasjonene og øke energieffektiviteten. Det krever at et bygg kan levere egenprodusert el til elnettet og overskuddsvarme og kaldt vann til et større vannbasert nett. Utnyttelse av spillvarme fra industri eller overskuddsvarme uten alternative anvendelsesområder er også et viktig tiltak for å redusere klimagassutslipp. Fjernvarmens rolle som distributør av varmt/kaldt vann mellom bygg, lokale forsyningsenheter og industri bør bli vel så viktig framover som fjernvarmens rolle som energiprodusent.

Fjernvarme leveres normalt med høye temperaturer (80-120 °C). Det gjør at flere fjernvarmeselskaper i dag er uinteressert i å få overskuddsvarme med lave temperaturer inn på nettet. Hvis utbygger har installert et høytemperatur vannbærent system tilpasset fjernvarmeforsyning, vil dette også i stor grad utelukke senere bruk av overskuddsvar-



Biobasert fjernvarmeanlegg på
Hjellholmen i Harstad.
Foto: Inge Trondsen.

me eller lokale energikilder basert på lave temperaturer. Dersom fjernvarmeselskapet kan levere og ta i mot varme med lave temperaturer, kan denne tekniske utfordringen løses. Dette gjøres i dag enkelte steder i Danmark. (Grønn Byggallianse & et.al., 2012) Det finnes få tekniske barrierer som gjør at energieffektive bygg ikke kan tilknytte seg fjernvarme. Men ut fra et kost-/nytteperspektiv er energieffektivitet en barriere for bruk av fjernvarme. For at tilknytning og bruk av fjernvarme skal være kostnadmessig forsvarlig, er man avhengig av et høyt varmebehov til romoppvarming, ventilasjonsvarme og/eller tappevann. Energieffektive bygg kjennetegnes av et særdeles lavt behov for tilført varme, og derfor vil også fjernvarmetilknytningen ikke lenger være kostnadmessig forsvarlig, hverken for byggeier eller for fjernvarmeselskapet.

7.2 Systemgrense for nullutslippsbygg

Scenariene viser at de største energipostene i et bygg må være basert på elektrisitet (belysning, drift av vifter og pumper og teknisk utstyr). Desto mer energieffektivt et bygg er, jo større andel utgjør disse energipostene. Dersom systemgrensen for nullutslippsbygget er bygget og egen tomt, kreves stor produksjon av el lokalt. I scenariene er det vist at det teknisk er mulig å kle byggene med solceller og dermed oppnå nullutslippsbygg. Beregningene er basert på utveksling av lokalt produsert el over elnettet og at man tillater å regne netto utslipp over året. Dette fordi solcellene har meget ujevn elproduksjon over året mens elforbruket er mer konstant.

Selv om Norge har like gode betingelser for elproduksjon fra solceller som Danmark og Tyskland, hvor dette er relativt utbredt, vil solceller plassert lenger syd i Europa gi mye bedre effektivitet. Ut fra klimaperspektiv vil høy energiproduksjon fra solcellene være viktig for å dekke opp klimagassutslipp knyttet til produksjonen av solcellene.

Andre fornybare elproduserende energikilder som vind og hydrogen er ikke brukt i scenariene. Erfaringsmessig så langt er dette ikke effektive energikilder lokalt på bygget/tomten. Vindmøllerparker i havet og på fjellet derimot har stor effektivitet.

Ut fra disse betraktningene er det verdt å diskutere hvorvidt lokal elproduksjon er det mest optimale i et klimaperspektiv. Ved å sette ulike systemgrenser for byggets varme-, kjøle- og elbehov når nullutslippsbygget skal defineres, kan man trolig få lavere utslipp på globalt nivå enn med en snever systemgrense for alt energibehov.

7.3 Bygningskroppens betydning

Norsk bygningspolitikk de siste årene har gått i retning av en godt isolert bygningskropp. Dette har ligget til grunn for innskjerping av TEK10, for myndighetens satsning på passivhus (bl.a. gjennom Enova og Lavenergiprogrammet). IEA rapporten Nordic Energy Technology Perspectives (IEA, 2013) poengterer at et av de viktigste tiltakene for å nå EUs klimamål er å bedre bygningskroppen og at byggsektorens største utfordring for å nå klimamålene er liten nybyggrate. Våre scenarier viser imidlertid at isolasjon av yttervegger i kontorbygg har forholdsvis liten betydning for et byggs energibruk og klimagassutslipp. Scenariene viser også at når man tar hensyn til klimagassutslipp knyttet til produksjon og transport av materialer, er det lettere å oppnå klimanøytrale bygg ved rehabilitering av eksisterende bygningsmasse enn gjennom å bygge nytt.

Gode vinduer og god lufttetthet har imidlertid stor betydning. Det kan man få på så vel nye som rehabiliterte bygg, selv for verneverdige bygg der man kan sette inn et ekstra varevindu i stedet for å skifte vindu.

8 Referanser

- Andersen, I., & et.al. (2008). *Some Principle of Low Energy Building Design*. Green Building Alliance, Intelligent Energy Europe.
- Andresen, I., & et. al. (2008). *INTEND - A Guide to Integrated Energy Design*. Intelligent Energy Europe.
- Andresen, I., & et. al. (2009). *Integrert energidesign IED, En introduksjon for arkitekter, rådgivere og utbyggere som vil realisere gode, energieffektive bygg*. Intelligent Energy Europe.
- Arnstad, & et.al. (2010). *Energieffektivisering av bygg*. KR.D.
- Bjørn Thorud, e. a. (2012). *Solstrøm i Norge*. Enova SF.
- Commission, E. (2012). *Regulation no. 244/2012*. European Commission.
- Enrico Saverio Barbieri, P. S. (2011, December 28). *Analysis of innovative micro-CHP systems to meet household energy demands*. *Applied Energy* 97 (2012), ss. 723-733.
- Førland-Larsen, A. e. (2012). *Utredning av mulige komponentkrav ved rehabilitering av bygg*. Asplan Viak AS.
- Førland-Larsen, A., & al, e. (2011). *Fra C til A. En veileder for byggherrer med energiambisjoner*. Grønn Byggallianse.
- Grønn Byggallianse, & et.al. (2012). *Målkonflikter mellom energisparing og fjernvarme*.
- Hafslund. (2011). *Hafslund - Nøkkeltall miljø*. Hentet 02 2013 fra <http://2011.hafslund.no/miljo-og-samfunn/ytre-miljo/nokkeltall/>
- IEA. (2013). *Nordic Energy Technology Perspectives*. IEA.
- Johnsen, K. (2008). *Dagslys i rum og bygninger, SBI-anvisning 208*, Statens byggeforskningsinstitutt, Danmark.
- Killingland, M., & et.al. (2012). *Utredning, Nær Nullenergibygging for Norge*. DiBK.
- Kjellerup, U. F. (2011). *Solvarme og Arkitektur*. Bogværket, DK.
- Michel De Paepe, P. D. (2006, Februar 28). *Micro-CHP systems for residential applications*. *Energy conversion & management* 47 (2006), ss. 3435-3446.
- Miljøverndepartementet. (u.d.). *St.meld.21 (2011-2012) Norske Klimapolitikk*.
- Morten Olav Berg, e. a. (2011). *Oppdragsrapport Underlagsmaterialet for prNS 3701*. Standard Norge.
- Powerhouse-Alliansen. (2012). *Power House Kjørbo, Sluttrapport*. Power House Alliansen.
- Rob, M. (2011). *Arkitektur og energi: Mod 2020-lavenergi strategi*. Statens Byggeforskningsinstitutt, Aalborg Universitet.
- Simonsen, I. e. (2012). *Kostnadoptimalitet Energiregler i TEK*. Multiconsult/Sintef.
- The Reaserach Centre on Zero Emission Building . (u.d.). *Proposal for CO₂-factor for electricity and outline of a full ZEB-definition*.

Referanser Internett:

- <http://www.okofen-e.com/en/okofen-e.html> - EU forskningsprosjekt for å utvikle et pelletsbasert mikro CHP anlegg med Stirling-motor
- www.whispergen.com – Mikro CHP med Stirling motor
- www.microchp.be - Mikro CHP med Stirling motor
- www.vaillant.be – Mikro CHP med Stirling motor
- www.baxi.co.uk/ecogen - Ecogen mikro CHP med Stirling motor
- www.snertec.de – Dachs mikro CHP med Stirling motor
- <http://www.viessmann.com/com/en.html> - Mikro CHP med Stirling motor
- <http://www.fornybar.no/bioenergi>

9 Vedlegg

Vedlegg 1 – 1930 Bygg – 3 etasjer (fasaden beholdes uforandret)

Vedlegg 2 – 1930 Bygg – 10 etasjer (fasaden beholdes uforandret)

Vedlegg 3 – 1930 Bygg – 3 etasjer (fasaden etterisoleres på innsiden)

Vedlegg 4 – 1930 Bygg – 10 etasjer (fasaden etterisoleres på innsiden)

Vedlegg 5 – 1990 Bygg – 3 etasjer

Vedlegg 6 – 1990 Bygg – 10 etasjer

Vedlegg 7 – 1990 Bygg – 3 etasjer (fasaden beholdes uforandret)

Vedlegg 8 – 1990 Bygg – 10 etasjer (fasaden beholdes uforandret)

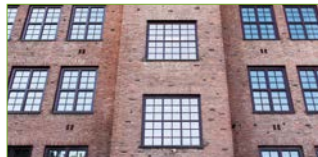
Vedlegg 9 – Nybygg TEK – 3 etasjer (Passivhusnivå)

Vedlegg 10 – Nybygg TEK – 10 etasjer (Passivhusnivå)

Vedlegg 1

1930-bygg – 3 etasjer – A1 (fasaden beholdes uforandret)

A1 – 1930-bygg – 3 etasjer



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	222,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	52,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	283,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	317,8 kWh/m²
Varmetapstall	86 W/m²
Klimagassutslipp	31,6 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	151,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatt.)	39,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	22,4 kWh/m ²
3b Pumper	4,6 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatt.)	7,4 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	290,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



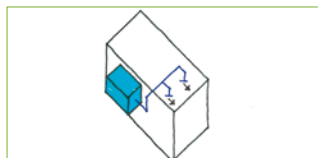
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	103,6 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	51,5 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	163,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	197,9 kWh/m²
Varmetapstall	52 W/m²
Klimagassutslipp	18,3 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	1	1
U-verdi tak [W/m ² K]	1	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,19	0,19
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,8	1
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,15	0,15
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	4	1

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 42 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 42 %

Forbedring av tekniske anlegg



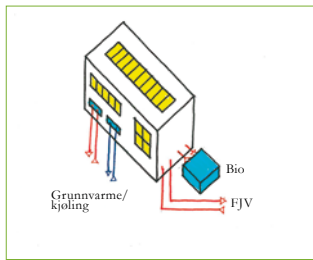
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	75,5 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	13,6 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,6 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	114,7 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	149,1 kWh/m²
Varmetapstall	39 W/m²
Klimagassutslipp	11,8 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,4	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 60 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 63 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	4,3
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	4,3	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	96,8	0,0	13,6	110,4	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,6	13,6	-96,8 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjev (Hafslund 2012)	Energibruk	29,0	75,5	13,6	118,1	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,6	13,6	-104,5 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	29,0	86,2	13,6	128,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,6	13,6	-115,2 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	29,0	88,5	13,6	131,2	kWh/m ² år
	Produksjon	13,3	0,0	13,6	26,9	-104,3 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	49,8	75,5	13,6	138,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	67,9	13,6	81,5	-57,4 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	29,0	86,2	13,6	128,9	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	13,6	53,9	-75,0 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	49,8	75,5	13,6	138,9	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	67,9	13,6	121,8	-17,1 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	29,0	75,5	13,6	118,1	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	13,6	53,9	-64,2 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
					0	0
1930 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	12,3	0,0	0,5	12,8	12,8 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjev (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	8,4	0,5	12,2	12,2 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	1,2	0,5	5,0	5,0 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	1,6	1,2	0,5	3,3	3,3 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	3,1	0,1	6,6	6,6 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-1,9	1,2	0,5	-0,3	-0,3 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-1,9	3,1	0,1	1,3	1,3 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-1,9	8,4	0,5	6,9	6,9 kg/m ² år

Vedlegg 2

1930-bygg – 10 etasjer – A2 (fasaden beholdes uforandret)

A2 - 1930 Bygg - 10 etasjer



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	221,6 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	52,2 kWh/m ²
Teknisk utstyr	25,1 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	282,2 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	307,3 kWh/m²
Varmetapstall	85 W/m²
Klimagassutslipp	31,5 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	150,1 kWh/m ²	151,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	39,9 kWh/m ²	39,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²	5 kWh/m ²
3a Vifter	22,4 kWh/m ²	22,4 kWh/m ²
3b Pumper	4,7 kWh/m ²	4,6 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh/m ²	0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	7,4 kWh/m ²	7,4 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	289 kWh/m²	290,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



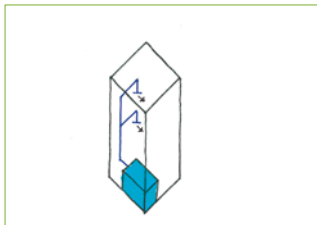
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	130,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	51,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	190,8 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	225,2 kWh/m²
Varmetapstall	59,2 W/m²
Klimagassutslipp	21,3 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	1	1
U-verdi tak [W/m ² K]	1	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,19	0,19
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,8	1
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,15	0,15
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	4	1

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 32 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 32 %

Forbedring av tekniske anlegg



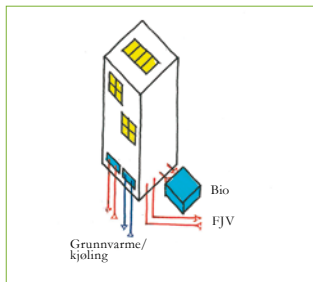
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	102,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	13,5 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	142,0 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	176,5 kWh/m²
Varmetapstall	46 W/m²
Klimagassutslipp	14,8 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ² /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,4	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 50 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 53 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	4,3
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	4,3	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	121,3	0,0	13,5	134,8	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,5	13,5	-121,3 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fju (Hafslund 2012)	Energibruk	29,1	102,7	13,5	145,3	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,5	13,5	-131,8 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	29,1	117,4	13,5	160,0	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	13,5	13,5	-146,5 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	29,1	120,5	13,5	163,1	kWh/m ² år
	Produksjon	18,1	0,0	13,5	31,6	-131,5 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	58,3	102,7	13,5	174,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	92,5	13,5	106,0	-68,6 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	29,1	117,4	13,5	160,0	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	13,5	39,7	-120,3 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	58,3	102,7	13,5	174,6	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	92,5	13,5	132,2	-42,4 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	29,1	102,7	13,5	145,3	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	13,5	39,7	-105,6 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	15,6	0,0	0,4	16,0	16,0 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fju (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	11,4	0,4	15,2	15,2 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	1,6	0,4	5,5	5,5 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	1,0	1,7	0,4	3,1	3,1 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	4,2	0,1	7,7	7,7 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-0,1	1,6	0,4	2,0	2,0 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-0,1	4,2	0,1	4,2	4,2 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-0,1	11,4	0,4	11,8	11,8 kg/m ² år

Vedlegg 3

1930-bygg – 3 etasjer B1 – (fasaden etterisoleres på innsiden)

B1 - 1930 Bygg - 3 etasjer (alt2)



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	222,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	52,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	283,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	317,8 kWh/m²
Varmetapstall	86 W/m²
Klimagassutslipp	31,6 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	151,2 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatt.)	39,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	22,4 kWh/m ²
3b Pumper	4,6 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatt.)	7,4 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	290,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



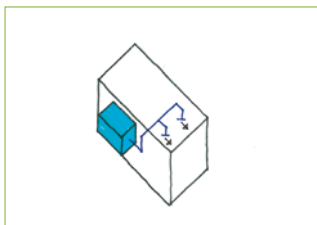
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	75,2 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	51,3 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	134,9 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	169,3 kWh/m²
Varmetapstall	44 W/m²
Klimagassutslipp	15,1 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	1	0,35
U-verdi tak [W/m ² K]	1	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,19	0,19
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,8	1
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,15	0,15
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	4	1

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 52 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 52 %

Forbedring av tekniske anlegg



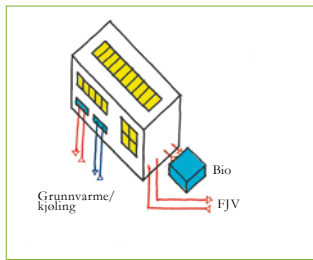
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	46,9 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	16,7 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,6 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	89,2 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	123,6 kWh/m²
Varmetapstall	31 W/m²
Klimagassutslipp	8,6 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,4	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 69 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 73 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	4,3
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4
Systemvirkningsgrader		
Biokjel		0,77
Systemvirkningsgrad el		1
Systemvirkningsgrad varme		0,88
Systemvirkningsgrad kjøling		0,88
Eloppvarming		0,98
Sterling varme		0,6
Sterling el		0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon		150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	4,3	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	71,9	0,0	16,7	88,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	16,7	16,7	-71,9 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	29,8	46,9	16,7	93,4	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	16,7	16,7	-76,7 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	29,8	53,6	16,7	100,1	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	16,7	16,7	-83,4 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	29,8	55,1	16,7	101,5	kWh/m ² år
	Produksjon	8,3	0,0	16,7	25,0	-76,6 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	39,3	46,9	16,7	102,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	42,2	16,7	58,9	-44,0 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	29,8	53,6	16,7	100,1	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	16,7	57,0	-43,2 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	39,3	46,9	16,7	102,9	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	42,2	16,7	99,2	-3,7 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	29,8	46,9	16,7	93,4	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	16,7	57,0	-36,4 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	8,9	0,0	0,6	9,5	9,5 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	5,2	0,6	9,1	9,1 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	0,8	0,6	4,7	4,7 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,3	0,8	0,6	3,6	3,6 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	1,7	0,1	5,2	5,2 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-1,9	0,8	0,6	-0,6	-0,6 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-1,9	1,7	0,1	-0,1	-0,1 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-1,9	5,2	0,6	3,8	3,8 kg/m ² år

Vedlegg 4

1930-bygg – 10 etasjer – B2 (fasaden etterisoleres på innsiden)

B2 - 1930 Bygg - 10 etasjer (alt 2)



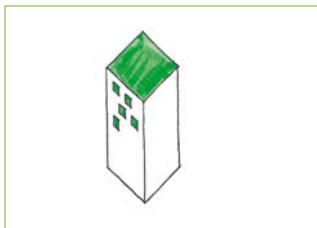
Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	221,6 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	52,2 kWh/m ²
Teknisk utstyr	25,1 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	282,2 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	307,3 kWh/m²
Varmetapstall	85 W/m²
Klimagassutslipp	31,5 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	150,1 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	39,9 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	22,4 kWh/m ²
3b Pumper	4,7 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	7,4 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	289 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



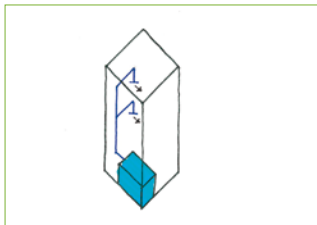
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	79,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	8,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	51,3 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	139,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	173,8 kWh/m²
Varmetapstall	45,6 W/m²
Klimagassutslipp	15,6 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	1	0,35
U-verdi tak [W/m ² K]	1	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,26	0,26
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	2,8	1
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,15	0,15
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	4	1

Energibruk:	
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp)	51 %

Klimagassutslipp:	
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp)	50 %

Forbedring av tekniske anlegg



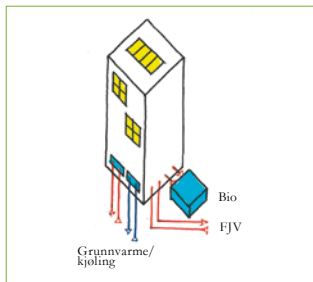
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	51,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	18,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,6 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	95,7 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	130,2 kWh/m²
Varmetapstall	32 W/m²
Klimagassutslipp	9,1 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	7	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,4	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:	
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg)	66 %

Klimagassutslipp:	
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg)	71 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	5,4
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	5,4	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

	El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk 76,6	0,0	18,4	95,0	kWh/m ² år
	Produksjon 0,0	0,0	18,4	18,4	-76,6 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk 30,2	51,7	18,4	100,3	kWh/m ² år
	Produksjon 0,0	0,0	18,4	18,4	-81,9 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk 30,2	59,1	18,4	107,7	kWh/m ² år
	Produksjon 0,0	0,0	18,4	18,4	-89,3 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk 30,2	60,7	18,4	109,3	kWh/m ² år
	Produksjon 9,1	0,0	18,4	27,5	-81,8 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk 40,7	51,7	18,4	110,8	kWh/m ² år
	Produksjon 0,0	46,5	18,4	64,9	-45,8 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk 30,2	59,1	18,4	107,7	kWh/m ² år
	Produksjon 26,2	0,0	18,4	44,6	-63,1 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk 40,7	51,7	18,4	110,8	kWh/m ² år
	Produksjon 26,2	46,5	18,4	91,1	-19,7 kWh/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk 30,2	51,7	18,4	100,3	kWh/m ² år
	Produksjon 26,2	0,0	18,4	44,6	-55,7 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

	El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1930 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto 9,5	0,0	0,6	10,1	10,1 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto 3,4	5,7	0,6	9,7	9,7 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto 3,4	0,8	0,6	4,8	4,8 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto 2,2	0,8	0,6	3,6	3,6 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto 3,4	1,8	0,2	5,4	5,4 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto -0,1	0,8	0,6	1,4	1,4 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto -0,1	1,8	0,2	1,9	1,9 kg/m ² år
1930 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto -0,1	5,7	0,6	6,3	6,3 kg/m ² år

Vedlegg 5

1990-bygg – 3 etasjer - C1

C 1 - 1990 Bygg - 3 etasjer (ny fasade)



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	135,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	18,2 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	222,1 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	256,5 kWh/m²
Varmetapstall	65 W/m²
Klimagassutslipp	24,1 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	59,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatt.)	54,7 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	35,8 kWh/m ²
3b Pumper	7,2 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	4,3 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatt.)	11,7 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	238,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



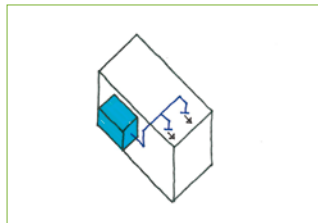
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	82,5 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	24,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,2 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	175,1 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	209,5 kWh/m²
Varmetapstall	46 W/m²
Klimagassutslipp	18,2 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,14
U-verdi tak [W/m ² K]	0,22	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,36	0,36
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,8	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,12	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2	0,6

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 21 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 25 %

Forbedring av tekniske anlegg



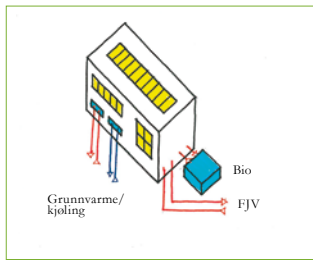
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	29,4 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	23,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	78,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	112,9 kWh/m²
Varmetapstall	24 W/m²
Klimagassutslipp	6,7 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,5	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	ja/nei	ja
Lokal kjøling	ja	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 65%

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 72 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	5,4
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	5,4	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	58,0	0,0	23,4	81,4	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	23,4	23,4	-58,0 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	31,6	29,4	23,4	84,4	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	23,4	23,4	-61,0 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	31,6	33,6	23,4	88,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	23,4	23,4	-65,2 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	31,6	34,5	23,4	89,5	kWh/m ² år
	Produksjon	5,2	0,0	23,4	28,6	-60,9 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	35,1	29,4	23,4	88,0	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	26,5	23,4	49,9	-38,1 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	31,6	33,6	23,4	88,6	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	23,4	63,7	-24,9 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	35,1	29,4	23,4	88,0	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	26,5	23,4	90,2	2,2 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	31,6	29,4	23,4	84,4	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	23,4	63,7	-20,7 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	6,9	0,0	0,8	7,7	7,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	3,3	0,8	7,4	7,4 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	0,5	0,8	4,6	4,6 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,7	0,5	0,8	4,0	4,0 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	1,0	0,2	4,6	4,6 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-1,9	0,5	0,8	-0,7	-0,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-1,9	1,0	0,2	-0,7	-0,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-1,9	3,3	0,8	2,1	2,1 kg/m ² år

Vedlegg 6

1990-bygg – 10 etasjer - C2

C2 - 1990 Bygg - 10 etasjer (ny fasade)



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	128,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	19,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,3 kWh/m ²
Teknisk utstyr	25,1 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	216,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	241,6 kWh/m²
Varmetapstall	62 W/m²
Klimagassutslipp	23,3 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	53,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	54,5 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	35,8 kWh/m ²
3b Pumper	7,4 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	5,4 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	11,7 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	233,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



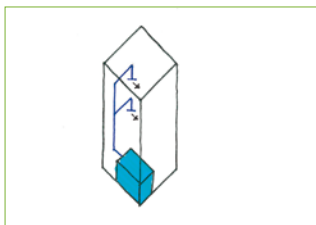
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	74,9 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	26,8 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,6 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	170,3 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	204,7 kWh/m²
Varmetapstall	43,6 W/m²
Klimagassutslipp	17,4 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,14
U-verdi tak [W/m ² K]	0,22	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,36	0,36
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,8	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,12	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2	0,8

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 21 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 25 %

Forbedring av tekniske anlegg



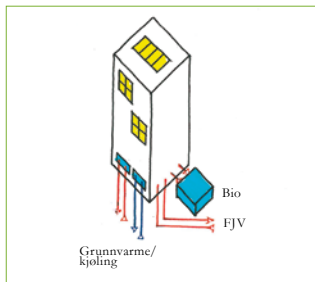
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	23,4 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	27,5 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,8 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	76,7 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	111,2 kWh/m²
Varmetapstall	21 W/m²
Klimagassutslipp	6,0 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,5	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 65 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 74 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	5,4
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	5,4	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	53,7	0,0	27,5	81,2	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	27,5	27,5	-53,7 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fju (Hafslund 2012)	Energibruk	32,7	23,4	27,5	83,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	27,5	27,5	-56,1 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	32,7	26,8	27,5	86,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	27,5	27,5	-59,4 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	32,7	27,5	27,5	87,6	kWh/m ² år
	Produksjon	4,1	0,0	27,5	31,6	-56,0 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	33,9	23,4	27,5	84,8	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	21,1	27,5	48,6	-36,2 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	32,7	26,8	27,5	86,9	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	27,5	53,7	-33,2 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	33,9	23,4	27,5	84,8	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	21,1	27,5	74,8	-10,1 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	32,7	23,4	27,5	83,6	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	27,5	53,7	-29,9 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	6,2	0,0	0,9	7,1	7,1 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fju (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	2,6	0,9	6,9	6,9 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	0,4	0,9	4,7	4,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,9	0,4	0,9	4,2	4,2 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	0,8	0,2	4,5	4,5 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-0,1	0,4	0,9	1,2	1,2 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-0,1	0,8	0,2	1,0	1,0 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-0,1	2,6	0,9	3,5	3,5 kg/m ² år

Vedlegg 7

1990-bygg – 3 etasjer – D1 (fasaden beholdes uforandret)

D1 - 1990 Bygg - 3 etasjer (alt 2)



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	135,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	18,2 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	222,1 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	256,5 kWh/m²
Varmetapstall	65 W/m²
Klimagassutslipp	24,1 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	59,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatt.)	54,7 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	35,8 kWh/m ²
3b Pumper	7,2 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	4,3 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatt.)	11,7 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	238,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



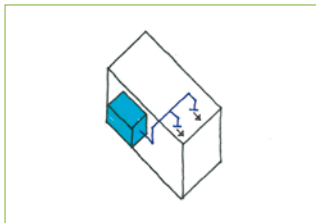
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	93,6 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	21,0 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,0 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	182,7 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	217,1 kWh/m²
Varmetapstall	48 W/m²
Klimagassutslipp	19,4 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,28
U-verdi tak [W/m ² K]	0,22	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,36	0,36
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,8	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,12	0,09
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2	0,8

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 18 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 20 %

Forbedring av tekniske anlegg



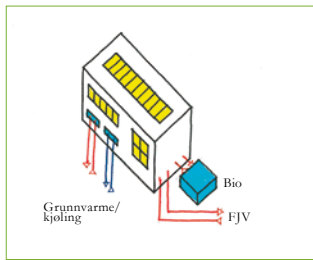
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	40,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	20,1 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	86,6 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	121,0 kWh/m²
Varmetapstall	26 W/m²
Klimagassutslipp	7,9 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,5	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	ja/nei	ja
Lokal kjøling	ja	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 61 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 67 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	5,4
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	5,4	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	67,4	0,0	20,1	87,5	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	20,1	20,1	-67,4 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	30,7	40,8	20,1	91,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	20,1	20,1	-71,5 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	30,7	46,6	20,1	97,5	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	20,1	20,1	-77,4 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	30,7	47,9	20,1	98,7	kWh/m ² år
	Produksjon	7,2	0,0	20,1	27,3	-71,4 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	38,0	40,8	20,1	98,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	36,7	20,1	56,8	-42,0 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	30,7	46,6	20,1	97,5	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	20,1	60,4	-37,1 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	38,0	40,8	20,1	98,9	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	36,7	20,1	97,1	-1,8 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	30,7	40,8	20,1	91,6	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	20,1	60,4	-31,3 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	8,2	0,0	0,7	8,9	8,9 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	4,5	0,7	8,6	8,6 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	0,7	0,7	4,7	4,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,4	0,7	0,7	3,8	3,8 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	1,4	0,2	5,0	5,0 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-1,9	0,7	0,7	-0,6	-0,6 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-1,9	1,4	0,2	-0,3	-0,3 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-1,9	4,5	0,7	3,3	3,3 kg/m ² år

Vedlegg 8

1990-bygg – 10 etasjer - D2 (fasaden beholdes uforandret)

D2 - 1990 Bygg - 10 etasjer (alt2)



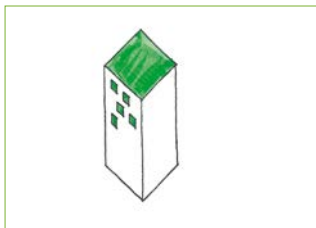
Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	128,8 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	19,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,3 kWh/m ²
Teknisk utstyr	25,1 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	216,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	241,6 kWh/m²
Varmetapstall	62 W/m²
Klimagassutslipp	23,3 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	53,8 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	54,5 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	35,8 kWh/m ²
3b Pumper	7,4 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	5,4 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	11,7 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	233,1 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



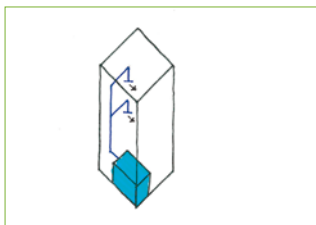
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	89,9 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	22,7 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	68,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	180,7 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	215,1 kWh/m²
Varmetapstall	46,4 W/m²
Klimagassutslipp	19,0 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,28	0,28
U-verdi tak [W/m ² K]	0,22	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,36	0,36
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,8	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,12	0,09
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	2	1

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 17 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 19 %

Forbedring av tekniske anlegg



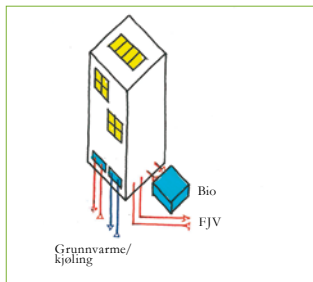
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	37,4 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	22,3 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	25,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	85,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	119,9 kWh/m²
Varmetapstall	24 W/m²
Klimagassutslipp	7,5 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	60	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	3	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,5	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	5
Vannbåren varme	nei	ja
Lokal kjøling	nei	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 61 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 68 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	5,4
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	5,4	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	64,8	0,0	22,3	87,1	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,3	22,3	-64,8 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	31,3	37,4	22,3	90,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,3	22,3	-68,7 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	31,3	42,7	22,3	96,3	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,3	22,3	-74,0 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	31,3	43,9	22,3	97,4	kWh/m ² år
	Produksjon	6,6	0,0	22,3	28,9	-68,6 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	37,2	37,4	22,3	96,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	33,6	22,3	55,9	-40,9 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	31,3	42,7	22,3	96,3	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	22,3	48,5	-47,8 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	37,2	37,4	22,3	96,9	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	33,6	22,3	82,1	-14,7 kWh/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	31,3	37,4	22,3	90,9	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	22,3	48,5	-42,5 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
1990 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	7,8	0,0	0,7	8,6	8,6 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	3,4	4,1	0,7	8,3	8,3 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	3,4	0,6	0,7	4,7	4,7 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,5	0,6	0,7	3,9	3,9 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	3,4	1,3	0,2	4,9	4,9 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-0,1	0,6	0,7	1,3	1,3 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-0,1	1,3	0,2	1,5	1,5 kg/m ² år
1990 Bygg energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-0,1	4,1	0,7	4,8	4,8 kg/m ² år

Vedlegg 9

Nybygg TEK10 – 3 etasjer – E1 (Passivhusnivå)

E1 - Nybygg fra TEK 10 til passivhus 3 etasjer



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	61,4 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	25,7 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	40,4 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	127,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	161,8 kWh/m²
Varmetapstall	37 W/m²
Klimagassutslipp	12,1 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	22 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatt.)	27 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	9,8 kWh/m ²
3b Pumper	5,5 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
6a Romkjøling	16,3 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatt.)	6,3 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	151,5 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



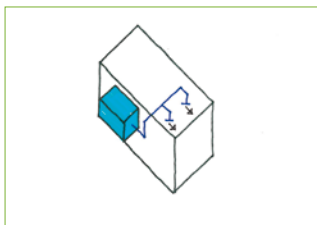
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	41,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	35,5 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	40,3 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	117,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	151,9 kWh/m²
Varmetapstall	28 W/m²
Klimagassutslipp	9,9 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	0,12
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,13	0,13
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,2	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,09	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,5	0,6

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 8 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 18 %

Forbedring av tekniske anlegg



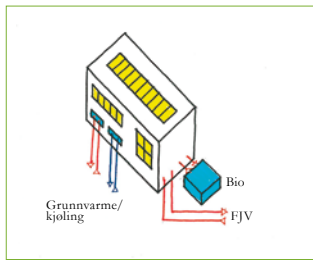
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	23,2 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	22,4 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	21,0 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,4 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	66,6 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	101,0 kWh/m²
Varmetapstall	20 W/m²
Klimagassutslipp	5,3 kg/m² år

Tiltak	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	70	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ³ /s]	2	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,5	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	3,5
Vannbåren varme	ja	ja
Lokal kjøling	ja	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 48 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 56 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	6,2
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	6,2	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
TEK10 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	47,4	0,0	22,4	69,8	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,4	22,4	-47,4 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	26,6	23,2	22,4	72,2	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,4	22,4	-49,8 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	26,6	26,5	22,4	75,5	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	22,4	22,4	-53,1 kWh/m ² år
TEK 10 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	26,6	27,2	22,4	76,2	kWh/m ² år
	Produksjon	4,1	0,0	22,4	26,5	-49,7 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	28,2	23,2	22,4	73,8	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	20,9	22,4	43,3	-30,5 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	26,6	26,5	22,4	75,5	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	22,4	62,6	-12,8 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	28,2	23,2	22,4	73,8	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	20,9	22,4	83,5	9,7 kWh/m ² år
TEK10 energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	26,6	23,2	22,4	72,2	kWh/m ² år
	Produksjon	40,3	0,0	22,4	62,6	-9,5 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
TEK10 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	5,5	0,0	0,7	6,3	6,3 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	2,8	2,6	0,7	6,1	6,1 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	2,8	0,4	0,7	3,9	3,9 kg/m ² år
TEK 10 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,2	0,4	0,7	3,4	3,4 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	2,8	0,8	0,2	3,7	3,7 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-2,5	0,4	0,7	-1,4	-1,4 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-2,5	0,8	0,2	-1,6	-1,6 kg/m ² år
TEK10 energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-2,5	2,6	0,7	0,8	0,8 kg/m ² år

Vedlegg 10

Nybygg TEK10 – 10 etasjer – E2 (Passivhusnivå)

Illustrasjon: Snøhetta/MIR

E2 - Nybygg fra TEK 10 til passivhus nivå - 10 etasjer



Energibruk levert energi som bygget

Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	60,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	27,2 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	40,7 kWh/m ²
Teknisk utstyr	25,1 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	128,5 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	153,6 kWh/m²
Varmetapstall	37 W/m²
Klimagassutslipp	12,1 kg/m² år

Energibudsjett netto energibruk

1a Romoppvarming	21,4 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	27 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)	5 kWh/m ²
3a Vifter	9,8 kWh/m ²
3b Pumper	5,8 kWh/m ²
4 Belysning	25,1 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
6a Romkjøling	17,6 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	6,3 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6	152,6 kWh/m²

Forbedring av bygningskropp



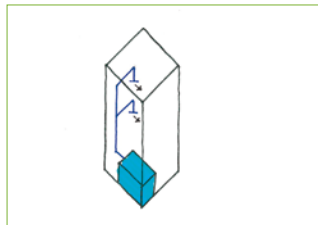
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	40,9 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	38,1 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	40,4 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	119,4 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	153,8 kWh/m²
Varmetapstall	27,6 W/m²
Klimagassutslipp	9,9 kg/m² år

Tiltak	(passiv nivå)	
	Før	Etter
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,17	0,12
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13	0,1
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,13	0,13
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,2	0,8
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,09	0,03
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,5	0,6

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 7 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp) 18 %

Forbedring av tekniske anlegg



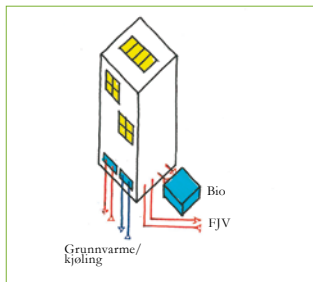
Fjernvarme	
Oppvarming, varmtvann, ventilasjon	21,7 kWh/m ²
Kjøling	
Rom- og ventilasjonskjøling	24,0 kWh/m ²
Elbruk	
Vifter, pumper, belysning	21,1 kWh/m ²
Teknisk utstyr	34,5 kWh/m ²
Samlet uten teknisk utstyr	66,8 kWh/m²
Samlet med teknisk utstyr	101,3 kWh/m²
Varmetapstall	20 W/m²
Klimagassutslipp	5,2 kg/m² år

Tiltak	(passiv nivå)	
	Før	Etter
Temperaturvirkningsgr. varmegjenv. [%]	70	86
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m ² /s]	2	1
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	12	7
Systemeffektfaktor kjøling	2,4	4
Spesifikk pumpeeffekt [kW/(l/s)]	0,5-0,6	0,3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8	3,5
Vannbåren varme	ja	ja
Lokal kjøling	ja	ja
COP / systemeffektfaktor kjøling	fjernkj	fjernkj

Energibruk:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 48 %

Klimagassutslipp:
Reduksjon akkumulert (pga. forbedret bygningskropp og tekniske anlegg) 57 %

Balansering og optimalisering av energiforsyning



Sentrale forutsetninger

Varmepumpe med grunnvarme	COP_varme	6,2
Frikjøling fra grunnen	COP_kjøling	15
Varmepumpe, luft-til-luft	COP_kjøling	4

Systemvirkningsgrader

Biokjel	0,77
Systemvirkningsgrad el	1
Systemvirkningsgrad varme	0,88
Systemvirkningsgrad kjøling	0,88
Eloppvarming	0,98
Sterling varme	0,6
Sterling el	0,15
Solceller på 3 fasader og tak, produksjon	150 KWh/m ² år for optimal orientering

Dekning

COP_varme	6,2	90 %
COP_kjøling	15	100 %
COP_kjøling	4	100 %

Balansering av levert energibruk (eks. teknisk utstyr)

		El (inkl. pumper) (solceller/bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
TEK10 Bygg energisystem el til oppv	Energibruk	46,6	0,0	24,0	70,6	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	24,0	24,0	-46,6 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Energibruk	27,1	21,7	24,0	72,8	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	24,0	24,0	-48,8 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi	Energibruk	27,1	24,8	24,0	75,9	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	0,0	24,0	24,0	-51,9 kWh/m ² år
TEK 10 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Energibruk	27,1	25,5	24,0	76,5	kWh/m ² år
	Produksjon	3,8	0,0	24,0	27,8	-48,7 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe	Energibruk	28,0	21,7	24,0	73,7	kWh/m ² år
	Produksjon	0,0	19,5	24,0	43,5	-30,2 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Energibruk	27,1	24,8	24,0	75,9	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	24,0	50,2	-25,7 kWh/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Energibruk	28,0	21,7	24,0	73,7	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	19,5	24,0	69,7	-4,0 kWh/m ² år
TEK10 energisystem, fjernvarme + solceller	Energibruk	27,1	21,7	24,0	72,8	kWh/m ² år
	Produksjon	26,2	0,0	24,0	50,2	-22,6 kWh/m ² år

Klimagassutslipp (eks materialer og teknisk utstyr)

		El (inkl prod. solceller / bio)	Varme (VP)	Kjøling (VP)	Totalt	Balanse
TEK10 Bygg energisystem el til oppv	Emission netto	5,4	0,0	0,8	6,1	6,1 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, fjv (Hafslund 2012)	Emission netto	2,8	2,4	0,8	6,0	6,0 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi	Emission netto	2,8	0,3	0,8	3,9	3,9 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, stirling - micro CHP (bio)	Emission netto	2,3	0,4	0,8	3,4	3,4 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe	Emission netto	2,8	0,7	0,2	3,7	3,7 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, bioenergi + solceller	Emission netto	-0,7	0,3	0,8	0,5	0,5 kg/m ² år
TEK10 Bygg energisystem, varmepumpe + solceller	Emission netto	-0,7	0,7	0,2	0,2	0,2 kg/m ² år
TEK10 energisystem, fjernvarme + solceller	Emission netto	-0,7	2,4	0,8	2,5	2,5 kg/m ² år



Eiendomsbransjens nettverk for miljøkunnskap og handling

Grønn Byggallianse er et miljønettverk bestående av de største utbyggerne og forvalterne i Norge. Alliansen er en arena for aktive utbygere som ønsker å være i front på miljøområdet. Grønn Byggallianse er et kompetanse- og informasjonssenter for medlemmene og myndighetenes sparringpartner i byggenæringen innen miljøspørsmål. 44 av Norges største eiendomsaktører, med en bygningsmasse på over 35 millioner kvadratmeter, er i dag medlemmer i Grønn Byggallianse.

Utgitt av:



Kongens gate 9, 0153 Oslo
E-post: post@byggalliansen.no
Web: www.byggalliansen.no

GBA-rapport 1/13
ISBN 978-82-998837-1-9

Daglig leder

Erik A. Hammer
Tlf.: +47 909 83 275
erik.hammer@byggalliansen.no



Rådgiver

Katharina Th. Bramslev
Tlf.: +47 977 58 897
katharina.bramslev@byggalliansen.no



Rådgiver

Arne Førland-Larsen
Tlf.: +47 957 86 601
afl@iha.dk

